

111

**Annales
Universitatis
Paedagogicae
Cracoviensis**

**Studia ad Didacticam
Biologiae Pertinentia II**

Recenzenci

prof. zw. dr hab. Elżbieta Lonc, UWŕ.
dr hab. Jacek Bielecki, prof. UW

Komitet Redakcyjny

prof. dr hab. Tadeusz Budrewicz, Uniwersytet Pedagogiczny, Kraków
prof. zw. dr hab. Danuta Cichy, Instytut Badań Edukacyjnych, Warszawa
prof. dr André Giordan, Uniwersytet w Genewie, Szwajcaria
dr hab. Jan Rajmund Pańko, prof. UP
dr hab. Katarzyna Potyrała, prof. UP – redaktor naczelny
dr hab. Andrzej Rzepka, prof. UP
dr hab. Robert Stawarz, prof. UP
dr hab. Bożena Witek, prof. UHP, Kielce

© Copyright by Wydawnictwo Naukowe UP, Kraków 2012

ISSN 2083-7267

Wydawnictwo Naukowe UP
Redakcja/Dział Promocji
30-084 Kraków, ul. Podchorążych 2
tel./fax 12 662-63-83, tel. 12 662-67-56
e-mail: wydawnictwo@up.krakow.pl

Zapraszamy na stronę internetową:
<http://www.wydawnictwoup.pl>

druk i oprawa
Zespół Poligraficzny UP, zam. 35/12

Wstęp

*Chciałem zmienić świat.
Doszedłem jednak do wniosku,
że mogę jedynie zmieniać samego siebie.*

Aldous Huxley

Światowy Rok Różnorodności Biologicznej (2010) ogłoszony przez ONZ miał na celu prowadzenie międzynarodowej kampanii w kierunku podniesienia świadomości społecznej na temat zróżnicowania ożywionej części przyrody. Chodziło między innymi o zwrócenie uwagi na znaczenie różnorodności biologicznej dla jakości życia człowieka, pokazanie dotychczasowych osiągnięć w dziedzinie ochrony zasobów przyrodniczych oraz zachętę do podejmowania dalszych wzmoczonych wysiłków na rzecz przeciwdziałania utracie różnorodności biologicznej (Kalinowska 2011a).

W sferze naukowej, Światowy Rok Różnorodności Biologicznej był okazją do zaprezentowania wyników badań własnych i zespołowych oraz włączenia się naukowców w ogólnoswiatową dyskusję nad teoretycznymi i praktycznymi uwarunkowaniami kształtowania pojęć i budowania podstaw przyrodniczej wiedzy społecznej, zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju. W Polsce zasada zrównoważonego rozwoju zyskała rangę konstytucyjną – została zapisana w art. 5 konstytucji RP, a definicja zrównoważonego rozwoju znalazła się w ustawie Prawo ochrony środowiska: „taki rozwój społeczno-gospodarczy, w którym następuje proces integrowania działań politycznych, gospodarczych i społecznych, z zachowaniem równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych, w celu zagwarantowania możliwości zaspokajania podstawowych potrzeb poszczególnych społeczności lub obywateli zarówno współczesnego pokolenia, jak i przyszłych pokoleń”.

Niniejsza publikacja, traktowana jako wymiana poglądów na temat różnorodności biologicznej, na tle badań naukowych i uwarunkowań edukacyjnych, wpisuje się w te działania. Celem jest wypracowanie paradygmatu – wiodącego prądu w nauce – rekomendowanego na różnych etapach kształcenia. Istnieje wiele definicji różnorodności biologicznej oraz sposobów jej określania i pomiaru. Ukazanie dróg przewidywania, zapobiegania oraz zwalczania przyczyn zmniejszania się lub jej zanikania może być jednym z elementów strategii edukacyjnych opartych na krytycznym myśleniu, argumentowaniu i komunikacji społecznej.

Pojawiła się zatem konieczność pogłębionych analiz definicyjnych i dyskusji opartych na wynikach badań prowadzonych przez różnych specjalistów na temat teoretycznych i praktycznych uwarunkowań różnorodności biologicznej organizmów.

Autorom zaproszonym do współpracy nad publikacją przyświecało założenie, że wiedza rozwijana jest w ramach nie pojedynczych teorii, a raczej większych zbiorów osądów, które powinny być uzgadniane, aby osiągnąć spójność między sobą. Kompleksowe zagadnienia, takie jak bioróżnorodność, wymagają bowiem ożywienia współpracy różnych specjalistów, zwłaszcza w kontekstach edukacyjnych.

Warto przypomnieć, że termin bioróżnorodność pojawił się w 1968 roku w książce traktującej o potrzebie ochrony przyrody, autorstwa Raymonda Dalesmana, ale do roku 1980 nie znalazł akceptacji naukowców. W 1980 roku pojęcie różnorodności biologicznej pojawiło się także w przedmowie do książki Thomasa Lovejoya (*Conservation Biology*), który uchodzi za twórcę terminu bioróżnorodność (za: Kędziora, Karg 2010). W powszechnym użyciu termin ten znalazł się od około połowy lat 80. XX wieku, a do międzynarodowego obiegu wprowadzony został w końcu lat 80. XX w. przez amerykańskiego biologa, profesora Edwarda O. Wilsona (Kalinowska 2011b). Obecnie stosowany jest w kontekście zagrożeń dla środowiska naturalnego, w szczególności w odniesieniu do zagadnienia wymierania gatunków.

Różnorodność biologiczna, bioróżnorodność – oznacza powszechnie zróżnicowanie życia na wszelkich poziomach jego organizacji. Zgodnie z Konwencją o różnorodności biologicznej (1992), różnorodność biologiczna to „zróżnicowanie wszystkich żywych organizmów występujących na Ziemi w ekosystemach lądowych, morskich i słodkowodnych oraz w zespołach ekologicznych, których są częścią. Dotyczy ona różnorodności w obrębie gatunku (różnorodność genetyczna), pomiędzy gatunkami oraz różnorodności ekosystemów”.

Dobór prac do pierwszej części tomu poświęconego bioróżnorodności wynikał z chęci nietypowego podejścia do kwestii trwałości układów podtrzymujących życie w biosferze. Bioróżnorodność ma podstawowe znaczenie dla ewolucji, jej ubożenie wyraża się między innymi poprzez zmniejszanie zróżnicowania genowego w populacjach. Istotne znaczenie dla zachowania różnorodności biologicznej w przestrzeni rolniczej ma też zróżnicowanie siedlisk, a bogata bioróżnorodność, definiowana nie tylko jako bioróżnorodność międzygatunkowa, nastrocza poważnych problemów, np. z definiowaniem pojęcia gatunku bakteryjnego. W dyskusji uczestniczą genetycy, fizjologowie, mikrobiolodzy, paleontolodzy i ekolodzy.

Artykuły zawarte w drugiej części tomu podnoszą zagadnienie bioróżnorodności w kontekstach edukacyjnych. Obecność treści dotyczących różnorodności organizmów w programach kształcenia i zawartość treściowa programów nauczania, a równocześnie wyniki badań, które wskazują, że stan świadomości ekologicznej uczniów jest bardzo niski (Morka 2010), a efekty edukacji środowiskowej społeczeństwa niezadowalające (Tuszyńska 2008), wymuszają potrzebę podjęcia kroków w kierunku adaptacji nowych modeli nauczania i uczenia się przyrody, biologii i ochrony środowiska, wspomagających procesy przetwarzania informacji, rekonstrukcji wiedzy i budowania allosterycznego środowiska uczenia się (Giordan 1998).

Cytowane poniżej słowa Karola Darwina z dzieła pt. *O powstawaniu gatunków* uświadamiają czytelnikowi rozmiar zjawiska, jakim jest bioróżnorodność.

Prawdopodobnie wszystkie formy życia organicznego, jakie kiedykolwiek istniały na tej Ziemi, pochodzą od pierwotnej formy, którą po raz pierwszy tchnięto życie [...]. Jest coś wspaniałego w takiej wizji życia [...] albowiem podczas gdy ta planeta krążyła zgod-

nie z niezmiennym prawem grawitacji, z tak prostych początków rozwinęły się nieskończone formy, najpiękniejsze i najcudowniejsze, i dalej się rozwijają.

Bioróżnorodność – sprowadzana najczęściej do ochrony gatunkowej roślin i zwierząt, z pominięciem, np. mikroorganizmów, grzybów, a także różnorodności krajobrazów i różnorodności genów obecnych w pulach genowych populacji – nie ukazuje zjawiska zmienności organizmów, a tym samym wartości życia i różnorodności jego przejawów. Kompleksowy system organizacji żywej materii wymaga również podejścia etycznego, szacunku dla każdej formy życia, jako istotnego i cennego wkładu w ewolucję świata organicznego.

Szkoda drogiego czasu i energii na skupianie się wyłącznie na zagrożeniach dla bioróżnorodności i w tym kontekście na inwazyjnej naturze człowieka, czy pytaniach jaki będzie świat wobec ogromu zniszczeń, które codziennie dotykają przyrodę i ich katastrofalnych konsekwencji. Nie można zmienić świata, ale można zmienić samego siebie – swój stosunek do przyrody, codzienne przyzwyczajenia i podejście do edukacji.

Niech motto zawarte w tym wstępie, słowa Aldousa Huxleya, autora słynnej książki z gatunku *science fiction* pt. *Nowy wspariały świat*¹, przeniosą nas w realny świat indywidualnych i zespołowych działań na rzecz ochrony bogactwa życia – bioróżnorodności. Jest to możliwe dzięki wysiłkom naukowców i nauczycieli, którzy poprzez stosowną edukację i komunikaty medialne starają się budować spójny, holistyczny obraz świata. Brakuje komunikatów, które potrafiłyby połączyć w sposób interdyscyplinarny pozorne sprzeczności, takie jak np. wzrost potrzeb i konieczność ograniczeń, rozród i selekcja, zagrożenie i bezpieczeństwo.

Zróbmy krok naprzód...

Katarzyna Potyrała

Literatura

Giordan A., 1998, *Apprendre!*, Débats Belin.

Kalinowska A. (red.), 2011a, *Wybrane zagadnienia z ekologii i ochrony środowiska. Różnorodność biologiczna w wielu odśłonach*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa.

Kalinowska A., 2011b, *Dla trwałości życia – różnorodność biologiczna a dobrostan ludzkości*, [w:] A. Kalinowska (red.), *Wybrane zagadnienia z ekologii i ochrony środowiska. Różnorodność biologiczna w wielu odśłonach*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa.

Kędzióra A., Karg J., 2010, *Zagrożenia i ochrona różnorodności biologicznej*, Nauka, 4, s. 107–114.

¹ *Nowy wspariały świat* (ang. *Brave New World*) – powieść napisana w 1932 roku. Kanon fantastyki posłużył w niej Huxleyowi jako narzędzie do konfrontacji idei wolności z porządkiem, pragmatyzmu z fantazją, indywidualizmu z kulturą społeczności masowej. Huxley stworzył powieść o charakterze prorocstwa i przestrogi, którą próbuje ostrzec ludzkość przed utopią przedkładającą trwałą szczęśliwość i wygodę nad wzloty i upadki w świecie pełnym emocji.

Morka D., 2010, *Kształtowanie postaw proekologicznych uczniów liceum w ramach Comenius Projecty – Sustainable Energy*, [w:] L. Tuszyńska (red.), *Edukacja środowiskowa w społeczeństwie wiedzy*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa, s. 179–197.

Tuszyńska L., 2008, *Diagnoza stanu edukacji środowiskowej społeczności lokalnych w wybranych regionach Polski*, WUW, Warszawa.

Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. *Prawo ochrony środowiska*, Dz.U. z 2001 r., nr 62, poz. 627.

Introduction

*I wanted to change the world.
But I have found that the only thing
one can be sure of changing is oneself.*

Aldous Huxley

The International Year of Biodiversity (2010), proclaimed by the United Nations, was aimed at starting an international campaign to raise social awareness of the diversity in animate nature. The main goals were: to emphasize the significance of biodiversity for the quality of human life, to show the current achievements in natural resources protection, and to encourage further efforts towards counteracting the loss of biodiversity (Kalinowska 2011a).

In the scientific aspect, the International Year of Biodiversity was an occasion to present the results of individual and team research. Scientists also had a chance to take part in the global debate on theoretical and practical conditions of developing the ideas, and building the foundations of the society's knowledge of nature, in agreement with the principle of "sustainability". In Poland, sustainability has been constitutionalized in article 5 of the Constitution. It is defined in the act on Environmental Protection as "such social and economic development which integrates political, economic and social activities, securing the maintenance of natural equilibrium and sustenance of fundamental natural processes, in order to guarantee the possibility of satisfying the needs of particular communities or citizens of both the present and the future generations".

This publication has its place within this current, offering an opportunity to exchange opinions on biodiversity against the background of scientific research and educational factors. Its aim is work on a paradigm – a dominating current in science – to be recommended on various levels of education. There are many definitions of biodiversity and methods of its identification and measurement. Showing the methods of predicting, preventing and counteracting its reduction or extinction may become an element of educational strategies, based on critical thinking, argumentation and social communication.

Therefore it is necessary to conduct thorough definitional analyses and discussions based on the results of research, carried out by various specialists, on theoretical and practical conditions of biodiversity. The Authors invited to cooperate in the creation of this volume adopted an assumption, associated with the search for a biodiversity paradigm, that knowledge is obtained not from individual theories, but rather from wider sets of opinions, which should be worked upon to

achieve coherence. Complex issues such as biodiversity demand active cooperation of various experts, especially in educational contexts.

It is worth recalling that the term "biodiversity" appeared for the first time in 1968 in Raymond Dalesman's book on the necessity to protect nature, but was not accepted by scientists until 1980. In 1980, the notion of biodiversity appeared in the preface to *Conservation Biology* by Thomas Lovejoy, who is regarded as the author of the term (Kędziora, Karg 2010). It entered general use around the mid-1980s, and was introduced to international use at the end of the 1980s by an American biologist, Professor Edward O. Wilson (Kalinowska 2011b). Nowadays, the word is used in the context of environmental risks, especially with respect to species extinction.

Biological diversity, or biodiversity normally denotes diversity of life at all levels of its organization. According to the "Convention on Biological Diversity" (1992), biodiversity is "the variability among living organisms from all sources including, inter alia, terrestrial, marine and other aquatic ecosystems and the ecological complexes of which they are part; this includes diversity within species, between species and of ecosystems."

The choice of texts for the first part of this volume devoted to biodiversity is rooted in an unusual approach to the question of systems sustaining life in the biosphere. Biodiversity is crucial in evolution. Its reduction is expressed, among others, in the decreased genetic diversity of populations. Habitat diversity is of vital importance in maintaining biodiversity in agricultural areas, and rich biodiversity, understood as more than just species diversity, is problematic in e.g. defining bacteria species. Discussion participants are specialists in genetics, physiology, microbiology, paleontology, and ecology.

Articles included in the second part of the volume deal with biodiversity in educational contexts. The share of biodiversity topics in teaching programmes and syllabuses is examined; various research results indicate that ecological awareness among pupils is rather low (Morka 2010), and the effects of environmental education of the society – quite unsatisfactory (Tuszyńska 2008). This necessitates taking steps towards adaptation of new models of teaching and learning natural subjects, biology, and environmental protection: models which support information processing, knowledge reconstruction, and creation of an allosteric learning environment (Giordan 1998).

Charles Darwin's words from *On the Origin of Species*, quoted below, will make the Reader realize the scope of the biodiversity phenomenon:

Probably all the organic beings which have ever lived on this earth have descended from some one primordial form, into which life was first breathed. [...] There is a grandeur in this view of life, [...] whilst this planet has gone cycling on according to the fixed law of gravity, from so simple a beginning endless forms most beautiful and most wonderful have been, and are being, evolved.

Biodiversity, often brought down to protection of animal and plant species, neglecting e.g. microorganisms, fungi, the diversity of landscapes and the variety of genes in the gene-pools of populations, does not show the phenomenon of organism variation, and at the same time the value of life and the diversity of its manifestations. The complex system of living matter organization also requires ethical approach,

and respect for any living organism as an important and valuable contributor to the evolution of the organic world.

It is a waste of time and energy to focus solely on the risks to biodiversity and, in this context, on man's invasive nature, or on questions about the future of the world, in the view of dramatic damage that nature suffers every day, and its catastrophic consequences. We cannot change the world, but surely we can change ourselves: our attitude towards nature, everyday habits, and our approach to education.

May the motto of this preface, by Aldous Huxley, the author of *Brave New World*¹, take us into the realistic world of individual and team endeavour for the protection of the abundance of life – biodiversity. It is possible owing to the efforts of scientists and teachers who, through adequate teaching and media communication, try to build a coherent, holistic image of the world. There is a shortage of messages of interdisciplinary character, which could combine the apparently contradictory values, such as increasing needs and necessary limitations, reproduction and selection, danger and security...

Let us make a step forward...

Katarzyna Potyrała

Literature

Giordan A., 1998, *Apprendre!*, Débats Belin.

Kalinowska A. (red.), 2011a, *Wybrane zagadnienia z ekologii i ochrony środowiska. Różnorodność biologiczna w wielu odśłonach*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa.

Kalinowska A., 2011b, *Dla trwałości życia – różnorodność biologiczna a dobrostan ludzkości*, [w:] A. Kalinowska (red.), *Wybrane zagadnienia z ekologii i ochrony środowiska. Różnorodność biologiczna w wielu odśłonach*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa.

Kędziora A., Karg J., 2010, *Zagrożenia i ochrona różnorodności biologicznej*, Nauka, 4, s. 107–114.

Morka D., 2010, *Kształtowanie postaw proekologicznych uczniów liceum w ramach Comenius Projecty – Sustainable Energy*, [w:] L. Tuszyńska (red.), *Edukacja środowiskowa w społeczeństwie wiedzy*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa, s. 179–197.

Tuszyńska L., 2008, *Diagnoza stanu edukacji środowiskowej społeczności lokalnych w wybranych regionach Polski*, WUW, Warszawa.

Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. *Prawo ochrony środowiska*, Dz.U. z 2001 r., nr 62, poz. 627.

¹ *Brave New World* is a novel written in 1932. The convention of a science-fiction novel served as a tool of confronting the ideal of freedom with order, pragmatism with fantasy, and individualism with mass-society culture. Huxley created a novel which is a prophecy and admonition, trying to warn humanity against the utopia which prefers eternal happiness and comfort over rises and falls in a world full of emotions.

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia ad Didacticam Biologiae Pertinentia II (2012)

CZĘŚĆ I

Bożena Witek, Adam Kołątaj

Zmienność jako podstawowe prawo przyrody

Cechy zwierząt i człowieka, zarówno morfologiczne, jak i fizjologiczne, są tak prze-myślnie zaprogramowane przez naturę, aby w środowisku, w którym funkcjonują, wzmacniały ich szanse na przeżycie. Organizmy, zwłaszcza te stojące filogenetycznie na wysokim szczeblu rozwoju, mają zaprogramowaną podczas swej historii ewolu-cyjnej genetycznie kontrolowaną zdolność sterowania procesami życiowymi. Dzięki temu możliwe jest utrzymanie równowagi środowiska wewnętrznego organizmu na dotychczasowym, optymalnym poziomie oraz adaptacja do zmieniających się, nowych warunków środowiskowych (Kołątaj 1993). Wielkim osiągnięciem ewolucji jest to, że wszystkie organizmy sterują w sposób automatyczny większością swoich procesów życiowych. Utrzymywanie homeostazy w zmieniającym się otoczeniu jest więc niczym innym jak odbiciem zdolności do przeżycia, a odpowiedź organizmu na wyzwania tego otoczenia jest możliwa dzięki odpowiednim „zasobom informacji genetycznej”.

Karol Darwin wykazał, że naturalna selekcja sprzyja tym cechom zwierzęcia, które bardziej „wiążą” go ze środowiskiem. Okazało się, że rzeczywistość – kombinacje genowe charakterystyczne dla najlepiej zaadaptowanych fenotypów wybierane są przez selekcję, zaś genotypy gorsze są z populacji eliminowane (Darwin 2001). Dążenie do ekspansji indywidualnego genotypu jest kryterium doboru naturalnego i zachowania zwierząt. Przypuszcza się, że podobne zachowania człowieka również są determinowane genetycznie.

Dzięki określonym zdolnościom umożliwiającym przystosowanie, ujawnianym przez zwierzęta i człowieka, możliwe staje się ich przeżycie w chwilach zagrożenia. Dzięki zgromadzonym zasobom informacji genetycznej, zweryfikowanej nie tylko przez pozytywną selekcję, trwającą dokładnie tyle, ile historia organizmów żywych, ale też przez długą drogę ewolucji, organizmy posiadały umiejętność reagowania na zmiany w otoczeniu. Jednak te organizmy, które w sytuacji zagrożenia zdrowia, a niekiedy i życia, nie potrafiły atakować, walczyć, ratować się ucieczką lub po prostu przystosować, ginęły (Stebbins i Ayala 1985). Tak więc bezwzględna selekcja, towarzysząca organizmom nawet już w pierwszych etapach życia, wyposaża je w możliwości zabezpieczenia sobie czynności życiowych poprzez utrzymywanie możliwie homeostatycznych warunków na poziomie komórki, tkanek oraz

narządów i całych układów. Homeostaza, czyli zdolność do zachowania optymalnej stałości środowiska wewnętrznego, pozostaje pod kontrolą genetyczną w ramach danego gatunku (Cannon 1929).

Według powszechnie przyjętych definicji, zmienność jako termin biologiczny oznacza różnice ujawniające się między osobnikami tworzącymi jeden gatunek. Pojęcie to obejmuje cechy tych organizmów, ale dodatkowo powinno być zawężone, np. do osobników tej samej płci lub osobników pozostających w tym samym stadium rozwojowym. Istnieje też pojęcie zmienności między szerszymi jednostkami taksonomicznymi – w obrębie roślin, zwierząt, drobnoustrojów, ale także człowieka. Można też mówić o zmienności między płcią męską i żeńską. Zjawisko zmienności obejmuje zarówno cechy jakościowe, jak i ilościowe, przy założeniu, że organizm żywy będzie analizowany jako niezależny, samodzielny układ biologiczny o charakterze otwartym, pozostający w ścisłym kontakcie ze środowiskiem i posiadający umiejętność przystosowawczego reagowania na wszelkie zmiany dokonujące się właśnie w tym środowisku.

Siłą selekcji i jednocześnie podstawowym źródłem zmienności jest środowisko, reprezentowane przez np. obfitość, ograniczenie lub całkowity brak pożywienia, ale również głód, klimat – zimny, gorący, wilgotny lub suchy, środowisko bogate lub ubogie w tlen, niedobór wody, ograniczenie wolności osobistej, odizolowanie od stada i cały szereg czynników chorobotwórczych. Wszystkie te parametry otoczenia oddziałują na organizm z różną siłą i z różnymi skutkami (Kołątaj i wsp. 1973). Czynniki środowiskowe mogą oddziaływać negatywnie na określoną cechę w populacjach znajdujących się w stanie równowagi genetycznej. Populacja adaptująca się w niedostatecznym stopniu, w porównaniu z populacją dobrze przystosowaną, będzie wykazywała tendencję do mniejszej płodności i większej śmiertelności.

Trwająca odpowiednio długo (długotrwała) adaptacja określonej populacji zależy od jej genetycznego wyposażenia, genetycznej równowagi oraz możliwości granic zmienności. I to właśnie pula genów (zestaw genów) danego organizmu jest drugim źródłem zmienności. Już przy powstaniu organizmu ustalany jest program rozwojowy cech, które mogą być niezależne od środowiska, jak np. kolor lub rodzaj sierści, kolor oczu, obecność lub brak rogów, kędzierzawe lub gładkie włosy, wzrost. Można domniemywać, że w stałym, niezmiennym środowisku wszystkie cechy poszczególnych osobników znajdują się pod sztywną kontrolą genetyczną (Dietrich 1994). Można też przypuszczać, że ujawniają wtedy maksymalne przystosowanie do jego warunków. Jednak w sytuacji, gdy warunki otoczenia ulegają zmianie, pewien zakres zmienności jest niezbędny po to, by chociaż niektóre osobniki mogły przeżyć. Warunek ten, umożliwiający zmienność adaptacyjną, może być realizowany albo na drodze genotypowej, poprzez wytworzenie optymalnych fenotypowo osobników, albo dzięki odpowiedniej regulacji tempa i zakresu metabolizmu.

Ewolucja organizmów od prostych form jednokomórkowych do form bardziej skomplikowanych, poprzez wielokomórkowe układy, aż do układów tak bardzo złożonych jak organizm człowieka, związana była z istotnym powiększeniem zawartości DNA w jądrze komórkowym. Fakt ten związany był z powiększaniem się liczby cech, a to miało wpływ na zasoby informacji genetycznej, dzięki której możliwe było prowadzenie (wykazywanie) określonej, często specyficznej aktywności lub działalności życiowej. Tak więc powstanie drogą ewolucji organizmów wielokomórkowych

i wytworzenie tkanek i organów doprowadziło do morfologicznej zmienności, a więc zróżnicowania nie tylko struktury, ale i funkcji komórek takich organizmów. Zjawisko to obserwuje się wraz z podwyższeniem poziomu złożoności organizacyjnej układów żywych.

Charakterystyczne cechy zwierząt są wynikiem współdziałania środowiska i zestawu genów otrzymanych od rodziców. Te dwa rodzaje zmienności, środowiskowa i genetyczna, decydują o tym, jaki ma być organizm w kolejnych etapach swojego życia i jaki jest w danym momencie określonego środowiska. Organizmy wykazują jednak pewien stopień nieprzewidywalności. Nie da się bowiem przewidzieć finalnej reakcji i jej następstw jedynie na podstawie znajomości np. zróżnicowania komórek tego organizmu. Na świecie żyje około 10 milionów różnych gatunków organizmów, a może nawet około 100 milionów, zbudowanych z różnej liczby komórek, począwszy od jednej komórki, u bakterii czy pierwotniaków, niektórych grzybów, do nawet kilkudziesięciu bilionów – u człowieka. Mówiąc o organizmie, często zapomina się, że jego poszczególne komórki nie są identyczne, co najwyżej są do siebie bardzo podobne, nie ma bowiem dwóch identycznych komórek. Nawet blastomery, te z pierwszych podziałów zygoty, są nieco inne, mimo wysokiego stopnia podobieństwa (Kołątaj 1980). Różnice te zależą od zaprogramowania genetycznego, konfiguracji molekularnej DNA, struktur i substruktur wewnątrzkomórkowych, zróżnicowania ilościowego i jakościowego poszczególnych makrocząsteczek, obecności receptorów błonowych, cytosolowych oraz obecności i funkcjonalności cytoplazmatycznych kanałów jonowych. Można powiedzieć, że „organizm jako całość jest czymś więcej niż sumą swych części” (Trzebski 2004). Oznacza to, że analiza komórek powinna uwzględniać nie tylko ich strukturę, ale również homeostatyczną adaptację. Zmienność będąca podstawowym prawem przyrody powoduje, że nawet osobniki tego samego gatunku nie są jednakowe oraz że żadne dwa osobniki (wyjątek bliźnięta jednojajowe), tym bardziej cała populacja, nie wykazują takiej samej zdolności adaptacyjnej. Występują między nimi różnice fenotypowe, w przeżywalności, płodności oraz we wrażliwości na bodźce pochodzące ze środowiska.

Jeśli dwa osobniki o odmiennych genotypach będą ujawniały różną płodność, to będą się rozmnażały w niejednakowym tempie. Te organizmy, które okażą się bardziej płodne, dadzą większy wkład swych genów do puli genowej populacji w kolejnej generacji. Skład genetyczny puli genowych determinowany jest przez selekcję, która jest procesem weryfikującym przydatność tych genów. I nie chodzi tylko o przeżycie danego osobnika, ale o pozostawienie potomstwa, tak by jego geny znalazły się ponownie w ramach tej populacji, ale już w następnym pokoleniu. O takim osobniku można powiedzieć, że jest optymalnie przystosowany do warunków określonego środowiska, bo jego geny, determinujące to przystosowanie, utrzymują się, podczas gdy geny osobnika niepozostawiającego po sobie potomstwa, nie wchodzi do puli genowej całej populacji.

Zmienność układów żywych ma swe podstawy w strukturze DNA materialnego przekaźnika informacji genetycznej i jednocześnie substancji budującej geny, jedynej jak dotąd, która sama potrafi się powielać, odtwarzając swoją strukturę z niezwykłą dokładnością. Ma również zdolność ulegania mutacjom. Mimo wielkiej różnorodności, organizmy są w ogromnym stopniu do siebie podobne na poziomie molekularnym. Zbudowane są z tych samych chemicznych cząsteczek, z podobnych

molekularnych składników. Taka jednolitość budowy wskazuje, że pochodzą od jednego wspólnego przodka, a podstawy procesów biochemicznych wspólnych dla wszystkich organizmów pojawiły się w historii ewolucji bardzo wcześnie, bo podczas rozwoju zjawiska biologicznego, jakim stało się życie (Głowacki 2009).

Analiza historii filogenezy istot żywych wskazuje, że mechanizmy homeostazy, mimo zmieniających się warunków otoczenia zewnętrznego, kształtowały się stopniowo, począwszy od pierwotniaków, a kończąc na człowieku. Homeostaza, interpretowana jako zdolność do organizacji procesów sterowania i regulacji, ma w organizmie, chociażby ssaka, wielopoziomowy stopień złożoności. Jest zjawiskiem niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania organizmów na każdym ich poziomie – makrocząsteczek, komórkowym, organizmu jako całości oraz populacyjnym. Jej całościowy układ obejmuje podporządkowane i wzajemnie na siebie oddziałujące obwody homeostatyczne. W ten sposób ewolucja na drodze selekcji ujawnia wysoki stopień stabilności ustrojów żywych. Również mechanizmy regulacyjne, m.in. emocjonalne, nerwowe, hormonalne, behawioralne i termoregulacyjne, podlegają homeostatycznemu zrównoważeniu (Ohta i Gillespie 1996). Nawet w pierwszej populacji najbardziej prymitywnych komórek, ale traktowanych jako ustroje żywe, pojawiły się procesy sterowania i regulacji. Podczas ewolucji zostały wykształcone powszechne i optymalne procesy regulacyjne, mające zapewnić organizmom zdolności adaptacyjne do zmieniających się warunków otoczenia, tak więc u zwierząt, zwłaszcza tych filogenetycznie wyżej uorganizowanych, głównie kręgowców, istnieje jedność i powszechność mechanizmów regulacyjnych.

Mechanizmy różnych procesów na poziomie molekularnym zachowały się w bardzo podobnej, jeśli nie w tej samej formie przez długie okresy ewolucji. Podczas 3,5 miliarda lat istnienia form żywych na Ziemi tworzą się nie tylko nowe możliwości powstawania kolejnych form życiowych, ale również mechanizmy adaptacji już istniejących form do stale zmieniających się warunków otoczenia.

Określona sekwencja molekuł białka czy kwasów nukleinowych jest źródłem ogromnej liczby informacji, dzięki którym ujawnia się właśnie olbrzymi zakres zmienności. Na ich podstawie można wnioskować o mechanizmach zmienności jakie miały miejsce przed milionami lat, tworzących drogę dla dzisiejszych interpretacji o pochodzeniu różnych gatunków, a także pochodzeniu tych różnych gatunków od jednej pracomórki, jak wyjaśniają ewolucjoniści. Informacje o tej zmienności pozwalają też na wysnucie wniosków o bardzo starej i konserwatywnej strukturze niektórych białek, niekiedy wprost identycznych dla wielu gatunków, np. białek histonowych jądra komórkowego, niektórych cząsteczek czy odcinków cząsteczek rybosomowego RNA, hemu w hemoglobinie krwi czy chlorofilu w chloroplastach roślin. Jednakowa budowa ATP, ADP, NADH, koenzymu A, cholesterolu czy glutatjonu świadczy o jedności struktury tych molekuł zarówno u bakterii, jak i u wielbłąda czy żubra, co jeszcze wyraźniej ujawnia tajemnice zjawiska zmienności między nimi (Ohta 2000).

Pierwsze pojęcia genetyczne formułowane były w związku z rolniczą i leczniczą działalnością człowieka. Źródła historyczne wskazują, że już przed 6000 lat wykorzystywano rodowody zwierząt w hodowli. Obserwacje dotyczące dziedzicznych cech patologicznych, np. skazy krwotocznej u osobników płci męskiej, znajdują odzwierciedlenie w dokumentach religijnych, szczególnie w Talmudzie (IV–V w.

p.n.e.). Czynnikiem stymulującym do badań nad dziedzicznością i zmiennością był rozwój hodowli i nasiennictwa w drugiej połowie XIX wieku oraz opublikowanie w 1859 roku przez Karola Darwina dzieła *O powstawaniu gatunków drogą doboru naturalnego czyli o utrzymaniu się doskonalszych ras w walce o byt* (Darwin 1859). Darwin jako pierwszy przedstawił pełną teorię ewolucji łącznie z mechanizmem rozwoju świata żywego. Wskazał też na szereg argumentów potwierdzających ten proces. Myśl ewolucyjna Darwina kształtowała się na podstawie obserwacji przyrody, a w głównej mierze zaobserwowanej różnorodności i liczebności gatunków.

Dokonano wielu odkryć, które odegrały doniosłą rolę w rozwoju badań genetycznych. Opisano pośredni podział komórek somatycznych, zwrócono uwagę na chromosomy – jako szczególne struktury jądrowe, stwierdzono niezmiennosc ich liczby i indywidualne cechy morfologiczne w komórkach organizmu określonego gatunku, a także ustalono, że następuje redukcja liczby chromosomów o połowę podczas tworzenia komórek płciowych. Choć zjawisko dziedziczenia obserwowano już w starożytności, hodując m.in. konie arabskie, to do rozwoju genetyki przyczyniła się głównie botanika. W 1865 roku Grzegorz Mendel opublikował pracę *Badania nad mieszańcami u roślin*, w 1901 roku Hugo de Vries pracę nad mutacjami także u roślin, a w 1909 roku Wilhelm Luis Johannsen wyniki badań nad fasolą.

Na przełomie XIX i XX wieku wielu genetyków reprezentowało poglądy antydarwinowskie. Najczęściej powoływano się na badania właśnie Johannsena, ukazujące nieskuteczność działania doboru naturalnego w liniach czystych oraz na mutacje odkryte przez de Vriesa. Johannsen w doświadczeniach przeprowadzonych na fasoli prowadził selekcję pod względem wielkości i ciężaru nasion fasoli, pochodzących z tych samych roślin macierzystych i nasion fasoli „handlowej”, kupionej na targu. Badany materiał wykazywał dużą zmienność pod względem wielkości (nasiona duże, średnie i małe). Johannsen wybrał nasiona duże i małe, miał więc do czynienia ze zróżnicowaną genetycznie populacją, co znaczyło, że nasiona duże różniły się od małych genetycznie i przekazywały te cechy potomstwu. Doświadczenie wykazało, że cecha ciężaru jest dziedziczna, a selekcja prowadzona ze względu na tę cechę skuteczna. W kolejnym doświadczeniu wykorzystał nasiona pochodzące od jednej rośliny, czyli genetycznie jednakowe, a różnice w ich wielkości wynikały wyłącznie z przyczyn środowiskowych. Po wysianiu nasion „handlowych” okazało się, że średnia masa nasion fasoli pochodzącej z nasion dużych i małych nie różniła się od siebie. Johannsen zaobserwował mutacje mające charakter bardzo drobnych, bezkierunkowych zmian. Pojawiały się one przypadkowo i były niezależne od kierunku działania selekcji. Na podstawie tych faktów, ale też innych badań genetycznych, Johannsen sformułował szereg wniosków dotyczących zmienności, dziedziczności i selekcji, wprowadził też pojęcia genotypu i fenotypu. Zjawiska, jakie zaobserwował Johannsen, m.in. selekcja i mutacje, okazały się być jednak zgodne z teorią Darwina (Johannsen 1915).

Z doświadczenia Johannsena wynika, że selekcja w obrębie czystej linii nie jest skuteczna, a modyfikacje dotyczące masy nasion w tym przypadku pochodzą od warunków środowiskowych i zmiany ilościowe nie są dziedziczne. Stąd wniosek, że cechy niekontrolowane genami, a tylko wpływami środowiska, nie dziedziczą się w następnych pokoleniach i nie mogą być przez selekcję utrwalane. Potomstwo największych i najmniejszych nasion jednej linii czystej jest przeciętnie jednakowe (Johannsen 1923).

W 1865 roku Grzegorz Mendel opublikował pracę *Doświadczenia nad mieszaniami u roślin*, w której sformułował podstawowe prawa genetyczne (East 1910). Za oficjalną datę narodzin genetyki uważa się rok 1900, kiedy to zostały ogłoszone wyniki badań Hugo Marie de Vriesa, Carla Ericha Corrensa i Ericha Tschermaka, którzy faktycznie wydobyli z zapomnienia prace Grzegorza Mendla dotyczące prawidłowości dziedziczenia cech u grochu. Badacze ci wyniki obserwacji Mendla oraz swoich własnych ujęli w formę praw zwanych dziś prawami Mendla (East 1916).

Pierwsi przyrodnicy, których nazwano ewolucjonistami, szukali przyczyn zmienności gatunków i praw nią rządzących. Należeli do nich: Jean-Baptiste de Lamarck, Charles Darwin, Hugo de Vries, a wcześniej Karol Linneusz, uważany za twórcę systematyki roślin i zwierząt, tzw. preformiści i epigenetycy z Charlesem Bonnetem i Kacperem Wolffem na czele.

Właściwym twórcą teorii zmienności był właśnie Darwin, który opierał się na własnych spostrzeżeniach dotyczących geograficznego rozmieszczenia gatunków i następnie form kopalnianych w skałach osadowych. Podczas swej podróży w latach 1831–1836 zauważył, że na Archipelagu Galapagos żyją gatunki spokrewnione z gatunkami pochodzącymi z kontynentu oraz że na każdej prawie wyspie tego archipelagu żyją inne gatunki danego rodzaju, mimo jednakowej prawie gleby i klimatu (800 km od brzegu Ameryki Południowej). Darwin stwierdził, że jedne gatunki musiały powstawać już w obrębie drugich, a nawet w już istniejących i podczas swego rozwoju ulegały zmianom. „Nowe gatunki występują jedne po drugich bardzo powoli” – pisał. Wykazał on już wtedy, że problem zmienności gatunków może być wykazany przez obserwacje bezpośrednią (Darwin 1859).

Teoria ewolucji opracowana przez Darwina zakładała, że organizmy żywe ewoluują dzięki rywalizacji poszczególnych osobników. Walkę o pokarm, wodę, a nawet o światło przeżywają jedynie najlepiej przystosowane, najsilniejsze jednostki. Później swoje najmocniejsze i najkorzystniejsze cechy przekazują potomstwu. To prowadzi do rozbieżności cech w następnych pokoleniach, formowania organizmów istotnie różniących się od form wyjściowych i powstawania nowych gatunków (Darwin 2001).

Darwin uważał, że ewolucja jest związana ze zmiennością i dziedzicznością i że zmienność ma charakter ciągły. Według niego, określona odmiana bardzo wolno, drogą doboru drobnych odchyłeń od powszechnego wzorca, przekształca się w gatunek. Te pozornie niewielkie zmiany dają poszczególnym osobnikom przewagę we współzawodnictwie o dostęp do czynników korzystnych życiowo, w szansach na przeżycie i na wydanie potomstwa. Potomstwo dziedziczy te zmiany i zwiększa swoje możliwości konkurencyjne. Utrzymują się w ten sposób odmiany najlepiej przystosowane. Darwin pisał: „dobór naturalny prowadzi do odchylenia się cech od typu. Im bardziej będzie się potomstwo jakiegokolwiek gatunku różnić w budowie i zwyczajach, tym bardziej będzie ono zdolne do zajęcia licznych stanowisk w przyrodzie i wzrastania w liczbę”.

Po raz pierwszy teoria ewolucji została przedstawiona w 1858 roku na łamach „Journal of the Linnean Society”. Współautorem jej był Alfred Russel Wallace, który równocześnie i niezależnie od Darwina opracował podobną teorię, zbierając rzadkie okazy na Borneo. Publikacja przeszła wówczas jednak bez echa. Wielką sławę Darwinowi przyniosła dopiero wydana rok później książka *O powstawaniu*

gatunków drogą doboru naturalnego, czyli zachowanie uprzywilejowanych ras w walce o przeżycie (Darwin 2001).

Alfred Wallace, współtwórca teorii doboru naturalnego, uważał, że postęp drogą właśnie doboru naturalnego jest nieograniczony i jest podstawą nieskończonych modyfikacji form żywych. Dobór jest siłą twórczą, nie tylko utrwała, ale również potęguje zmienność.

Twórcza rola doboru została też podkreślona w 1899 roku przez sir Francis Galtona, kuzyna Darwina w 1889 roku w „Natural Inheritance”, gdzie przedstawił statystyczną rolę dziedziczności. Inny antropolog, Lambert Adolphe Quetelet, belgijski uczony, twierdził, że najwięcej jest ludzi wzrostu średniego i zaproponował symetryczne krzywe zmienności. Można więc mówić o prawie Queteleta i szeregu rozdzielczym. W XIX wieku Galton dał prawo regresji, ale wcześniej, bo w XVII wieku (1693 rok), John Ray – pojęcie gatunku. Jako pierwszy opisał 18 600 gatunków roślin. Teraz już można uważać, że gatunek to zbiór osobników, między którymi może odbywać się swobodna wymiana genów. W 1899 roku Siergiej Korżyński ogłosił pracę o zmienności, szukając form pośrednich, a gdy doznał rozczarowania, analizował formy zmienności skokowej (Mc Clintock 1944). To dało podstawę parę lat później de Vriesowi do definicji mutacji (Vries 1906). Zjawisko skokowego powstawania nowych form nazwał Korżyński heterogenezą, pisał, że „drogą zmienności skokowej powstają rośliny potworkowate, o cechach teratologicznych”. Pod koniec XIX wieku pojawiało się więc dużo danych o zmienności skokowej. W Polsce opisywał je na przykładzie jasnoty białej Marian Raciborski (XIX/XX wiek), jeszcze przed Batesonem i Korżyńskim. W końcu, w latach 1901–1903, Hugo de Vries opublikował *Die Mutationstheorie*. De Vries pisał wtedy, że w krótkim okresie niemożliwe jest eksperymentalne śledzenie procesu powstawania nowych gatunków, co więcej, wymyka się on bezpośredniej obserwacji. Panowało przekonanie, że gatunki organizmów żywych stopniowo ulegają przekształceniom, ale życie jednego człowieka jest zbyt krótkie, by zaobserwować powstawanie jakiegokolwiek nowego gatunku. De Vries próbował jako pierwszy badacz zaobserwować genezę właśnie nowego gatunku. Pragnął wykazać, że gatunki powstają „nie tylko ciągle”, ale i skokowo. Takie skokowe zmiany de Vries nazwał mutacjami i stwierdził, że można je obserwować za życia jednego człowieka. Mutacje te, według de Vriesa, powstają bez pośrednictwa form przejściowych, ale są dość rzadkie, podczas gdy „zwykła zmienność jest ciągła i zachodzi stale”. Do badań eksperymentalnych wybrał on gatunek w postaci wiesiołka *Oenothera lamarckiana* i wśród innych 100 gatunków przeniósł do swego ogrodu w Amsterdamie. Rośliny wiesiołka wykazywały zmienność w odniesieniu do wielu organów, ale też i cyklu wegetacyjnego. W ciągu siedmiu pokoleń de Vries uzyskał ponad 50 tysięcy osobników wiesiołka, a wśród nich było ponad 800 mutantów, więc około 1,5%. O każdej mutacji było jednak wiadomo, że mutanty te powstały z typowej formy *Oenothera lamarckiana*, hodowanej od 1886 roku w ogrodzie doświadczalnym. Z obserwacji tych de Vries wysnuł wnioski, że nowe gatunki powstają ciągle, bez pośrednictwa form przejściowych, a mutacje są bezkierunkowe. Również w świecie zwierząt pojawiły się skokowe zmiany cech, m.in. na farmie Wrighta w Nowej Anglii pojawiła się krótkonoga owca Ancona. W podobny sposób – zmienności skokowej – powstawało bydło bezrogie, kot bez ogona, świnia jednokopytna, albinotyczne formy ptaków i ssaków (biała jaskółka

(1849), biała makolągwa (1850), biała wrona i bażant), mopsowate szczęki u bydła (1790), psów, świń i ryb.

W XIX wieku przestano wierzyć w istnienie zmienności ciągłej jako punktu wyjścia ewolucji i biolodzy zaczęli „przechylać się” na stronę mutacjonizmu. Gdy w 1909 roku Herman Nilsson-Ehle wykrył u pszenicy geny polimeryczne, przyjęto istnienie zmienności nieciągłej, a więc i mutacyjnej, już ostatecznie (Nilsson-Ehle, 1909). William Bateson, uznawany za pioniera nauki o zmienności nieciągłej, twierdził, że „w przyrodzie rzadko występują formy przejściowe, najczęściej zmienność jest nieciągła”. Bateson wprowadził terminy homozygota i heterozygota oraz allelomorfy, a w 1902 roku napisał książkę *Mendelian principles*. W 1906 roku, prowadząc badania nad groszkiem pachnącym, odkrył zjawisko, tzw. przyciągania się genów (Bateson 1909, 1913).

Odkrycia te dały podstawy do ogłoszenia chromosomowej teorii dziedziczności. Po 1910 roku, dzięki muszce owocowej, materiał zwierzęcy zaczął w badaniach genetycznych przeważać, choć to właśnie kukurydza stała się podstawowym gatunkiem badanym u roślin. Gen stał się jednostką bardziej realną, można było określić jego położenie w chromosomie, a Morgan i jego uczniowie opracowali właśnie mapy rozmieszczenia genów w chromosomach (Morgan 1923). Alfred Sturtevant w 1913 roku wykrył wpływ sąsiedztwa genów na efekty działania innych genów w chromosomach, a w 1927 roku Hermann Müller, naświetlając muszkę owocową, dokonał przełomowego odkrycia, wykazując, że promienie rentgenowskie działają mutagenie na organizmy żywe.

Obserwacje Hugo de Vriesa zainspirowały do szerszych badań nad mutacjami: Thomasa Morgana – nad wspomnianą muszką owocową, Erwina Baura – nad wyżlinem (*Antirrhinum maius*) i Charlesa Emmersona – nad kukurydzą. Baur zajął się wyżlinem w 1904 roku. Obserwacjami objął 30 tysięcy osobników. U 10% osobników zaobserwował mutacje, w największym stopniu i najczęściej zmieniała się jedna cecha, ale różnice ujawniały się również w odniesieniu do innych cech. Baur stwierdził, że wśród okazów wyżlinu są linie bardziej lub mniej podatne na mutacje. Wszystkie rośliny były zapylane własnym pyłkiem. Według Baura, niesłuszne było twierdzenie, że mutacje są rzadkim zjawiskiem. Tak może się tylko wydawać, ponieważ drobne zmiany jakościowe są po prostu trudne do zauważenia (Hagemann 2000).

Pierwsze dziesięciolecie XX wieku okazało się wyjątkowo owocne dla rozwoju podstawowych założeń i kierunków genetyki. De Vries sformułował teorię mutacji, Wilhelm Johannsen teorię populacji i czystych linii organizmów, wykazując, że selekcja w obrębie czystych linii jest nieskuteczna, Tomasz Morgan chromosomową teorię dziedziczności, Nikołaj Wawiłow odkrył prawo szeregów homologicznych, Archibald Garrod wskazał na związek między genami i enzymami. Decydujące znaczenie dla rozwoju współczesnej genetyki miało jednak odkrycie DNA, rozszyfrowanie kodu genetycznego oraz opisanie mechanizmu biosyntezy białka. Dokonali tego Francis Harry Compton Crick, angielski biochemik, genetyk i biolog molekularny oraz James Dewey Watson – amerykański genetyk i biolog molekularny. W 1962 roku, wspólnie z Maurice’em Wilkinsem, za „określenie struktury kwasów nukleinowych i ich znaczenia dla przekazywania informacji” zostali uhonorowani Nagrodą Nobla w dziedzinie fizjologii i medycyny.

Kolejny okres w genetyce zaczyna się od około 1941 roku i związany jest z genetyką mikroorganizmów i grzybów. W 1949 roku ukazały się prace amerykańskich genetyków Georga Wellsa Beadle'a i Edwarda Lauriego Tatum na temat wpływu genetycznych uwarunkowań na reakcje biochemiczne w organizmie, prowadzonych na grzybach *Neurospora crassa*. W 1946 roku pojawiła się epokowa praca Joshuy Lederberga o płci u bakterii i rekombinacjach genów u nich. Już wtedy stwierdzono, że rekombinacja może zachodzić nie tylko między genami, ale i w obrębie genów, a więc okazało się, że gen nie jest jednostką niepodzielną. Lederberg, za odkrycie mechanizmów rekombinacji genetycznych u bakterii, otrzymał w 1958 roku, wspólnie z Tatumem i Beadle'em, których badania doprowadziły do stworzenia hipotezy „jeden gen = jeden enzym”, Nagrodę Nobla w dziedzinie fizjologii i medycyny.

Opisanie mechanizmów rządzących doborem naturalnym na poziomie działania genów umocniło miejsce teorii Darwina w naukach biologicznych i było niezwykle doniosłym osiągnięciem tamtych czasów. Julian Sorell Huxley, angielski biolog ewolucjonista, takie połączenie teorii ewolucji z genetyką nazwał „współczesną syntezą” (Huxley 1942). Obecnie, w XXI wieku, dzięki możliwościom jakie daje współczesna epigenetyka, możliwe stało się badanie całych genomów, a nawet grup genomów, co umożliwiło poznanie nowych faktów dotyczących ewolucji. Wciąż wiele zagadek ewolucyjnych pozostaje nierozwiązanych.

Literatura

- Bateson W., 1909, *Mendel's principles of heredity*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Bateson W., 1913, *Problems of genetics*, Yale University Press, New Haven.
- Cannon W.B., 1929, *Organization for physiological homeostasis*, *Physiological Reviews*, 9, s. 399–404.
- Darwin C., 1859, *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favored races in the struggle for life*, John Murray, London.
- Darwin K., 2001, *O powstawaniu gatunków drogą doboru naturalnego, czyli o utrzymaniu się doskonalszych ras w walce o byt*, tłum. z ang. S. Dickstein, J. Nusbaum, Warszawa.
- Dietrich M.R., 1994, *The origins of the neutral theory of molecular evolution*, *Journal of the History of Biology*, 27, 1, s. 21–59.
- East E.M., 1910, *A Mendelian interpretation of variation that is apparently continuous*, *American Naturalist*, 44, s. 65–82.
- East E.M., 1916, *Inheritance in crosses between *Nicotiana glauca* and *Nicotiana glauca**, *Genetics*, 1, s. 311–333.
- Głowacki Ł., 2009, *Co to jest „prawdziwa różnorodność” oraz partycjonowanie różnorodności?* *Kosmos*, 58, s. 97–111.
- Hagemann R., 2000, *Erwin Baur or Carl Correns: who really created the theory of plastid inheritance?* *Journal of Heredity*, 91, s. 435–440.
- Huxley J., 1942, *Evolution: The modern synthesis*, Allen and Unwin, London.
- Johannsen W.L., 1915, *Experimentale Grundlagen der Deszendenzlehre. Variabilität, Vererbung, Kreuzung, Mutation*, *Kultur der Gegenwart III*, 4, 4, s. 497–660.
- Johannsen W.L., 1923, *Some remarks about units in heredity*, *Hereditas*, 4, s. 133–141.

- Kołątaj A., 1980, *Genetyka fizjologiczna zwierząt*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Kołątaj A., 1993, *Pochwała stresu*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Kielcach, Kielce.
- Kołątaj A., Krzanowska H., Wolański N., 1973, *Biologiczne podstawy heterozji*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Mc Clintock B., 1944, *The relation of homozygous deficiencies to mutations and allelic series in maize*, *Genetics*, 29, s. 478–485.
- Morgan T.H., 1923, *The bearing of Mendelism on the origin of species*, *Scientific Monthly*, 16, s. 237–247.
- Nilsson-Ehle H., 1909, *Kreuzunguntersuchungen an Hafer und Weizen*, *Lunds Universitets Arsskrift*, 2, 5, s. 2–8.
- Ohta T., 2000, *Mechanisms of molecular evolution*, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B – Biological Sciences*, 355, 1403, s. 1623–1626.
- Ohta T., Gillespie J.H., 1996, *Development of neutral and nearly neutral theories*, *Theoretical Population Biology*, 49, 2, s. 128–142.
- Stebbins L. Ayala F.J., 1985, *The evolution of Darwinism*, *Scientific American*, 253, 1, s. 72–82.
- Trzebski A., 2004, *Regulacja czynności fizjologicznych*, [w:] W.Z. Traczyk, A. Trzebski (red.), *Fizjologia człowieka*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, s. 1–21.
- Vries H. de, 1906, *Species and varieties, their origin by mutation*, Open Court, Chicago.

Variability as the basic law of nature

Abstract

Biological evolution is the change over time in one or more inherited traits found in populations of organisms. Two processes are generally distinguished as common causes of evolution. One is natural selection, a process in which there is differential survival and reproduction of organisms that differ in one or more inherited traits. Another cause is genetic drift, a process in which there are random changes to the proportions of two or more inherited traits within a population. An individual organism's phenotype results from both its genotype and the influence from the environment it has lived in. A substantial part of the variation in phenotypes in a population is caused by the differences between their genotypes. Variation disappears when a new allele reaches the point of fixation – when it either disappears from the population or replaces the ancestral allele entirely. Speciation stretches back over 3.5 billion years, during which life has existed on earth. It is thought to have occurred in multiple ways, such as slowly, steadily and gradually over time, or rapidly from one long static state to another. Evolution has led to the diversification of all living organisms, which are described by Charles Darwin as “endless forms most beautiful and most wonderful”.

Bożena Witek

Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy im. Jana Kochanowskiego w Kielcach

Adam Kołątaj

Instytut Genetyki w Jastrzębcu

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia ad Didacticam Biologiae Pertinentia II (2012)

Alina Krzemińska

Zmienność form morfologicznych w ujęciu ewolucyjnym na przykładzie trąbowców (Proboscidea)

Wprowadzenie

Różnorodność organizmów zależna jest zarówno od historii ewolucyjnej poszczególnych grup, jak i od czynników ekologicznych. W niniejszym artykule proponuję prześledzenie ewolucji jednej grupy ssaków – trąbowców (Proboscidea). Jest to bardzo wdzięczna grupa, ze względu na wyraźnie zaznaczające się trendy ewolucyjne, związane ze zmianami środowiska i pożywienia, jak i zróżnicowanie oraz specjalizacje zwierząt należących do tej grupy, zaznaczające się m.in. w różnorodności form siekaczy. Do trąbowców należą największe obecnie lądowe zwierzęta – słonie, jednak z kopalnych znalezisk wiemy, że w grupie tej występowało również wiele form skarłowaciałych, które żyły na wyspach.

Niejako przy okazji badania ewolucji tej grupy zwracam również uwagę na dodatkowe zagadnienie, a mianowicie skąd pochodzą informacje o zwierzętach, których już nie ma. Znaczna większość trąbowców to zwierzęta wymarłe. Spośród niegdyś prężnie rozwijającej się grupy nadal możemy obserwować jedynie dwa (lub trzy) współcześnie występujące gatunki, zasiedlające ciepłe tereny Afryki i południowej Azji. Jeszcze w plejstocenie żyło więcej gatunków trąbowców. W okresie paleolitu nasi przodkowie mieli styczność, a nawet polowali, na trzy gatunki zasiedlające znacznie chłodniejsze obszary Eurazji i Ameryki Północnej – mamuta włochatego (*Mammuthus primigenius*), mamuta kolumbijskiego (*Mammuthus columbi*) i mastodonta amerykańskiego (*Mammuth americanum*).

Ewolucja trąbowców (Proboscidea)

Podstawowych informacji na temat ewolucji zwierząt dostarczają szczątki kostne. Na podstawie badań morfologicznych i morfometrycznych oraz datowań szczątków odtworzono filogenetyczne powiązania pomiędzy poszczególnymi grupami. Kopalne szczątki kostne dostarczają również informacji na temat środowiska życia oraz rodzaju pożywienia poszczególnych gatunków. Najbliżsi współcześnie żyjący krewni trąbowców to żyjące w wodach syreny (*Sirenia*), natomiast trochę dalszymi krewnymi obu grup są niewielkie (wielkości zająca) góralki (*Hyracoidea*).

Rząd trąbowców obejmuje około 175 opisanych gatunków i podgatunków, należących do 42 rzędów i 10 rodzin (Shoshani, Tassy 2005). Spośród nich współcześnie

spotkać można jedynie słonia afrykańskiego (*Loxodonta africana*) i słonia indyjskiego (*Elephas maximus*), a jeszcze 4 000 lat temu żył mamut włochaty (*Mammuthus primigenius*). Obecnie niektórzy naukowcy wyróżniają jeszcze jeden gatunek – afrykańskiego słonia leśnego (*Loxodonta cyclotis*) (np. Shoshani, Tassy 2005).

Wyginięcie dinozaurów (około 65 mln lat temu) spowodowało zwolnienie wielu niszek ekologicznych – nie było już dużych zwinnych drapieżników ani stad roślinożerców, zniknęły latające pterozaurowy i olbrzymie gady pływające w morzach. Dotychczas małe i prymitywne ssaki zaczęły się szybko rozwijać i różnicować, zajmując kolejne środowiska. Początki ewolucji trąbowców sięgają właśnie tego okresu – **paleocenu** (65–55,8 mln lat temu) – i związane są z kontynentem afrykańskim. Pierwszymi znanymi przedstawicielami tego rzędu ssaków są: małe, wielkości psa, prawdopodobnie ziemnowodne *Phosphatherium escuilliei* (Gheerbrant i in. 1996) oraz osiągające wielkość tapira *Daouitherium rebouli* (Gheerbrant i in. 2002). Szczątki tych zwierząt odkryto w Maroku, pochodzą one z tej samej warstwy datowanej na przełom paleocenu i eocenu.

Eoceńskie trąbowce (55,8 – 33,9 mln lat temu), takie jak *Moeritherium* (ryc. 1), były zwierzętami wielkości dzika, również prowadzącymi ziemnowodny tryb życia (Sukumar 2003). Posiadały wydłużone siekacze, ale nie miały jeszcze trąby, a jedynie zgrubiałą górną wargę. W eocenie pojawiają się również większe, osiągające 1–1,5 m wysokości, *Numidotherium* i *Arcanotherium* (Delmer 2009), o krótkim ryju i lekko wydłużonych siekaczach żuchwy, wyglądem przypominające tapira. Zwierzęta te prowadziły bardziej naziemny tryb życia, żywiąc się liśćmi i gałązkami. Pod koniec eocenu pojawili się pierwsi przedstawiciele linii ewolucyjnej prowadzącej do *Deinotherium* – *Barytherium* (Gheerbrant, Tassy 2009). Niektóre z nich były rozmiarów *Moeritherium*, jednak w Egipcie odkryto szczątki *Barytherium grave* o rozmiarze współczesnych słońi. Zwierzęta te miały już trąbę.

Trąbowce opuszczały Afrykę kilka razy i rozprzestrzeniły się na cały świat, zasiedlając różnorodne środowiska, nie dotarły jedynie do Australii i na Antarktydę. Pięć rodzajów eoceńskich trąbowców (*Anthracobune*, *Ishatherium*, *Jozaria*, *Lammidhanian* i *Pilgrimella*) odkryto w Pakistanie i północno-zachodnich Indiach (Gingerich 1977, Gingerich i in. 1990; Wells, Gingerich 1983). Znaleźiska te potwierdzają, że pierwsze wyjście z Afryki nastąpiło bardzo wcześnie, na początku ewolucji tej grupy.

Już wśród wczesnych trąbowców zaznaczają się trendy ewolucyjne charakterystyczne dla całego rzędu (Shoshani 1998). Zwierzęta te stawały się coraz większe, a ich kończyny coraz dłuższe. Ryj, czyli górna warga, przekształcił się w trąbę. Specjalizacja pokarmowa spowodowała utratę kłów i zębów przedtrzonowych. Siekacze znacznie się powiększyły i wydłużyły w różnych grupach trąbowców, przyjmując różnorodne formy (ryc. 1–9) – mogły występować w jednej lub w obu szczękach, bywały różnej długości, zakrzywione w górę, w dół, lub proste, u niektórych przyjmowały kształt łopat, a u innych postać wydłużonych ciosów, które u mamutów przybierały kształt silnie zakrzywiony, podczas gdy np. *Anancus* miał ciosy bardzo długie i proste (Hautier i in. 2009, ryc. 5). Zęby trzonowe stopniowo przekształciły się w duże zęby złożone z równoległe ułożonych wąskich płytek i doskonale nadawały się do rozdrabniania listków i gałązek oraz trawy. Stopniowo zmienił się również sposób wymiany zębów trzonowych. U wielu przedstawicieli tej grupy, np. u słońi i mamutów, zęby te przesuwają się powoli do przodu i do góry,

a w trakcie użytkowania korony ich są ścierane. W ten sposób zwierzęta te wymieniały i wymieniają zęby sześć razy w życiu. Najwyższy stopień specjalizacji zębów trzonowych widoczny jest u plejstocenijskich mamutów, u których bardzo wysokie korony trzonowców i liczne, wąskie, poprzeczne płytki działały jak tarka, umożliwiając tym zwierzętom rozdrabnianie twardej trawy. Takie zmiany budowy zębów pociągnęły za sobą zmiany w budowie czaszki, która znacznie zwiększyła swoje rozmiary. Szyja stała się krótka, a mięśnie karku bardzo silne. W czaszce pojawiły się kości pneumatyczne, zawierające komory powietrzne, co częściowo zmniejsza ciężar czaszki.

Taki kierunek ewolucyjny spowodowany był zmianami klimatycznymi, a tym samym zmianami roślinności. W eocenie klimat zaczął się ochładzać, co spowodowało zmniejszenie obszarów mokradeł. Pojawiły się również sezonowe zmiany klimatu. Szczególnie w porze chłodnej rośliny stały się suchsze i twardsze, stanowiąc teraz mniej wartościowe i trudniejsze do przeżucia pożywienie. Roślinożerne zwierzęta przystosowywały się do tych zmian poprzez dokładniejsze rozdrabnianie pożywienia (specjalizacja zębów) oraz spożywanie większych ilości pokarmu i lepsze trawienie (przystosowanie układu pokarmowego i zwiększenie rozmiarów ciała).

W **oligocenie** (33,9–23,0 mln lat temu) klimat nadal się ochładzał. Z tego okresu znana jest np. *Phiomia* (ryc. 2). Zwierzę to osiągało około 2,5 m wysokości w kłębie, siekacze szczęki były wydłużone w postaci ciosów, natomiast siekacze żuchwy były również wydłużone, ale spłaszczone. W oligocenie obecne już były również dwie linie paleomastodontów: *Mammutidae* oraz *Gomphotheriidae*.

Dopiero **miocen** (23,0 – 5,3 mln lat temu) ponownie przyniósł ocieplenie klimatu, a trąbowce zaczęły się różnicować. Jedną z grup trąbowców – *Deinotheriidae* – zwraca szczególną uwagę (Lister, Bahn 2007, Huttunen, Göhlich 2002, Koufos i wsp. 2003, Calandra i wsp. 2008, Garevski, Markov 2011). Były to duże zwierzęta przypominające słonie – *Deinotherium giganteum* osiągał 4 m wysokości (szczątki największych osobników zaliczane są przez niektórych badaczy do innego gatunku: *Deinotherium gigantissimum*; ryc. 3). Miały charakterystyczne ciosy wyrastające z żuchwy i zakrzywione w dół. W szczęce górnej nie posiadały ciosów. Wyewoluowały w Afryce, a stamtąd rozprzestrzeniły się na Eurazję, nie dotarły jednak do Ameryki. Zwierzęta te przetrwały prawie niezmienione aż do plejstocenu.

Mammutidae rozprzestrzeniły się z Afryki na Eurazję i Amerykę Północną, gdzie pod koniec miocenu pojawił się amerykański mastodont (*Mammut americanum*). Gatunek ten przetrwał do końca plejstocenu, wymarł dopiero 11 500 lat temu (Lister, Bahn 2007), tak więc przez długi czas w Ameryce występował równocześnie z mamutem włochatym. Amerykański mastodont był mniejszy od mamuta włochatego – osiągał 2,4–3,0 m wysokości w kłębie. Jego grzbiet był prosty, a zęby przystosowane do gryzienia miękkich gałązek i liści.

Gomphotheridae również wyewoluowały w Afryce, skąd rozprzestrzeniły się na wszystkie kontynenty oprócz Australii i Antarktydy. Zwierzęta należące do tej grupy były bardzo zróżnicowane. *Gomphotherium* osiągało rozmiary współczesnego słonia indyjskiego, miało dwie pary ciosów – w górnej i dolnej szczęce – oraz krótką trąbę. Spokrewnione ze sobą *Platybelodon* i *Amebelodon* (ryc. 4) miały wystające, jednak stosunkowo krótkie ciosy górnej szczęki, żuchwa była mocno wydłużona, a dolne siekacze – duże i spłaszczone, tworząc rodzaj długiej łopaty wystającej z żuchwy (Lister,

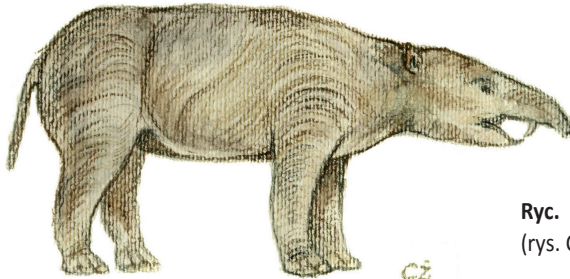
Bahn 2007). Zwierzęta te żyły prawdopodobnie na terenach podmokłych, wykorzystując tak wyspecjalizowane zęby do kopania w poszukiwaniu pożywienia.

W późnym miocenie klimat zaczął się ponownie ochładzać, co spowodowało rozprzestrzenianie się obszarów trawiastych. Zmiana ta miała zasadnicze znaczenie dla zwierząt roślinożernych przystosowanych do delikatniejszego pożywienia, jakim są liście, gałązki i owoce drzew. Trawa jest doskonale przystosowana do chłodnego klimatu. Jej listki są dużo twardsze niż liście drzew, a ponadto posiada ona zdolność ciągłego odrastania. Jednak z punktu widzenia roślinożerców jest ona dużo trudniejsza do przeżucia i strawienia, przez co staje się pokarmem mniej wartościowym i wymaga od zwierzęcia specjalnych przystosowań. Żucie trawy powoduje intensywne ścieranie koron zębów. Ekspansja obszarów trawiastych w znaczący sposób wpłynęła na ewolucję roślinożerców, takich jak koniowate, gryzonie czy trąbowce, które musiały przystosować się do nowego pożywienia oraz życia na otwartych przestrzeniach. Zęby trąbowców specjalizowały się tak, że ich korona stawała się wyższa, a budowa coraz bardziej złożona i mocniejsza.

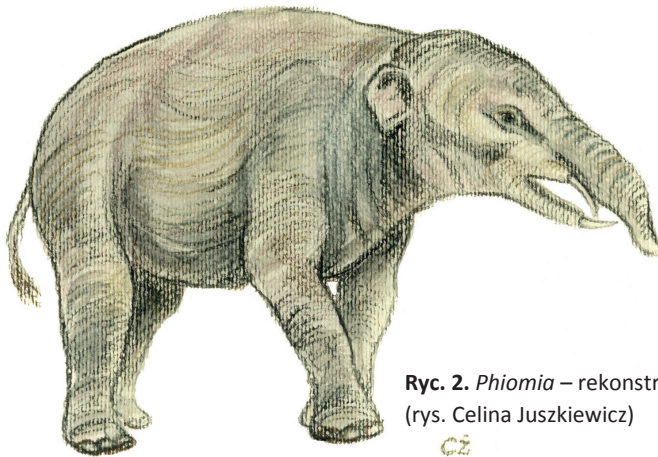
Bezpośrednie pochodzenie mamutów i współczesnych słońi nie jest jasne. Dawniej za przodków słońi uważano *Stegodontidae*, które wyewoluowały z *Gomphotheriidae*. Obecnie rodziny *Stegodontidae* i *Elephantidae* uznawane są za grupy siostrzane, a za przodków słońi uważa się zwierzęta należące do podrodziny *Stegotrabelodontinae*, należącej do *Elephantidae* (dawniej umieszczana w obrębie *Stegodontidae*) (Shoshani, Tassy 2005). Druga podrodzina słoniowatych – *Elephantinae* – obejmuje rodzaje: *Primelephas* (wymarły) (ryc. 6), *Palaeoloxodon* (rodzaj wymarły, którego przedstawicielem jest słoń leśny – *Palaeoloxodon antiquus*), *Loxodonta* (którego przedstawicielem jest współczesny słoń afrykański – *L. africana*, ryc. 7), *Elephas* (którego przedstawicielem jest współczesny słoń indyjski – *E. maximus*, ryc. 8) oraz *Mammuthus* (rodzaj wymarły, którego przedstawicielem jest np. mamut włochaty – *M. primigenius*, ryc. 9).

Na początku **pliocenu** (5,3–1,8 mln lat temu) w Afryce rozdzieliły się linie ewolucyjne *Loxodonta*, *Elephas* i *Mammuthus*. Najstarszy przedstawiciel mamutów, *Mammuthus subplanifrons*, występował około 5–4 mln lat temu we wschodniej i południowej Afryce (Lister, Bahn 2007). Zwierzę to żyło w klimacie tropikalnym i miało charakterystyczne dla mamutów spiralnie skręcone ciosy oraz spadzistą linię grzbietu. Jego potomkiem był występujący w północnej Afryce *Mammuthus africanavus*. Jeden z tych dwóch gatunków, prawdopodobnie *Mammuthus subplanifrons*, dał początek linii, która wyemigrowała z Afryki przez Azję Mniejszą i Turcję, i zawędrowała do Europy. Ich potomek, słabo poznany *Mammuthus rumanus*, pojawił się w południowej Europie około 3 mln lat temu. Dużo lepiej poznany został kolejny europejski gatunek mamuta – *Mammuthus meridionalis* (mamut południowy). Wyglądem przypominał współczesne słońie, jednak był od nich dużo większy (osiągał 4 m wysokości w kłębie). Przystosowany do umiarkowanego klimatu, prawdopodobnie trochę cieplejszego niż dzisiaj, nie posiadał jeszcze gęstego futra. Jego ciosy były już delikatnie spiralnie skręcone, jednak nie tak silnie jak u mamuta włochatego. Żywił się głównie liśćmi, gałązkami, owocami i orzechami drzew. Gatunek ten wymarł około 750 000 lat temu.

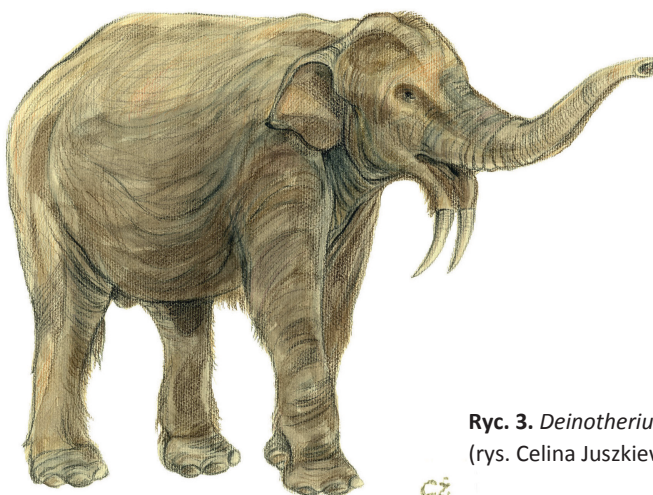
W **plejstocenie** (1,8–0,01 mln lat temu) klimat nadal się ochładzał. Około 2,0–1,5 mln lat temu w północno-wschodniej Eurazji pojawił się potomek



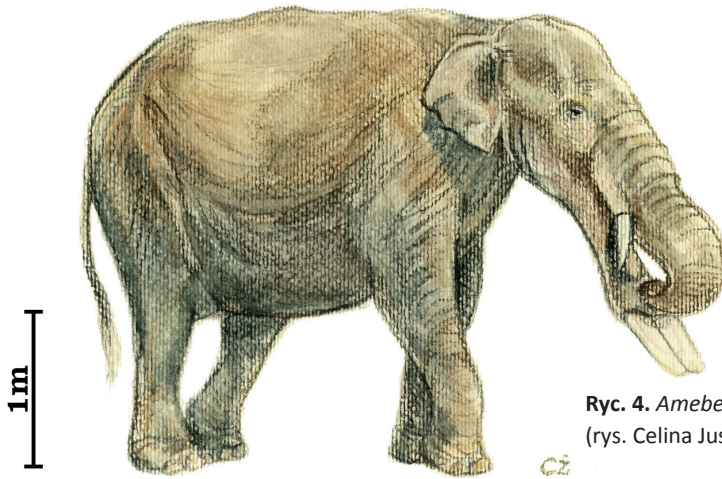
Ryc. 1. *Moeritherium* – rekonstrukcja
(rys. Celina Juskiewicz)



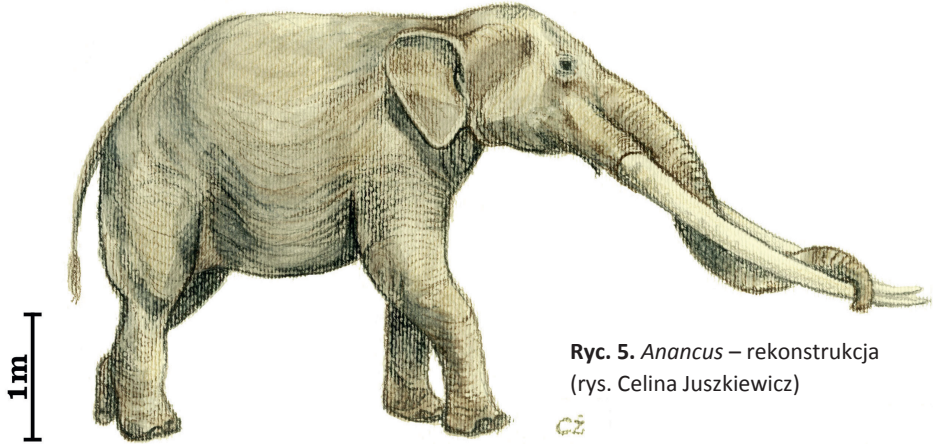
Ryc. 2. *Phiomia* – rekonstrukcja
(rys. Celina Juskiewicz)



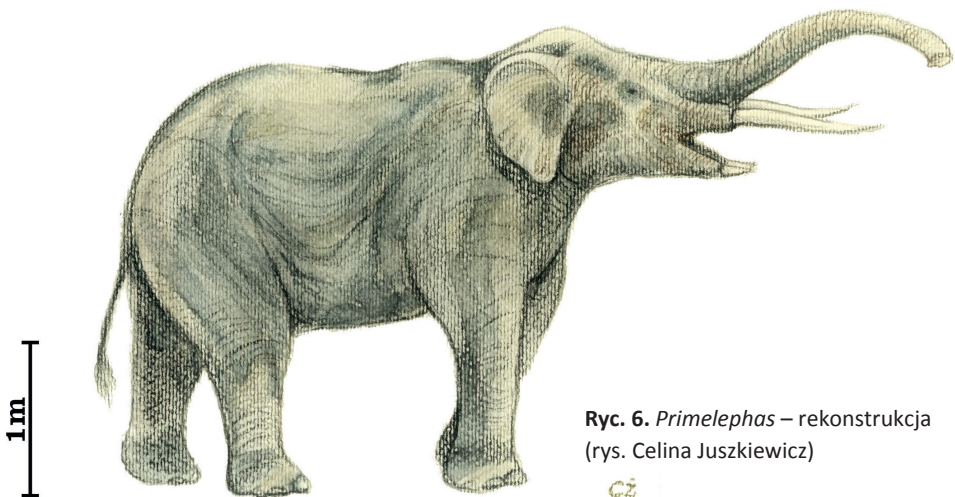
Ryc. 3. *Deinotherium* – rekonstrukcja
(rys. Celina Juskiewicz)



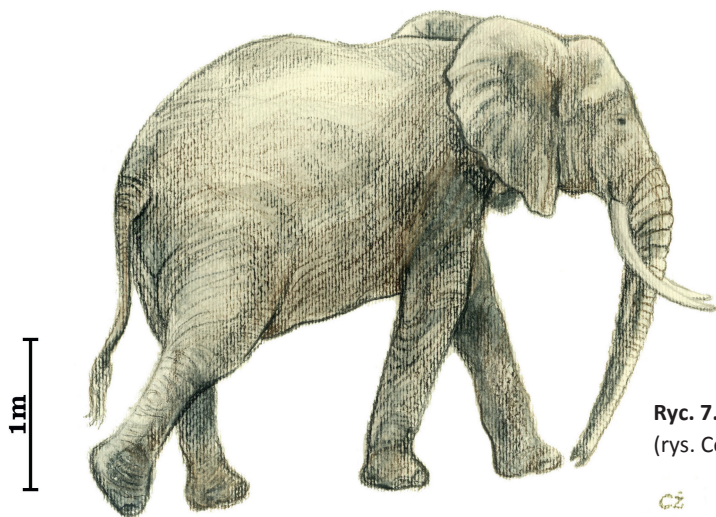
Ryc. 4. *Amebelodon* – rekonstrukcja
(rys. Celina Juskiewicz)



Ryc. 5. *Anancus* – rekonstrukcja
(rys. Celina Juskiewicz)

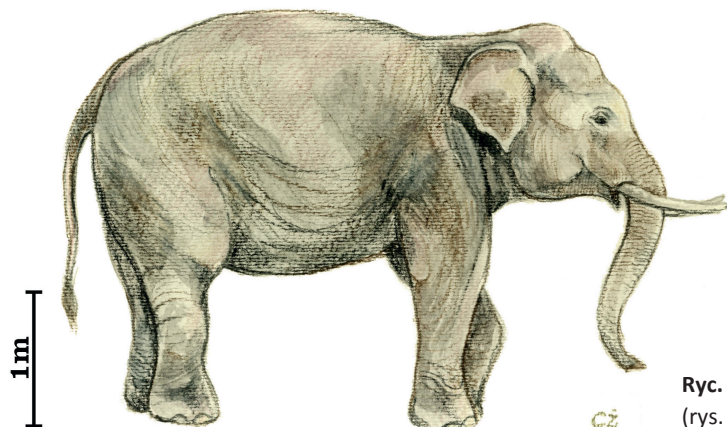


Ryc. 6. *Primelephas* – rekonstrukcja
(rys. Celina Juskiewicz)



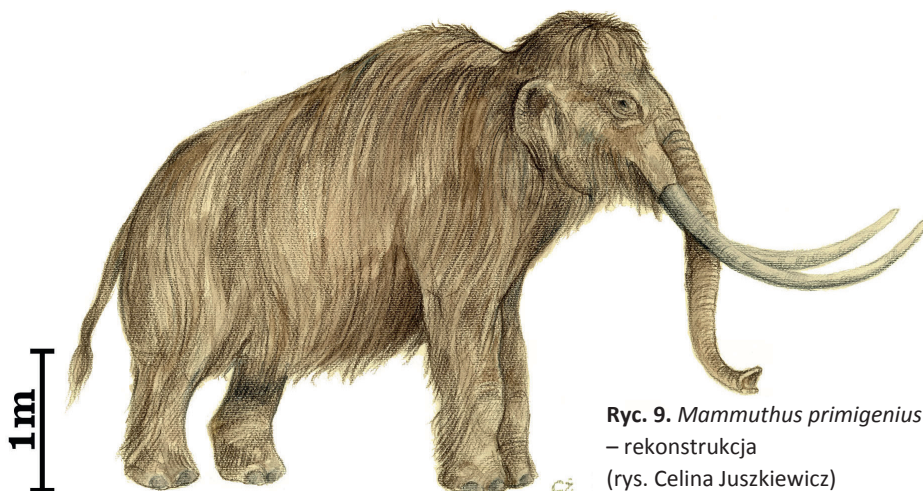
Ryc. 7. *Loxodonta africana*
(rys. Celina Juskiewicz)

Cz



Ryc. 8. *Elephas maximus*
(rys. Celina Juskiewicz)

Cz



Ryc. 9. *Mammuthus primigenius*
– rekonstrukcja
(rys. Celina Juskiewicz)

Cz

M. meridionalis: *Mammuthus trogontherii* (mamut stepowy). *M. trogontherii* przywędrował do Europy 750 000 lat temu, zastępując tam swojego przodka. Jego zęby miały więcej szkliwa i wyższe korony niż u *M. meridionalis*, co stanowiło przystosowanie do żywienia się trawą. Był to największy z mamutów, osiągał 4,3 m wysokości w kłębie. Do podobnych rozmiarów dorastał (prawdopodobnie spokrewniony ze słoniem indyjskim) *Palaeoloxodon antiquus*, żyjący w tym samym okresie w cieplejszych i bardziej zalesionych regionach. Zasięgi obu gatunków częściowo się pokrywały. Około 1,5 mln lat temu *M. trogontherii* przedostał się przez Beringię do Ameryki Północnej. Jego potomkiem w tamtym rejonie był *Mammuthus columbi*, który osiągał 4 m wysokości w kłębie (Lister i wsp. 2005).

W Eurazji *M. trogontherii* stał się przodkiem mamuta włochatego, *Mammuthus primigenius*, który pojawił się około 750 000 lat temu w północno-wschodniej Syberii, a do Europy przywędrował około 150 000 lat temu. Zasiadła Europę i Azję, aż po dzisiejszą północną Mongolię, północno-wschodnie Chiny i Koreę Północną (Kahlke 1999). To właśnie mamut włochaty, jako najlepiej poznany, stał się symbolem epoki lodowcowej. Zwierzę to osiągało 2,75–3,4 m wysokości w kłębie i było doskonale przystosowane do zimnego klimatu, otwartych przestrzeni i żywienia się trawą. Około 100 000 lat temu mamut włochaty przedostał się do Ameryki Północnej, jego szczątki spotykane są w rejonie Alaski, Kanady i północnej części Stanów Zjednoczonych. Mamuty wymarły pomiędzy 14 000 a 10 000 lat temu. Jedynie na Wyspie Wrangla skarłowaciałe mamuty włochate można było spotkać jeszcze 4 000 lat temu (Lister, Bahn 2007, Vartanyan i wsp. 1993, Lister 1993).

Karłowate trąbowce na wyspach

Kilka razy niezależnie w swojej historii trąbowce przedostawały się na wyspy, gdzie w wyniku przystosowania do specyficznych wyspowych warunków rozmiary ich ciała znacznie malały (Palombo 2007, Palombo, Ferretti 2005). Do najstarszych przedstawicieli skarłowaciałych trąbowców należy mioceniński *Stegolophodon* z Japonii (Saegusa 2008). Z Jawy (Indonezja) znany jest karłowaty *Stegodon* (Aziz, Bergh 1995). Do karłowatych gatunków należy również np. *Mammuthus exilis*, zasiedlający wyspy w pobliżu Płw. Kalifornijskiego (Lister, Bahn 2007) pomiędzy 50 000 a 13 000 lat temu. Osiągał on około 1,2–1,5 m wysokości w kłębie. Karłowate gatunki (wywodzące się z różnych linii ewolucyjnych) znane są też z wysp Morza Śródziemnego (Ferretti 2008, Poulakakis i wsp. 2002). Należy do nich najmniejszy znany skarłowaciały gatunek słoni (*Elephas falconeri*), osiągający zaledwie 0,9 m wysokości w kłębie (Raia i wsp. 2003), a więc wielkość dużego dzika.

Dodatkowe źródła wiedzy o życiu i wyglądzie wymarłych gatunków

Oczywiście dane paleontologiczne są niekompletne, co powoduje, że posiadamy jedynie szczątkowe informacje na temat gatunków, które badamy. Nie jesteśmy też w stanie uniknąć błędów w interpretacji wyników. Podczas gdy w dużym stopniu możemy poznać ewolucję i środowisko życia wymarłych zwierząt (choć i tutaj nie unikniemy błędów), to jednak nadal niewiele wiemy o ich wyglądzie i zachowaniach społecznych. W przypadku trąbowców tego typu informacje jesteśmy w stanie uzyskać jedynie częściowo i tylko w odniesieniu do gatunków, które

wymarły niedawno, takich jak mamut włochaty. Z pomocą przychodzą tutaj zarówno porównania z gatunkami współczesnymi, jak i badania prowadzone na osobnikach zachowanych w wiecznej zmarzlinie, a nawet paleolityczne figurki i rysunki naskalne.

Najlepiej poznanym gatunkiem jest mamut włochaty. Zwierzę to było blisko spokrewnione ze współczesnymi słońmi i osiągało podobne do nich rozmiary. Dlatego też gatunki te są często porównywane, a informacje uzyskane na gatunkach współczesnych odnoszone są do mamuta. Zadaniem badaczy jest weryfikowanie tych założeń. Na podstawie szczątków kostnych oraz porównań ze słońmi wiemy np., że u mamuta włochatego wyraźnie zaznaczał się dymorfizm płciowy. Samce rosły szybciej i dłużej od samic, były więc od nich zdecydowanie większe i miały o wiele większe ciosy (Haynes 1991). Znaleźiska zamrożonych mamutów włochatych (Lister, Bahn 2007), a także rysunki naskalne wykonane przez paleolitycznych „łowców mamutów” wskazują, że pokryte one były gęstym długim brązowym futrem (włosy osiągały długość 30 cm na grzbiecie i aż 90 cm na brzuchu), miały małe owłosione uszy i krótki ogon. Trąba zakończona była dwoma chwytynymi wyrostkami – krótszym i dłuższym.

Struktura stada mamutów była prawdopodobnie bardzo zbliżona do tej u współczesnych słoni (Haynes 1991, Lister, Bahn 2007, Maschenko 2002). Stado słoni składa się z kilku, a nawet kilkudziesięciu osobników: dorosłych samic oraz ich młodych w różnym wieku i różnej płci. Przewodniczką stada zostaje najstarsza i najbardziej doświadczona samica. Podobnie jak u współczesnych słoni, samce mamutów osiągały dojrzałość płciową w wieku 13–15 lat. Był to okres, w którym opuszczały stado. Od tego momentu wędrowały samotnie lub w małych grupach samców o podobnych rozmiarach ciała i zbliżonej sile, złożonych z trzech do pięciu osobników. Podobieństwo takiej struktury stada do tej u mamutów potwierdza znalezisko ze stanowiska Sevsk (Rosja), gdzie odkryto szczątki stada mamutów, które zginęło razem w trakcie powodzi (Maschenko 2002). Stado to miało taką samą strukturę jak stado współczesnych słoni.

Skład diety mamutów rekonstruowany jest na podstawie dowodów pośrednich i bezpośrednich. Do pierwszych należy analiza gatunków roślin, które występowały na terenach zasiedlanych przez mamuty, oparta m.in. na analizach pyłkowych osadów (Mamakowa 2003). Dowody bezpośrednie stanowią szczątki roślinne wydobyte z odchodów i układu pokarmowego kilku osobników mamutów zachowanych w wiecznej zmarzlinie Syberii (Haynes 1991, Lister, Bahn 2007, Mol i wsp. 2003, Mol i wsp. 2006a, b, van Geel i wsp. 2008). Na tej podstawie stwierdzono, że dieta mamutów zdominowana była przez trawy i turzyce. Zwierzęta te spożywały również dużo roślin zielnych, krzewów oraz mchów.

Badania DNA

Badania DNA wymarłych zwierząt przyciągają szczególną uwagę. W filmie Spielberga *Park Jurajski* wydobyto z materiałów kopalnych DNA dinozaurów i powołano te dawno już wymarłe zwierzęta do życia. Idea ta rozbudziła wyobraźnię wielu osób. Nici DNA są bardzo delikatne i łatwo ulegają uszkodzeniom, dlatego też zrekonstruowanie genomu wymarłego zwierzęcia jest niezwykle trudne. Technologia pozwalająca uzyskać i analizować małe fragmenty DNA została opracowana

w latach 80. XX wieku. Dzisiaj jest już możliwe uzyskanie DNA z kości i zębów zachowanych w ziemi. W przypadku mamutów dysponujemy jednak nie tylko szczątkami kostnymi zachowanymi w ziemi, ale również zamrożonymi szczątkami zwierząt zachowanymi w wiecznej zmarzlinie Syberii i Alaski (Lister, Bahn 2007). Są to fragmenty ciał tych zwierząt, a czasami całe zwierzęta, które zachowały się wraz z włosami, skórą, mięśniami, organami wewnętrznymi i szpikiem kostnym – wszystko, o czym może marzyć naukowiec pragnący wydobyć DNA dawno wymarłego zwierzęcia. Oczywiście w tak zachowanych szczątkach DNA również ulega uszkodzeniom, jednak szansa uzyskania bardziej kompletnego materiału jest większa.

Po raz pierwszy DNA mamuta wyizolowano w 1985 roku, a w 1994 roku dwa niezależne zespoły uzyskały krótkie sekwencje mitochondrialnego DNA mamutów (Hagelberg i wsp. 1994, Höss i wsp. 1994). Najdłuższa sekwencja, jaką udało się wtedy uzyskać, to fragment genu cytochromu *b* o długości 375 par zasad. Dwa osobniki, od których pochodził ten DNA, miały co najmniej 47 000 lat, a jeden z nich liczył ponad 150 000 lat. Ponieważ są to zbyt stare szczątki, by można je było datować metodą radiowęglową (AMS), oszacowanie ich wieku oparto na szczątkach wymarłego leminga (*Dicrostonyx simplicior*), pochodzących z tej samej warstwy. Tamte i kolejne badania (Debruyne i wsp. 2003) DNA wciąż nie przynosiły jednoznacznej odpowiedzi na jedno nurtujące naukowców pytanie – czy mamut był bliżej spokrewniony ze słoniem afrykańskim czy z indyjskim? W 2006 roku udało się zmapować cały mitochondrialny DNA mamuta (ponad 16 000 par zasad) (Krause i wsp. 2006, Gee 2006). Dzięki temu możliwe było stwierdzenie, że linia ewolucyjna prowadząca do mamutów i współczesnych słoni oddzieliła się około 6 mln lat temu. Z badań mtDNA wynika, że najpierw oddzielili się przodkowie słoni afrykańskich, a niedługo potem, zaledwie około 440 000 lat później, rozdzieliły się linie mamutów i słoni indyjskich. Tak więc mamuty są trochę bliżej spokrewnione ze słoniami indyjskimi niż z afrykańskimi. W listopadzie 2008 roku ukazał się artykuł dokumentujący zsekwencjonowanie 3,3 miliardów par zasad jądrowego DNA mamuta (całkowitą długość oszacowano na około 4,7 miliardów par zasad) (Miller i wsp. 2008, Hofreiter 2008). Badania te potwierdziły bliższe pokrewieństwo mamutów ze słoniami indyjskimi oraz krótki czas pomiędzy oddzieleniem się linii prowadzącej do słoni afrykańskich a rozdzieleniem się mamutów od linii prowadzącej do słoni indyjskich.

Badania genetyczne mogą nam dostarczyć wiele nowych informacji na temat wyglądu, życia, ewolucji i wymarcia tych zwierząt (Lister, Bahn 2007). Po wyizolowaniu z DNA mamutów genu, który u żywych ssaków odpowiada za kolor sierści stwierdzono, że jego zmienność wpływała na aktywność produkcji pigmentu, a co za tym idzie na ciemniejsze lub jaśniejsze ubarwienie mamutów. Na podstawie tych badań możemy również stwierdzić, czy różne grupy mamutów mieszały się między sobą, czy też stanowiły odrębne lokalne populacje. Badania mtDNA wskazują na to, że syberyjskie mamuty rozdzieliły się na dwie grupy, z których jedna wymarła wcześniej (około 40 000 lat temu) niż druga (około 12 000 lat temu) (Lister, Bahn 2007). Badania jądrowego DNA potwierdzają wyodrębnienie się dwóch grup mamutów na Syberii, które morfologicznie (na podstawie szczątków kostnych) nie różniły się od siebie (Miller i wsp. 2008).

Nasuwa się oczywiście pytanie – czy możliwe jest sklonowanie mamuta? Rozpatrując tę kwestię od razu napotykamy szereg problemów, ponieważ

sklonowanie zwierzęcia to nie tylko zmapowanie większości jego genomu (Nicholls 2008, Lister, Bahn 2007). Nawet w najlepiej zachowanych szczątkach mamutów DNA stracił swoje ułożenie w chromosomy i jest mocno pofragmentowany. Nadal nie wiadomo, ile chromosomów miał mamut i w jaki sposób geny były w nich rozmieszczone (wraz ze wszystkimi zmianami, duplikacjami, delecjami i przemieszczeniami fragmentów DNA). DNA mamuta różnił się bowiem od DNA obu współczesnych gatunków słońi. Niektóre fragmenty DNA, jak na przykład centromery, są szczególnie trudne do dokładnego odtworzenia z powodu dużej liczby powtórzeń. Ponadto ssaki posiadają po dwie wersje każdego genu. W przypadku gdy jedna z kopii jest wadliwa, druga zazwyczaj maskuje ten efekt. Stworzenie zwierzęcia z identycznymi parami chromosomów spowodowałoby, że efekt każdego wadliwego genu byłby w pełni odczuwalny. Samo zsyntetyzowanie tak długiego DNA stanowi duży problem, ponieważ w warunkach *in vitro* długie łańcuchy DNA stają się niestabilne. Kolejny problem stanowią oocyty (komórki jajowe), do których w trakcie klonowania przenosi się DNA zwierzęcia, które ma być sklonowane. Teoretycznie można by pobrać oocyt od samicy słońia i wszczepić do niego DNA mamuta, jednak w praktyce już samo pobranie oocytu od słońicy stanowi duży problem, między innymi ze względu na rzadką owulację oraz rozmiary zwierzęcia i głębokie położenie macicy. Wymienione powyżej problemy są przykładem tego, z czym trzeba by się zmierzyć, chcąc sklonować mamuta.

Podsumowanie

W ewolucji trąbowców wyraźnie zaznaczają się pewne trendy ewolucyjne związane ze zmianami środowiska życia i pożywienia tych zwierząt. Pierwsze trąbowce pojawiły się w Afryce, skąd następnie rozprzestrzeniły się na cały świat (poza Australię i Antarktydą). Były stosunkowo małymi i średnimi zimnowodnymi zwierzętami. Miały już ruchliwy ryj i sterzące do przodu siekacze. Najprawdopodobniej przeszukiwały one ziemię i mokradła w poszukiwaniu bulw roślin, podobnie jak robią to dzisiaj dziki. Od nich oddzieliła się linia ewolucyjna prowadząca do syren (*Sirenia*), a więc zwierząt o w pełni wodnym trybie życia.

W ciągu ewolucji rozmiary ciała trąbowców powiększały się, a zwierzęta te prowadziły już bardziej naziemny tryb życia, chociaż jeszcze długo wiele gatunków związanych było ze środowiskiem podmokłym. Ryj wydłużał się, aż przekształcił się w trąbę. Jedynie rozmiary ciała gatunków, które przedostały się na wyspę, ulegały znacznej redukcji. Ochłodzenie klimatu w eocenie spowodowało kurczenie się mokradeł i zmianę roślinności, która stawała się coraz twardsza, przystosowując się do nowych warunków i sezonowych zmian klimatu. W wyniku dalszego ochłodzenia, w późnym miocenie, rozprzestrzeniły się otwarte tereny porośnięte twardą trawą. Te zmiany środowiska życia spowodowały u trąbowców specjalizację zębów, które stawały się coraz większe i coraz lepiej przystosowane do rozdrabniania mocno abrazyjnego pożywienia.

Obok tych głównych trendów ewolucyjnych intryguje ogromne zróżnicowanie siekaczy tych zwierząt. Trąbowce, w trakcie swojej ewolucji, wypróbowały niemal wszelkie możliwe formy i kombinacje siekaczy – krótkie, długie, w szczęce, w żuchwie lub w obu, proste, zakręcone w dół lub w górę, okrągłe lub płaskie na przekroju itd. Przyczyny takiego zróżnicowania i zastosowanie poszczególnych form siekaczy jest

przedmiotem domniemań naukowców, jednak prawdopodobnie nigdy nie poznamy odpowiedzi. U niektórych gatunków siekacze w formie ciosów mogły stanowić ochronę przed drapieżnikami lub narzędzie walki w konkurencji między samcami o partnerki, mogły też pomagać zwierzętom w zdobyciu pożywienia. Znane są np. dwie czaszki mamutów zakleszczone ciosami – zwierzęta te prawdopodobnie padły z głodu, nie mogąc się rozłączyć (Haynes 1991). Ślady starcia na ciosach mamutów świadczą o tym, że zwierzęta te używały je również do odgarniania śniegu (Lister, Bahn 2007). *Amebelodon* najprawdopodobniej wykorzystywał swoje spłaszczone szerokie dolne siekacze do wygrzebywania pożywienia na podmokłych terenach.

Podstawowym źródłem informacji o przodkach współczesnych gatunków są szczątki kostne. W niektórych przypadkach możliwe jest uzyskanie dodatkowych informacji z innych źródeł, takich jak DNA, porównanie z gatunkami współczesnymi, badania szczątków osobników zmumifikowanych, np. zachowanych w wiecznej zmarzlinie, a także rysunki naskalne i figurki wykonane np. z kości lub ceramiki pozostawione przez ludzi paleolitu, którzy mieli okazję obserwować przedstawiane przez siebie zwierzęta. Te dodatkowe źródła są nieocenione i wnoszą informacje, których nie byli byśmy w stanie uzyskać jedynie na podstawie szczątków kostnych.

Literatura

- Aziz F., van den Bergh G.D., 1995, *A dwarf Stegodon from Sambugmacan (Central Java, Indonesia)*, Proceedings of Kon. Ned. Akad. v. Wetensch, 98 (3), s. 229–241.
- Calandra I., Göhlich U.B., Merceron G., 2008, *How could sympatric megaherbivores coexist? Example of niche partitioning within a proboscidean community from the Miocene of Europe*, Naturwissenschaften, 95, s. 831–838.
- Debruyne R., Barriel V., Tassy P., 2003, *Mitochondrial cytochrome b of Lyakhov mammoth (Proboscidea, Mammalia): new data and phylogenetic analyses of Elephantidae*, Molecular Phylogenetics and Evolution, 26, s. 421–434.
- Delmer C., 2009, *Reassessment of the generic attribution of Numidotherium savagei and the homologies of lower incisors in proboscideans*, Acta Palaeontologica Polonica, 54 (4), s. 561–580.
- Ferretti M.P., 2008, *The dwarf elephant Palaeoloxodon mnaidriensis from Puntali Cave, Carini (Sicily; late Middle Pleistocene): Anatomy, systematics and phylogenetic relationships*, Quaternary International, 182, s. 90–108.
- Garevski R., Markov G.N., 2011, *A Deinotherium gigantissimum (Mammalia, Proboscidea) palate with deciduous dentition from the area of Veles, Republic of Macedonia*, Paläontol Z, 85, s. 33–36.
- Gee H., 2006, *Memories of mammoths*, Nature, 439, s. 673.
- Gheerbrant E., Sudre J., Cappetta H., 1996, *A Palaeocene proboscidean from Morocco*, Nature, 383, s. 68–70.
- Gheerbrant E., Sudre J., Cappetta H., Iarochène M., Amaghazaz M., Bouya B., 2002, *A new large mammal from the Ypresian of Morocco: Evidence of surprising diversity of early proboscideans*, Acta Palaeontologica Polonica 47 (3), s. 493–506.
- Gheerbrant E., Tassy P., 2009, *L'origine et l'évolution des éléphants*, C. R. Palevol, 8, s. 281–294.

- Gingerich P.D., 1977, *A small collection of fossil vertebrates from the middle Eocene Kuldana and Kohat Formations of Punjab (Pakistan)*, Contributions from the museum of paleontology, the University of Michigan, 24 (18), s. 190–203.
- Gingerich P.D., Russell D.E., Wella N.A., 1990, *Astragalus of Anthracobune (Mammalia, Proboscidea) from the early-middle Eocene of Kashmir*, Contributions from the museum of paleontology, the University of Michigan, 28 (7), s. 71–77.
- Hagelberg E., Thomas M.G., Cook Jr Ch.E., Sher A.V., Baryshnikov G.F., Lister A.M., 1994, *DNA from ancient mammoth bones*, Nature, 370, s. 333–334.
- Hautier L., Mackaye H.T., Lihoreau F., Tassy P., Vignaud P., Brunet M., 2009, *New material of Anancus kenyensis (proboscidea, mammalia) from Toros-Menalla (Late Miocene, Chad): Contribution to the systematics of African anancines*, Journal of African Earth Sciences, 53, s. 171–176.
- Haynes G., 1991, *Mammoths, Mastodonts and Elephants: Biology, Behavior, and the Fossil Record*, Cambridge University Press.
- Hofreiter M., 2008, *DNA sequencing: Mammoth genomics*, Nature, 456, s. 330–331.
- Höss M., Pääbo S., Vereshchagin N.K., 1994, *Mammoth DNA sequences*, Nature, 370, s. 333.
- Huttunen K., Göhlich U.B., 2002, *A partial skeleton of Prodeinotherium bavaricum (Proboscidea, Mammalia) from the Middle Miocene of Unterzolling (Upper Freshwater Molasse, Germany)*, Geobios, 35, s. 489–514.
- Kahlke R.D., 1999, *The History of the Origin, Evolution and Dispersal of the Late Pleistocene Mammuthus-Coleodonta Faunal Complex in Eurasia (Large Mammals)*, Mammoth Site of Hot Springs, Fenske Companies, Rapid City, SD, USA.
- Koufos G.D., Zouros N., Mourouzidou O., 2003, *Prodeinotherium bavaricum (Proboscidea, Mammalia) from Lesvos island, Greece; the appearance of deinotheres in the Eastern Mediterranean*, Geobios, 36, s. 305–315.
- Krause J., Dear P.H., Pollack J.L., Slatkin M., Spriggs H., Barnes I., Lister A.M., Ebersberger I., Pääbo S., Hofreiter M., 2006, *Multiplex amplification of the mammoth mitochondrial genome and the evolution of Elephantidae*, Nature, 439, s. 724–727.
- Lister A.M., 1993, *Mammoths in miniature*, Nature, 362, s. 288–289.
- Lister A.M., Bahn P.G., 2007, *Mammoths, giants of the ice age*, Frances Lincoln Limited Publishers, London.
- Lister A.M., Sher A.V., van Essen H., Wei G., 2005, *The pattern and process of mammoth evolution in Eurasia*, Quaternary International, 126–128, s. 49–64.
- Mamakowa K., 2003, *Czwartorzęd: Plejstocen*, [w:] S. Dybowa-Jachowicz, A. Sadowska, *Palinologia*, Wydawnictwo Instytutu Botaniki PAN, s. 235–273.
- Maschenko E.N., 2002, *Individual development, biology and evolution of the woolly mammoth Mammuthus primigenius (Blumenbach, 1799)*, Cranium, 19 (1).
- Miller W., Drautz D.I., Ratan A., Pusey B., Qi J., Lesk A.M., Tomsho L.P., Packard M.D., Zhao F., Sher A., Tikhonov A., Raney B., Patterson N., Lindblad-Toh K., Lander E.S., Knight J.R., Irzyk G.P., Fredrikson K.M., Harkins T.T., Sheridan S., Pringle T., Schuster S.C., 2008, *Sequencing the nuclear genome of the extinct woolly mammoth*, Nature, 456, s. 387–390.
- Mol D., Shoshani J., Tikhonov A., van Geel B., Sano S., Lazarev P., Boeskorov G., Agenbroad L.D., 2006a, *The Yukagir mammoth: brief history, 14c dates, individual age, gender, size, physical and environmental conditions and storage*, Scientific Annals, School of Geology Aristotle University of Thessaloniki (AUTH), Special volume 98, s. 299–314.

- Mol D., Tikhonov A., van der Plicht J., Kahlke R.D., Debruyne R., vanGeel B., van Reenen G., Pals J.P., de Marliave C., Reumer J.W.F., 2006b, *Results of the CERPOLEX/Mammuthus Expeditions on the Taimyr Peninsula, Arctic Siberia, Russian Federation*, Quaternary International, 142–143, s. 186–202.
- Mol D., Tikhonov A.N., van der Plicht J., Bolshiyarov D.Y., 2003, *Discoveries of woolly mammoth, Mammuthus primigenius (Proboscidea: Elephantidae) and some other Pleistocene mammals on the Taimyr Peninsula*, Russian Journal of Theriology, 2 (2), s. 77–95.
- Nicholls H., 2008, *Let's make a mammoth*, Nature, 456, s. 310–314.
- Palombo M.R., 2007, *How can endemic proboscideans help us understand the „island rule“? A case study of Mediterranean islands*, Quaternary International, 169–170, s. 105–124.
- Palombo M.R., Ferretti M.P., 2005, *Elephant fossil record from Italy: knowledge, problems, and perspectives*, Quaternary International, 126–128, s. 107–136.
- Poulakakis N., Theodorou G.E., Zouros Z., Mylonas M., 2002, *Molecular Phylogeny of the Extinct Pleistocene Dwarf Elephant Palaeoloxodon antiquus falconeri from Tilos Island (Dodekanisa, Greece)*, Journal of Molecular Evolution, 55(3), s. 364–374.
- Raia P., Barbera C., Conte M., 2003, *The fast life of a dwarfed giant*, Evolutionary Ecology, 17, s. 293–312.
- Saegusa H., 2008, *Dwarf Stegolophodon from the Miocene of Japan: Passengers on sinking boats*, Quaternary International, 182, s. 49–62.
- Shoshani J., 1998, *Understanding proboscidean evolution: a formidable task*, Tree, 13, s. 480–487.
- Shoshani J., Tassy P., 2005, *Advances in proboscidean taxonomy & classification, anatomy & physiology, and ecology & behavior*, Quaternary International, 126–128, s. 5–20.
- Sukumar R., 2003, *The living elephants: evolutionary ecology, behavior, and conservation*, Oxford University Press.
- van Geel B., Aptroot A., Baittinger C., Birks H.H., Bull I.D., Cross H.B., Evershed R.P., Graven-deel B., Kompanje E.J.O., Kuperus P., Mol D., Nierop K.G.J., Pals J.P., Tikhonov A.N., van Reenen G. van Tien-deren P.H., 2008, *The ecological implications of a Yakutian mammoth's last meal*, Quaternary Research, 69, s. 361–376.
- Vartanyan S.L., Garutt V.E., Sher A.V., 1993, *Holocene dwarf mommoths from Wrangel Island in the Siberian Arctic*, Nature, 362, s. 337–340.
- Wells N.A., Gingerich P.D., 1983, *Review of eocene Anthracobunidae (Mammalia, Proboscidea) with a new genus and species, Jozaria palustris, from the Kuldana Formation of Kohat (Pakistan)*, Contributions from the museum of paleontology, the University of Michigan, 26 (7), s. 117–139.

Morphological diversity of proboscides (Proboscidea) from the evolutionary point of view

Abstract

The article concentrates on the evolutionary aspect of biodiversity in proboscides (Proboscidea). Main evolutionary trends in this group include the increase in body size and teeth specialization due to spread of grasslands and shrinking of marsh areas (which were the natural environment of the first proboscides). Furthermore, the great diversity of incisor forms in proboscides and the specific adaptations of insular species is overviewed and illustrated. Studying the extinct species requires referring to many different sources of information. In the case of proboscides we can combine morphometrical and morphological analysis of bones, DNA research, comparison to extant species, as well as Paleolithic human paintings in caves and examination of individuals from the permafrost of Siberia and Alaska.

Alina Krzemińska

Uniwersytet Pedagogiczny

Instytut Biologii

Zakład Edukacji, Komunikacji i Mediacji Przyrodniczej

ul. Podbrzezie 3, 31-054 Kraków

Gabriela Bugla-Płoskońska

Bioróżnorodność w bakteriologii jako złożony problem biologiczny

Aby przeanalizować złożone zjawisko jakim jest bioróżnorodność z perspektywy komórek bakteryjnych, niewątpliwie należy spojrzeć w przeszłość, kiedy to w połowie XVII wieku Antoni van Leeuwenhoek (1632–1723) jako pierwszy badacz, używając mikroskopu – lupy opisał drobne organizmy jednokomórkowe, nazwane później bakteriami. W 1674 roku w korespondencji z Royal Society (Towarzystwem Królewskim) opisał bakterie, które ujrzął, badając płytkę nazębną. Jako jeden z pierwszych naukowców zwrócił uwagę na ogromną różnorodność organizmów, które żwawo i szybko pływały w ślinie. Biorąc pod uwagę obiekt badany, niewątpliwie był pierwszym badaczem, który opisał bioróżnorodność w obrębie biofilmu płytki nazębnej (Straus i Straus 2009). To spojrzenie historyczne na zagadnienie bioróżnorodności istniejącej w świecie bakterii ma głęboki sens naukowy, w kontekście współczesnej ekologicznej i molekularnej analizy mikrobiologicznej bioróżnorodności. Na początku rozwoju mikrobiologii świat jednokomórkowych bakterii wydawał się uczonym fascynujący, lecz mało skomplikowany i przewidywalny w swojej prostocie. Bakterie postrzegane były jako pojedyncze, izolowane komórki istniejące w przyrodzie. Dynamiczny rozwój nowych technik badawczych, w tym biologii molekularnej, sprawił, iż z każdym rokiem od odkrycia A. van Leeuwenhoek'a ta wspomniana prostota wydaje się być coraz bardziej skomplikowana. Mikrobiolodzy opisujący mikroorganizmy nie mogą już bazować tylko na cechach fizycznych komórek, tak jak to robią botanicy i zoologowie opisujący swoje obiekty biologiczne, dlatego też badania różnorodności w świecie mikroorganizmów opierają się obecnie na technikach molekularnych i na molekularnym stopniu bakteryjnego pokrewieństwa.

W latach 80. XX wieku Carl Woese (ur. 1928), udowadniając użyteczność 16S rRNA do badań stopnia pokrewieństwa między bakteriami, trafił w samo sedno. Dzięki jego odkryciu badania nad bioróżnorodnością mikroorganizmów nabrały niezwykłego tempa. Oczom naukowców ukazał się zaskakujący obraz trzech grup organizmów, obecnie nazywanych domenami, tj. *Eucarya*, *Bacteria* i *Archea*. Obecnie wiadomo, iż *Bacteria* oraz *Archea*, należące do organizmów prokariotycznych, różnią się znacząco w budowie osłon komórkowych, budowie aparatu translacyjnego czy organizacji materiału genetycznego (Salyers i Whitt 2003). Niestety, sama analiza 16S rRNA nie pozwala nam na dokładniejsze przyjrzenie się zjawisku różnorodności wśród bakterii, gdyż nie mówi nam nic o ich aktywności metabolicznej.

Dlatego też ważnym narzędziem badawczym we współczesnej biologii molekularnej stało się sekwencjonowanie genomów mikroorganizmów. Porównywanie sekwencji genomów, znajdowanie różnic w tym obszarze pomiędzy mikroorganizmami, może być wytłumaczeniem, dlaczego jedne bakterie są zdolne do życia w tak ekstremalnych warunkach środowiska jak okolice kominów hydrotermalnych czy wieczna zmarzlina lodowców, ale także dlaczego jedne bakterie wykazują cechy zwiększonej zjadliwości, a inne nie (Błaszczuk 2008).

Niewątpliwy wpływ na rozwój bioróżnorodności w świecie bakterii ma zjawisko istniejącej wymiany genów bakteryjnych w przyrodzie, które może być wynikiem horyzontalnego transferu genów zachodzącego na drodze koniugacji, transdukcji czy transformacji (Małek i wsp. 2008). Interesujące są obserwacje, iż bakterie o większych genomach, np. z rodzaju *Burkholderia* czy gatunków *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, metabolicznie bardziej wszechstronne, eksplorują większą liczbę ekosystemów, a tym samym wykazują większe zróżnicowanie i większą różnorodność form niż bakterie o małych genomach, jak np. bakterie z rodzaju *Streptococcus* czy *Mycoplasma* (Brown 2009, Małek i wsp. 2008). Wymiany genów między organizmami prokariotycznymi należącymi do jednego gatunku, ale także pomiędzy różnymi gatunkami bakterii żyjącymi w tym samym środowisku, są dość powszechne w przyrodzie i wydają się być swoistym pomysłem bakterii na przeżycie w określonej niszy ekologicznej (Ochman i wsp. 2000, Brown 2009).

Interesującym zagadnieniem z punktu widzenia bioróżnorodności mikrobiologicznej jest wytwarzanie przez bakterie skomplikowanych struktur morfologicznych, jakimi są biofilmy bakteryjne, a także specjalizacja komórek bakterii w obrębie tych struktur. Terminem „biofilm bakteryjny” określa się mikrokolonie bakterii osiadłe na podłożu zestalonym, zanurzone w mieszaninie wytwarzanych przez siebie egzopolisacharydów (Cortizo i Lorenzo 2007). Biofilmy bakteryjne, które mogą być jedno- lub wielogatunkowe, występują zarówno w środowisku wodnym (wody słodkie i wody morskie), na powierzchni skał, kory drzew, jak i na powierzchni tkanek organizmów wyższych. Biofilmy w organizmach wyższych możemy rozpatrywać w kontekście biofilmów fizjologicznych, korzystnych dla zdrowia zasiedlanych organizmów, takich jak biofilm pochwy czy biofilm jelit, ale także jako biofilm zagrażający zdrowiu, nawet życiu, np. biofilm rozwijający się w obrębie rany poparzeniowej, biofilm odpowiedzialny za wysiękowe zapalenie ucha środkowego, zapalenie płuc, czy biofilm zarastający cewnik lub dren umieszczony w ciele pacjenta. Mikroorganizmy, które najczęściej tworzą biofilmy na powierzchni cewników, tworzą tzw. biofilm mieszany, wielogatunkowy, w skład którego wchodzi różnorodne organizmy, m.in. *E. coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Proteus* czy *Enterococcus* (Niedzielski i wsp. 2006, Maldonado i wsp. 2007).

Jedną z wymienianych w literaturze charakterystycznych cech komórek bakterii wchodzących w skład biofilmu jest ich niska aktywność metaboliczna, niemniej w świetle najnowszych badań (Trafny 2009) z wykorzystaniem nowoczesnych technik obrazowania, a także badań proteomicznych okazuje się, iż komórki bakterii tworzące biofilmy są bardzo aktywne metabolicznie, co więcej, proteomy szczepów rosnących w postaci pojedynczych kolonii znacząco różnią się od proteomów szczepów tego samego gatunku, wzrastających w postaci biofilmów. Proteomy bakterii tworzących biofilmy są często „bogatsze” o nowe białka, nie występujące u form

wzrastających w postaci pojedynczych kolonii czy komórek wolnopływających (Mikkelsen i wsp. 2007). Stan niskiej aktywności metabolicznej w obrębie komórek biofilmu może dotyczyć komórek znajdujących się wewnątrz tej struktury, tzw. komórek „persisters”, które po zaprzestaniu działania np. środków bakteriobójczych są w stanie odbudować biofilm od nowa (Różalska i Sadowska 2012). Bakterie tworzące struktury biofilmu różnią się od komórek wolnopływających bakterii również ekspresją niektórych genów kodujących czynniki wirulencji lub kodujących enzymy, np. chitynazę (ang. *chitin-binding genes*). Ekspresja genu kodującego ten enzym obserwowana jest u bakterii z rodzaju *Vibrio* tylko o obecności chityny, podczas formowania biofilmu, a nie jest obserwowana u form swobodnie pływających w toni wodnej (Watnick i Kolter 2000).

Koordynacja ekspresji wielu genów bakterii w obrębie biofilmu, w tym genów odpowiedzialnych za zjadliwość bakterii, jest związana z wytwarzaniem przez bakterie chemicznych cząsteczek informacyjnych, a zjawisko to określane jest mianem *quorum sensing* (QS) (Miller i Bassler 2001). Dzięki takiej zmiennej ekspresji genów w komórkach bakterii tego samego gatunku, w obrębie jednej struktury biofilmu możliwa jest swoista specjalizacja bakteryjnych komórek, będąca źródłem ich wzajemnej różnorodności, co jest zjawiskiem bardzo fascynującym (Stańkowska i Kaca 2005).

Bioróżnorodność mikroorganizmów tworzących biofilmy bakteryjne pozwala także spojrzeć na nowo na etiologię wielu chorób, w tym np. na choroby przyzębia i przewlekłe choroby zapalne jamy ustnej. Dotychczas opisano około 500 różnych gatunków bakterii bytujących w jamie ustnej! Ich bioróżnorodność w obrębie jamy ustnej jest przeogromna. Odnajdziemy tutaj paciorkowce z gatunku *Streptococcus mutans* czy *S. sorbinus*, ale także bakterie z rodzaju *Porphyromonas*, *Fusobacterium*, *Actinomyces*, *Veillonella*, *Prevotella*, *Neisseria*, *Clostridium* czy *Rothia*. Obecnie uważa się, iż choroby przyzębia i przewlekłe choroby zapalne jamy ustnej są wynikiem zachwiania równowagi pomiędzy mikroflorą bytującą w jamie ustnej a organizmem gospodarza. Z materiału pobranego od pacjentów z zapaleniem dziąseł izolowano bakterie z gatunku *Porphyromonas gingivalis*, *P. intermedia* czy *Fusobacterium nucleatum*, natomiast u chorych z przewlekłym stanem zapalnym przyzębia dodatkowo poza wyżej wymienionymi taksonami występowały bakterie z gatunku *Treponema forsythensis* i *Actinomyces actinomycetemcomitans* (Strużycka 2009). Interesujący jest fakt, iż wstępna kolonizacja jamy ustnej, jako wynik aktywności metabolicznej bakterii *S. gordonii*, *S. oralis* czy *A. naeslundii*, to rezultat interakcji między bakteriami różnych gatunków, a nie efekt klonalnego wzrostu identycznych genetycznie mikroorganizmów. Bioróżnorodność mikroorganizmów w obrębie jamy ustnej jest ścisła i bardzo precyzyjnie skorelowana na poziomie metabolicznym, czego dobrym przykładem jest współzależność występowania *Treponema denticola* z *Porphyromonas gingivalis*.

Komórki bakterii wchodzących w skład biofilmów różnią się znacznie od komórek bakterii tego samego gatunku, żyjących w postaci planktonicznej. Różnice te dotyczą innego poziomu ekspresji genów czy nasilonej produkcji egzopolisacharydów u bakterii tworzących biofilm, co ma przystosować ich komórki do osiadłego trybu życia. Dodatkowo bliskość komórek bakterii w strukturach biofilmu pozwala im na swobodną wymianę materiału genetycznego, w tym plazmidów niosących

geny oporności na antybiotyki. To również ma znaczący wpływ na generowanie interesującej różnorodności wśród komórek bakterii tworzących biofilm (Strużycka 2009).

Kolejnym zagadnieniem, które należy omówić w kontekście zjawiska bioróżnorodności mikrobiologicznej, jest bioróżnorodność w budowie osłon komórkowych bakterii. Współcześnie prowadzone światowe badania wskazują na bogatą różnorodność w budowie struktur powierzchniowych bakterii nie tylko między mikroorganizmami należącymi do bakterii Gram-ujemnych czy Gram-dodatnich, ale – co jest niezwykle interesujące – w obrębie gatunków bakterii, a nawet w obrębie podgatunków. W badaniach własnych (Bugła-Płoskońska i wsp. 2010a, 2010b; 2009; 2008; Bugła-Płoskońska i Doroszkiewicz; Futoma i wsp. 2005), prowadzonych od kilku lat w Zakładzie Mikrobiologii Instytutu Genetyki i Mikrobiologii Uniwersytetu Wrocławskiego, zajmujemy się badaniami nad pałeczkami *Salmonella*, należącymi do grupy serologicznej O48 (Grupa O:48 (Y)), w kontekście stopnia ich wrażliwości na bakteriobójcze działanie surowicy. Do badanych bakterii należą: *S. enterica* subsp. *enterica*, *S. enterica* subsp. *salamae*, *S. enterica* subsp. *diarizonae*, *S. enterica* subsp. *houtenae*, *S. enterica* subsp. *arizonae*, oraz *S. bongori*. Fakt posiadania takiego samego antygeny somatycznego O48 wskazywałby na to, iż bakterie te powinny wykazywać podobny poziom wrażliwości na lityczne działanie białek dopełniacza obecnego w surowicy, gdyż w opinii badaczy zajmujących się tym zagadnieniem (Taylor 1983, Tomas i wsp. 1988) to właśnie O-swoiste łańcuchy lipopolisacharydu (LPS) pełnią najważniejszą rolę w ochronie bakterii Gram-ujemnych przed działaniem układu białek dopełniacza zawartych w surowicy krwi. Szczepy typu gładkiego (formy S), tj. posiadające kompletny LPS zbudowany z trzech części (lipid A, oligosacharydowy rdzeń, część O-swoista), wykazują często niewielką wrażliwość na bakteriobójcze działanie surowicy, co tłumaczy się łatwym usuwaniem z powierzchni ich komórek kompleksu MAC (ang. *membrane attack complex*, MAC), zanim wejdzie on w trwałe hydrofobowe połączenia z lipidem A. Trwałe zdeponowanie kompleksu białek dopełniacza w formie struktury MAC zapoczątkowuje proces lizy komórki bakterii. W badaniach własnych i zespołu (Bugła-Płoskońska i wsp. 2010a, 2010b, 2009, 2008; Bugła-Płoskońska i Doroszkiewicz 2006, Futoma i wsp., 2005) wykazaliśmy jednak, iż wiele gładkich szczepów bakterii Gram-ujemnych, pomimo posiadania kompletnych łańcuchów O-swoistych, jest jednak wrażliwych na bakteriobójcze działanie dopełniacza, dodatkowo, co bardzo interesujące, wykazaliśmy różnice w poziomie wrażliwości na surowicę krwi w obrębie testowanej grupy serologicznej *Salmonella* O48. Otrzymane wyniki sugerowałyby udział innych struktur powierzchniowych w tym procesie, np. białek błony zewnętrznej bakterii (ang. *outer membrane protein*, OMP). W kolejnym etapie badań wykazaliśmy (Bugła-Płoskońska i wsp. 2011) istnienie ogromnej różnorodności w zakresie posiadanych OMP przez pałeczki *Salmonella* O48 należące do omawianej, jednej grupy serologicznej.

Badania nad pałeczkami *Salmonella* O48 dostarczyły także innych ciekawych odkryć. Grupa serologiczna *Salmonella* O48 charakteryzuje się obecnością w strukturze LPS kwasu sjałowego (NeuAc), monocukru, o dziewięciu atomach węgla, którego obecność w strukturach powierzchniowych bakterii jest skorelowana ze zjawiskiem mimikry molekularnej, gdyż NeuAc, nie będąc powszechnym składnikiem struktur powierzchniowych bakterii, występuje powszechnie w organizmach

wyższych, wchodząc w skład glikoprotein błonowych (Vimir i wsp. 2001). W badaniach własnych i zespołu (Bugla-Płoskońska i wsp. 2010b) wykazaliśmy, iż w obrębie *Salmonella* O48 występuje bardzo duża zmienność dotycząca ilości NeuAc w LPS pomiędzy serowarami.

Otrzymane przez nas wyniki rzucają nowe światło na postrzeganie umownej jednolitości, jaką daje przynależność bakterii do tej samej grupy serologicznej. Uzyskane przez nas wyniki zmuszają także do zaakceptowania występowania ogromnej różnorodności w zakresie budowy struktur powierzchniowych bakterii Gram-ujemnych należących do tego samego gatunku, a nawet podgatunku. Przytoczone wyniki badań własnych każą przypuszczać, iż opisane zjawisko nie jest odosobnione w świecie bakterii, gdyż takowych obserwacji dotyczących różnorodności w obrębie gatunku bakterii, w zakresie posiadanych OMP, dokonano także na szczepach *Shigella flexnerii* (Bugla i wsp. 2003) i *Helicobacter pylori* (dane niepublikowane).

Warto też zwrócić uwagę, iż tak bogata bioróżnorodność dotycząca mikroorganizmów nastreśla wiele poważnych problemów z definiowaniem pojęcia gatunku bakteryjnego. Pomimo szybkiego postępu w technikach molekularnych, prowadzących do zdefiniowania gatunku bakteryjnego, wyznaczenie to w mikrobiologii jest nadal niedoskonałe i bardzo trudne. Powszechnie przyjmuje się, że gatunek bakteryjny to: „szczepy charakteryzujące się odpowiednio wysokim stopniem podobieństwa fenotypowego, przynajmniej jedną diagnostyczną cechą fenotypową, 50–70% lub wyższym stopniem hybrydyzacji DNA i ponad 97% stopniem identyczności sekwencji 16S rDNA” (Małek i wsp. 2008). Obecnie znanych jest ponad 5000 gatunków bakterii. Czy jest to liczba duża? Wydaje się, że nie, biorąc pod uwagę czas istnienia tych najstarszych organizmów na Ziemi (3,8 mld lat), a także ich wszechobecność we wszystkich ekosystemach oraz bogatą gatunkową różnorodność biologiczną. Prawdopodobnie problem z ustaleniem definicji gatunku w mikrobiologii tkwi w naszych narzędziach badawczych i możliwościach hodowli drobnoustrojów. Stosowane od XX wieku techniki analiz sekwencji 16S rRNA pozwalają zanalizować mikroorganizmy jedynie do poziomu rodzaju. W określeniu gatunku bakterii stosujemy technikę PCR do amplifikacji genu 16S rRNA, następnie taki amplifikowany fragment możemy poddać sekwencjonowaniu i otrzymaną sekwencję porównać z sekwencjami dostępnymi w bazach danych (Skowrońska i Zmysłowska 2006). Narzędzi do badania bioróżnorodności bakterii dostarcza wspomniana wcześniej proteomika, genomika, a także nowa dziedzina nauki – metagenomika, która swoje badania opiera na pozyskiwaniu sekwencji DNA ze wszystkich genomów z danego środowiska, co daje możliwość uzyskania informacji o genomach mikroorganizmów, których nikt wcześniej nie widział i nie potrafił dotąd wyhodować w laboratorium, gdyż – jak się okazuje – ogromna liczba bakterii nie jest zdolna do wzrostu w czystych kulturach. Ważne jest więc poszukiwanie nowych metod badawczych, aby identyfikować mikroorganizmy w ich naturalnych ekosystemach.

Taką nowoczesną metodą może być hybrydyzacja fluorescencyjna *in situ* (FISH), która umożliwia badanie całych zespołów mikroorganizmów. W metodzie tej identyfikacja mikroorganizmów zachodzi z wykorzystaniem hybrydyzacji oligonukleotydowej sondy molekularnej o znanej sekwencji z fragmentem genomu lub transkryptomu badanej bakterii (Więckowicz 2009, Mother i Goebel 2000).

Innymi molekularnymi technikami wykorzystywanymi do badań nad bioróżnorodnością mikroorganizmów w złożonych populacjach są techniki PCR, połączone

z rozdziałem elektroforetycznym w gradiencie czynnika denaturującego, analiza restrykcyjna amplifikowanych fragmentów rDNA, analiza polimorfizmu terminalnych fragmentów restrykcyjnych czy analiza długości sekwencji międzygenowych. Niewątpliwie stosowanie tych metod poszerza nieustannie naszą wiedzę o bioróżnorodności bakterii (Skowrońska i Zmysłowska 2006, Więckowicz 2009).

Połączenie współczesnych metod badawczych i tych z początku XX wieku, jak np. analiza zawartości zasad G+C w DNA, hybrydyzacja DNA, analiza porównawcza 16S rDNA, czy analiza porównawcza genów polimerazy RNA, gyrazy czy syntetazy glutaminy pokazuje istnienie ogromnej różnorodności genomowej gatunku bakteryjnego. Ta różnorodność genomowa, będąca wynikiem rearanzacji DNA, nagromadzenia mutacji punktowych czy wspomnianego horyzontalnego transferu genów jest siłą napędową ewolucji. Obecnie interesujący wydaje się trend wykorzystujący metodę MLSA (ang. *Multi Locus Sequence Analysis*) do badań nad wewnątrzgatunkową różnorodnością bakterii. W metodzie tej wykorzystywane są pełne sekwencje genomowe bakterii jako referencyjne standardy.

Niestety, badania nad genomami bakterii pokazały, jak trudne jest wspomniane wcześniej definiowanie gatunku w mikrobiologii. Okazuje się, iż szczepy jednego gatunku mogą zawierać indywidualne, unikalne dla siebie sekwencje genomowe. Takie zjawisko wykazano dla *H. pylori* czy *E. coli* K12. Swoiste dla poszczególnych szczepów w obrębie jednego gatunku geny bywają rozrzucone po całym genomie, i często kodują różne czynniki wirulencji, w tym białkowe toksyny (Brown 2009, Małek i wsp. 2008, Perna i wsp. 2001, Alm i wsp. 1999). Analizy fragmentów DNA przekazywanych pomiędzy bakteriami drogą horyzontalnego transferu genów mogą być zorganizowane w tzw. wyspy genomowe (ang. *genomic island*, GEI). Wśród GEI wyróżniamy m.in. wyspy patogenności (ang. *pathogenicity island*, PAI), gdzie zgrupowane są geny związane z patogenizacją bakterii. Szczególnie dużo PAI w swoim genomie posiadają pałeczki *Salmonella*, u których geny zlokalizowane w obrębie PAI zaangażowane są w różne działania wirulentne. Różnice w składzie genetycznym, dystrybucji czy modelu ewolucji tych wysp w obrębie pałeczek *Salmonella* mają niewątpliwie odzwierciedlenie w różnorodności jaką obserwujemy między serowarami *Salmonella* (Dera-Tomaszewska 2011).

Wśród bakterii chorobotwórczych dla roślin zaobserwowano natomiast interesującą bioróżnorodność pomiędzy szczepami należącymi do gatunku *Erwinia amylovora*. Bioróżnorodność ta jest wynikiem różnic w zawartości ich DNA plazmidowego, a tymi różnicami tłumaczy się zmienny poziom ich wirulencji wobec różnych gatunków roślin (Puławska i wsp. 2009).

Obecnie mikrobiolodzy nie są w stanie jednoznacznie stwierdzić, czy wiedza dotycząca bioróżnorodności bakterii jest kompletna i zadowalająca. Wynika to z trudności w hodowli wielu mikroorganizmów. Często ich zupełna „niehodowalność” w warunkach laboratoryjnych sprawia, iż mamy świadomość istnienia wielu nieodkrytych, nieopisanych jeszcze mikroorganizmów. W przypadku patogenów dochodzi uczucie bezradności w ich ujarzmieniu, mimo posiadanych potężnych narzędzi, jakich dostarcza nam obecnie biologia molekularna.

Literatura

- Alm R.A., Ling L-L. S., Moir D.T., 1999, *Genomic – sequence comparison of two unrelated isolates of the human gastrin pathogen Helicobacter pylori*, Nature, 397, s. 176–180.
- Błaszczuk M.K., 2008, *Gdzie występują psychofile?*, Post. Microb., 47, 3, s. 2017–213.
- Brown T.A., 2009, *Genomy*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Bugła G., Razik J., Doroszkiewicz W., 2003, *Zmienność antygenowa Shigella flexneri, a bakteriobójcze działanie surowicy*, [w:] *Materiały Naukowe VI Konferencji Biologia Molekularna w Diagnostyce Chorób Zakaźnych i Biotechnologii*, Wydawnictwo SGGW, s. 42–45.
- Bugła-Płoskońska G., Korzeniowska-Kowal A., Guz-Regner K., 2011, *Reptiles as a source of Salmonella O48 – clinically import bacteria for children, the relationship between resistance to normal cord serum and outer membrane protein patterns*, Microb. Ecol., 61, s. 41–51.
- Bugła-Płoskońska G., Futoma-Kołoch B., Rybka J., Gamian A., Doroszkiewicz W., 2010a, *The role of complement activity in the sensitivity of Salmonella O48 strains with sialic acid-containing lipopolysaccharides to the bactericidal action of normal bovine serum*, Pol. J. Vet. Sc., 13, 1, s. 53–62.
- Bugła-Płoskońska G., Rybka J., Futoma-Kołoch B., Cisowska A., Gamian A., Doroszkiewicz W., 2010b, *Sialic acid-containing lipopolysaccharides of Salmonella O48 strains-potential role in camouflage and susceptibility to the bactericidal action of normal human serum*, Microb. Ecol., 59, s. 601–613.
- Bugła-Płoskońska G., Kiersnowski A., Futoma-Kołoch B., Doroszkiewicz W., 2009, *Killing of Gram-negative bacteria with normal human serum and normal bovine serum: use of lysozyme and complement proteins in the death of Salmonella strains O48*, Microb. Ecol., 58, s. 276–289.
- Bugła-Płoskońska G., Kiersnowski A., Futoma-Kołoch B., Doroszkiewicz W., 2008, *Cooperation between lysozyme and complement system in bactericidal action of serum-is everything already clear?* Centr. Europ. J. Immunol., 33, 2, s. 37–42.
- Bugła-Płoskońska G., Doroszkiewicz W., 2006, *Bactericidal activity of normal bovine serum (NBS) directed against some Enterobacteriaceae with sialic acid-containing lipopolysaccharides (LPS) as a component of cell wall*, Pol. J. Microbiol., 55, 3, s. 169–174.
- Cortizo C., Lorenzo M.F., 2007, *Evaluation of early stages of oral streptococci biofilm growth by optical microscopy. Effect of antimicrobial agents*, [w:] A. Mendez-Vilas (Ed.), *Communicating Current Research and Educational Topics and Trends in Applied Microbiology*, Badajoz, Spain,
- Dera-Tomaszewska B., 2011, *Na wyspach Salmonella. Czternaście wysp patogenności bakterii z rodzaju Salmonella*, Post. Microb., 50, 1, s. 51–58.
- Futoma B., Bugła-Płoskońska G., Doroszkiewicz W., 2005, *Bactericidal complement activity against Salmonella enterica strains*. Pol. J. Environ. St., 14 suppl. II, s. 101–104.
- Maldonado N.C., Silva de Ruitz C., Cecilia A., Nader-Macias M.E., 2007, *A simple technique to detect Klebsiella biofilm – forming-strains. Inhibitory potential of Lactobacillus fermentum CRL 1058 whole cells and products*, [w:] A. Mendez-Vilas (Ed.), *Communicating Current Research and Educational Topics and Trends in Applied Microbiology*, Badajoz, Spain,
- Małek W., Wdowiak-Wróbel S., Kalita M., Szlachetka M., 2008, *Dylematy z koncepcją i definicją gatunku bakteryjnego*, Post. Mikrob., 47, 3, s. 177–182.

- Mikkelsen H., Duck Z., Lilley K.S., Welch M., 2007, *Interrelationships between colonies, biofilms and planktonic cells of Pseudomonas aeruginosa*, J. Bacteriol., 6, 189, s. 2411–2416.
- Miller M.B., Bassler B.L., 2001, *Quorum sensing in bacteria*, Annu. Rev. Microbiol., 55, s. 165–199.
- Mother A., Goebel U.B., 2000, *Fluorescence in situ hybridization (FISH) for direct visualization of microorganisms*, J. Microbiol. Meth., 41, s. 85–112.
- Niedzielski A., Koziół-Montewka M., Niedzielska G., Bogut A., Paluch-Pleś J., Kotowski M., Montewka M., Kasztelewicz B., 2006, *Rola biofilmu bakteryjnego w patogenezie wysiękowego zapalenia ucha środkowego*, Otolaryngologia, 5, 3, s. 103–106.
- Ochman H., Lawrence J.G., Groisman E.A., 2000, *Lateral gene transfer and the nature of bacterial innovation*, Nature, 405, s. 299–304.
- Perna N.T., Plunkett G., Burland V., 2001, *Genome sequence of enterohaemorrhagic Escherichia coli O157:H7*, Nature, 409, s. 529–532.
- Puławska J., Kielak K., Sobiczewski P., 2009, *Bioróżnorodność bakterii Erwinia amylovora – sprawcy zarazy ogniowej*, Post. Microb., 48, 2, s. 133–141.
- Różalska B., Sadowska B., 2012, *Zapobieganie powstawaniu biofilmów – perspektywiczne strategie ich eradykacji*, Sepsis, 3(2), s. 71–78.
- Salyers A.A., Whitt D.D., 2003, *Mikrobiologia. Różnorodność, chorobotwórczość i środowisko*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Skowrońska A., Zmysłowska I., 2006, *Współczesne metody identyfikacji bakterii stosowane w ekologii mikroorganizmów wodnych-fluorescencyjna hybrydyzacja in situ (FISH)*, Post. Microb., 45, 3, s. 183–193.
- Stańkowska D., Kaca W., 2005, *Systemy komunikacji międzykomórkowej bakterii gram-ujemnych i ich znaczenie w ekspresji cech fenotypowych*, Post. Microb., 44, 2, s. 99–111.
- Straus E.W., Straus A., 2009, *100 największych osiągnięć medycyny*, Świat Książki, Warszawa.
- Strużycka I., 2009, *Biofilm – nowe spojrzenie na etiologię przewlekłych chorób jamy ustnej*, Sepsis, 2, 4, s. 195–201.
- Taylor P.W., 1983, *Bactericidal and bacteriolytic activity of serum against gram-negative bacteria*, Microbiol. Rev., 47, s. 46–83.
- Tomas J.M., Ciurana B., Benedi V.J., Juarez A., 1988, *Role of lipopolysaccharide and complement in susceptibility of Escherichia coli and Salmonella typhimurium to non-immune serum*, J. Gen. Microbiol., 134, s. 1009–1016.
- Trafny E.A., 2009, *Zjadliwość biofilmu i możliwość jej ograniczania za pomocą środków przeciwbakteryjnych*, Sepsis, 2, 4, s. 183–187.
- Vimir E.R., Kalivoda K.A., Deszo E.L., Steenbergen S.M., 2004, *Diversity of microbial sialic acid metabolism*, Microb. Molec. Biol. Rev., 68, 1, s. 132–153.
- Watnick P., Kolter R., 2000, *Biofilm, city of microbes*, J. Bacteriol., 182, 10, s. 2675–2679.
- Więckowicz M., 2009, *Molekularne metody identyfikacji mikroorganizmów w złożonych ekosystemach*, Post. Microb., 48, 1, s. 67–73.

Biodiversity in bacteriology as a complex biological problem

Abstract

The microbial biodiversity in micro-scale started to be examined at the end of 17th century, when Anton van Leeuwenhoek, as the first researcher, used simple microscopes in observation and description of the small organisms: microbes. In the beginning of microbiology development, the world of unicellular bacteria was seen as uncomplicated, predictable in their simplicity, and bacteria were perceived as single, isolated cells existing in nature. The dynamic development of new research techniques, including molecular biology showed that this simplicity of bacterial structures, metabolism and ecology does not seem so obvious. An interesting point of microbial biodiversity is the biofilm formation by the bacteria, and the specialisation of bacterial cells within this structure. The present research indicated rich biodiversity of outer membrane structures not only between Gram-negative and Gram-positive groups of bacteria, but also between the cells of bacteria in species and subspecies. To consider this information about microbial biodiversity, it is advisable to pay attention to the concept and definition of bacterial species. The species concept in microbiology is still a controversial issue for taxonomists and microbiologists.

Gabriela Bugła-Płoskońska

Uniwersytet Wrocławski

Instytut Genetyki i Mikrobiologii

Zakład Mikrobiologii

e-mail: gabriela-bugla-ploskonska@microb.uni.wroc.pl

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia ad Didacticam Biologiae Pertinentia II (2012)

Dany Azar

Lebanese amber: a “Guinness Book of Records”

Introduction

Amber, a fossil vegetal resin renowned as being a splendid material for the conservation of biological inclusions in their minute 3-D details, occurs all over the world. During the last 15 years, known outcrops of amber have increased significantly in number, due to the growing scientific interest in such material. There is no doubt that “Jurassic Park” of 1993, the famous American science fiction adventure thriller directed by Steven Spielberg, and based on the novel of the same title by Michael Crichton, played a noticeable role in making amber more popular. Before this date, interest in amber was mainly restricted to Baltic and Caribbean countries, though amber occurrence was recognized from several localities worldwide. Amber is a gold mine for the palaeontologists as it contains a variety of biological inclusions in pristine, three-dimensional conditions (Poinar 2003).

The age of amber ranges from a few million to 320 million years (Mid Carboniferous) (Sargent Bray & Anderson 2009), but to date, the oldest one with intensive biological inclusions is the Lebanese one (Azar 1997a,b, 2000, 2007, Azar & Nel 1998; Azar *et al.* 2010; Poinar & Milki 2001; Grimaldi & Engel 2005). More than 375 outcrops have recently been discovered in Lebanon after intensive geological field research conducted in the last decade. Curiously, among these discoveries, only 21 outcrops yield biological inclusions (Figure 1).

Historical

Lebanon officially joined the club of the countries with fossil insect localities in 1888, when H. J. Kolbe described the trace of an insect larva (to which he gave a scientific name) in fossil wood from the Late Santonian lithographic limestone of Sahel Alma. Anton Handlirsch later (1906–1908) changed the name of the insect that is supposed to have made this trace. Of course, in present day naming an insect only after its trace seems unreasonable. The outcrop of Sahel Alma is worldily known for its fossil fishes, and the oldest written evidence of this site dates back to the 4th century AD, when Eusebius of Caesarea (*circa* 263–339 AD) (often called Eusebius Pamphili), the bishop of *Caesarea Palaestina*, recalled these mysterious

stones found in Lebanon and considered them the witnesses of the Deluge. The most famous mention of this site probably appears in the writings of Jean de Joinville (1224–1317 AD) – one of the great chroniclers of medieval France – who reported how a fossil fish was presented to king Louis IX (Saint Louis) (1214–1270) during one of his crusades to the Middle East.

Concerning the amber and the insects trapped inside, the oldest publications describing insects are those of Willi Hennig and Dieter Schlee, both in 1970. Prior to 1994, only one amber outcrop with fossil insects had been known. Recent field research of my team increased the amber localities with biological inclusions to 21.

Phoenicians were probably the first tradesmen of amber in the Mediterranean (McDonald 1940) and also the pioneers of the amber maritime route towards the shores of Northern Europe (Baltic area) to obtain the golden fossil resin in exchange of bronze between 13th and 16th century BC. According to some authors, basing on recent archaeological discoveries, amber was collected in Phoenicia (today Lebanon, Syrian coast and Northern Israel) and marketed in the Middle East by Phoenicians until the Baltic amber, which is of better gemological quality, became available (Williamson 1932, Nissenbaum 1975).

The mythical foundation of the ancient metropolis of Tyre (Southern Lebanon) is correlated to amber: it is believed that this biblical city was founded on two amber rocks (Figure 2).

The word “Lebanon” derives from “*Louban*”, which has two meanings: white, in relation to the Lebanese snowed mountains; and incense, in relation to cedars’ resin or perhaps to amber.

In the modern times, although the presence of amber in Lebanon has been documented several times since the beginning of the 19th century (Desmarest 1811, Kastner 1831, Botta 1831, Brucchi 1842, Russegger 1843, Ritter 1854, Fraas 1876, 1878, John 1878, Cuinet 1896) and in the 20th century (Zumoffen 1926, Dubertret 1950, 1951, 1953, 1955), it is only late in the 1960s that fossil insects were recorded in this material (Schlee & Dietrich, 1970). As a matter of fact, people in Lebanon during the 18th and 19th century were not very interested in amber itself (for its bad gemological quality) but in coal as a source of energy. Amber was mentioned by the above 19th century authors occasionally, while describing the coal or lignite extractions in the mines. The first geological maps of Lebanon made by Botta, then by Russegger (Figure 3) had as an aim location of the lignite and iron mines in order to be exploited for the energy and industry.

In 1962, Aftim Acra (Figure 4), while leading a fossil hunting expedition in the mountains in Daher-El-Baydar (Central Lebanon), accompanied by his son Fadi (who was nine years old) and Raif Milki, found a piece of amber. Since that time until the seventies, they found several amber outcrops, including the well-known one, Jezzine (Jouar Ess-Souss), which was discovered at the same time and independently by a German expedition organized in years 1968–69. The German mission was carried out after M. Warth gave Willi Hennig (in 1967) some samples of amber from Jezzine (Southern Lebanon) kept in the Ludwigsburg collection in Stuttgart Museum. These samples were the remnants of the collection of Oscar Fraas (Figure 5), a German geologist (1824–1897), who was invited by Rustem Pasha (Rustem Mariani 1810–

1885) (Figure 6) the Italian governor of Mount Lebanon (1873–1883), to study the geology in order to find coal mines.

From 1994 till the present day, Raymond Gèze, Kamil Ziadé and I found more than 350 amber deposits ranging from Late Jurassic to Cenomanian period.

Amber outcrops with fossil insects in Lebanon

Amber in Lebanon is found in more than 350 outcrops in all its area, among which 21 yielded fossiliferous amber (Table 1). Land that could potentially yield amber findings is estimated to make up even 10% of Lebanon's total surface (Figure 1).

Tab. 1. The different outcrops of amber with biological inclusions

Governorate	District	Outcrop	Number of inclusions
North Lebanon	<i>Sir Ed-Danniyeh</i>	<i>El-Dabsheh</i>	~ 250
		<i>Brissa</i>	~ 100
	<i>Bcharreh</i>	<i>near Bcharreh</i>	~ 1000
		<i>Beqaa Kafra</i>	6
		<i>Hadath El-Joubbeh - Tannourine</i>	~ 5
<i>El-Batroun</i>	<i>Tannourine</i>	47	
Mont Lebanon	<i>Kesserouan</i>	<i>Ouata El-Jaouz</i>	6
	<i>El-Matn</i>	<i>Daychouniyyeh</i>	11
	<i>Baabda</i>	<i>Kfar Selouan</i>	69
		<i>Mdeyrij-Hammana</i>	3165
	<i>Esh-Shouf</i>	<i>Ain Dara (two localities)</i>	130
		<i>Ain Zhalta</i>	20
<i>Aley</i>	<i>Sarhmoul</i>	29	
South Lebanon	<i>Jezzine</i>	<i>Roum – Aazour - Homsiyeh</i>	37
		<i>Jouar Es-Souss (Bkassine)</i>	~ 3000
		<i>Wadi Jezzine</i>	~ 20
		<i>Maknouniyeh</i>	14
Beqaa	<i>Baalbeck</i>	<i>Esh-Sheaybeh</i>	22
	<i>Zahleh</i>	<i>Bouarij</i>	220
	<i>Rashaiya</i>	<i>Aita El-Foukhar</i>	1

Geological settings

Amber in Lebanon is found in lenses of dark clay and shale associated with lignite and plant debris, sometimes in purely fluvial deposition system, i.e. in channels, or riversides, and sometimes the deposition is subject to marine influences, i.e. in a deltaic zone, or on the littoral (in the intertidal area). In fluvial cases, no palynomorphs of marine origin are found and amber deposition could mainly occur after storms, while several types of dinoflagellates and marine gastropods are incorporated into the sediments when the deposition undergoes marine influence.

Lebanese amber is often buried in its primary deposit, with lignite and fossil leaves from the resin producing tree (Figures 7–8). When transported, it is for short distances, as confirmed by the exceptional preservation state of the palynomorphs.

Till now, about 8500 biological inclusions (mainly insects) have been found in the amber from different Lebanese outcrops, in less than 10 kg of amber that had been screened for inclusions, and still more than 250 kg waits to be studied.

The age of Lebanese amber ranges from Late Jurassic to Albian. The fossiliferous outcrops have nearly the same age, *viz.* Late Barremian to Early Aptian (Azar 2007, Azar *et al.* 2003, 2010, 2011). This fact is confirmed by the presence of the same entomofauna in the different fossiliferous outcrops (see appendix table 1). The different aspects of biological inclusions in the amber and their significance, discussed herein, are true for any kind of amber. However, this paper deals more specifically with the inclusions from the Lebanese resources.

Lebanese amber inclusions

The most fascinating aspects of the Lebanese amber are the abundance and the outstanding preservation of the biological inclusions. In addition, the Lebanese amber is considered by most scientists to be the most important one, as it belongs to the Lower Cretaceous age, the time of appearance of flowering plants (Angiosperms) – which is a major event in the evolution – as angiosperms constitute today more than 3/4 of world flora. While the relationship between terrestrial arthropods (especially insects) and plants is so close, it is normal that, if we want to understand the origin of all recent and modern ecosystems, we have to go back to the epoch of their starting point, which is the Lower Cretaceous. Moreover, there are no extensive terrestrial fossil records that correspond to this era, except the Lebanese amber, which increases considerably the uniqueness of this material.

Inclusions could be found in Lebanese amber every 25 to 30 pieces. This amber rarely includes vertebrate remains (one lizard *Baabdasaurus xenor* Arnolds *et al.*, 2002 (Figure 9), some reptile exuviae skin and few feathers (Figure 10) (Schlee 1973, Schlee & Glöckner 1878), but numerous arthropods and vegetal remains trapped while the resin exudation was fluid. A pupillid snail has been also found in the Lebanese amber and is considered as the earliest one (Figure 11) (Roth *et al.* 1996). Among arthropods, insects are largely dominant and most of the orders are represented (see appendix table 2) (19 orders: Archaeognatha, Blattodea (Figure 12), Coleoptera (Figure 13), Collembola, Dermaptera (Figure 14), Diptera (Figure 15), Ephemeroptera, Hemiptera (Figures 16, 17), Hymenoptera (Figure 18), Isoptera (Figure 19), Lepidoptera (Figure 20), Mantodea, Neuroptera (Figure 21), Odonata, Orthoptera, Psocodea (Figure 22), Thysanoptera (Figure 23), Thysanura, Trichoptera). To date 177 taxa were created from the Lebanese amber, including 165 insects, 8 arachnids (Figures 24–26) (see appendix table 2), other inclusions are still waiting their identification.

A single piece of amber can contain one or several inclusions. Some of those that are found alone may provide important indirect hints of other organisms' presence, or reflect a specific habitat or palaeogeography. Regarding the specimens where several inclusions (or syninclusions) are found together, some of them are present only in a hazardous manner, but a considerable number of them are assembled for an ecological behaviour such as mating (Figure 27) or parasitism (Figure 28) etc.

In general, when the amber is in its primary deposition site, the inclusions are almost contemporaneous, while when the amber deposit has been reworked, the

amber inclusions could have several ages. The inclusions found in a piece of amber are trapped mostly at the same time with a difference of very few days or weeks, depending on each flow of resin.

As is the case with other amber, there are size and habitat limitations on the types of organisms that can be trapped in Lebanese specimens. Some arthropods that are specific to certain hosts can provide clues to other organisms that existed at that time. Engel & Grimaldi (2006) described recently a sclerogibbid wasp (*Sclerogibbodes embioleia* Engel & Grimaldi 2006). Sclerogibbidae are obligate parasitoids of webspinners (Embioptera), and thus the recovery of this lineage from the Lebanese amber implies that webspinners were probably present in the palaeofauna. Another example is the presence of the Acari of the family Smarididae, which are generally parasites of Psocids, relatively well represented in the Lebanese amber. This situation is also the case of most of the parasitoids or parasites present in the Lebanese as in any amber; it simply indicates that some trophical specialization and relationship were most likely already established.

Some inclusions can provide indirect evidence of specific habitats, or climate. For example, chironomids (very common and diversified Diptera in the Lebanese amber), limonids, tipulids and psychodid flies, caddisflies (Trichoptera) provide evidence of aquatic or very humid habitats. In general, most of the Lebanese amber inclusions reflect a hot, dense and humid forest environment. The information given by the whole inclusions corroborate the data set by palynology: the palaeoenvironment of the amber deposits corresponds to a tropical, dense, warm and humid forest with an intense complex fluvial system, altogether close to the sea (Figure 29). In addition, most of the fauna entombed in the Lebanese amber is the one living on the lower- to mid-part of trees. This could be explained by the fact that this type of fauna has more chance to be trapped, since normally all the resin drops falling down from the tree pass inevitably and more frequently by this area. The study of the different inclusions allowed the reconstruction of the paleoenvironment (Figure 29).

Conclusion

Amber is a material that has always been fascinating and forever will be. It constitutes a wonderful 'natural time capsule', as termed by Ross (1998, 2010), and an original material that preserves not only superb biological inclusions in their pristine three-dimensional details, but also aspects of their mode of life and their ecology. Life forms' preservation in amber significantly increases our knowledge of the palaeobiodiversity, the palaeoenvironment, and the palaeoecology, and gives the amber the attribute, coined by Grimaldi (2003), of an exceptional „window to the past”.

Lebanese amber contains a lot of extinct families (some of them are known only from Lebanon) and the records of the oldest representatives of many modern families of terrestrial arthropods. Lebanese inclusions constitute most of the time the “missing links” between the old fauna and the modern one. The study of the Lebanese amber inclusions has been the only one so far that offers a clue in determining the North-East Gondwanian biodiversity and environment of the extremely significant Lower Cretaceous period. The recent discoveries of new, diverse outcrops of fossiliferous amber in Lebanon help to increase the possibility to meet the challenge of considerably enriching our knowledge of the Past.

Efforts are done to categorize this natural treasure on the list of Heritage of Humanity. The different Lebanese outcrops are not yet officially protected against vandalism. Their destruction or pillaging would be a great loss to the Human Heritage, and to the scientific knowledge.

Acknowledgements

I'm thankful to Dr hab. Katarzyna Potyrała and Dr hab. Robert Stawarz, from the Pedagogical University of Cracow, Poland, for their kind invitation to contribute to this special volume. This paper is a contribution to the project “Insects in the Lower Cretaceous Lebanese amber: taxonomy, palaeobiodiversity and evolution”, under cooperative agreements between the Lebanese University (Beirut); MIZ (Museum, and the Institute of Zoology), the Polish Academy of Sciences, Warsaw; the University of Gdansk; and the Polish Academy of Sciences, Cracow, in the project “Origin and evolution of biodiversity of Europe and Middle East”. It is also a part of the cooperative agreement between the Lebanese University and the Pedagogical University of Cracow. This paper is a contribution to the team project “Biodiversity: Origin, Structure, Evolution and Geology” awarded to the author by Lebanese University.

References

- Arnolds E. N., Azar D., Ineich I. & Ne, A., 2002, *The oldest reptile in amber: a 120 million year old lizard from Lebanon*, Journal of Zoology, London, 258, p. 7–10.
- Azar D., 1997a, *A new method for extracting vegetal and insect fossils from the Lebanese amber*, Palaeontology, 40, p. 1027–1029.
- Azar D., 1997b, *Lebanese Amber*, Meganeura, 1, 26–27.
- Azar D., 2000, *Les ambres mésozoïques du Liban*, Unpublished PhD thesis, Université Paris XI, Orsay, France.
- Azar D., 2007, *Preservation and accumulation of biological inclusions in Lebanese amber and their significance*, Comptes rendus – Palevol, 6 (1–2), p. 151–156.
- Azar D., Dejax J. & Masure E., 2011, *Palynological analysis of amber-bearing clay from the Lower Cretaceous of Central Lebanon*, Acta Geologica Sinica (English Edition), 85 (4), p. 942–949. DOI, 10.1111/j.1755-6724.2011.00497.
- Azar D., Engel M.S. & Grimaldi D.A., 2010, *A new genus of sphaeropsocid bark lice from the Early Cretaceous amber of Lebanon (Psocodea, Sphaeropsocidae)*, Annales de la Société Entomologique de France, 46 (1–2), p. 103–107.
- Azar D., Fleck G., Nel A. & Solignac M., 1999, *A new enicocephalid bug, Enicocephalinus acra-grimaldii, gen. nov., sp. nov., from the lower Cretaceous amber of Lebanon, (Insecta, Heteroptera, Enicocephalidae)*, Estudios del Museo de Ciencias Naturales de Alava, 14 (Número especial 2), p. 217–230.
- Azar D., Gèze R. & Acra F., 2010, Chapter 14, Lebanese amber pp. 271–298, [in:] D. Penney (Ed.), *Biodiversity of Fossils in Amber*, Siri Scientific Press.
- Azar D., Nel A., 1998, *Lebanese Lower Cretaceous amber*, Meganeura, 2, p. 18–20.
- Azar D., Nel A. & Gèze R., 2003, *Use of amber fossil inclusions in palaeoenvironmental reconstruction, dating and palaeobiogeography*, Acta Zoologica Cracoviensis, 46 (suppl. – Fossil Insects), p. 393–398.

- Azar D., Nel A., Enge, M.S., Garrouste R., Matocq A., 2011, *A new family of Coreoidea from the Lower Cretaceous Lebanese Amber (Hemiptera, Pentatomomorpha)*, Polish Journal of Entomology, 80, p. 627–644. DOI, 10.2478/v10200-011-0049-5
- Botta P.E., 1831, *Sur la Structure géognostique du Liban et de l'Anti-Liban*, Bulletin de la Société Géologique de France, 10, p. 234–239.
- Brucchi G.B., 1842, *Giornale delle osservazioni fatte ne viaggi in Egitto nella Siria e nella Nubia*, Bassano.
- Desmarest M., 1811, *Encyclopédie méthodique, ou par ordre de matières: par une société de gens de lettres, de savants et d'artistes*, Géographie Physique. Tome Quatrième, Agasse H. (Ed.), Paris.
- Cuinet V., 1896, *Syrie, Liban et Palestine, géographie administrative, statistique descriptive et raisonnée*, Leroux (ed.), Paris.
- Dubertret L., 1950, *Carte géologique au 1:50 000; Feuille de Djezzîne*, République Libanaise, Ministère des travaux publics, Beyrouth.
- Dubertret L., 1951, *Carte géologique au 1:50 000; Feuille de Beyrouth*, République Libanaise, Ministère des travaux publics, Beyrouth.
- Dubertret L., 1953, *Carte géologique au 1:50 000; Feuille de Zahlé*, République Libanaise, Ministère des travaux publics, Beyrouth.
- Dubertret L., 1955, *Carte géologique du Liban au 1:200 000*, République Libanaise, Ministère des travaux publics, Beyrouth.
- Fraas O., 1876, *Drei Monate am Libanon*, Levy & Müller (Eds), Stuttgart.
- Fraas O., 1878, *Geologisches aus dem Libanon*, Jahreshfte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, 34, p. 257–391.
- Engel M.S. & Grimaldi D.A., 2006, *The First Cretaceous Sclerogibbid Wasp (Hymenoptera: Sclerogibbidae)*, American Museum Novitates, 3515, p. 1–7.
- Engel M.S., Nel A., Azar D., Soriano C., Néraudeau D., Colin J.-P. & Perrichot V., 2011, *New, primitive termites (Isoptera) from Early Cretaceous ambers of France and Lebanon*, Palaeodiversity, 4, p. 39–49.
- Engel M.S., Ortega-Blanco J. & Azar D., 2011, *The earliest earwigs in amber (Dermaptera): A new genus and species from the Early Cretaceous of Lebanon*, Insect Systematics & Evolution, 42 (2), p. 139–148. DOI: 10.1163/187631211X555717
- Grimaldi D.A., 2003, *Amber: Window to the Past*, Abrams, H.N.(Ed.).
- Grimaldi D.A. & Engel M.S., 2005, *Evolution of the Insects*, Cambridge University Press.
- Handlirsch A., 1906–1908, *Die fossilen Insekten und die Phylogenie der rezenten Formen*, Leipzig.
- Hennig W., 1970, *Insektenfossilien aus der Unteren Kreide. 2. Empididae (Diptera, Brachycera)*, Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde, 214, p. 1–12.
- John K., 1876, *Bernstein und Schraufit aus dem Libanon*, Verhandlungen der kaiserlich – königlichen Geologischen Reichsanstalt, Wien, 11, p. 255–257.
- Kastner K.W.G., 1831, *Archiv für die gesammte Naturlehre*, Vol. 21, Nürnberg.
- Kolbe H.J., 1888, *Zur Kenntnis von Insektenbohrungen in fossilen Holzern*, Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, p. 40, p. 131–137.
- Lourenço W.R., 2001, *A remarkable scorpion fossil from the amber of Lebanon. Implications for the phylogeny of Buthoidea*, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 332, p. 641–646.

- McDonald L.S., 1940, *Jewels and Gems*, Thos. Y. Crowell Company (Ed.), New York.
- Nissenbaum A., 1975, *Lower cretaceous amber from Israel*, *Naturwissenschaften*, 62 (7), p. 341–342.
- Petrolevičius J.F., Azar D. & Nel A., 2010, *A new thorny lacewing (Insecta: Neuroptera: Rhachiberothidae) from the Early Cretaceous amber of Lebanon (Neuroptera)*, *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 84 (4), p. 828–833.
- Poinar G.O.Jr., 2003, *Amber*, [in:] V.H. Resh, R.T. Cardé (Eds.), *Encyclopedia of Insects*, Academic Press, p. 9–12.
- Poinar G.O.Jr. & Milki R., 2001, *Lebanese Amber*, Oregon State University Press, Corvallis.
- Ritter C., 1854, *Die Erdkunde von Asien*, Vol. VIII, pt. 2, section 3, *Die Erdkunde im verhältniss zur Natur und zur Geschichte des Menschen Oder allgemeine vergleichende Geographie, als sichere Grundlage des Studiums und Unterrichts in physikalischen und historischen Wissenschaften*, Berlin.
- Ross A.J., 1998, *Amber: The Natural Time Capsule*, Natural History Museum, London.
- Ross A.J., 2010, *Amber: The Natural Time Capsule*, Natural History Museum, Earth Science Publications, London.
- Roth B., Poinar G.O. Jr., Acra A. & Acra F., 1996, *Probable pupillid land snail of early Cretaceous (Hauterivian) age in amber from Lebanon*, *Veliger*, 39, p. 78–79.
- Russeger, J. (1843). *Reisen in Europa, Asien und Afrika besonderer Rücksicht auf die naturwissenschaftlichen Verhältnisse der betreffenden Länder, unternommen in den Jahren 1835 bis 1841*, vol. 1, pt. 2, Stuttgart, p. 471–1102.
- Sargent Bray P. & Anderson K.B., 2009, *Identification of Carboniferous (320 Million Years Old) Class Ic Amber*, *Science*, 326, p. 132–134.
- Schlee D., 1970, *Insekten fossilien aus der unteren Kreide. 1: Verwandtschaftsforschung an fossilien und rezente Aleyrodina (Hemiptera)*, *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde (A)*, 213, p. 1–72.
- Schlee D. 1973, *Harzkonservierte Vogelferden aus der untersten Kreide*, *Journal fur Ornithologie*, 114, p. 207–219.
- Schlee D. & Glöckner W., 1978, *Bernstein*, *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde (C)*, 8, p. 1–72.
- Williamson G.C., 1932, *The Book of Amber*, Ernst Benn Ltd. (Ed.), London.
- Zumoffen G., 1926, *Géologie du Liban*, Carte géologique au 200.000^{ième}, Barrière, Paris.

Lebanese amber: a “Guinness Book of Records”

Abstract

In Lebanon, amber is found in more than 350 outcrops. It constitutes the oldest and most important amber with intensive biological inclusion. Formation of this amber corresponds to Lowermost Cretaceous, a period crucial for co-evolution between flowering plants and insects. This period witnesses the first occurrence and radiation of angiosperms. Most of the times biological inclusions in Lebanese amber represent records of the earliest representatives of modern living insect families or the youngest ones of extinct families. A list of the described taxa from Lebanese amber is given.

Dany Azar

Lebanese University, Faculty of Sciences II
Department of Natural Sciences
PO box 26110217, Fanar – Matn (Lebanon)
E-mail: azar@mnhn.fr

Appendix 1

Order	Family	Taxa	DA	BS	TA	BO	HA	SA	JE	HR	KF	AN	SH	BR	WJ
Coleoptera	Staphylinidae	<i>Libanoeuaesthetus pentatarsus</i> Lefèbvre et al., 2005	?	?	?	?	+	?	?	?	?	+	?		
Hemiptera	Enicocephalidae	<i>Enicocephalinus acragrimaldii</i> Azar et al., 1999	+	+	?	+	+	?	+	?	+	+	+		
	Psychodidae	<i>Libanophlebotomus lutfallahi</i> Azar et al., 1999	?	+	?	?	+	?	+	?	?	?	?		
		<i>Eophlebotomus gezei</i> Azar et al., 2003	?	?	?	+	+	?	?	+	?	?	?		
		<i>Paleopsychoda jacquelinea</i> Azar et al., 1999	?	?	?	+	+	?	+	?	?	?	+	+	+
Diptera	Empididae	<i>Phaetempis lebanensis</i> Grimaldi & Cumming, 1999	?	+	?	?	?	?	+	?	?	?	?		
	Chimeromiidae	<i>Chimeromyia intriguea</i> Grimaldi & Cumming, 1999	?	+	?	?	?	?	+	?	?	?	?		
		<i>Archiaustroconops ceratiformis</i> Szadziewski, 1996	?	+	?	?	?	?	+	?	?	?	?		
	Ceratopogonidae	<i>Archiaustroconops szadziewskii</i> Borkent, 2000	?	+	?	?	+	?	+	?	?	?	?		
		<i>Archiaustroconops harnus</i> Borkent, 2000	?	+	?	?	?	?	+	?	?	?	?		
		<i>Austroconops gondwanicus</i> Szadziewski, 1996	?	+	+	?	?	?	+	?	?	?	?		
		<i>Austroconops fossilis</i> Szadziewski, 1996	?	+	?	?	?	?	+	?	?	?	?		
	Archizelmiridae	<i>Zelmiarcha lebanensis</i> Grimaldi et al., 2003	+	?	+	?	+	?	?	?	?	+	?		
	Chironomidae	<i>Libanochilites neocomicus</i> Brundin, 1976	+	?	+	+	+	+	+	?	?	+	?	+	+
Neuroptera	Rhachiberothidae	<i>Raptorapax terribilissima</i> Petrolevičius, Azar & Nel, 2010				+									+

DA = El-Dabsheh; BS = Bcharreh; TA = Tannourine; BO = Bouarij; HA = Mdeyrij-Hammana; SA = Sarhmoul; JE = Jouar Es-Souss (Jezzine); HR = Roum – Aazour - Homsiyeh; KF = Kfar Selouan; AN = Ain Dara; SH = Esh-Sheabeh; BR = Brissa; WJ = Wadi Jezzine

Appendix 2. Taxa described from the Lebanese amber

Class	Order	Family	Taxa	Site name
Insecta	Archaeognatha	Meinertellidae	<i>Cretaceomachilis libanensis</i> Sturm & Poinar, 1998	Jouar Es-Souss
		Blattellidae	<i>Ocelloblattula ponomarenkoi</i> Anisyutin & Gorochov, 2008	Mdeyrij-Hammana
	Coleoptera	Mesoblattinidae	<i>Nymphoblatta azari</i> Vršanský & Grimaldi, 2004	Lebanon
		Umenocoleidae	<i>Pseudojantaroapterix lebani</i> (Vršanský & Grimaldi, 2003)	Lebanon
		Anthicidae	<i>Camelomorpha longicervix</i> Kirejtshuk & Azar, 2008	Mdeyrij-Hammana
	Coleoptera	Cerophytidae	<i>Lebanophytum excellens</i> Kirejtshuk & Azar, 2008	Mdeyrij-Hammana
		Clambidae	<i>Eoclambus rugidorsum</i> Kirejtshuk & Azar, 2008	Mdeyrij-Hammana
	Coleoptera	Curculionidae	<i>Cylindrobrotus pectinatus</i> Kirejtshuk <i>et al.</i> , 2009	Mdeyrij-Hammana
		Dermestidae	<i>Cretonodes antounazari</i> Kirejtshuk & Azar, 2009	Mdeyrij-Hammana
	Coleoptera	Elodophthalimidae	<i>Elodophthalmus gracilis</i> Kirejtshuk & Azar, 2008	Mdeyrij-Hammana
			<i>Elodophthalmus harmonicus</i> Kirejtshuk & Azar, 2008	Mdeyrij-Hammana
	Coleoptera	Hybosoridae	<i>Libanochrus calvus</i> Kirejtshuk, Azar & Montreuil, 2011	Bouarjij
			<i>Lebanorettes andelmani</i> Kirejtshuk & Azar, 2008	Mdeyrij-Hammana
	Coleoptera	Latriidae	<i>Archelatrius marinae</i> Kirejtshuk & Azar, 2009	Mdeyrij-Hammana
			<i>Tetrameropsis mesozoica</i> Kirejtshuk & Azar, 2008	Mdeyrij-Hammana
	Coleoptera	Micromalthidae	<i>Cretomalthus acaracrowsonorum</i> Kirejtshuk & Azar, 2008	Jouar Es-Souss
			<i>Rhizophitoma elateroides</i> Kirejtshuk & Azar, 2009	Mdeyrij-Hammana
	Coleoptera	Nemonychidae	<i>Libanorhinus succinus</i> Kuschel & Poinar, 1993	Jouar Es-Souss
			<i>Libanoeuaesthetus pentatarsus</i> Lefebvre <i>et al.</i> , 2005	Mdeyrij-Hammana

	Dermaptera	incertae sedis	<i>Rhadinolabis phoenicica</i> Engel, Ortega-Blanco & Azar, 2011	Mdeyrij-Hammana	
	Diptera	incertae sedis	<i>Xenopsychoda harbi</i> Azar & Ziadé, 2005	Tannourine	
		Archizelmiridae	<i>Zelimircha lebanensis</i> Grimaldi et al., 2003	Mdeyrij-Hammana	
		Chaoboridae	<i>Libanoborus lukashevici</i> Azar, Waller & Nel, 2009	Mdeyrij-Hammana	
		Chimeromyiidae		<i>Chimeromyia acuta</i> Grimaldi & Cumming, 1999	Bcharreh Mountains
				<i>Chimeromyia intriguea</i> Grimaldi & Cumming, 1999	Bcharreh Mountains
				<i>Chimeromyia mediobscura</i> Grimaldi & Cumming, 2009	Mdeyrij-Hammana
				<i>Chimeromyia piliitibia</i> Grimaldi & Cumming, 2009	Mdeyrij-Hammana
				<i>Chimeromyia reducta</i> Grimaldi & Cumming, 1999	Jouar Es-Sous
		Chironomidae		<i>Cretadiamesa arieli</i> Veltz, Azar & Nel, 2007	Mdeyrij-Hammana
				<i>Cretaelne kobeyssii</i> Azar, Veltz & Nel, 2008	Mdeyrij-Hammana
				<i>Cretaelne inexpectata</i> Azar, Veltz & Nel, 2008	Mdeyrij-Hammana
				<i>Cretapelopia salomea</i> Veltz, Azar & Nel, 2007	Mdeyrij-Hammana
				<i>Lebanodiamesa deploegi</i> Veltz, Azar, & Nel, 2007	Mdeyrij-Hammana
				<i>Lebanorthocladius furcatus</i> Veltz, Azar, & Nel, 2007	Mdeyrij-Hammana
				<i>Libanochilites neocomicus</i> Brundin, 1976	Jouar Es-Sous
			<i>Libanopelopia cretatica</i> Veltz et al., 2007	Roum-Aazour-Homsiyeh	
			<i>Haematotanypus libanicus</i> Azaret et al., 2008	Jouar Es-Sous	
			<i>Paichelesia magnifica</i> Azar & Nel, 2010	Mdeyrij-Hammana	
		<i>Wadelius libanicus</i> Veltz et al., 2007	Mdeyrij-Hammana		
		<i>Ziadeus kamilli</i> Azar & Nel, 2010	Mdeyrij-Hammana		

	Dolichopodidae	<i>Sympycnites primaevus</i> Grimaldi & Cumming, 1999	Bcharreh Mountains
	Empididae	<i>Atelestites senectus</i> Grimaldi & Cumming, 1999	Bcharreh Mountains
		<i>Avenaphora hispida</i> Grimaldi & Cumming, 1999	Bcharreh Mountains
		<i>Microphorites extinctus</i> Hennig, 1971	Jouar Es-Souss
		<i>Microphorites oculus</i> Grimaldi & Cumming, 1999	Jouar Es-Souss
		<i>Microphorites similis</i> Grimaldi & Cumming, 1999	Jouar Es-Souss
		<i>Phaetempis lebanensis</i> Grimaldi & Cumming, 1999	Bcharreh Mountains
		<i>Trichinites cretaceous</i> Hennig, 1970	Jouar Es-Souss
	Ironomyiidae	<i>Lebambromyia acraei</i> Grimaldi & Cumming, 1999	Jouar Es-Souss
	Limoniidae	<i>Lebania levantia</i> Podenas <i>et al.</i> , 2001	Jouar Es-Souss
		<i>Lebania longaeva</i> Podenas <i>et al.</i> , 2001	Jouar Es-Souss
	Lygistorrhiniidae	<i>Lebanognoriste prima</i> Blagoderov & Grimaldi, 2004	Jouar Es-Souss
	Lonchoteridae	<i>Lonchopterites prisca</i> Grimaldi & Cumming, 1999	Bcharreh Mountains
		<i>Lonchopteromorpha asetocella</i> Grimaldi & Cumming, 1999	Bcharreh Mountains
	Psychodidae	<i>Cretapsychoda inexpectata</i> Azar <i>et al.</i> , 1999	Mdeyrij-Hammana
		<i>Eophlebotomus gezei</i> Azar <i>et al.</i> , 2003	Mdeyrij-Hammana
		<i>Libanophlebotomus lutfallahii</i> Azar <i>et al.</i> , 1999	Mdeyrij-Hammana
		<i>Libanopsychoda abillamai</i> Azar <i>et al.</i> , 1999	Mdeyrij-Hammana
		<i>Mesophlebotomides hennigi</i> Azar <i>et al.</i> , 1999	Mdeyrij-Hammana
		<i>Paleopsychoda inexpectata</i> Azar & Nel, 2002	Mdeyrij-Hammana
		<i>Paleopsychoda jacquelinae</i> Azar <i>et al.</i> , 1999	Mdeyrij-Hammana
		<i>Paleopsychoda solignaci</i> Azar <i>et al.</i> , 1999	Mdeyrij-Hammana
		<i>Parailbanopsychoda agnieszkae</i> Azar & Nel, 2002	Mdeyrij-Hammana
		<i>Phlebotomites brevifilis</i> Hennig, 1972	Jouar Es-Souss
		<i>Phlebotomites longifilis</i> Hennig, 1972	Jouar Es-Souss
		<i>Protopsychoda hammanaensis</i> Azar <i>et al.</i> , 1999	Mdeyrij-Hammana
		<i>Protopsychoda nadiiae</i> Azar <i>et al.</i> , 1999	Mdeyrij-Hammana
	Ptychopteridae	<i>Leptychoptera dimkina</i> Lukashevich & Azar, 2003	Mdeyrij-Hammana
		<i>Leptychoptera vovkina</i> Lukashevich, & Azar, 2003	Bcharreh Mountains
	Rhagionidae	<i>Mesobolbomyia acari</i> Grimaldi & Cumming, 1999	Jouar Es-Souss
		<i>Paleochrysopilus hirsutus</i> Grimaldi & Cumming, 1999	Bcharreh Mountains

	Sciadoceridae	<i>Archisciada lebanensis</i> Grimaldi & Cumming, 1999	Bcharreh Mountains
Ephemeroptera	Xylomyiidae	<i>Cretoxyla azari</i> Grimaldi & Cumming, 2011	Mdeyriji-Hammana
	Leptophlebiidae	<i>Conovirillus poinari</i> McCafferti, 1997	Jouar Es-Souss
Hemiptera	Aleyrodidae	<i>Bernaesa neocomica</i> Schlee, 1970	Jouar Es-Souss
		<i>Heidea cretatica</i> Schlee, 1970	Jouar Es-Souss
		<i>Baetylus kahramanus</i> Drohojowska & Szwedo, 2011	Mdeyriji-Hammana
	Cixiidae	<i>Karebobopoides aptianus</i> (Fennah, 1987)	Jouar Es-Souss
	Electrococcidae	<i>Aptiococcus minutus</i> Koteja & Azar, 2008	Mdeyriji-Hammana
	Enicocephalidae	<i>Enicocephalinus acragimaldii</i> Azar et al., 1999	Mdeyriji-Hammana
	Hammanococcidae	<i>Hammanococcus setosus</i> Koteja & Azar, 2008	Mdeyriji-Hammana
	Lebanococcidae	<i>Lebanococcus longiventris</i> Koteja & Azar, 2008	Mdeyriji-Hammana
	Liadopsyllidae	<i>Liadopsylla apedetica</i> Ouvrard et al., 2010	Mdeyriji-Hammana
	Neazoniidae	<i>Neazonia immature</i> Szwedo, 2007	Mdeyriji-Hammana
		<i>Neazonia imprinta</i> Szwedo, 2007	Jouar Es-Souss
		<i>Neazonia tripleta</i> Szwedo, 2007	Mdeyriji-Hammana
	Ortheziidae	<i>Cretorhezia hammanaica</i> Koteja & Azar, 2008	Mdeyriji-Hammana
	Progonomicidae	<i>Ilahulgabalus endaidus</i> Szwedo, Azar & Ziadé, 2011	El-Dayshouniyyeh
	Putoidae	<i>Palaeotupo danielaee</i> Koteja & Azar, 2008	Mdeyriji-Hammana
<i>Pennygullania electrica</i> Koteja & Azar, 2008		Mdeyriji-Hammana	
Pennygullaniidae	<i>Libanohypselosoma papovi</i> Azar & Nel, 2010	Mdeyriji-Hammana	
Schizopteridae	<i>Palaeosteingelia acrai</i> Koteja & Azar, 2008	Mdeyriji-Hammana	
Steingeliidae	<i>Palaeosteingelia caudate</i> Koteja & Azar, 2008	Mdeyriji-Hammana	
	<i>Palaeosteingelia caudate</i> Koteja & Azar, 2008	Mdeyriji-Hammana	
Tajmyraphidae	<i>Lebanaphis minor</i> Heie, 2000	Mdeyriji-Hammana	
	<i>Megarostrom azari</i> Heie, 2000	Mdeyriji-Hammana	
Thelaxidae	<i>Gondvanocaphis estephani</i> Wegierek & Grimaldi, 2010	Bcharreh Mountains	

	Yuripopoviniidae	<i>Yuripopovina magnifica</i> Azar et al., 2011	Bouarjij
Hymenoptera	Dryiniidae	<i>Aphelopus palaephaenicus</i> Olmi, 1999	Jouar Es-Souss
	Evaniidae	<i>Eovernevania cyrtocera</i> Deans et al., 2004 <i>Lebanevania azari</i> Basibuyuk et al., 2002 <i>Protoparevania Iourathi</i> Deans et al., 2004 <i>Ahiramaimetsha najlae</i> Perrichot et al., 2011 <i>Cretaxenomerus jankotejai</i> Nel & Azar, 2005 <i>Proteroscelio gravatus</i> Johnson et al., 2008 <i>Sclerogibbodes embioleia</i> Engel & Grimaldi, 2006 <i>Libanobythus milkii</i> Prentice & Poinar, 1996 <i>Ulio bythus tersichore</i> Engel & Grimaldi, 2007 <i>Zapenesia libanica</i> Engel & Grimaldi, 2007 <i>Melgwartitermes myrrheus</i> Engel et al., 2007 <i>Lebanotermes veltzoe</i> Engel, Azar & Nel, 2011 <i>Parasabatina aftimacrai</i> Whalley, 1978 <i>Gryllomantis libanensis</i> (Grimaldi, 2003) <i>Banoberotha enigmatica</i> Whalley, 1980 <i>Libanocomis fadiacra</i> (Whalley, 1980) <i>Libanosemidalis hammanaensis</i> Azar et al., 2000 <i>Chimerhachiberatha acrasarii</i> Nel et al., 2005 <i>Paraberotha acra</i> Whalley, 1980 <i>Raptorapax terribilissima</i> Petrolevičius, Azar & Nel, 2010 <i>Spinaberotha mickaelacrai</i> Nel et al., 2005 <i>Libanolestes flecki</i> Azar, Prokop & Nel, 2010 <i>?Halotettigonia aenigmatosa</i> Gorokhov, 2010 <i>Libanomphientomum nudus</i> Choufani, Azar & Nel, 2011 <i>Paramesopsocus lu</i> Azar et al., 2008 <i>Bcharrehglaris annunobi</i> Azar & Nel, 2004 <i>Libanoglaris chehabi</i> Azar & Nel, 2004 <i>Libanoglaris mouawadi</i> Azar et al., 2003 <i>Libanoglaris randatae</i> Azar & Nel, 2004 <i>Setoglaris reemae</i> Azar & Nel, 2004 <i>Libanopsyllipocus alexanderasmitisyni</i> Azar & Nel, 2001 <i>Sphaeropsocites libanensis</i> Grimaldi & Engel, 2006	Jouar Es-Souss Mdeyrij-Hammana Jouar Es-Souss Mdeyrij-Hammana Maknouniyyeh Mdeyrij-Hammana Mdeyrij-Hammana Bcharreh Mountains Jouar Es-Souss Mdeyrij-Hammana Mdeyrij-Hammana Bcharreh Mountains Mdeyrij-Hammana Jouar Es-Souss Jouar Es-Souss Mdeyrij-Hammana Jouar Es-Souss Jouar Es-Souss Bouarjij Mdeyrij-Hammana Ain Dara Mdeyrij-Hammana Mdeyrij-Hammana Mdeyrij-Hammana Bcharreh Mountains Mdeyrij-Hammana Mdeyrij-Hammana Jouar Es-Souss Mdeyrij-Hammana Mdeyrij-Hammana Jouar Es-Souss
	Isoptera		
Lepidoptera	incertae sedis		
	Micropterigidae		
Mantodea	Gryllomantidae		
	Berothidae		
Neuroptera	Coniopterygidae		
	Rhachiberothidae		
Odonata	uncertain		
Orthoptera	Haglotettigoniidae		
	? Amphientomidae		
Psocodea	Paramesopsocidae		
	Prionoglaridae / Archaeatropidae		
	Psyllipsocidae		
	Sphaeropsocidae		

			<i>Asphaeropsocites nell Azar et al., 2010</i>	Mdeyrij-Hammama
		Mesoraphidiinae	<i>Lebanoraphidia nana</i> Bechly & Wolf-Schwenninger, 2011	Jouar Es-Souss
	Thysanoptera	Adiheterothripidae	<i>Neocomothrips hennigianus</i> zur Strassen, 1973	Jouar Es-Souss
			<i>Progonothrips horridus</i> zur Strassen, 1973	Jouar Es-Souss
			<i>Rhethinotrips elegans</i> zur Strassen, 1973	Jouar Es-Souss
			<i>Scaphothrips antennatus</i> zur Strassen, 1973	Jouar Es-Souss
			<i>Exitelothrips mesozoicus</i> zur Strassen, 1973	Jouar Es-Souss
			<i>Jezzinothrips cretacicus</i> zur Strassen, 1973	Jouar Es-Souss
		Moundthripidae	<i>Moundthrips beatificus</i> Nel, Azar & Nel, 2007	Jouar Es-Souss
		Phlaeothripidae	<i>Rohrthrips libanicus</i> Nel et al., 2010	Mdeyrij-Hammama
		Thripidae	<i>Tethystrrips libanicus</i> Nel et al., 2010	Mdeyrij-Hammama
Arachnida	Araneae	Deinopidae	<i>Palaeomicromennus lebanensis</i> Penney, 2003	Mdeyrij-Hammama
		Linyphiidae	Described but not named Penney & Selden, 2002	Mdeyrij-Hammama
		Oecobiidae	<i>Lebanoecobius schleer</i> Wunderlich, 2004	Jouar Es-Souss
			<i>Zamilia antecessor</i> Wunderlich, 2008	Mdeyrij-Hammama
		Plumorsolidae	<i>Plumorsolus gondwanensis</i> Wunderlich, 2008	Mdeyrij-Hammama
		Segestriidae	<i>Lebansegestria azari</i> Wunderlich, 2008	Mdeyrij-Hammama
			<i>Microsegestria poinari</i> Wunderlich & Milki, 2004	Jouar Es-Souss
	Scorpiones	Archaeobuthidae	<i>Archaeobuthus estephani</i> Lourenço, 2001	Bcharreh Mountains
Diplopoda	Polyxenida	Polyxenidae	<i>Electroxenus jezzinensis</i> Nguyen Duy-Jacquemin & Azar, 2004	Jouar Es-Souss
			<i>Libanoxenus hammamaensis</i> Nguyen Duy-Jacquemin & Azar, 2004	Mdeyrij-Hammama
Adenophorea	Mermithida	Mermithidae	<i>Heleidomermis libani</i> Poinar et al., 1994	Jouar Es-Souss
Reptilia	Squamata	Incertae sedis	<i>Baobdasaurus xenororus</i> Arnolds et al., 2002	Mdeyrij-Hammama

165 insects, 8 arachnid, 89 families
177 taxa

Beata Gabryś

Jak owady oligofagi odnajdują odpowiednie rośliny żywicielskie w zróżnicowanym biologicznie środowisku?

Wstęp

Zasiedlanie właściwych i odpowiednich roślin żywicielskich przez fitofagi jest konsekwencją wieloetapowego procesu. Rozpoczyna się on odszukaniem właściwego habitatu i odszukaniem tam roślin, selekcją roślin, polegającą na akceptacji (i ocenie wartości pokarmowej) lub odrzuceniu rośliny. Z poszczególnymi etapami związane są określone aktywności owadów: lot przypadkowy – lot ukierunkowany – osiadanie na roślinie – żerowanie wstępne – żerowanie właściwe (permanentne). Aktywności te są odpowiedzią na działanie wielu bardziej lub mniej intensywnych bodźców. Roślina bowiem działa na owada przez bodźce wizualne (zabarwienie lub intensywność odbitego światła), dotykowe, chemiczne, zapachowe i smakowe (Miller i Strickler 1984). Rozpoznawanie i preferencje względem roślin żywicielskich wymagają integracji całego kompleksu reakcji na bodźce na poziomie nerwowym i metabolicznym, którym odpowiadają określone progi wrażliwości owadów (Dethier 1982).

Wybór roślin przez mszyce (Homoptera, Aphididae) jest pod pewnymi względami wyjątkowym procesem wśród owadów. Mszyce mają skomplikowany cykl rozwojowy – z przemianą pokoleń i występowaniem różnych morf, przy czym formy uskrzydłone i bezskrzydłe współistnieją podczas sezonu wegetacyjnego. Większość gatunków wykazuje dużą specjalizację pokarmową, mimo że odżywiają się wyłącznie sokiem floemowym, a ich narządy gębowe pozbawione są zewnętrznych chemoreceptorów kontaktowych. Niniejszy artykuł stanowi próbę kompleksowego przedstawienia procesu wyboru roślin żywicielskich przez te owady na przykładzie jednodomnego¹ oligofagicznego gatunku – mszycy kapuścianej *Brevicoryne brassicae* (L.). Ponieważ *B. brassicae* jest fitofagiem o stale wzrastającym znaczeniu dla rolniczych i ogrodniczych upraw roślin krzyżowych w rejonach klimatu umiarkowanego całej kuli ziemskiej (Szelegiewicz 1978, Blackman i Eastop 1985), szeroko rozumiana ekologia tego gatunku stała się przedmiotem wielu badań i opracowań naukowych. W okresie maksimum liczebności populacji mszycy kapuścianej zasiedlenie roślin w uprawach rzepaku ozimego w Polsce sięga 96%, przy liczebności największych kolonii przekraczającej 10⁴ osobników; żerowanie mszyc powoduje

¹ Jednodomność – jednodomowość – monoecja: pełny cykl rozwojowy odbywa się na jednym gatunku rośliny.

u rzepaku istotne ograniczenie wzrostu, szerokości szyjki korzeniowej i liczby pędów bocznych (Kelm i Gadomski 1995). Szkody wyrządzone przez *B. brassicae* mają charakter zarówno bezpośredni (utrata plonu do 85%) (Kelm 1983), jak i pośredni, polegający na rozprzestrzenianiu około 20 chorób wirusowych roślin (Blackman i Eastop 1985), a zwłaszcza mozaiki krzyżowych (TuMV) i mozaiki kalafiora (CaMV) (Maisonneuve i wsp. 1995). Żerowanie mszyc wywołuje również wzrost zawartości glukozyzolanów w nasionach rzepaku, a także spadek zawartości tłuszczu o ponad 10%, przez co obniża ich wartość odżywczą (Lammerink i wsp. 1984, Kelm i Gadomski 1995).

Rodzina krzyżowych (Brassicaceae = Cruciferae) liczy około 3000 gatunków (Hegi 1986), jednakże masowe występowanie mszycy kapuścianej w sezonie wegetacyjnym związane jest głównie z rodzajem *Brassica* i blisko spokrewnionymi taksonami (Markkula 1953). Składanie zimujących jaj odbywa się również w obrębie tej wąskiej grupy gatunków roślin (Gadomski 1992). Wydaje się, że bezpośredni wpływ na ten stan rzeczy ma skład chemiczny pokarmu, a zwłaszcza zawartość wtórnych produktów metabolizmu roślin krzyżowych. Specjalizacja pokarmowa mszycy kapuścianej wynika ze specyficznego metabolicznego lub fizjologicznego przystosowania – niewrażliwości na toksyny roślin krzyżowych, glukozyzolany. Te allelozwiązki pełnią jednocześnie rolę silnych fagostymulantów² – dostarczają specyficznych bodźców chemicznych uruchamiających i podtrzymujących proces żerowania mszycy kapuścianej (Wensler 1962, Nault i Styer 1972).

Aktywność lokomotoryczna mszyc

Podjęcie aktywności prowadzącej do zmiany rośliny żywicielskiej przez mszycę jest uwarunkowane działaniem wielu czynników. Starsze stadia larwalne i dorosłe bezskrzydłe osobniki opuszczają roślinę przede wszystkim pod wpływem stresu spowodowanego nadmiernym zagęszczeniem populacji lub obniżającą się przydatnością rośliny. Mszyce bezskrzydłe mogą się przemieszczać w obrębie jednej rośliny, w poszukiwaniu odpowiedniego miejsca żerowania, lub między roślinami, korzystając z naturalnych pomostów tworzonych przez stykające się liście bądź pędy. Mogą również przemieszczać się po powierzchni gleby w następstwie odpadnięcia od rośliny. Osobniki uskrzydłone pojawiają się w wyniku działania czynników wewnątrzpopulacyjnych, jak przegęszczenie, lub w odpowiedzi na czynniki środowiskowe, na przykład obniżającą się jakością pokarmu lub sezonowe zmiany fotoperiodu i temperatury (Klingauf 1987a). W przypadku *B. brassicae* głównym czynnikiem powodującym wytwarzanie form uskrzydłych jest obniżona temperatura (10–15°C przez co najmniej 24 godziny) i/lub obniżona jakość pokarmu; samo przegęszczenie populacji nie wywołuje takiego efektu (Lamb i White 1966). Skłonność do podjęcia lotu jest cechą wrodzoną uskrzydłych mszyc – wraz z ostatnim linieniem przestają reagować na bodźce pochodzące od rośliny, na której się znajdują, i w zależności od sytuacji podejmują loty dalekie lub lokalne w poszukiwaniu nowych gospodarzy. Mszyce podejmują lot w sprzyjających warunkach środowiska, przy temperaturze około 16–17°C i prędkości wiatru nieprzekraczającej

² Fagostymulant – bodziec warunkujący kontynuowanie żerowania przez owady (Dąbrowski 1988).

ich samodzielnej zdolności lotu, tj. około 2,4 km/h. Prędkości wiatru większe niż 4,8 km/h zwykle opóźniają lot, ale mszyca kapuściana zdolna jest do samodzielnego lotu nawet przy prędkości wiatru 4,8–8 km/h. Uważa się, że wlatywanie przy wyższych prędkościach wiatru jest zachowaniem adaptacyjnym, umożliwiającym wykorzystanie prądów powietrza do przemieszczania się na duże odległości. Uskrzydłone *B. brassicae* wykazują większą energię lotu wiosną i jesienią niż latem (Robert 1987).

Lot ukierunkowany

Obniżanie lotu przez mszyce jest konsekwencją wzrastającej wrażliwości na długie fale świetlne (>500 nm), czemu towarzyszy wzrost podatności na bodźce pochodzenia roślinnego, np. kształt, rozmiar, zagęszczenie roślin (Smith 1976, Åhman i wsp. 1985). Atrakcyjnie działa też światło o dużej intensywności, zwłaszcza odbite od podłoża: duży kontrast między światłem odbitym od odkrytej powierzchni gleby a światłem odbitym od roślin (zwłaszcza w zakresie fal długich 550–590 nm) zwiększa skalę wiosennych nalotów mszyce kapuścianej na warzywa kapustne (Costello 1995). Obniżanie lotu nie jest efektem „zmęczenia się” owadów, gdyż mszyce są zdolne do samodzielnego lotu nawet przez kilka godzin. Jednocześnie, zatrzymanie się na niewłaściwej roślinie ponownie motywuje mszyce do lotu, a autoliza mięśni poruszających skrzydłami następuje u *B. brassicae* dopiero kilka dni po zaakceptowaniu rośliny i rozpoczęciu reprodukcji. Zwiększoną aktywność lokomotoryczną po napotkaniu niewłaściwej rośliny obserwuje się również u osobników bezskrzydłych (Klingauf 1987a). Na lot ukierunkowany mszyce kapuścianej, a przynajmniej letnich migrantek tego gatunku, prawdopodobnie nie wpływają bodźce chemiczne – zapachy pochodzące od roślin. W warunkach doświadczalnych uskrzydłone morfy *B. brassicae* nie rezygnowały z lotu w kierunku atrapy rośliny wydzielającej zapach roślin nieżywielielskich (wrotczyca i cząbr), a jednocześnie zapach roślin żywicielielskich (kapusty) w tej samej sytuacji nie zwiększał częstości pozytywnych reakcji na cel wizualny (Nottingham i Hardie 1993). Obserwowano takie zachowanie mszyc, pomimo że *B. brassicae* jest w stanie rozróżniać te zapachy (Nottingham i wsp. 1991). Niemniej jednak, w warunkach naturalnych współrzędna uprawa koniczyny i kapusty głowiastej istotnie zmniejsza stopień zasiedlania roślin przez *B. brassicae* (Finch i Kienegger 1997).

Osiadanie na roślinie

Jakkolwiek obniżanie lotu wydaje się procesem aktywnie kontrolowanym przez mszyce, to sam etap osiadania na roślinach uważany był za przypadkowy. Rola zapachów w odnajdywaniu i wyborze roślin przez mszyce długo była podawana w wątpliwość. Jednakże Pettersson (1973) wykazał, że mszyca kapuściana reaguje pozytywnie na zapach pąków i kwiatów rzepaku jeszcze przed wylądowaniem. W bezpośrednim otoczeniu roślin krzyżowych (tzw. *head space*) stwierdzono obecność izotiocyjanianów oraz nitryli, które są lotnymi produktami hydrolizy glukozynolanów (Tollsten i Bergström 1988). Dzienna ilość uwalnianych olejków gorczycznych odpowiada około 0,7% ogólnej zawartości glukozynolanów w roślinach (Finch 1978). Te lotne związki powstają przede wszystkim przy mechanicznym

uszkodzeniu komórek (Van Etten i Tookey 1979, Chew 1988). Mogą jednak tworzyć się również podczas procesów transformacji komórek związanych ze wzrostem roślin; procesy te są szczególnie intensywne u szybko rosnących gatunków, jak *Sinapis alba* L. i *Raphanus sativus* L. (Finch 1978). Nottingham i wsp. (1991) przeprowadzili doświadczenia laboratoryjne z użyciem olfaktometru i stwierdzili wyraźną pozytywną reakcję uskrzydłych migrantek *B. brassicae* na zapach izotiocyanianu 3-butenyłu, produktu hydrolizy glukozynolanu glukonapiny. Jednocześnie potwierdzili elektrofizjologicznym testem czułkowym istnienie receptorów węchowych wrażliwych na izotiocyaniany na czułkach mszycy kapuścianej. W trakcie tych samych badań wykazano również zdolność *B. brassicae* do rozpoznawania zapachów roślin nieżywielskich, cząbrku i wrotczyca, które wywoływały reakcję negatywną – odejścia od źródła zapachu (Nottingham i wsp. 1991). Visser i wsp. (1996) potwierdzili te dane, dodając, że mszyca kapuściana rozpoznaje jeszcze wiele innych zapachów wydzielanych przez rośliny, w tym typowe dla liści wszystkich roślin, m.in. heksenal, heksenol, heptanal. Prawdopodobnie wspomaga to orientację i umożliwia wstępną selekcję roślin jeszcze podczas lotu, ale przy bliskiej odległości, podobnie jak to jest w przypadku śmietki kapuścianej *Hylemyia brassicae* Bche. (Finch i Skinner 1982). Lokalne zapachy mogą również odgrywać znaczącą rolę po wylądowaniu na roślinie – przed nakłuciem rośliny mszyce intensywnie poruszają czułkami tuż nad podłożem. Podobne zachowanie wykazują również mszyce bezskrzydłe (Gabryś niepubl.).

Osiadanie na roślinie wiąże się z konfrontacją z właściwościami fizycznymi i chemicznymi jej powierzchni. Po wylądowaniu mszyce zachowują się w charakterystyczny sposób: wędrują po powierzchni rośliny i dokonują próbnych nakłuć. Z reguły po kilku nakłuciach lub nawet zaraz po wylądowaniu przechodzą na dolną powierzchnię liści i tam kontynuują penetrację (Kennedy i wsp. 1959). Przemieszczanie się na dolną stronę liści może być wywołane negatywną reakcją na bodźce świetlne lub/i silniejszym działaniem arestantów³ po spodniej stronie w porównaniu do górnej strony liści (Klingauf 1987a). Przed dokonaniem nakłucia mszyce badają rzeźbę powierzchni rośliny, przesuując końcem wargi dolnej po powierzchni lub dotykając ją, często kilkakrotnie i z regularną częstotliwością. Ponieważ zakończenie wargi dolnej zaopatrzone jest w mechanoreceptory (Tjallingii 1978a), takie zachowanie się może ułatwiać wybranie odpowiedniego miejsca żerowania. Mszyce wykazują wyraźne preferencje do wkłuwania się w pobliżu żyłek liściowych.

Mszyce unikają przeważnie roślin o liściach omszonych, pokrytych kolcami lub grubą warstwą wosku (Dixon 1987). Pokrycie liści włoskami może utrudniać zasiedlanie roślin, przeszkadzając mszycom w swobodnym poruszaniu się. Włoski roślin mogą zawierać również różne substancje drażniące o charakterze repelentnym⁴ (Duffey 1986, Boczek 1995). Mszyca kapuściana wydaje się być stosunkowo odporna na tego typu bariery mechaniczne. Zasiedla z powodzeniem zarówno gładkie pędy i łuszczyzny rzepaku, jak i pokrytą ostrymi włoskami gorczycę białą

³ Arestant = czynnik zatrzymujący – bodziec fizyczny lub chemiczny, który powoduje, że owad ogranicza swoje ruchy do powierzchni ściśle związanej ze źródłem działania danego czynnika (Dąbrowski 1988).

⁴ Repellent – bodziec fizyczny lub chemiczny, wywołujący ruch owada w kierunku przeciwnym do źródła działania tego czynnika (Dąbrowski 1988).

(Gabryś 1991). Niemniej jednak, wyjątkowo silne owłosienie w okolicach stożka wzrostu pędu może stanowić istotną przeszkodę w dostępie do powierzchni rośliny, co obserwowano w przypadku odpornej nowozelandzkiej odmiany rzepaku „Rangi” (Ellis 1994). Struktura wosków epikutikularnych może wpływać na sposób poruszania się po powierzchni rośliny – brak pokrywy woskowej typowej dla większości warzyw kapustnych może powodować odpadanie od roślin, gdyż stopy mszycy kapuścianej tracą przyczepność na gładkich powierzchniach (Ellis 1994). Odmiany kapusty głowiastej o zredukowanej warstwie woskowej były istotnie słabiej zasiedlane przez mszycę kapuścianą niż odmiany o pokrywie typowej (Karl i Eisbein 1987). Nie stwierdzono jednak, aby skład chemiczny wosków miał wpływ na rozpoznawanie i akceptację roślin, aczkolwiek wydaje się, że mszyce mogą rozpoznawać mieszaniny n-alkanów wchodzących w skład wosków epikutikularnych (Dillwith i Berberet 1990).

Skład chemiczny substancji powlekających powierzchnię roślin stanowi osobne zagadnienie. Chemoreceptory kontaktowe u owadów mogą występować na elementach aparatu gębowego, na czułkach oraz odnóżach. Aparat gębowy mszyc pozbawiony jest zewnętrznych chemoreceptorów kontaktowych – organ smaku znajduje się w ścianie nadgębia (Wensler 1977, Tjallingii 1978a) – stąd odczuwanie bodźców smakowych pochodzących z powierzchni roślin jest co najmniej utrudnione, jeśli nie niemożliwe. Miles (1972) sugeruje, że wykorzystanie tego organu smakowego jest jednak prawdopodobne: podczas badania powierzchni rośliny przez klujkę wydzielana jest, a następnie zasysana ślina, a z nią mogą być pobierane składniki powierzchniowe roślin. Postuluje się istnienie i funkcjonowanie chemoreceptorów kontaktowych w postaci 4–6 krótkich włosków w dystalnej części czułków na podstawie budowy tych struktur: szczeciny te posiadają pory w szczytowej części i są unerwione przez kilka neuronów, z których przynajmniej jeden dochodzi do końca szczeciny (Anderson i Bromley 1987), a także obserwacji behawioralnych: mszyce dotykają czułkami powierzchni rośliny przed rozpoczęciem penetracji; po wkłuciu się w roślinę ruchy czułków ustają (Powell i wsp. 1993, 1995). Badania nad mechanizmem działania antyfidantów ujawniły, że repelentne działanie polygodialu ujawnia się jeszcze przed wprowadzeniem klujki do tkanek rośliny. Amputacja zakończeń czułków powoduje zanik reakcji mszyc na polygodial; wyklucza się działanie bodźców zapachowych, ponieważ jest to związek mało lotny (Powell i wsp. 1995). Podobną strukturę do opisanych szczecin czułkowych mają sensille na gołeniach i stopach. Mogą one potencjalnie pełnić rolę chemoreceptorów kontaktowych, jednak brak na to jednoznacznych dowodów (Anderson i Bromley 1987).

W skład substancji powlekającej powierzchnię liści roślin krzyżowych wchodzi między innymi glukozynolany: na liściach kapusty występuje glukoiberyna, sinigryna, 4-hydroksyglukobrassicyna, glukobrassicyna i 4-metoksyglukobrassicyna. Glukozynolany te są silnie związane z powierzchnią rośliny – ekstrakcja tych związków wymaga uprzedniego usunięcia warstwy woskowej, co stanowi prawdopodobnie zabezpieczenie przed zmyciem przez deszcz (Renwick i wsp. 1992). Glukobrassicyna okazała się z jednej strony związkiem decydującym o rozpoznaniu rośliny przez dwa gatunki bielinków *Pieris brassicae* L. i *Pieris rapae* L., a z drugiej – silnym stymulatorem składania jaj dla samic obu tych gatunków (van Loon i wsp. 1992, Renwick i wsp. 1992). Znaczenie związanych z powierzchnią glukozynolanów

dla *B. brassicae* nie jest znane przede wszystkim ze względu na brak badań w zakresie zewnętrznych chemoreceptorów kontaktowych. Dominuje pogląd, że mszyce wykazują podobne tendencje do nakłuć próbnych, bez względu na rodzaj substancji pokrywającej powierzchnię rośliny (Woodhead i Chapman 1986). Kennedy (1986) uważa jednak, że za rozpoznawanie roślin przynajmniej częściowo są odpowiedzialne bodźce chemiczne z powierzchni rośliny: mszyce *Tuberculoides annulatus* (Htg.) częściej nakłuwały obojętny substrat powleczony ekstraktami z powierzchni roślin żywicielskich niż kontrolny oraz częściej rezygnowały z nakłuwania liści powleczonych plastikową taśmą niż liści odkrytych. Z kolei *Aphis fabae* Scop. reaguje pozytywnie na szereg związków fenolowych z powierzchni liści (Jördens-Röttger 1979).

Żerowanie wstępne

Chociaż bodźce zapachowe mogą do pewnego stopnia wpływać na proces odzukiwania i wstępnego rozpoznawania roślin przez mszyce, to zasadnicze znaczenie dla procesu selekcji ma smakowa ocena pokarmu. W związku z tym specyficzne cechy tkanek epidermy, mięksiszu i łyka uważane są za kluczowe wskaźniki wykorzystywane przez mszyce przy decyzji o akceptacji lub odrzuceniu rośliny (Harrewijn 1990, Pickett i wsp. 1992).

Kłująco-ssący aparat gębowy mszyc składa się z czterech delikatnych sztyletów powstałych z przekształcenia żuwaczek i szczęk oraz mięsistej wargi dolnej (Myiazaki 1987). W trakcie żerowania w sztyletach szczękowych tworzą się (z istniejących wyłobień) dwa kanały: ślinowy, którym ślina spływa do rośliny, oraz pokarmowy, którym pobierany jest pokarm (Goszczyński i Cichocka 1990). W ścianie nadgębia kanału pokarmowego zlokalizowany jest narząd smaku (Ponsen 1987), który u mszycy kapuścianej składa się z ośmiu brodawek smakowych (Wensler i Filshie 1969). Podczas nakłuwania tkanek roślinnych warga dolna mszyc kurczy się, dotykając podłoża (Tjallingii 1978b). Na powierzchnię rośliny wydzielana jest kropla śliny, przez którą sztylety rozpoczynają penetrację. W trakcie penetracji ślina nadal jest wydzielana, tworząc pochwę ślinową, wewnątrz której sztylety mszycy swobodnie przemieszczają się w głąb rośliny.

Penetracja kłujki przez tkanki roślinne jest konieczna nie tylko dla rozpoznania rośliny, ale również dla dotarcia do źródła pokarmu – wiązki przewodzącej, która jest zwykle ukryta pod wieloma warstwami komórek. Sztylety kłujki mszyc mogą osiągnąć tkanki łyka już po 10–15 minutach od wkłucia się, lecz zwykle trwa to znacznie dłużej, nawet kilka godzin. Ślady pozostawione przez kłujkę w tkankach roślinnych są przeważnie bardzo rozgałęzione, co znaczy, że długość sztyletów nie jest czynnikiem ograniczającym w dotarciu do tkanki przewodzącej, która, zwłaszcza u roślin zielnych, jest zwykle zlokalizowana blisko powierzchni (Tjallingii i Hogen Esch 1993). Może to świadczyć o pewnych trudnościach w znalezieniu tkanki floemowej. Przyczyny tych opóźnień nie są znane, ale można przypuszczać, że czynniki związane z tym zjawiskiem mają naturę fizykochemiczną. Sztylety kłujki penetrują tkanki roślinne międzykomórkowo, przesuując się między włóknami celulozy budującymi wtórne ściany komórkowe, a więc bez konieczności enzymatycznego rozkładu pektynowej blaszki środkowej (Tjallingii i Hogen Esch 1993). Najprawdopodobniej kierunek penetracji sztyletów zależy od gradientu stężeń pewnych składników

roślinnych oraz od gradientu pH: zmieniający się odczyn pH z kwaśnego na alkaliczny w kierunku floemu może podtrzymywać aktywność penetracji (Klingauf 1987a). Duże znaczenie przypisuje się obecnie tak zwanym substancjom znacznikowym („token stimuli”), do których zalicza się przede wszystkim specyficzne wtórne produkty metabolizmu – allelozwiązki roślinne – alkaloidy, związki fenolowe, kwasy hydroksyamowe, glukozynolany i inne (Pickett i wsp. 1992). Wszystkie wymienione związki są znanymi mediatorami zachowania się mszyc (Niemeyer 1990). Wiele z nich odgrywa rolę fagodeterentów⁵ lub fagostymulantów, a niektóre dają efekty antybiotyczne (Montllor 1991).

Przed dotarciem do floemu mszyce mogą natrafić na allelozwiązki tylko w przypadku, jeśli te występują w tkankach testowanych podczas penetracji. Epiderma liści i pędów oraz miękisz liściowy roślin krzyżowych zawierają glukozynolany (Gabryś i Tjallingii, niepubl.). Mszyce pobierają próbki zawartości komórek, prawdopodobnie z cytoplazmy i wakuoli, podczas krótkich (5–10 sek.) nakłuć większości komórek wzdłuż szlaku sztyletów mszyc w tkankach roślinnych (Powell 1991). Tak krótkie nakłucia są wystarczające do pobrania protoplazmy, czego dowodzą wyniki badań nad transmisją nietrwałych wirusów roślinnych (Martin i wsp. 1997). Mimo że podczas penetracji prawie wszystkie komórki będące na szlaku sztyletów kłujki są wielokrotnie nakłuwane, nie są one uszkodzane. Zniszczenie komórek obserwuje się sporadycznie (Tjallingii i Hogen Esch 1993), co można uważać za specyficzny mechanizm przystosowawczy, zapobiegający intoksykacji. Uszkodzenie komórek prowadziłoby do uaktywnienia zmagazynowanych allelozwiązków, jako że wiele z nich występuje w wakuolach komórek w formie nietoksycznej – na przykład jako glikozydy lub amidy (Matile 1984). Aktywne formy toksyczne allelozwiązków powstają w wyniku hydrolizy enzymatycznej. Glukozynolany, charakterystyczne allelozwiązki roślin krzyżowych (Feeny 1977), zlokalizowane są w wakuolach komórek, a przed spontanicznym rozpadem zabezpiecza je przestrzenno-funkcjonalna separacja specyficznych enzymów hydrolitycznych – mirozynaz (Chew 1988). Mirozynazy występują w cytoplazmie poza wakuolą lub w specjalnych komórkach – idioblastach. Możliwe jest też, że występują nawet w wakuolach obok glukozynolanów, ale są nieaktywne dzięki odpowiedniemu odczynowi pH (Bones i Rossiter 1996). Przy uszkodzeniu komórki, a zwłaszcza wakuoli, każdy z tych mechanizmów izolacji glukozynolanów i mirozynaz zostaje zniszczony, a w wyniku hydrolizy powstają silnie aktywne izotiocyjaniiny (Fenwick i wsp. 1983). Mszyce mogą unikać kontaktu z allelozwiązkami, zmniejszając liczbę nakłuć komórek tkanek pozafloemowych o wysokim stężeniu tych substancji. Takie zachowanie się obserwowano u *Rhopalosiphum maidis* żerującej na odpornych odmianach zbóż o dużej zawartości kwasów hydroksyamowych (Givovich i Niemeyer 1995) i *Myzus persicae* na odpornej odmianie sałaty (Montllor i Tjallingii 1989).

Podczas żerowania mszyca kapuściana jest poddana działaniu szeregu innych czynników. Jednym z nich może być stopień uwodnienia tkanek. Stres spowodowany suszą, wywołujący znaczne obniżenie turgoru komórek roślinnych, skorelowany jest z istotnym obniżeniem płodności u mszycy kapuścianej (Wearing 1967) i wpływa na sposób zasiedlania roślin (Wearing i Van Emden 1967). Inne są efekty

⁵ Fagodeterent – bodziec zapobiegający kontynuowaniu żerowania przez owady (Dąbrowski 1988).

przedłużonego i krótkotrwałego stresu wodnego: przedłużona susza istotnie redukuje płodność i przeżywalność mszycy kapuścianej, jeżeli owad nie ma możliwości zmiany rośliny, natomiast susza krótkotrwała daje efekty pozytywne (Wearing 1972). Miles i wsp. (1982) stwierdzili, że w okresie wędnięcia roślin zostaje przyspieszony rozwój mszycy kapuścianej, a przy przedłużającej się suszy mszyce wprawdzie stają się niespokojne, lecz nie obserwuje się zwiększonej śmiertelności, gdyż opuszczają roślinę. Susza powoduje wiele zmian w metabolizmie rośliny, mogących wpływać na fitofagi, na przykład zwiększoną produkcję allelozwiązków lub zwiększenie ilości aminokwasów w soku floemowym, co jest typowym efektem wędnięcia. Niemniej jednak, jeżeli niski turgor tkanek jest cechą naturalną rośliny, nie wpływa to na wartość parametrów życiowych mszycy kapuścianej: płodność, przeżywalność i względny przyrost populacji *B. brassicae* były podobne na odmianach kapusty o mięsistych i wiotkich liściach oraz kapustach o liściach niegiętkich, o małej sile ssącej komórek miękiszu (Cole 1997a).

Żerowanie właściwe

Pierwszy kontakt sztyletów aparatu gębowego z tkanką łyka przeważnie nie kończy się permanentnym żerowaniem. Akceptacja elementów sitowych następuje ze znacznym opóźnieniem, przy którymś z kolejnych nakłuć tych komórek lub nawet podczas osobnej penetracji (Tjallingii 1994). Takie zachowanie się mszyc podczas prób żerowania jest wypadkową oddziaływania czynników pochodzenia roślinnego: wartości odżywczej i energetycznej pokarmu oraz obecności fagostymulantów lub substancji toksycznych.

Nie ma wątpliwości, że azot jest kluczowym składnikiem pokarmu roślinnego, niezbędnym dla prawidłowego rozwoju i reprodukcji fitofagów (Strong i wsp. 1984). Uważa się nawet, że sezonowe wahania liczebności i migracje fitofagów, w tym mszyc, związane są przede wszystkim ze zmianami wartości odżywczej roślin, a zwłaszcza ze zmianami w ilości dostępnego azotu organicznego (Klingauf 1987b, Risebrow i Dixon 1987). Wykazano pozytywną korelację między ilością azotu w roślinie a płodnością mszyc (Harrewijn 1970). Wzbogacenie gleby w azot powoduje wzrost zawartości azotu organicznego w roślinach, a w konsekwencji wzrost płodności mszyc (Klingauf 1987b). Również stan fizjologiczny rośliny wpływa na dostępność wolnych aminokwasów. Szczególnie zasobne są młode, rosnące liście, co związane jest z intensywną syntezą białek w tych organach, oraz liście wędnące, gdzie z kolei aminokwasy uruchamiane są w wyniku fizjologicznego wędnięcia (Merritt 1996). W czasie suszy znacznie (ponaddziesięciokrotnie) wzrasta zawartość proliny zarówno w całych liściach, jak i w soku floemowym roślin, natomiast w wyniku żerowania mszycy kapuścianej zwiększa się ilość metioniny (Miles i wsp. 1982).

Mszyca kapuściana reaguje pozytywnie na wzrost ilości dostępnego azotu w roślinach i jest jednocześnie znacznie mniej wrażliwa na jej spadek niż mszyca brzoskwiowo-ziemniaczana *Myzus persicae* Sulz. również występująca na krzyżowych (Van Emden 1972). Wysokie nawożenie azotowe wyraźnie sprzyja rozwojowi populacji mszycy kapuścianej w uprawie rzepaku w warunkach polowych, zwłaszcza w okresach suszy (Kelm 1994).

Wprawdzie wymagania pokarmowe mszyc w odniesieniu do poszczególnych aminokwasów są w zasadzie podobne do wymagań innych owadów, stwierdzono jednak, że poszczególne gatunki, a nawet biotypy są bardzo specyficzne. Brak niektórych aminokwasów w pokarmie jest prawdopodobnie uzupełniany przez endosymbionty (Srivastava 1987). Weibull (1988) stwierdził pozytywną korelację ilości niektórych aminokwasów w soku floemowym zbóż z poziomem odporności na żerowanie mszycy czeremchowo-zbożowej *Rhopalosiphum padi* Straw. Podobnej korelacji nie stwierdzono natomiast u *Lipaphis erysimi* (Kalt.), żerującej na odmianach gorczycy modrej *Brassica juncea*, rzepaku *B. napus* i rzepiku *B. campestris* (Weibull i Melin 1990). Poziom płodności i innych parametrów życiowych *B. brassicae* również próbowano korelować z proporcją poszczególnych aminokwasów w roślinach. Van Emden i Bashford (1976) stwierdzili pozytywną korelację w przypadku treoniny. Z kolei wzrost zawartości fenyloalaniny powodował obniżenie płodności mszycy kapuścianej w badaniach Van Emdena i Bashford (1976), a proliny w badaniach Milesa i wsp. (1982). W badaniach nad podatnością na żerowanie mszycy kapuścianej dzikich i uprawnych odmian gatunków z rodzaju *Brassica* stwierdzono znaczne zróżnicowanie w składzie aminokwasów soku floemowego. Wzrost populacji *B. brassicae* skorelowany był nie z sumaryczną zawartością aminokwasów, ale ze zróżnicowaniem jakościowym. Pozytywną korelację wykazano dla tyrozyny, alaniny, leucyny i kwasu glutaminowego; zmniejszenie zawartości kwasu glutaminowego i tyrozyny w roślinach powoduje wzrost produkcji morf uskrzydłych (Cole 1997b). Zapotrzebowanie na aminokwasy aromatyczne, jak tyrozyna, wiąże się u owadów z syntezą kutykuli (Mollema i Cole 1995).

W skład soku floemowego wchodzi również lektyny – glikoproteiny o właściwościach bakteriobójczych, grzybobójczych i insektobójczych, zwłaszcza dla chrząszczy i motyli (Gatehouse i wsp. 1992). Działanie insektobójcze i grzybobójcze niektórych lektyn wynika z ich zdolności do wiązania chityny, przez co uniemożliwiają one prawidłowy wzrost owadów lub grzybów (Gatehouse i wsp. 1984). Insektobójczą aktywność lektyn wykazano dla mszycy grochowiarki *Acyrtosiphon pisum* (Harris) (Rahbe i Febway 1993). Żerowanie na roślinach z wysoką zawartością lektyn spowodowało również wysoką śmiertelność *B. brassicae* (Cole 1994). Wprawdzie mechanizm działania lektyn wiążących chitynę u owadów żywiących się sokiem floemowym nie jest znany, ale możliwe, że wiążąc się z chityną budującą sztylety aparatu gębowego zatykają kanały ssący i ślinowy oraz przewód pokarmowy aż do jelita środkowego (Cole 1994).

Głównym węglowodanem soku floemowego jest sacharoza, a jej zawartość może wahać się w granicach 5–25% (Klingauf 1987b). Sacharoza jest silnym fagostymulantem dla wielu gatunków mszyc; przy obniżeniu stężenia sacharozy w diecie do 5% ustaje żerowanie (Srivastava 1987). Dieta bogata w aminokwasy, ale pozbawiona sacharozy, nie jest konsumowana (Klingauf, 1987a). Dla mszycy kapuścianej sacharoza jest silnym stymulatorem żerowania od stężenia 15% (Moon 1967). Stwierdzono, że stężenie sacharozy jest równie wysokie w soku floemowym liści młodych, w pełni wykształconych, jak i więdnących liści roślin gorczycy czarnej i wynosi 19–26% (Merritt 1996).

Silnymi fagostymulantami dla mszycy kapuścianej są glukozynolany (Van Emden 1972, Fenwick i wsp. 1983). Nasączenie liści bobu, *Vicia faba* L., 2% roztworem

sinigryny spowodowało akceptację tych roślin przez *B. brassicae* (Wensler 1962). Zwiększenie stężenia sinigryny w roślinach nieżywielijskich do 10^4 ppm doprowadziło do wzrostu płodności mszycy kapuścianej do poziomu porównywalnego dla mszyc na roślinach żywicielskich (Nault i Styer 1972). Dodanie 0.5% roztworu sinigryny do 15% roztworu sacharozy znacznie zwiększyło konsumpcję tej diety (Moon 1967).

Zawartość glukozynolanów w soku floemowym podlega znacznym wahaniom: w młodych liściach gorczycy czarnej stężenie sinigryny przekracza 10 mM, natomiast w liściach w pełni wykształconych wynosi ok. 1,5 mM, a w liściach więdnących – ok. 3 mM. W przybliżeniu stężenia te odpowiadają wartościom podawanym dla totalnych ekstraktów liści (Merritt 1996). Znacznie wyższe stężenie glukozynolanów w młodych liściach brukselki w porównaniu do liści starszych wykazali również Van Emden i Bashford (1969), nie stwierdzając przy tym żadnych różnic w płodności mszycy kapuścianej na tych liściach. Z kolei Weber i wsp. (1986) nie wykazali korelacji między całkowitą zawartością glukozynolanów w różnych odmianach rzepaku a płodnością mszycy kapuścianej. Dodd i Van Emden (1979) zaobserwowali, że podatność odmian brukselki o wysokiej zawartości glukozynolanów malała wraz z wiekiem roślin, a to było skorelowane ze spadkiem całkowitej ilości glukozynolanów. Z kolei wzrost syntezy glukozynolanów w roślinach obserwuje się w wyniku wzbogacenia gleby w siarkę; na takich roślinach liczebność kolonii *B. brassicae* jest znacznie wyższa niż na roślinach nienawożonych (Yusuf i Collins 1998). Wspomniane wcześniej badania Cole (1997a) dowiodły znacznych różnic ilościowych i jakościowych zawartości glukozynolanów w dzikich i uprawnych odmianach gatunków *Brassica*. Wprawdzie profil glukozynolanów dziko rosnących i uprawnych roślin był podobny, to dzikie rośliny zawierały generalnie większą ilość glukozynolanów niż uprawne. Wartość parametrów życiowych *B. brassicae* skorelowana była z poziomem tylko niektórych glukozynolanów: pozytywnie – z poziomem glukozynolanów alkenylowych progoitryny (2-hydroksy-3-butenylo-NCS) i sinigryny (2-propenylo-NCS), a negatywnie – z ilością glukozynolanów indolowych neoglukobrassicyny (1-metoksy-3-indolylmetylo-NCS) i glukobrassikanapiny (4-pentenylo-NCS). Zawartość glukozynolanów indolowych w roślinach wzrasta w odpowiedzi na uszkodzenia przez żerowanie fitofagów, stres lub działanie abiotycznych elicytorów (Doughty i wsp. 1995). Mechaniczne uszkodzenia i żerowanie pchełki krzyżówki *Phyllotreta cruciferae* (Goeze) siewek rzepaku i gorczycy modrej *Brassica juncea* powodowały trzykrotny wzrost stężenia glukozynolanów indolowych (Bodnaryk 1992). Kiddle i wsp. (1994) stwierdzili wyraźną akumulację glukozynolanu 2-fenyletylu (glukonasturtyny) po zastosowaniu kwasu salicylowego, a Cole (1996) wykazała, że płodność i przeżywalność mszycy kapuścianej była znacznie obniżona na tak indukowanych roślinach rzepaku. Wzrost stężenia glukonasturtyny nie jest prawdopodobnie efektem wzmożonej syntezy tego glukozynolanu pod wpływem kwasu salicylowego: akumulacja glukonasturtyny w roślinie może być następstwem detoksykacji kwasu salicylowego do postaci glukonu (Cole 1996).

W warunkach naturalnych mszyca kapuściana wykazuje wyraźne preferencje do zasiedlania młodych i rosnących części roślin (Gabrys 1991). Biorąc pod uwagę działanie różnorodnych czynników, powszechnie uważa się, że wysoki turgor tkanek, wysoka zawartość aminokwasów i sacharozy oraz wysokie stężenie

glukozynolanów są odpowiedzialne za rozmieszczenie populacji *B. brassicae* na roślinach (Klingauf 1987a).

Glukozynolany, które są stymulatorami żerowania, występują we wszystkich roślinach krzyżowych (Fenwick i wsp. 1983). Jednakże nietypowe wtórne produkty metabolizmu tych roślin (np. kardenolidy i alkaloidy) mogą być odpowiedzialne za zróżnicowany poziom podatności pewnych gatunków na żerowanie nawet wyspecjalizowanych fitofagów (Usher i Feeny 1983). Takie zależności opisano u motyli *Pieris brassicae* i *P. rapae* (Lepidoptera, Pieridae), gdzie równowaga między związkami stymulującymi (glukozynolanami) a deterentnymi (kardenolidami) determinowała reakcję tych gatunków wobec *Erysimum cheiranthoides* (Huang i wsp. 1993). Wydaje się bardzo prawdopodobne, że podobne czynniki determinują zróżnicowaną podatność roślin krzyżowych na żerowanie mszycy kapuścianej. Czynniki te różnią się poziomem aktywności deterentnej i mogą oddziaływać na różnych poziomach tkankowych – epidermalnym, miękiszowym i floemowym – w zależności od gatunku rośliny. Na miesięcznicy rocznej *Lunaria annua* i pszonaku drobnokwiatowym *Erysimum cheiranthoides* czas penetracji sztyletów mszyc jest wyraźnie zredukowany w porównaniu z optymalnymi roślinami żywicielskimi już na etapie kontaktu z tkankami pozafloemowymi – epidermą i miękiszem liściowym. Natomiast na tobołkach polnych *Thlaspi arvense* i taszniku pospolitym *Capsella bursa-pastoris* penetracja tkanek powierzchniowych nie jest, co prawda, ograniczona, ale czas żerowania we floemie jest znacznie skrócony (Gabryś i Pawluk 1999).

Los allelozwiązków roślinnych w organizmie mszyc nie jest znany (Dixon 1985). Wiadomo jedynie, że związki te (na przykład glukozynolany) pobierane są z sokiem roślin, przedostają się do hemolimfy i są częściowo kumulowane w organizmie, a częściowo wydalane ze spadzią (Weber i wsp. 1986). Badania nad wpływem tego typu substancji na żerowanie mszyc powinny być obecnie skoncentrowane na mechanizmie percepcji allelozwiązków oraz problemie ich detoksykacji w organizmie mszyc.

Literatura

- Åhman I., Weibull J., Pettersson J., 1985, *The role of plant size and plant density for host finding in Rhopalosiphum padi (L.)*, Swedish Journal of Agricultural Research, 15, s. 19–24.
- Anderson M., Bromley A.K., 1987, *Sensory system*, [w:] A.K. Minks and P. Harrewijn (red.), *Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control*, Vol. 2B. Elsevier Sc. Publ. Amsterdam, s. 153–162.
- Blackman R. L., Eastop V.F., 1985, *Aphids on the World's Crops: An Identification Guide*, John Wiley & Sons, Chichester–New York–Brisbane–Toronto–Singapore, s. 467.
- Boczek J., 1995, *Nauka o szkodnikach roślin uprawnych*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, s. 432.
- Bodnaryk R.P., 1992, *Effect of wounding on glucosinolates in the cotyledons of oilseed rape and mustard*, Phytochemistry, 31, s. 2671–2677.
- Bones A.M., Rossiter J.T., 1996, *The myrosinase-glucosinolate system, its organisation and biochemistry*, Physiol. Plant, 97, s. 194–208.

- Chew F.S., 1988, *Biological effects of glucosinolates*, [w:] H.G. Cutler (red.), *Biologically active natural products. Potential use in agriculture*, American Chemical Society, Washington, DC, s. 155–181.
- Cole R.A., 1994, *Isolation of a chitin-binding lectin, with insecticidal activity in chemically-defined synthetic diets, from two wild Brassica species with resistance to cabbage aphid Brevicoryne brassicae*, Ent. exp. appl., 72, s. 181–187.
- Cole R.A., 1996, *Abiotic induction of changes in glucosinolate profiles in Brassica species and increased resistance to the specialist aphid Brevicoryne brassicae*, Ent. exp. appl., 80, s. 228–230.
- Cole R., 1997a, *Comparison of feeding behaviour of two Brassica pests Brevicoryne brassicae and Myzus persicae on wild and cultivated brassica species*, Ent. exp. appl., 85, s. 135–143.
- Cole R., 1997b, *The relative importance of glucosinolates and amino acids to the development of two aphid pests Brevicoryne brassicae and Myzus persicae on wild and cultivated Brassica species*, Ent. exp. appl., 85, s. 121–133.
- Costello M., 1995, *Spectral reflectance from a broccoli crop with vegetation or soil as background: influence on immigration by Brevicoryne brassicae and Myzus persicae*, Ent. exp. appl., 75, s. 109–118.
- Dąbrowski Z., 1988, *Podstawy odporności roślin na szkodniki*, PWRiL, Warszawa
- Dethier V.G., 1982, *Mechanism of host-plant recognition*, Ent. Exp. Appl., 31, s. 49–56.
- Dillwith J.W., Berberet, R.C., 1990, *Lipids at the aphid-plant interface*, [w:] R.K. Campbell, R.D. Eikenbary (red.), *Aphid-Plant Genotype Interactions*, Elsevier Science Publishers Amsterdam, s. 207–223.
- Dixon A.F.G., 1985, *Aphid Ecology*, Blackie & Son, Glasgow and London, s. 157.
- Dixon A.F.G., 1987, *Evolution and Adaptive Significance of Cyclical Parthenogenesis in Aphids*, [w:] A.K. Minks and P. Harrewijn (red.), *Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control*, Vol. 2B, Elsevier Science Publishers Amsterdam, s. 289–297.
- Dodd G.D., Van Emden, H.F., 1979, *Shifts in host plant resistance to the cabbage aphid (Brevicoryne brassicae) exhibited by Brussels sprout plants*, Ann. Appl. Biol., 91, s. 251–262.
- Doughty K.J., Kiddle G.A., Pye R.M., Wallsgrove R.M., Pickett J.A., 1995, *Selective induction of glucosinolates in oilseed rape leaves by methyl jasmonate*, Phytochemistry, 38, s. 347–350.
- Duffey S.S., 1986, *Plant glandular trichomes: their partial role in defence against insects*, [w:] B. Juniper, R. Southwood (red.), *Insects and the Plant Surface*, Edward Arnold Publ., s. 151–172.
- Ellis P.R., 1994, *Can factors which influence the relationship between Brevicoryne brassicae and its host plants be exploited in integrated pest management?*, Bull. IOBC/WPRS, 17(8), s. 90–95.
- Feeny P., 1977, *Defensive ecology of the Cruciferae*, Ann. Missouri Bot. Gard., 64, s. 221–234.
- Fenwick G.R., Heaney R.K. & Mullin W.J., 1978, *Glucosinolates and their breakdown products in food and food plants*, CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr., 18, s. 123–202.
- Finch S., 1978, *Volatile plant chemicals and their effect on host plant finding by the cabbage root fly (Delia brassicae)*, Ent. exp. appl., 24, s. 150–159.
- Finch S., Kienegger M., 1997, *A behavioural study to help clarify how undersowing with clover affects host-plant selection by pest insects of Brassica crops*, Ent. exp. appl., 84, s. 165–172.

- Finch S., Skinner G., 1982, *Trapping cabbage root flies in traps baited with plant extracts and with natural and synthetic isothiocyanates*, Ent. exp. appl., 31, s. 133–139.
- Gabryś B., 1991, *Distribution of Brevicoryne brassicae and Myzus persicae on yellow mustard plant*, Proceedings, Conference on Insect Chemical Ecology, Tabor, 1990, Academia, Prague and SPB Publishers, The Hague, s. 303–305.
- Gabryś B., Pawluk M., 1999, *Acceptability of different species of Brassicaceae as hosts for the cabbage aphid*, Ent. exp. appl., 91, s. 105–109
- Gadomski H., 1992, *Oviposition of Brevicoryne brassicae (L.) (Homoptera: Aphididae) on cruciferous plants*, Aphids and Other Homopterous Insects, PAS, Warsaw, 3, s. 33–38.
- Gatehouse A.M.R., Dewey F.M., Dove J., Fentom K.A., Pusztai A., 1984, *Effect of seed lectin from Phaseolus vulgaris on the development of larvae of Callosobruchus maculatus: mechanism of toxicity*, J. Sci. Food Agric., 47, s. 373–380.
- Gatehouse A.M.R., Hilder V.A., Powell K., Boulter D., Gatehouse J.A., 1992, *Potential of plant-derived genes in the genetic manipulation of crops for insect resistance*, [w:] S.B.J. Menken, J.H. Visser & P. Harrewijn (red.), Proc. 8th Int. Symp. Insect-Plant relationships, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, s. 221–234.
- Givovich A., Niemeyer H., 1995, *Comparison of the effect of hydroxamic acids from wheat on five species of cereal aphids*, Ent. exp. appl., 74, s. 115–119.
- Goszczyński W., Cichocka E., 1990, *Elektroniczny zapis żerowania mszyc*, Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 392, s. 9–19.
- Harrewijn P., 1970, *Reproduction of the aphid Myzus persicae related to the mineral nutrition of potato plants*, Ent. exp. appl., 13, s. 307–319.
- Harrewijn P., 1990, *Resistance mechanisms of plant genotypes to various aphid species*, [w:] R.K. Campbell i R.D. Eikenbary (red.), *Aphid – Plant Genotype Interactions*, Amsterdam, Elsevier, s. 117–130.
- Hegi G., 1986, *Illustrierte Flora von Mitteleuropa*, Berlin–Hamburg, Verlag Paul Parey.
- Huang H., Renwick J.A.A., Sadchew-Gupta K., 1993, *A chemical basis for differential acceptance of Erysimum cheiranthoides by two Pieris species*, J. Chem. Ecol., 19, s. 195–210.
- Jördens-Röttger D., 1979, *The role of phenolic substances for host-selection behaviour of the black bean aphid, Aphis fabae*, Entomol. exp. appl., 26, s. 49–54.
- Karl E., Eisbein K., 1987, *Anfälligkeit einiger Kopfkohlsorten und – zuchtstämme mit unterschiedlich ausgebildeten kutikularen Wachststrukturen für Brevicoryne brassicae (L.) und Myzus persicae (Sulz.)*, Arch. Phytopathol. Pflanzenschutz., 23, s. 369–376.
- Kelm M., 1983, *O zagrożeniu plonów rzepaku ozimego i warzyw krzyżowych przez mszycę kapuścianą (Brevicoryne brassicae)*, Ochr. Rośl., 9, s. 16–18.
- Kelm M., 1994, *Effect of nitrogen fertilization on the cabbage aphid (Brevicoryne brassicae[L.]) in oilseed rape crop*, Aphids and Other Homopterous Insects, PAS, Skierniewice, 4, s. 27–32.
- Kelm M., Gadomski H., 1995, *Występowanie i szkodliwość mszycy kapuścianej Brevicoryne brassicae L. na rzepaku ozimym*, Mat. XXXV Sesji Nauk. IOR, II, s. 101–103.
- Kennedy C.E.J., 1986, *The role of leaf surfaces in oak aphid host selection*, [w:] B. Juniper, R. Southwood (red.), *Insects and the Plant Surface*, Edward Arnold Publ., s. 344–345.
- Kennedy J.S., Booth C.O., Kershaw W.J.S., 1959, *Host finding by aphids in the field. II. Aphis fabae Scop. (gynoparae) and Brevicoryne brassicae L.; with re-appraisal of the role of host-finding behaviour in virus spread*, Ann. appl. Biol., 47, s. 424–444.

- Kiddle G.A., Doughty K.J., Wallsgrove R.M., 1994, *Salicylic acid-induced accumulation of glucosinolates in oilseed rape (Brassica napus L.) leaves*, Journal of Experimental Botany, 45, s. 1343–1346.
- Klingauf F.A., 1987a, *Host Plant Finding and Acceptance*, [w:] A. K. Minks and P. Harrewijn (red.), *Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control*, Vol. 2B, Elsevier Sc. Publ. Amsterdam, s. 209–223.
- Klingauf F.A., 1987b, *Feeding, Adaptation and Excretion*, [w:] A.K. Minks and P. Harrewijn (red.), *Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control*, Vol. 2B, Elsevier Sc. Publ. Amsterdam, s. 225–253.
- Lamb K.P., White D., 1966, *Effect of temperature, starvation and crowding on production of alatae young by the cabbage aphid (Brevicoryne brassicae)*, Ent. exp. appl., 9, s. 179–184.
- Lammerink J., MacGibbon D.B., Wallace A.R., 1984, *Effect of the cabbage aphid (Brevicoryne brassicae) on total glucosinolate in the seed of oilseed rape (Brassica napus)*, New Zealand Journal of Agricultural Research, 27, s. 89–92.
- Loon J.J.A. van, Blaakmeer A., Griepink F.C., van Beek T.A., Schoonhoven L.M., Groot A. de, 1992, *Leaf surface compound from Brassica oleracea (Cruciferae) induces oviposition by Pieris brassicae (Lepidoptera: Pieridae)*, Chemoecology, 3, s. 39–44.
- Maisonneuve C., Deverchere J., Pilorge E., 1995, *Virus diseases on rapeseed: distribution in plants, effects on yield, and cartography in France*, Proc. 9th Intern. Rapeseed Congress, s. 661–663.
- Markkula M., 1953 *Biologisch-okologische untersuchungen uber die kohlblattlaus, Brevicoryne brassicae (L.) (Hem., Aphididae)*, Ann. Soc. Zool. Bot. fenn. Vanamo, 15: 1–133.
- Martin B., Collar J.L., Tjallingii W.F., Fereres A., 1997, *Intracellular ingestion and salivation by aphids may cause the acquisition and inoculation of non-persistently transmitted plant viruses*, Journal of General Virology, 78, s. 2701–2705.
- Matile P., 1984. *Das toxische Kompartiment der Pflanzenzelle*, Naturwissenschaften, 71, s. 18–24.
- Meritt S., 1996, *Within-plant variation in concentrations of amino acids, sugar, and sinigrin in phloem sap of black mustard, Brassica nigra (L.) Koch (Cruciferae)*, J. Chem. Ecol., 22 (6), s. 1133–1145.
- Miles P.W., 1972, *The saliva of Hemiptera*, Advances in Insect Physiology, 9, s. 183–255.
- Miles P.W., Aspinall D., Rosenberg L., 1982, *Performance of the cabbage aphid, Brevicoryne brassicae (L.), on water-stressed rape plants, in relation to changes in their chemical composition*, Aust. J. Zool. 30, s. 337–345.
- Miller J.R., Strickler K.L., 1984, *Finding and Accepting Host Plants*, [w:] W.J. Bell, R.T. Carde (red.), *Chemical Ecology of Insects*, Chapman and Hall, s. 127–157.
- Mollema C., Cole R. 1995 *Low concentrations of aromatic amino acids determine resistance to Frankiniela occidentalis in four vegetable crops*, Ent. exp. appl., 78, s. 325–333.
- Montllor C., 1991, *The influence of plant chemistry on aphid feeding behaviour*, [w:] E. Bernays (red.), *Insect-Plant Interactions*, Vol. III, CRC Press, s. 125–173.
- Montllor C.B., Tjallingii W.F., 1989, *Stylet penetration by two aphid species on susceptible and resistant lettuce*, Ent. exp. appl., 53, s. 103–111.
- Moon M.S., 1967, *Phagostimulation of a monophagous aphid*, Oikos, 18, s. 96–101.
- Myiazaki M., 1987, *Morphology and systematics*, [w:] A.K. Minks, P. Harrewijn (red.), *Aphids, Their Biology, Natural enemies and Control*, Vol. A, Elsevier Amsterdam, s. 1–50.

- Nault L.R., Styer W.E., 1972, *Effect of sinigrin on host selection by aphids*, Ent. exp. appl., 15, s. 423–437.
- Niemeyer H., 1990, *The role of secondary plant compounds in aphid-host interactions*, [w:] R.K. Campbell & R.D. Eikenbary (red.), *Aphid-Plant Genotype Interactions*, Elsevier, s. 187–205.
- Nottingham S.F., Hardie J., 1993, *Flight behaviour of the black bean aphid, Aphis fabae, and the cabbage aphid, Brevicoryne brassicae, in host and non-host plant odour*, Physiological Entomology, 18, s. 389–394.
- Nottingham S.F., Hardie J., Dawson G.W., Hick A.J., Pickett J.A., Wadhams L.J., Woodcock C.M., 1991, *Behavioral and electrophysiological responses of aphids to host and non-host plant volatiles*, J. Chem. Ecol., 17, s. 1231–1242.
- Pettersson J., 1973, *Olfactory reactions of Brevicoryne brassicae (L.) (Hom.: Aph.)*, Swedish Journal of Agricultural Research, 3, s. 95–103.
- Pickett J.A., Wadhams L.J., Woodcock C.M., Hardie J., 1992, *The chemical ecology of aphids*, Annu. Rev. Entomol., 37, s. 67–90.
- Ponsen M.B. 1987, *Alimentary tract*, [w:] A.K. Minks and P. Harrewijn (red.), *Aphids, Their Bio-logy, Natural Enemies and Control*, Vol. 2B, Elsevier Sc. Publ. Amsterdam, s. 79–95.
- Powell G., 1991, *Cell membrane punctures during epidermal penetrations by aphids: consequences for the transmission of two potyviruses*, Ann. Appl. Biol., 119, s. 313–321.
- Powell G., Hardie J., Pickett J.A., 1993, *Effects of the antifeedant polygodial on plant penetration by aphids, assessed by video and electrical recording*, Ent. exp. appl., 68, s. 193–200.
- Powell G., Hardie J., Pickett J.A., 1995, *Behavioural evidence for detection of the repellent polygodial by aphid antennal tip sensilla*, Physiological Entomology, 20, s. 141–146.
- Rahbe Y., Febvay G., 1993, *Protein toxicity to aphids: an in vitro test on Acyrthosiphon*, Ent. exp. appl., 67, s. 149–160.
- Renwick J.A., Radke C.D., Sachdev-Gupta K., Stadler E. 1992, *Leaf surface chemicals stimulating oviposition by Pieris rapae (Lepidoptera: Pieridae) on cabbage*, Chemoecology, 3, s. 33–38.
- Risebrow A., Dixon A.F.G., 1987, *Nutritional ecology of phloem feeding insects*, [w:] F. Slansky, J.G. Rodrigues (red.), *Nutritional Ecology of Insects, Mites, Spiders, and Related Invertebrates*, John Wiley & Sons, s. 422–448.
- Robert Y., 1987, *Dispersal and Migration*, [w:] A.K. Minks i P. Harrewijn (red.), *Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control*, Vol. 2B, Elsevier Sc. Publ. Amsterdam, s. 299–313
- Smith J.G., 1976, *Influence of crop background on aphids and other phytophagous insects on Brussels sprouts*, Ann. Appl. Biol., 83, s. 1–13.
- Srivastava P.N., 1987, *Nutritional physiology*, [w:] A. K. Minks and P. Harrewijn (red.), *Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control*, Vol. 2B, Elsevier Sc. Publ. Amsterdam, s. 99–121.
- Strong D.R., Lawton J.H., Southwood R., 1984, *Insects on Plants – Community pattern and Mechanisms*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, s. 313.
- Szelągiewicz H., 1978, *Klucze do oznaczania owadów Polski. Część XVII. Pluskwiaki równoskrzydłe – Homoptera, zeszyt 5a Mszyce – Aphidodea*, PWN, Warszawa, s. 107.
- Tjallingii W.F., 1978a, *Mechanoreceptors of the aphid labium*, Ent. exp. appl., 24, s. 531–537.

- Tjallingii W.F., 1978b, *Electronic recording of penetration behaviour by aphids*, Ent. exp. appl., 24, s. 521–530.
- Tjallingii W.F., 1994, *Sieve element acceptance by aphids*, Eur. J. Entomol, 91, s. 47–52.
- Tjallingii W.F., Hogen Esch, Th., 1993, *Fine structure of aphid stylets routes in plant tissues in correlation with EPG signals*, Physiol. Entomol., 18, s. 317–328.
- Tollsten L., Bergström G., 1988, *Headspace volatiles of whole plants and macerated plant parts of Brassica and Sinapis*, Phytochemistry, 27 (12), s. 4013–4018.
- Usher B.F., Feeny P., 1983, *Atypical secondary compounds in the family Cruciferae: tests for toxicity to Pieris rapae, a n adapted crucifer-feeding insect*, Ent. exp. appl., 34, s. 257–262.
- Van Emden H.F., 1972, *Aphids as phytochemists*, [w:] J.B. Harborne (red.), *Phytochemical Ecology*, Academic Press, London and New York, s. 25–43.
- Van Emden H.F., Bashford M.A., 1969, *A comparison of the reproduction of Brevicoryne brassicae and Myzus persicae in relation to soluble nitrogen concentration and leaf age (leaf position) in the Brussels sprout plant*, Ent. exp. appl., 12, s. 351–364.
- Van Emden H.F., Bashford M.A., 1976, *The effect of leaf excision on the performance of Myzus persicae and Brevicoryne brassicae in relation to the nutrient treatment of the plants*. Physiological Entomology, 1, s. 67–71.
- Van Etten C.H., Tookey H.L., 1979, *Chemistry and biological effects of glucosinolates*, [w:] G.A. Rosenthal, D.H. Janzen (red.), *Herbivores Their Interaction with Secondary Plant Metabolites*. Academic Press, London, s. 471–500.
- Visser J.H., Piron P.G.M., Hardie J., 1996, *The aphids' peripheral perception of plant volatiles*, Ent. exp. appl., 80, s. 35–38.
- Wearing C.H., 1967, *Studies on the relations of insect and host plant II. Effect of water stress in host plants in pots on the fecundity of Myzus persicae (Sulz.) and Brevicoryne brassicae (L.)*, Nature, 213, s. 1052–1053.
- Wearing C.H., 1972, *Responses of Myzus persicae and Brevicoryne brassicae to leaf age and water stress in Brussels sprouts grown in pots*, Ent. exp. appl., 15, s. 61–80.
- Wearing C.H., Van Emden H.F., 1967, *Studies on the relations of insect and host plant I. Effect of water stress in host plants on infestation by Aphis fabae Scop., Myzus persicae (Sulz.) and Brevicoryne brassicae (L.)*, Nature, 213, s. 1051–1052.
- Weber G., Oswald S., Zollner U., 1986, *Die wirtseignung von Rapssorten unterschiedlichen Glucosinolatgehaltes für Brevicoryne brassicae (L.) und Myzus persicae (Sulzer) (Homoptera, Aphididae)*, Journal of Plant Diseases and Protection, 93 (2), s. 113–124.
- Weibull J., 1988, *Free amino acids in the phloem sap from oats and barley resistant to Rhopalosiphum padi*, Phytochemistry, 27, s. 2069–2072.
- Weibull J., Melin G., 1990, *Free amino acid content of phloem sap from Brassica plants in relation to performance of Lipaphis erysimi (Homoptera: Aphididae)*, Ann. appl. Biol., 116, s. 417–423.
- Wensler R.J.D., 1962, *Mode of host selection by an aphid*, Nature, 195, s. 830–831.
- Wensler R.J.D., 1977, *The fine structure of distal receptors on the labium of the aphid Brevicoryne brassicae L. (Homoptera)*, Cell Tiss. Res., 181, s. 409–421.
- Wensler R.J., Filshie B.K., 1969, *Gustatory sense organs in the food canal of aphids*, J. morph., 129, s. 473–492.

Woodhead S., Chapman R.F. 1986, *Insect behaviour and the chemistry of plant surface waxes*, [w:] B. Juniper, R. Southwood (red.), *Insects and the Plant Surface*, Edward Arnold Publ., s. 123–135.

Yusuf S.W., Collins G.G., 1998, *Effect of soil sulphur levels on feeding preference of Brevicoryne brassicae on Brussels sprouts*, J. Chem. Ecol., 24, s. 417–424.

How do oligophagous insects find suitable host plants in biologically diverse environment?

Abstract

The process of host plant selection by aphids is very specific among insects. Aphids have a complicated life-cycle with cyclical parthenogenesis and the occurrence of different morphs of which the alatae and apterae co-exist during the vegetation season. Most of aphid species show a distinct host plant specificity while feeding mainly on the phloem sap, and lacking external contact chemoreceptors on their mouthparts. This paper is an attempt to present the complex process of host plant selection by these insects, using an example of a well-studied monoecious oligophagous species, the cabbage aphid *Brevicoryne brassicae* (L.). *B. brassicae* is a pest insect of the still-increasing economic importance in the temperate regions of the world, and its widely understood ecology has been a subject of many extensive scientific studies. The following aspects of host plant location and selection by aphids are presented: locomotory activity, directed flight, landing, testing of the plant, and probing and feeding behaviour. The effect of environmental factors (solar radiation, mineral composition of the soil, soil water content) and plant properties (plant morphology, surface chemicals, plant odours, plant sap quality, plant allelochemicals) on the successive stages of host plant selection are discussed.

Beata Gabryś

Uniwersytet Zielonogórski
Katedra Botaniki i Ekologii
ul. Szafrana 1, 65–516 Zielona Góra

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia ad Didacticam Biologiae Pertinentia II (2012)

Grzegorz Rut, Andrzej Rzepka, Agata Stokłosa-Wojtaś, Grzegorz Migdalek

Wpływ substancji allelopatycznych na kiełkowanie nasion, wzrost i rozwój roślin

Wstęp

Zjawisko allelopatii było znane od bardzo dawna, a mimo to do tej pory nie zostało dokładnie wyjaśnione i zbadane. Nie wiadomo, czy wytwarzanie związków allelopatycznych było celową strategią wykształconą przez rośliny dla przeciwdziałania konkurencji, czy może dziełem przypadku, utrwalonym w kolejnych pokoleniach, pozwalającym uzyskać przewagę roślinom syntetyzującym te substancje.

Istotą oddziaływań allelopatycznych jest wydzielanie do środowiska przez rośliny substancji chemicznych, które modyfikują procesy wzrostu i rozwoju roślin. Modyfikacja ta może mieć charakter stymulujący lub inhibicyjny. Termin allelopatia pochodzi z języka greckiego i jest połączeniem dwóch wyrazów: *allelom* – wzajemnie i *pathos* – oddziaływanie, cierpienie, doświadczenie. Istota oddziaływań allelopatycznych polega na wydzielaniu do otaczającego środowiska przez rośliny, grzyby, mikroorganizmy (donory) związków chemicznych, które modyfikują procesy wzrostu i rozwoju roślin (akceptorów). Podczas pierwszego Światowego Kongresu Allelopatii w 1996 r., przebiegającego pod hasłem „Allelopathy – a science for the future”, zdefiniowano allelopatię jako każdy proces, w którym biorą udział wtórne metabolity wytworzone przez rośliny, mikroorganizmy lub grzyby, mające wpływ na wzrost i rozwój systemów biologicznych i rolniczych, wykluczając zwierzęta (Gniazdowska i wsp. 2004).

Rys historyczny badań nad allelopatią

Jednym z najstarszych przykładów wykorzystania zjawiska allelopatii jest doświadczenie opisane przez Demokryta z Abdery (370 r. p.n.e.), polegające na obumieraniu drzew, wywołane traktowaniem ich korzeni mieszaniną kwiatów łąbinu (*Lupinus sp. L.*) namoczonych w soku szaleju jadowitego (*Cucuta virosa*) (Wójcik-Wojtkowiak i wsp. 1998, Oleszek i wsp. 2001). Wzmianki o zjawisku allelopatii znajdujemy także u Pliniusza Starszego (1 r. n.e.) w dziele *Historia naturalna*. Został tam zamieszczony opis tajemniczych, trujących dla innych roślin właściwości orzecha czarnego (*Juglans nigra L.*) i orzecha włoskiego (*Juglans regia L.*). Jedną z pierwszych prób wyjaśnienia tego zjawiska podjął w latach trzydziestych XIX

wieku szwajcarski botanik de Candolle. Opisał on hamowanie wzrostu i rozwoju niektórych roślin przez wydzieliny korzeni innych gatunków roślin (Kołodziejak-Nieckuła 1994). Pojęcie allelopatii po raz pierwszy zostało wprowadzone do literatury przez fizjologa G. Molischa dla określenia wzajemnych wpływów – zarówno szkodliwych, jak i korzystnych – o charakterze biochemicznym, pomiędzy roślinami, włączając również mikroorganizmy. Począwszy od drugiej połowy XX wieku można było zauważyć wzrost zainteresowań oddziaływaniami allelopatycznymi między chwastami i roślinami uprawnymi.

Podział substancji allelopatycznych

Większość zidentyfikowanych do tej pory związków allelochemicznych, syntetyzowanych przez rośliny wyższe (ponad 10 000), należy do metabolitów wtórnych o relatywnie prostej budowie chemicznej (Kączkowski 1985, Jensen i wsp. 2001, Ciarka i wsp. 2004, Machado 2007). W skład allelopatin wchodzi duża ilość różnorodnych związków organicznych – od najprostszych, występujących w formie gazowej, związków alifatycznych, do wielopierścieniowych związków aromatycznych (Kączkowski 1985).

Allelopatyny pod względem charakteru oddziaływania można podzielić na stymulatory lub inhibitory. Klasyfikacja ta nie jest wyraźna, gdyż związki stymulujące wzrost roślin mogą w wysokich stężeniach pełnić funkcję inhibitorów, jak również substancje uważane za inhibitory w niskich stężeniach mogą stymulować pewne procesy życiowe (Gniazdowska i wsp. 2004).

Grümmer podzielił związki wydzielane przez rośliny na cztery grupy:

- antybiotyki – wydzielane przez bakterie lub plechowce i oddziaływające na inne mikroorganizmy,
- fitoncyny – wydzielane przez rośliny naczyniowe i oddziaływające na rośliny tej samej grupy,
- koliny – wydzielane przez rośliny wyższe i wpływające na rośliny naczyniowe,
- marazminy – wydzielane przez bakterie lub plechowce i oddziaływające na rośliny wyższe (Zielińska 1986).

Według podziału zaproponowanego przez Gniazdowską i wsp. (2004) substancje wytwarzane przez rośliny można sklasyfikować na podstawie ich znaczenia ekologicznego, w zależności od tego, czy są to relacje między- czy wewnątrzgatunkowe. Do tych pierwszych zaliczamy:

- allomony – to takie związki, które dają korzyść organizmowi wydzielającemu,
- kairomony – substancje dające korzyść akceptorowi,
- depresanty – substancje hamujące wzrost i niszczące organizm akceptora, ale będące obojętne dla donora.

Do substancji będących źródłem oddziaływań wewnątrzgatunkowych zalicza się:

- autotoksyny,
- autoinhibitory adaptacyjne,
- feromony.

W agrosystemach można wyróżnić trzy podstawowe źródła, z których uwalniane są substancje allelopatyczne. Zaliczamy do nich: rośliny uprawne, chwasty oraz mikroorganizmy (Wójcik-Wojtkowiak i wsp. 1998).

Źródła allelozwiązków

Związki allelopatyczne wykryto we wszystkich organach roślin zarówno wegetatywnych, jak i generatywnych. Największe znaczenie allelopatyczne przypisuje się związkom pochodzącym z organów wegetatywnych. Najbogatszym źródłem allelopatin są liście, w których występują one w największym stężeniu i szerokim spektrum jakościowym. Korzenie roślin zawierają niektóre inhibitory, ale zwykle występują one w stężeniach niższych niż w liściach. W niektórych płatkach kwiatów i okwiacie obecne są substancje allelopatyczne, ale niewiele wiadomo o ich budowie chemicznej i częstotliwości występowania, gdyż rzadko badano je pod kątem aktywności allelopatycznej (Viator i wsp. 2006, Ding i wsp. 2007). Również nasiona zawierają liczne inhibitory, które zabezpieczają przed gniciem, a również kontrolują czas kiełkowania poprzez narzucenie spoczynku bezwzględne. Dzięki temu nasiona chwastów mogą przetrwać przez dziesiątki lat, zachowując przy tym żywotność. Z kolei owoce zawierają inhibitory, które odgrywają ważną rolę w procesie kiełkowania nasion.

Drogi uwalniania allelozwiązków

Allelopatyny mogą być uwalniane do środowiska przy udziale czterech różnych procesów, a mianowicie ewaporacji, czyli uwalniania lotnych substancji, ługowania z części naziemnych, eksudacji z systemu korzeniowego albo rozkładu tkanek roślinnych (Oleszek 1992).

Uwalnianie lotnych substancji (ewaporacja) dotyczy głównie olejków eterycznych należących do terpenoidów, powstających w gruczołach roślinnych, skąd w formie gazowej w podwyższonej temperaturze dostają się do atmosfery. Substancje te mogą być pochłaniane przez tkanki sąsiednich roślin bezpośrednio z atmosfery lub z rosą. Dopuszczalna jest także ich adsorpcja na powierzchni gleby, z której przechodzą do roztworu glebowego i są pobierane przez systemy korzeniowe roślin.

Przez ługowanie (wymywanie) z nadziemnych organów roślin pod wpływem deszczu lub rosy wymywana jest cała gama związków, m.in. alkaloidy, flawonoidy, kwasy organiczne, substancje pektynowe oraz związki fenolowe.

Eksudacja (wydzielanie przez system korzeniowy) to mniej wydajna droga dyfuzji związków allelopatycznych do otoczenia, zwykle ograniczona jedynie do ryzosfery. Jak donoszą Curl i Truelove (1986), intensywność wydzielania związków chemicznych z nieuszkodzonych korzeni wynosi jedynie 7–25% zasymilowanego węgla netto. Wydzieliny z korzeni zawierają głównie substancje metabolizmu podstawowego, tj. cukry, kwasy organiczne oraz metabolity wtórne, które służą do obrony przed patogenami oraz mogą również negatywnie oddziaływać na inne rośliny (Ito i wsp. 1998, Bernat i wsp. 2004).

Rozkład obumarłych organów roślin jest podstawowym źródłem substancji allelopatycznych. Według wielu autorów w czasie degradacji resztek roślinnych następuje uwalnianie i wymywanie do gleby różnych substancji pochodzących z tkanek roślinnych, z których wiele wykazuje aktywność biologiczną.

Wpływ substancji allelopatycznych na wzrost i rozwój roślin

Allelopatii nie można analizować jako formy bezpośredniego wpływu jednej rośliny na drugą. Metabolity są wydzielane do środowiska (powietrze, woda, gleba), gdzie mogą podlegać różnego rodzaju transformacjom. Wydzielona przez roślinę–donora substancja nie zawsze dociera do rośliny–akceptora w pierwotnej formie. O aktualnym poziomie toksyczności allelozwiązków decydują trzy ważne procesy, którym mogą podlegać w środowisku, a mianowicie: retencja, transport i transformacja. Ten ostatni proces może być biotyczny lub abiotyczny. Transformacja allelozwiązków przez mikroflorę może dać dwójaki efekt: może doprowadzić do inaktywacji danego związku lub przez jego rozkład spowodować wzrost jego toksyczności (Rice 1984, Oleszek 1992).

Część substancji aktywnych biologicznie może ulec stałej lub okresowej adsorpcji przez koloidy glebowe, w tym także substancje humusowe. Dlatego im większe ilości substancji organicznych gleba zawiera, tym mniejszą wykazuje toksyczność dla roślin w niej rosnących. Substancje, które nie uległy sorpcji ani mikrobiologicznej degradacji, a pozostały w roztworze glebowym, mogą zostać pobrane przez roślinę. Nie musi to oznaczać, iż ujawni się ich działanie toksyczne. W roślinie występują mechanizmy zabezpieczające, takie jak: blokowanie ich transportu lub mechanizmy detoksykacji. Jednym ze sposobów detoksykacji jakiegokolwiek związku fenolowego jest ich wiązanie z cukrami, czyli proces glikolizacji. Jeśli żaden z wymienionych mechanizmów nie funkcjonuje, to allelopatyny pobrane przez roślinę zaburzają szlaki przemian metabolicznych, a przez to wpływają na ontogenezę (Wójcik-Wojtkowiak 1998).

Oddziaływania allelopatyczne, zwane powszechnie allelopatią, można podzielić na dwie grupy, a mianowicie interakcje ujemne i dodatnie. Allelopatia negatywna to oddziaływanie na rośliny poprzez wydzieliny systemu korzeniowego lub lotne związki eteryczne zwane fitoncydami, które są wydzielane z części nadziemnych roślin i ograniczają rozwój gatunków roślin znajdujących się w zasięgu działania roślin wydzielających wspomniane wyżej inhibitory. Bardzo silne oddziaływanie allelopatyczne wykazuje gryka względem roślin synantropijnych, czyli stanowiących pospolite chwasty upraw rolniczych. Natomiast allelopatia dodatnia polega na wydzielaniu przez rośliny takich substancji chemicznych, które wpływają korzystnie na rośliny będące w zasięgu ich oddziaływania, co najczęściej polega na stymulowaniu ich wzrostu i rozwoju. Przykładem takiego pozytywnego oddziaływania jest wpływ pszenicy na mak polny, kąkol polny oraz miotłę zbożową. Inni autorzy wyróżniają dwa odmienne od w/w typy allelopatii, a mianowicie allelopatię prawdziwą i funkcjonalną. Pierwszy typ polega na uwalnianiu do otoczenia takich substancji chemicznych, które są toksyczne bezpośrednio po uwolnieniu przez roślinę. Z kolei allelopatia funkcjonalna dotyczy uwalniania do środowiska związków, które stają się toksyczne w momencie ich przekształcenia przez mikroorganizmy (Wójcik-Wojtkowiak 1998, Gniazdowska i wsp. 2004).

Aktualny stan wiedzy o mechanizmach działania związków allelopatycznych nie pozwala jeszcze mówić o dogłębnym ich poznaniu. Allelozwiązki mają zdolność oddziaływania na szereg procesów biochemiczno-fizjologicznych zachodzących w roślinach, mogą również zmienić ich przebieg. Procesem szczególnie wrażliwym na obecność allelopatin jest wzrost. Związki te mają szczególnie negatywny wpływ

zarówno na podziały komórek, jak i na ich elongację. Szczególną aktywność w blokowaniu procesu mitozy i hamowaniu wzrostu elongacyjnego komórek wykazują lotne monoterpény. Pod wpływem kumaryny, cyneolu oraz skopoletyny powstawały komórki charakteryzujące się wyraźnie zmienionym kształtem, nieprawidłowo wykształconym jądrem oraz rozbudowanym systemem wakuolarnym. Allelozwiązki mają również niekorzystny wpływ na hormony roślinne; i tak, kwasy hydroksyamowe obniżają zdolność auksyn do wiązania z miejscami receptorowymi błon cytoplazmatycznych (Jankiewicz 1997).

Substancje allelopatyczne wywołują zmiany we właściwościach błon cytoplazmatycznych, które dotyczą przepuszczalności, gdyż związki te działają na strukturę ich komponentów. Skutkiem tego jest podwyższony wpływ substancji z sąsiednich komórek. Powszechnym zjawiskiem są zmiany w błonach wywołane przez związki fenolowe, które są najczęściej pochodnymi kwasu cynamonowego lub benzooesowego. Związki te należą do najczęściej syntetyzowanych w roślinach, a ponadto przejawiają działanie toksyczne w stosunkowo niskich stężeniach od 0,1 mM do 1 mM (Wójcik-Wojtkowiak i wsp. 1998).

Allelopatyny mają zdolność modyfikacji aktywności wielu enzymów, przy czym wywierany efekt może być indukujący lub hamujący. Allelozwiązki mogą być substratami dla pewnych enzymów i wówczas mogą indukować ich aktywność. Taką stymulację stwierdzono w przypadku peroksydazy oraz glukozylotransferazy fenolowej pod wpływem działania związków fenolowych (Oleszek i wsp. 2001). Z kolei przyczyną dezaktywacji enzymów może być tworzenie nierozpuszczalnych kompleksów allelozwiązków z białkami enzymatycznymi. Zdolność do tworzenia takich kompleksów stwierdzono w przypadku działania związków fenoli, a zwłaszcza garbników.

Wiele prac potwierdziło, iż allelozwiązki obniżały potencjał wody w komórkach liści, zwiększały ich oporność dyfuzyjną lub wpływały na stopień otwarcia aparatów szparkowych oraz obniżały intensywność transpiracji. Stwierdzono również, iż allelozwiązki hamują wykształcanie włosników, co jest przyczyną zmniejszenia powierzchni aktywnej korzenia, a tym samym ograniczenia pobierania wody.

Istnieje wiele dowodów świadczących o wpływie substancji allelopatycznych na gospodarkę mineralną roślin. Ograniczają one pobieranie jonów przez komórki, mogą również powodować zwiększony wypływ jonów z tkanek. Efekty te wywierane przez allelozwiązki, zależą od ich budowy chemicznej, stężenia, pH oraz rodzaju jonu (Oleszek i wsp. 2001).

Fotosynteza jest procesem, na który również mają wpływ związki allelochemiczne. Substancje te wpływają na proces w sposób bezpośredni, powodując zmiany w aparacie fotosyntetycznym, a także w sposób pośredni, powodując ograniczenia w pobieraniu i transporcie wody w roślinie (Qasem 2001, Czarnota i wsp. 2003).

Mało jest prac dotyczących problemu oddziaływania allelozwiązków na proces oddychania. Stwierdzono, iż wpływ dotyczy głównie zmian na poziomie mitochondriów. Badania, które były prowadzone na izolowanych mitochondriach dowiodły, że dużą aktywność, przejawiającą się zaburzeniami w metabolizmie mitochondrialnym, wykazują monoterpény oraz związki fenolowe.

Praktyczne zastosowanie oddziaływań allelopatycznych

Postępująca chemizacja rolnictwa, stanowiąca istotne zagrożenie dla środowiska naturalnego, powoduje ciągły rozwój badań nad praktycznym wykorzystaniem zjawiska allelopatii w zwalczaniu chwastów w uprawach rolniczych (Gniazdowska i wsp. 2004).

Zdaniem Jankiewicza (1997), wykorzystanie zjawiska allelopatii w praktyce rolniczej można realizować trzema drogami. Jedną z nich jest wykorzystanie związków allelochemicznych w ochronie roślin przeciw szkodnikom roślin (owady, nicienie). Odmiennym zagadnieniem jest praktyczne wykorzystanie allelopatii w walce z chwastami i chorobami roślin, przez zwiększenie odporności roślin na te choroby. Z punktu widzenia produkcji rolniczej aspekt zwiększenia odporności roślin na choroby oraz walki z chwastami jest szczególnie ważny. Obecnie w ogrodnictwie i rolnictwie zintegrowanym czy ekologicznym konieczne jest ograniczenie stosowania środków chemicznych i zastąpienie ich substancjami naturalnymi, wytwarzanymi przez różne gatunki roślin. Istnieją liczne dane wskazujące, że allelozwiązki mogą być stosowane jako herbicydy. Zdaniem Wójcik-Wojtkowiak i wsp. (1998), toksyczne właściwości saponin występujących w lucernie siewnej mogą być wykorzystane w ochronie chmielu przed niektórymi patogenami i szkodnikami. W uprawie tej rośliny może również zostać wykorzystany fitosanitarny wpływ żyta. Wykazano negatywne działanie pelargonii i bodziszka na stonkę ziemniaczaną. Aktualnie prowadzone są badania nad aktywnością biologiczną perzu w uprawach roślin zbożowych.

Wykorzystanie dodatnich współzależności allelopatycznych w praktyce stwarzają siewy mieszane. W Polsce wprowadził je pionier allelopatii Stefan z Bronowa. Jego idea zaowocowała opracowaniem systemu upraw pasowych, bardzo popularnych w Stanach Zjednoczonych. W Polsce uprawy pasowe z wsiewką roślin motylkowych prowadzone są w Instytucie Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach koło Szczecina.

Zastosowanie rozpuszczalników organicznych umożliwia ekstrakcję związków hydrofobowych należących do produktów metabolizmu wtórnego. Użycie wody do ekstrakcji, chociaż najbardziej zbliżone do warunków naturalnych, pozwala wyekstrahować głównie związki metabolizmu podstawowego. Z badań licznych autorów wynika, że wodne ekstrakty w stężeniu mniejszym niż 1% stymulowały wzrost siewek pszenicy, a ekstrakty etanolowe z tej samej rośliny hamowały wzrost siewek już w stężeniu 0,25%. Na tej podstawie można wnioskować, że zahamowanie kiełkowania może być wywołane związkami allelopatycznymi, które są rozpuszczalne jedynie w etanolu. Istnieje wiele technik wyodrębniania związków allelochemicznych i określenia ich fitotoksycznej aktywności. Jednym z najczęściej wykorzystywanych biotestów jest oznaczenie wpływu tych związków na kiełkowanie nasion. Poszczególne części rośliny dostają się do gleby i w naturalnych warunkach wpływają na rośliny (Wójcik-Wojtkowiak i wsp. 1998, Kato-Noguchi 2004, Kato-Noguchi i wsp. 2008).

Allelopatia jest zjawiskiem bardzo złożonym, wymaga znajomości wielu dyscyplin naukowych. Dlatego ciągle aktualne jest stwierdzenie sformułowane przed laty przez prof. M. Nowińskiego: „Allelopatia stoi dopiero u progu swoich możliwości i osiągnięć, a jej rozwój doprowadzi do rozwiązania wielu zagadnień ważnych dla teorii i praktyki rolniczej” (Zarzecka 2006).

Wpływ ekstraktów allelopatycznych ze słonecznika na rośliny

Substancje allelopatycznie aktywne, wydzielane przez korzenie roślin, wymywane z ich części nadziemnych, lub powstające przy rozkładzie resztek roślin mogą wywoływać ograniczenie kiełkowania i wzrostu szczególnie w pierwszych etapach rozwoju roślin (Rice 1984, Wójcik-Wojtkowiak i wsp. 1998, Hunter i Menges 2002).

Kiełkowanie nasion jest procesem złożonym, przebiega w sposób harmonijny, gdy procesy zachodzące w różnych organach i tkankach precyzyjnie współdziałają ze sobą. Kluczową rolę w tej integracji odgrywa przekazywanie informacji i transport metabolitów między poszczególnymi częściami nasiona. Związki allelopatyczne zaburzą prawidłowy przebieg procesów w trakcie kiełkowania nasion. Allelozwiązki, reagując z powierzchniowymi związkami komórek, wpływają na przepuszczalność błon dla wody oraz dla składników mineralnych. Efekt ten to działanie pierwotne, ponieważ uszkodzenie błon wpływa na cały metabolizm i na wszystkie procesy fizjologiczne. Związki o właściwościach allelopatycznych hamują biosyntezę białek, zmniejszają wydajność fosforylacji oksydacyjnej i fotosyntetycznej (Tang i Young 1982, Weston i wsp. 1989). W rozwijających się siewkach powodują hamowanie podziałów i wydłużania się komórek. Jak wykazały badania, *H. annuus* jest bogatym źródłem terpenoidów, wykazujących bardzo szerokie spektrum aktywności biologicznej, włączając aktywność allelopatyczną. Wyciągi ze słonecznika zawierają laktony seskwiterpenowe, które dobrze rozpuszczają się w etanolu i hamują kiełkowanie nasion różnych gatunków roślin. W wyciągach z *H. annuus* wykryto również kwas chlorogenowy i izochlorogenowy przedstawiciele związków fenolowych, które dobrze rozpuszczają się w wodzie. Związki te wykazują szczególnie silne właściwości inhibicyjne na proces kiełkowania. W wyciągach obecne są te kwasy i ich obecnością można wyjaśnić hamowanie procesu kiełkowania nasion roślin. W badaniach nad związkami allelopatycznymi stwierdzono powstawanie stresu oksydacyjnego. Po zastosowaniu allelozwiązków w tkankach roślin wzrasta poziom nadtlenu wodoru oraz zwiększa się aktywność katalazy, enzymu należącego do systemu antyoksydacyjnego (Nilsen i wsp. 1999, Yang i wsp. 2004, Sampietro i wsp. 2006).

Zakłócenia w przebiegu fotosyntezy mogą wywołać laktony seskwiterpenowe. Inhibicyjne działanie tych związków związane jest z uszkodzeniem fotosystemu II. O takiej aktywności laktonów mogą świadczyć obniżające się wartości parametru F_v/F_m u roślin poddawanych działaniu alkoholowych wyciągów z liści lub korzeni *H. annuus*. Wyniki badań Wójcik-Wojtkowiak (1998) potwierdzają, że stosowanie niskiego stężenia substancji allelopatycznych powoduje wzrost stężenia chlorofilu, natomiast zwiększenie stężenia wywołuje efekt odwrotny. Obserwowany spadek wartości F_v/F_m oraz wzrost wartości F_0 w liścieniach roślin wyrosłych z nasion kiełkujących na podłożu z ekstraktami lub podlewanymi ekstraktami z *H. annuus* może świadczyć o uszkodzeniach w obrębie PS II.

Chloroza jest jednym z przejawów stresu allelochemicznego, związki fenolowe obecne w ekstraktach *H. annuus*, aby hamowały proces fotosyntezy, powinny występować w stężeniu 0,1 mM do 2 mM. Zakłócenia procesu fotosyntezy mogą wywoływać krótkołańcuchowe kwasy organiczne oraz seskwiterpenowe laktony (Bernat i wsp. 2004, Prati i Bossdorf 2004, Kato-Noguchi i wsp. 2008). Działanie alleloinhibitorów zlokalizowane jest w obrębie centrum aktywnego PS II. Pod ich wpływem

wzrasta także oporność dyfuzyjna szparek. Zaburzenia produkcji i dystrybucji energii wywołane alleloinhibitorami ujawniają się w procesie fotosyntezy i oddychania. Związki fenolowe hamują również aktywność hydrolityczną i transport protonów katalizowany przez plazmolemową H^+ -ATPazę (Janicka-Russak i wsp. 2004, Kato-Noguchi i Ino 2005). Inhibycyjne działanie allelozwiązków polega na zaburzeniach fosforylacji oksydacyjnej, obniżeniu poziomu ATP i zahamowaniu pobierania tlenu. Niedobór energii zakłóca aktywny transport substancji w obrębie rośliny, a także syntezę związków.

Inhibycyjny wpływ substancji allelopatycznych zawartych w wyciągach wodnych lub alkoholowych z poszczególnych organów *H. annuus* jest odmienny na kiełkowanie, wzrost roślin i wartość parametrów fluorescencji chlorofilu siewek roślin i jest uzależniony od rodzaju wyciągu oraz stężenia.

Literatura

- Bernat W., Gawrońska H., Janowiak F., Gawroński S., 2004, *The effect of sunflower allelopathics on germination and seedling vigour of winter wheat and mustard*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 496, s. 289–299.
- Ciarka D., Gawrońska H., Małecka M., Gawroński S.W., 2004, *Allelopathic potential of sunflower roots and root exudates*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 496, s. 301–314.
- Curl E.A., Truelove B., 1986, *The rhizosphere*, Springer-Verlag, Berlin, New York.
- Czarnota M.A., Rimando A.M., Weston L.A., 2003, *Evaluation of root exudates of seven sorghum accessions*, J. Chem. Ecol., 29, s. 2073–2083.
- Ding J., Sun Y., Xiao C.L., Shi K.S., Zhou Y.H., Yu J.Q., 2007, *Physiological basis of different allelopathic reactions of cucumber and fig leaf gourd plants to cinnamic acid*, J. Exp. Bot., 58, s. 3765–3773.
- Gniazdowska A., Oracz K., Bogatek R., 2004, *Allelopatia – nowe interpretacje oddziaływań pomiędzy roślinami*, Kosmos, 53, s. 207–217.
- Hunter M.E., Menges E.S. 2002, *Allelopathic effects and root distribution of Ceratiola ericoides (Empetraceae) on seven rosemary scrub species*, Am. J. Bot., 89, s. 1113–1118.
- Ito K., Kobayashi K., Yoneyama T., 1998, *Fate of dehydromatricaria ester added to soil and its implications for the allelopathic effect of Solidago altissima L.*, Ann. Bot., 82, s. 625–630.
- Janicka-Russak M., Kabała K., Pacholicki P., Kłobus G., 2004, *The effect of phenolic acids on the growth and plasma membrane H^+ -ATPase activity in cucumber seedlings*, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 496, s. 325–330.
- Jankiewicz L., 1997, *Regulatory wzrostu i rozwoju roślin*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Jensen L.B., Courtois L., Shen Z., Li M., Olofsdotter M., Mauleon R.P., 2001, *Locating genes controlling allelopathic effects against barnyardgrass in upland rice*, Agron. J., 93, s. 21–26.
- Kato-Noguchi H., 2004, *Allelopathic substance in rice root exudates: Rediscovery of momilactone B as an allelochemical*, J. Plant Physiol., 161, s. 271–276.
- Kato-Noguchi H., Ino T., 2005, *Possible involvement of momilactone B in rice allelopathy*, J. Plant Physiol., 162, s. 718–721.

- Kato-Noguchi H., Fushimi Y., Shigemori H., 2008, *An allelopathic substance in red pine needles* (*Pinus densi.ora*), *J. Plant Physiol.*, doi:10.1016/j.jplph.2008.06.012.
- Kączkowski J., 1985, *Biochemia roślin, tom II Metabolizm wtórny*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Kołodziejak-Nieckuła E., 1994, *Allelopatia*, *Wiedza i Życie*, 10, s. 28–32.
- Machado S., 2007, *Allelopathic potential of various plant species on downy brome, s. implications for weed control in wheat production*, *Agronomy Journal*, 99, s. 127–132.
- Nilsen E.T., Walker J.F., Miller O.K., Semones S.W., Lei T.T., Clinton B.D., 1999, *Inhibition of seedling survival under Rhododendron maximum (Ericaceae), s. could allelopathy be a cause?* *Am. J. Bot.*, 86, s. 1597–1605.
- Oleszek W., 1992, *Techniki badań allelopatii*, *Wiadomości Botaniczne*, 36, s. 17–25.
- Oleszek W., Głowniak K., Leszczyńska B., 2001, *Biochemiczne oddziaływania środowiska*, Wydawnictwo Akademii Medycznej, Lublin.
- Prati D., Bossdorf O., 2004, *Allelopathic inhibition of germination by Alliaria petiolata (Brassicaceae)*, *Am. J. Bot.* 91, s. 285–288.
- Qasem J.R., 2001, *Allelopathic potential of white top and syrian sage on vegetable crops*. *Agron. J.*, 93, s. 64–71.
- Rice E.L., 1984, *Allelopathy*, 2nd ed. Academic Press, New York.
- Sampietro D.A., Vattuone M.A., Isla M.I., 2006, *Plant growth inhibitors isolated from sugarcane (Saccharum officinarum) straw*, *J. Plant Physiol.*, 163, s. 837–846.
- Tang C.-S., Young C.-C., 1982, *Collection and identification of allelopathic compounds from the undisturbed root system of bigalga limpograss (Hemarthria altissima)*, *Plant Physiol.*, 69, s. 155–160.
- Weston L.A., Harmon R., Mueller S., 1989, *Allelopathic potential of sorghum–sudangrass hybrid (sudex)*, *J. Chem. Ecol.*, 15, s. 1855–1865.
- Wójcik-Wojtkowiak D., 1998, *Fizjologiczno-biochemiczne reakcje roślin na inhibitory allelopatyczne występujące w glebach oraz podłożach*, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 461, s. 89–100.
- Wójcik-Wojtkowiak D., Politycka B., Weyman-Kaczmarkowa W., 1998, *Allelopatia.*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Poznań.
- Viator R.P., Johnson R.M., Grimm C.C., Richard Jr. E.P., 2006, *Allelopathic, autotoxic, and hormonal effects of postharvest sugarcane residue*, *Agron. J.*, 98, s. 1526–1531.
- Yang W., Scheffler B.E., Weston L.A. 2004, *SOR1, a gene associated with bioherbicide production in sorghum root hairs*, *J. Exp. Bot.*, 55, s. 2251–2259.
- Zarzycka K., 2006, *Zjawisko allelopatii – znaczenie w praktyce rolniczej*, *Nasza Rola*, 2, <http://www.naszarola.pl>.
- Zielińska E., 1986, *Wybrane zagadnienia allelopatii*, *Sylwan*, 130, s. 37–42.

Influence of allelopathic substances on the sprouting of seeds, growth and development of plants

Abstract

The effects exerted by allelochemicals on physiological and metabolic processes have been widely treated in various publications on the subject. The key allelopathic impacts consist in plants releasing into the environment chemicals capable of modifying the growth and development of other plants. This modification may have either a stimulating or inhibiting effect. Allelochemicals are capable of affecting a number of biochemical physiological processes occurring in plants, and they may also modify their course. Growth is the process that is particularly vulnerable to the presence of allelochemicals. The latter are capable of having particularly adverse effects on cell divisions and elongation. Photosynthesis is another process affected by allelochemicals. They may either operate directly, by producing alterations in the photosynthetic apparatus, or indirectly, via limiting water uptake and transport within plants. The three basic sources from which allelochemicals are released are as follows: cultivated plants, weeds, and microorganisms. Allelochemicals were discovered in all plant parts, both vegetative and generative. The highest allelopathic effects are attributed to compounds derived from the vegetative parts.

Grzegorz Rut, Andrzej Rzepka, Agata Stokłosa-Wojtaś, Grzegorz Migdałek

Uniwersytet Pedagogiczny

Zakład Fizjologii Roślin, Instytut Biologii

ul. Podbrzezie 3, 31-054 Kraków

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia ad Didacticam Biologiae Pertinentia II (2012)

CZĘŚĆ II

Danuta Cichy

Różnorodność biologiczna jako moduł nauczania szkolnego

Rozumienie pojęcia bioróżnorodność w edukacji przyrodniczej

Przystępując do analizy podstaw programowych edukacji dotyczącej różnorodności biologicznej, należy ustalić definicyjne rozumienie pojęcia bioróżnorodność (różnorodność biologiczna). W literaturze, encyklopediach i słownikach pojęcie to jest różnie definiowane. Nie ma też uniwersalnego modelu kształcenia dla ochrony – zachowania różnorodności biologicznej. Na poziomie przygotowania nauczycieli będą operować definicją przyjętą w *Encyklopedii szkolnej* (Urbanek 1999, s. 903) i *Słowniku szkolnym* (Hłuszyk, Stankiewicz 1996, s.141).

Zgodnie z tymi źródłami, różnorodność biologiczna to różnorodność form życia na Ziemi. Jest to sposób uzewnętrznienia informacji genetycznej tkwiącej w zasobach genowych Ziemi. Rozróżnia się trzy poziomy różnorodności biologicznej: genetyczny, gatunkowy i ekosystemowy (czasami nazywany ekologicznym). Na Ziemi jest co najmniej 10 tys. typów ekosystemów lądowych i morskich i żyje prawdopodobnie 5–30 mln gatunków.

Zgromadzenie Ogólne Narodów Zjednoczonych ogłosiło rok 2010 Międzynarodowym Rokiem Różnorodności Biologicznej. W swoim wystąpieniu Sekretarz Generalny ONZ Ban Ki-moon uzasadnił ten fakt następująco: „Nasze życie zależy od różnorodności biologicznej. Gatunki i ekosystemy są niszczone w sposób nie-zrównoważony. To my ludzie jesteśmy tego przyczyną. Zmierzamy ku utracie bogatej różnorodności środowiskowych dóbr i usług, których bardzo dużo zużywamy. Konsekwencje tego dla gospodarki i ludzi będą ogromne, zwłaszcza dla tych najbiedniejszych w świecie” (www.mos.gov.pl/bioroznorodnosc).

W 2002 roku światowi przywódcy zobowiązali się wydatnie obniżyć do roku 2010 stopień utraty różnorodności biologicznej. Dziś już wiemy, że ów cel nie jest spełniony. Potrzebne jest nowe spojrzenie i nowy wysiłek. Ta nowa wizja jest koniecznością, a nie możliwą opcją. Wydaje się, że za mało uwagi przywiązuje się do kształtowania świadomości ekologicznej społeczeństwa.

Zachowanie bioróżnorodności niezbędnym warunkiem rozwiązywania problemów współczesnej cywilizacji

Ochrona i zachowanie bioróżnorodności to kluczowe zagadnienia dla kształcenia człowieka XXI wieku – Europejczyka, który chce żyć godnie w środowisku przyrodniczym. Postęp techniczny prowadzi do rosnącej konsumpcji surowców. Konsekwencją takiego postępowania jest zanieczyszczenie terenów, wód gruntowych i powierzchniowych, wyczerpywanie się zasobów środowiska, zmniejszenie warstwy ozonowej, a zatem pustynnienie, kataklizmy, powodzie, wzrost zachorowań. Każdy codziennie doświadcza postępującej degradacji środowiska, dlatego liczba zwolenników jego ochrony stale rośnie. Przeciętny człowiek zarówno w życiu codziennym, jak i na stanowisku swojej pracy może zrobić dużo, jednak nie jest w stanie zapobiec zasadniczym konsekwencjom wynikającym z postępu cywilizacji.

„Różnorodność biologiczna jest niezbędna dla ewolucji, a także do zapewnienia funkcjonowania systemów podtrzymujących życie w biosferze. Zachowywanie różnorodności biologicznej i zrównoważone użytkowanie zasobów biologicznych ma kluczowe znaczenie dla spełnienia żywnościowych, zdrowotnych i innych potrzeb rosnącej liczebnie ludności świata” (Keating 1993, s. 26–27). Bioróżnorodność jest też bardzo istotnym czynnikiem kształtującym klimat. Wpływa na występowanie katastrof i kataklizmów, czego mieliśmy wiele dowodów w roku 2010 na naszym kontynencie i w naszym kraju. Na innych kontynentach ludność też została dotknięta różnymi kataklizmami: tornadami, powodziami, trzęsieniami Ziemi, wichurami, wybuchami wulkanów. Prawdopodobną przyczyną tych zjawisk jest między innymi wycinanie lasów tropikalnych i zanieczyszczenie powietrza związane z niszczeniem warstwy ozonowej.

Istnieje związek między ochroną różnorodności biologicznej a likwidacją biedy na Ziemi. Racjonalne wykorzystanie ekosystemów dla gospodarki ludzkiej reguluje Konwencja o różnorodności biologicznej, ratyfikowana przez 30 krajów na Międzynarodowej Konferencji ONZ Szczyt Ziemi w Rio de Janeiro w 1992 roku. „Państwa mają prawo do czerpania ze swoich zasobów, ale są również odpowiedzialne za zachowywanie różnorodności biologicznej i za korzystanie ze swych zasobów biologicznych w sposób zrównoważony. Potrzebne są pilne i zdecydowane działania na rzecz ochrony i utrzymania genów, gatunków, ekosystemów” (Keating 1993, s. 26–27, 66–67).

Kraje, które ratyfikowały Konwencję, powinny dołożyć wszelkich starań, aby opracować strategię zachowania i zrównoważonego korzystania z różnorodności biologicznej oraz włączyć ją do ogólnokrajowych planów rozwoju.

W Polsce mamy co chronić, bo jak wykazały badania zamieszczone w „Krajowym studium bioróżnorodności” (Andrzejewski i wsp. 1991, za: Nowicki 1993, s. 79–81), różnorodność biologiczna w Polsce należy do największych w Europie Środkowej, szczególnie w zakresie biocenoz leśnych. Mamy bogate siedliska leśne i bagienne oraz łąkowe z roślinnością stepową, a także łąki typu alpejskiego. Różnorodność biologiczna Polski przedstawia wielką wartość nawet w porównaniu ze stanem bioróżnorodności światowej. W tabeli 1 przedstawiono zestawienie liczebności gatunków, występujących w Polsce i na świecie.

Tab. 1. Różnorodność biologiczna – gatunkowa świata i Polski

Kategorie	Przybliżona liczba gatunków na świecie	Liczba gatunków zarejestrowana w Polsce
Mikroorganizmy prokariotyczne	2 500	298
Grzyby	82 415	3 630
Porosty	13 500	1 738
Glony	33 946	14 497
Wątrobowce	ok. 6 000	234
Glewiki	330	4
Mchy	8 000	697
Rośliny naczyniowe i inne, w tym :	ok. 251 500	2 490
Widłakowe	ok. 920	13
Skrzypowe	15	10
Paprociowe	ok. 10 000	52
Nagozalążkowe	561	10
Okrytozalążkowe	240 000	2 405
Pierwotniaki	ok. 20 000	1 152
Zwierzęta, w tym między innymi:	ok. 1 701 000	35 368
Owady	ok. 1 000 000	26 041
Ryby kostnoszkieletowe	ok. 20 000	89
Płazy	4 000	18
Gady	6 500	9
Ptaki	9 000	435
Ssaki	4 500	105
Ogółem	ok. 2 120 000	60 108

Źródło: Narodowa Fundacja Ochrony Środowiska, 2003, www.wigry.win.pl/dzikiel/różnorodność.htm

Niektóre środowiska naukowe prezentują pogląd, że na świecie istnieje ok. 50 mln gatunków, czyli że gatunki dotychczas opisane stanowią tylko 5% organizmów żyjących. Szacuje się, że do roku 2015 może wyginąć jeszcze do 2 mln gatunków organizmów żywych na świecie.

Różnorodność biologiczna w edukacji szkolnej

Moduł treści kształcenia dotyczący różnorodności biologicznej jest bardzo zróżnicowany i nie posiada jednolitej struktury. Przyporządkowany jest poszczególnym etapom kształcenia. Analizę podstawy programowej przeprowadzono według celów i treści etapów kształcenia. Zastosowano następujący plan analizy: etap kształcenia, cele ogólne, cele szczegółowe – operacyjne, odpowiadające osiągnięciom ucznia kończącego dany etap edukacji.

W Podstawie programowej znajdujemy ważne stwierdzenie, że należy w procesie kształcenia dużo uwagi poświęcić efektywności kształcenia w zakresie nauk

przyrodniczych i ścisłych – zgodnie z priorytetami Strategii Lizbońskiej (*Podstawa programowa*, 2002, s. 11, 22).

Etap I. Edukacja wczesnoszkolna

W celach kształcenia wczesnoszkolnego przewidziano edukację przyrodniczą. Można wyróżnić elementy propedeutyczne przygotowujące ucznia do ochrony bioróżnorodności.

W celach szczegółowych przewidziano, że po ukończeniu klasy trzeciej uczeń:

- wymienia zwierzęta i rośliny typowe dla wybranych regionów Polski, rozpoznaje i nazywa niektóre zwierzęta egzotyczne,
- wyjaśnia zależność zjawisk przyrody od pór roku,
- podejmuje działania na rzecz ochrony przyrody w swoim środowisku, wie jakie zniszczenia w przyrodzie powoduje człowiek (wypalanie łąk, zaśmiecanie lasów, nadmierny hałas, kłusownictwo),
- zna wpływ przyrody nieożywionej na życie ludzi, zwierząt i roślin.

W komentarzu do realizacji podstawy podkreśla się, że edukacja przyrodnicza powinna być realizowana w naturalnym środowisku poza szkołą. Zaleca się prowadzenie kącika przyrody, hodowlę zwierząt i roślin oraz zajęcia w ogrodzie botanicznym czy gospodarstwie rolnym (*Podstawa programowa*, 2002, s. 26–27).

Etap II. Szkoła podstawowa

Przedmiot: przyroda

Cele kształcenia – wymagania ogólne

W wymaganiach ogólnych wyraźnie zasygnalizowano moduł „Poznanie przyrody”, w którym mówi się: „uczeń zachowuje się w środowisku zgodnie z obowiązującymi zasadami, działa na rzecz ochrony przyrody i dorobku kulturowego społeczności”.

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

W wymaganiach szczegółowych treści dotyczące ochrony bioróżnorodności rozrzucone są w różnych działach podstawy – od treści bliskich uczniowi do dalszych – abstrakcyjnych w przedmiocie przyroda.

Dział „Ja i moje otoczenie”. Uczeń:

- podaje przykłady roślin i zwierząt hodowanych przez człowieka, w tym w pracowni przyrodniczej, i wymienia podstawowe zasady opieki nad nimi,
- rozpoznaje i nazywa niektóre rośliny (w tym doniczkowe) zawierające substancje trujące lub szkodliwe dla człowieka i podaje zasady postępowania z nimi,

Dział „Najbliższa okolica”. Uczeń:

- obserwuje i nazywa typowe organizmy lasu, łąki, pola uprawnego,
- opisuje przystosowania budowy zewnętrznej i czynności życiowych organizmów lądowych do środowiska życia na przykładach obserwowanych organizmów,
- rozpoznaje i nazywa warstwy lasu, charakteryzuje panujące w nim warunki abiotyczne,
- obserwuje i nazywa typowe rośliny i zwierzęta żyjące w jeziorze lub rzece, opisuje przystosowania ich budowy zewnętrznej i czynności życiowych do środowiska życia.

Dział „Człowiek a środowisko”. Uczeń:

- prowadzi obserwacje i proste doświadczenia wykazujące zanieczyszczenie najbliższego otoczenia (powietrza, wody, gleby),
- wyjaśnia wpływ codziennych zachowań w domu, w szkole, w miejscu zabaw na stan środowiska,
- proponuje działania sprzyjające środowisku przyrodniczemu,
- podaje przykłady miejsc w najbliższym otoczeniu, w których zaszły korzystne i niekorzystne zmiany pod wpływem działalności człowieka (*Podstawa programowa*, 2002, s. 30–31).

Dział „Krajobrazy Polski i Europy”. Uczeń:

- wymienia formy ochrony przyrody stosowane w Polsce,
- wskazuje na mapie parki narodowe, podaje przykłady rezerwatów przyrody i gatunków objętych ochroną, występujących w najbliższej okolicy.

Dział „Łądy i oceany”. Uczeń:

- charakteryzuje wybrane organizmy oceanu, opisując ich przystosowania w budowie do życia na różnej głębokości.

Dział „Krajobrazy świata”. Uczeń:

- charakteryzuje warunki klimatyczne i przystosowania do nich wybranych organizmów w następujących krajobrazach strefowych: lasu równikowego wilgotnego, sawanny, pustyni gorącej, stepu, tajgi, tundry, pustyni lodowej,
- opisuje krajobrazy świata, rozpoznaje je na ilustracji oraz lokalizuje na mapie,
- rozpoznaje i nazywa organizmy roślinne i zwierzęce typowe dla poznanych krajobrazów,
- podaje przykłady współzależności między składnikami krajobrazu, a zwłaszcza między klimatem, a rozmieszczeniem roślin i zwierząt (*Podstawa programowa*, 2002, s. 28–36).

Etap III. Gimnazjum

Przedmiot: biologia

Cele kształcenia – wymagania ogólne

W wymaganiach ogólnych pierwsze cele dotyczą znajomości różnorodności biologicznej i podstawowych procesów biologicznych. Uczeń:

- opisuje, porządkuje i rozpoznaje organizmy,
- wyjaśnia zjawiska i procesy biologiczne zachodzące w wybranych organizmach,
- przedstawia i wyjaśnia zależności między organizmem a środowiskiem,
- wskazuje ewolucyjne źródła różnorodności biologicznej.

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

W treściach nauczania następujące działy przesycone są treściami związanymi pośrednio bądź bezpośrednio z różnorodnością biologiczną.

Dział „Systematyka – zasady klasyfikacji, sposoby identyfikacji i przegląd różnorodności organizmów” zawiera podstawy wiedzy dotyczącej bioróżnorodności. Należy podkreślić, że wymagana jest tu umiejętność posługiwania się kluczem do oznaczania organizmów.

Dział „Ekologia” pokazuje różnorodne zależności międzygatunkowe i wewnątrzgatunkowe. Wymagania stawiane uczniom mają charakter problemowy.

Po realizacji działu „Genetyka” uczeń przedstawia strukturę podwójnej heliksy DNA i wykazuje jej rolę w przechowywaniu informacji genetycznej i powielaniu (replikacji) DNA.

Dział „Globalne i lokalne problemy środowiska” pozwala uczniom poznać przyczyny zanikania różnorodności gatunkowej i ekosystemowej.

Wykonywane doświadczenia i obserwacje przedstawicieli pospolitych gatunków roślin i zwierząt oraz obserwacje liczebności i zagęszczenia wybranego gatunku rośliny zielnej pozwalają na uogólnienia dotyczące ochrony różnorodności gatunkowej (*Podstawa programowa*, 2002, s. 73–81).

Przedmiot: geografia

Cele kształcenia – wymagania ogólne

W dziale: „Kształtowanie postaw” jest mowa o tym, że uczeń rozwija w sobie świadomość wartości za środowisko przyrodnicze i kulturowe własnego regionu i Polski.

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

Uczeń:

- wykazuje wpływ klimatu na zróżnicowanie roślinności i gleb na Ziemi,
- wymienia główne rodzaje zasobów naturalnych Polski i własnego regionu: lasów, wód, gleb, surowców mineralnych, korzystając z mapy, opisuje ich rozmieszczenie i określa znaczenie gospodarcze,
- wykazuje konieczność ochrony środowiska przyrodniczego i kulturowego w Polsce; wymienia formy jego ochrony,
- proponuje konkretne działania na rzecz jego ochrony we własnym regionie (*Podstawa programowa*, 2002, s. 160–162).

Etap IV – edukacyjny – zakres podstawowy

Przedmiot: biologia

Cele kształcenia – wymagania ogólne

Dział „Postawa wobec przyrody i środowiska”. Uczeń:

- rozumie znaczenie i konieczność ochrony przyrody,
- prezentuje postawę szacunku wobec siebie i wszystkich istot żywych,
- opisuje postawę i zachowanie człowieka odpowiedzialnie korzystającego z dóbr przyrody.

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

Dział: „Różnorodność biologiczna i jej zagrożenia”. Uczeń:

- opisuje różnorodność biologiczną na poziomie genetycznym, gatunkowym i ekosystemowym,
- wskazuje przyczyny spadku różnorodności genetycznej, wymierania gatunków, zanikania siedlisk i ekosystemów,
- przedstawia podstawowe motywy ochrony przyrody,
- przedstawia wpływ współczesnego rolnictwa na różnorodność biologiczną,
- podaje przykłady kilku gatunków, które są zagrożone lub wyginęły wskutek nadmiernej eksploatacji ich populacji,
- podaje przykłady kilku gatunków, które udało się restytuować w środowisku,
- przedstawia różnicę między ochroną bierną a czynną,

- przedstawia prawne formy ochrony przyrody w Polsce oraz podaje przykłady roślin i zwierząt objętych ochroną gatunkową,
- uzasadnia konieczność międzynarodowej współpracy w celu zapobiegania zagrożeniom przyrody, podaje przykłady takiej współpracy (np. CITES, Natura 2000, Agenda 21).

W zaleceniach proponuje się wycieczkę do ogrodu botanicznego, zoologicznego lub muzeum przyrodniczego w celu omówienia tematu ochrony gatunków ginących. Następnie wycieczkę do obszaru chronionego w celu poznania problematyki ochrony ekosystemów (*Podstawa programowa*, 2002, s. 82–83).

Przedmiot: geografia, zakres podstawowy

Cele kształcenia – wymagania ogólne

- W wymaganiach ogólnych zapisano w punkcie III. Rozumienie relacji człowiek – przyroda – społeczeństwo w skali globalnej i regionalnej.

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

Zapisy tych celów pogłębiają, uzupełniają wiedzę z biologii. Proponuje się następujące wymagania szczegółowe:

Dział „Relacja człowiek – środowisko przyrodnicze a zrównoważony rozwój”.

Uczeń:

- rozróżnia przyczyny zachodzących współcześnie globalnych zmian klimatu (ocieplenia globalnego) i ocenia rozwiązania podejmowane w skali globalnej i regionalnej, zapobiegające temu zjawisku,
- wskazuje na przykładach pozarolnicze czynniki zmieniające relacje człowiek – środowisko przyrodnicze (rozszerzenie udziału technologii energooszczędnych, zmiany modelu konsumpcji, zmiany poglądów dotyczących ochrony środowiska) (*Podstawa programowa*, 2002, s. 166–168).

Przedmiot: biologia, zakres rozszerzony

Cele kształcenia – wymagania ogólne

W wymaganiach ogólnych występują dwa działy, w których wymaga się od uczniów wiedzy i umiejętności dotyczących różnorodności biologicznej.

Dział I. „Poznanie świata organizmów na różnych poziomach organizacji życia”.

Poza opisywaniem, porządkowaniem i rozpoznawaniem procesów i zjawisk biologicznych, uczeń:

- zna źródła różnorodności biologicznej i jej reprezentację na poziomie genetycznym, gatunkowym i ekosystemowym,
- interpretuje różnorodność organizmów na Ziemi jako efekt ewolucji biologicznej.

Dział VI. „Postawa wobec przyrody i środowiska”. Uczeń:

- rozumie znaczenie ochrony przyrody i środowiska oraz zna i rozumie zasady zrównoważonego rozwoju,
- zna prawa zwierząt oraz analizuje stosunek do organizmów żywych i środowiska (*Podstawa programowa*, 2002, s. 84).

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

W dziale „Przegląd różnorodności organizmów” ustalono wymagania szczegółowe według zasad klasyfikacji i identyfikacji organizmów.

Dział „Różnorodność biologiczna Ziemi”. Uczeń:

- wymienia główne czynniki geograficzne kształtujące różnorodność gatunkową i ekosystemową Ziemi,
- podaje przykłady miejsc charakteryzujących się szczególnym bogactwem gatunkowym,
- przedstawia wpływ zlodowaceń na rozmieszczenie gatunków,
- wyjaśnia rozmieszczenie biomów na kuli ziemskiej,
- przedstawia wpływ człowieka na różnorodność biologiczną,
- uzasadnia konieczność zachowania starych odmian roślin uprawnych i ras zwierząt hodowlanych jako części różnorodności biologicznej,
- uzasadnia konieczność stosowania ochrony czynnej dla zachowania wybranych gatunków i ekosystemów.

Te wymagania szczegółowe są pogłębiane w takich działach, jak: „Powstawanie gatunków” oraz „Pochodzenie i rozwój życia na Ziemi”.

Proponuje się szereg wycieczek i zajęć praktycznych utrwalających opisane wymagania (*Podstawa programowa*, 2002, s. 87–92, 102–103).

Przedmiot: geografia, zakres rozszerzony

Cele kształcenia – wymagania ogólne

Dział III – Proponowanie rozwiązań problemów występujących w środowisku geograficznym zgodnie z koncepcją zrównoważonego rozwoju i zasadami współpracy, w tym międzynarodowej.

Treści nauczania – wymagania szczegółowe. Uczeń:

- wskazuje podejmowane na świecie działania na rzecz ochrony restytucji środowiska geograficznego,
- omawia podstawowe zasady zrównoważonego rozwoju i ocenia możliwości ich realizacji w skali lokalnej, regionalnej, globalnej,
- charakteryzuje typy naturalnych zbiorowisk roślinnych i wskazuje charakterystyczne gatunki,
- uzasadnia konieczność działań na rzecz restytucji i zachowania naturalnych elementów środowiska w Polsce (w tym także działań podejmowanych we współpracy z innymi państwami),
- wskazuje obszary występowania podstawowych zasobów naturalnych i analizuje zmiany wielkości ich eksploatacji (*Podstawa programowa*, 2002, s. 169, 172, 174).

Podsumowanie i wnioski

W nauczaniu początkowym, w cyklu propedeutycznym, cele kształcenia dotyczące różnorodności biologicznej przedstawiane są w modelu rozproszonym. Dostosowane są do poziomu uczniów w wieku 7–9 lat. Wymagania traktuje się jako przygotowanie do nauczania systematycznego w szkole podstawowej.

W klasach 4–6 występuje przedmiot przyroda, w którym edukacja dla różnorodności biologicznej jest sprecyzowana w celach ogólnych i szczegółowych. Obserwuje się tu model skoncentrowany wokół problemu ochrony przyrody. Treści wyrażone jako cele operacyjne występują w wielu działach. W gimnazjum także występuje model skoncentrowany wokół celów dwóch przedmiotów: biologii i geografii. Zarówno w gimnazjum, jak i w liceum występuje model skoncentrowany

– zróżnicowany w treściach podstawy nauczania biologii i geografii, w dwóch zakresach: podstawowym i rozszerzonym. Analiza wskazuje, że w zakresie podstawowym celów jest znacznie więcej niż w zakresie rozszerzonym. Cele poziomu rozszerzonego realizowane są na podstawie treści już uprzednio opanowanych.

Autorzy podstaw programowych wychodzą z słusznego założenia, że omawianie problemów dotyczących różnorodności biologicznej powinno się łączyć z treściami zrównoważonego rozwoju. Należy je realizować przy dużej aktywności uczniów w poszukiwaniu, selekcjonowaniu, opracowywaniu i przedstawianiu informacji w holistycznym jej ujęciu. Wskazane jest wykonywanie projektów indywidualnych i zespołowych, dotyczących lokalnych, regionalnych i międzynarodowych problemów środowiskowych.

Różnorodność biologiczna chroniona jest przez:

- oddziaływanie pośrednie: konwencje międzynarodowe, prawo, ustawy, naukę i edukację,
- oddziaływanie bezpośrednie: parki narodowe, rezerваты przyrody, obszary chronionego krajobrazu, program Natura 2000 i inne formy ochrony, jak: pomniki przyrody, stanowiska dokumentacyjne, użytki ekologiczne, zespoły przyrodniczo-krajobrazowe.

Analizując Podstawę programową pod kątem treści kształcenia dotyczących bioróżnorodności, można wysunąć następujące wnioski:

1. Treści dotyczące różnorodności biologicznej występują na każdym etapie kształcenia. Cele operacyjne na etapie nauczania wczesnoszkolnego koncentrują się wokół ochrony przyrody, ochrony gatunkowej na poziomie lokalnym. W II etapie kształcenia jest jeszcze wyraźna przewaga ochrony gatunkowej, dotyczącej ochrony krajobrazowej, chociaż zauważa się wiązanie treści ochrony gatunkowej z ideą zróżnicowanego rozwoju. Podobnie jak w etapie I zwraca się uwagę na bezpośrednie działania uczniów w środowisku. W gimnazjum cele są skoncentrowane na przeglądzie systematycznym i gatunkach wymagających ochrony. Uzasadnia się konieczność międzynarodowej współpracy. W nauczaniu ponadgimnazjalnym zwraca się uwagę na wszystkie formy ochrony różnorodności, czyli na poziomie genetycznym, gatunkowym i ekosystemowym. Taki układ treści jest uzasadniony wieloma przesłankami.

2. Zbyt mało mówi się w Podstawie programowej o indywidualizacji projektów związanych z uzyskaniem celów operacyjnych.

3. Wydaje się konieczne uczulenie dydaktyków szkół wyższych kształcących nauczycieli na wykorzystywanie w większym stopniu działalności uczniów na rzecz świadomości ochrony różnorodności biologicznej. Należałoby mówić nie tylko o ochronie, ale o rozwoju bioróżnorodności.

4. Istnieje konieczność przygotowania nauczycieli do osiągnięcia celów operacyjnych dotyczących różnorodności biologicznej.

Literatura

Hłuszyk H., Stankiewicz A., 1996, *Słownik szkolny. Ekologia*, WSiP, Warszawa.

Keating M., 1993, *The Earth Summits. Agenda for Change*, The Centre for Our Common Future, Genewa.

Nowicki M., 1993, *Strategia ekorozwoju Polski*, Agencja Reklamowo-Wydawnicza Grzegorzczyk, Warszawa.

Podstawa programowa z komentarzami, 2002, Warszawa

Urbanka A. (red.), 1999, *Encyklopedia szkolna. Biologia*, WSiP, Warszawa.

www.wigry.win.pl/dzikię/różnorodność.htm

www.mos.gov.pl/bioróżnorodność

Biodiversity as a school teaching module

Abstract

The article concerns the analysis of general and specific objectives in the general education curriculum. It indicates the evolution of the educational content in elementary, lower- and higher-secondary schools. The paper shows the importance of biodiversity as a basis for education for sustainable development.

Danuta Cichy

Instytut Badań Edukacyjnych, Warszawa

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia ad Didacticam Biologiae Pertinentia II (2012)

Francine Pellaud, André Giordan, R-Emmanuel Eastes

Towards new educational paradigms

Introduction

Our western societies are undermined by numerous dysfunctions, and due to the domination of the North over the South, they have spread to the entire globe. It is no secret that pollutions know no boundaries, and the same thing can be said about epidemics and natural catastrophes, all more and more caused by human disruption. Even if we aren't, as Grinevald puts it, the only "pilot of this spaceship", our erratic choices of living threaten the fragile balance that has managed to last for millions of years.

A Copernican counter-revolution: planet Earth is unlike any other planet! It is the only one with a biosphere. Not only it has witnessed the birth of life, [...] but the development of life has been constant, despite several catastrophes and evolutionary bifurcations. All in all, in spite of some massive catastrophic episodes, it has been a sustainable development, the one and only instance of sustainable development [...] (Grinevald 2005, p. 115).

We must bear in mind this remarkable example of sustainable development in order to recommend an education that can lead us there. The first step, which many people are beginning to take in the wake of the 21st century, is to get rid of our beliefs and false hopes in a technoscience capable of righting all wrongs. But it is not enough. The next steps, which implicate our daily lives, require deep scrutiny. As Defeyt states it,

our societies live, willy-nilly, under the influence of interdependent tyrannies¹, which goals are to take us our essential freedom: the right to choose our life.
– the GDP tyranny

¹ Defeyt points out 6 tyrannies, the sixth being the complexity tyranny. Yet it seems to us that this author fails to differentiate complexity and complication, this is why we will only keep the first five ones. It is also important to point out that, even though we do not argue with the relevancy of this listing, we do not give the elements used the same definitions that he does. Therefore, even if we do not dispute his definition of the time tyranny, fundamentally described by Defeyt in a perspective of "always more, always faster", we add to it the lack of long-term foreseeing, brought by the paradigm of economic growth.

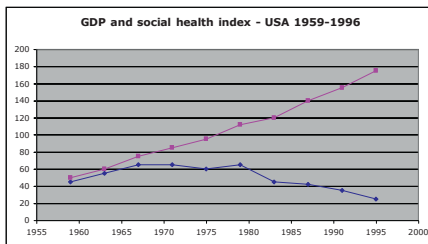
- the time tyranny
- the planned obsolescence tyranny
- the choices tyranny
- the exclusion tyranny (Defeyt 2005, p. 122).

Clearly, among these tyrannies, the GDP-one tells us more about our political and economical choices and it is not directly linked to us, individuals. Still, it shapes our way of thinking with such steadiness and pervasiveness that we cannot leave it out. We are often told “it’s the economy, stupid”, yet looking for alternative indicators is an excellent way of picturing the two main guidelines of this article², which are “changing paradigms” and “clarifying values”.

Sustainable development: a change in our world perception

Beyond semantic rivalries over this conceptual term³ as well as the education that should lead towards it⁴, the emergence of sustainable development sets the question of the relation of man and nature. In the classical definition given to sustainable development, man remains the owner of this pseudo-superiority that has

² The “social health” indicator, for instance. The fact that the variations of GDP growth, since the 1970s, are proportionally the opposite of those of social health questions the values leading to the choices of these indicators. It seems that the purchasing power of money has always been thought more relevant than people’s well being... Chart taken from de Defeyt 2005.



³ Translating *sustainable development* into French remains quite a semantic issue. Beyond the basic problem of rendering *sustainable*, the use of the main word *development*, too much linked to economy, is questioned by many scholars as well, such as the economist S. Latouche (2004).

⁴ The same way education to / for / related to / in favor of the environment still poses problems, education and sustainable development are caught in the same catch-22. If we stick to France, the names have gone from *education related to the environment* to *education to the environment in favor of a sustainable development* and is now being called *education to a sustainable development*. Sterling (2004) even suggests the idea of a *sustainable education*. “Founded on a more environmental and relations-based vision of the world, a sustainable education would focus on the individuals, the communities and the ecosystems. It would be ethically bearable and encourage healthy relations between all industries. It would include the education ‘to a sustainable development’ or ‘to the environment’ and even go further, since they only exist outside educational systems that remain unchallenged”.

lead him to see himself at first as the *keeper* of an endangered heritage⁵ and then, one century after, as the *protector* of this heritage. Still, he now enters in a new phase, that of a *negotiator*, his new goal being **regulation**. This time, though, it is not nature that needs to be regulated, but human activities themselves, as well as their bonds with the environment and people inhabiting it.

Man and his environment from 1872 to present day

We can track back the relationship between man and his environment through a few key dates.

In 1872, the triumph of the so-called modern industry gives rise to a popular movement in reaction to it. To deal with black smokes blowing from the factory chimneys or from the mines that tarnish landscapes, many groups for the preservation of the flora and the fauna are founded. It is at the same period that the Yellowstone National Park is created in the United States.

A hundred years later, in 1972, the first international conference on the environment is held in Stockholm. The resulting document constitutes, in 26 principles, a kind of addition to the Declaration of Human Rights. The first principle proclaims especially: "Man has the right to (...) an environment of quality and he bears the responsibility to protect it for future generations". Major environmental problems lead to this action: among others DDT, the Torrey Canyon Supertanker disaster, the Minamata scandal.

These catastrophes will soon be followed by the first oil crisis (1973), which will raise awareness of resources and raw materials waste in all people, regardless of their social origins.

The concept "sustainable development" is first coined in 1987 in the "Brundtland report" of the World Commission on Environment and Development and it becomes popular in the 1992 Rio Conference. With its advent, the implication of all social actors in order to promote it becomes vital.

More important than names and dates is the way human beings see themselves in their relation with nature, and more broadly, with their environment. When the first nature reserves emerge in 1872, the main idea beneath them is **preservation**. Both nature and heritage are preserved, their wonders are shown in cabinets of curiosities, but they are left untouched.

The 1972 Stockholm conference brings in the idea of **protection**. We must bear in mind that between those two dates, industrialization has driven human activities to exceed the self-regulatory capacities of our planet.

And finally, in 1987, the "Brundtland Report" again alters our relation with the environment, driving us to leave this protecting facet to adopt an

⁵ Since 1872, the year the Yellowstone National Park was created in the U.S.A. on a territory belonging to the Native American tribe of the Crows, this point of view was going to last for a century (see the box).

idea of **regulation**, since sustainable development can only last if it also happens to be a regulated development.

This transition dramatically changes our perception of man's role at the heart of his environment and in front of his peers. It also alters the way we perceive economy, which has managed to stay unchallenged. These modifications require us to reorganize how we think, how we appreciate the world, how we picture our future, how we act... The education system as well must feel concerned by these new perspectives. A new educational paradigm has to be found, which includes a deep reflection on the school's function and on educational practices.

This transition from an idea of preservation to the one of regulation has become a key factor in understanding the radical changes that sustainable development brings in ways of thinking and appreciating the world, when personal implication, the ultimate goal of an education related to it, is in mind. Indeed, if sustainable development has to do with the management of interests relating to the three following domains: environmental, social and economical, the education y related to it is more about values, which are themselves linked to ways of reasoning, leading to a certain vision and appreciation of the world. This is at least what stands out from the Agenda 21, which recommends that

both formal and non-formal education are indispensable to changing people's attitudes so that they have the capacity to assess and address their sustainable development concerns. It is also critical for achieving environmental and ethical awareness, values and attitudes, skills and behaviour consistent with sustainable development and for effective public participation in decision-making (UNCED 1993, 36.3).

On the other hand, even if the Agenda 21 expresses expectations, it doesn't mention the characteristics of these values, attitudes and skills. We therefore need to wonder about their definitions. One lead is given to us by Gro Harlem Brundtland (1993) when she declares, introducing the Agenda 21 to the general public: "the promises made in Rio will only be kept soon enough to guarantee our future if the citizens, the people ready to back tough decisions and ready to ask for changes know how to inspire their governments and how to lobby them". This means that an education reoriented towards sustainable development has to reinforce self-confidence in order to develop the will and the capacity to get dynamically involved in the setting of this project at the heart of the society. The concept of a sustainable development implies ethical principles such as **responsibility** and **partnership** in relation with one's community and nature, as well as **fairness** and **solidarity** regarding relationships with people of other cultures or other age brackets (Pellaud, 2000). Moreover, it is based on a solid economical principle "living off the interests, not off the capital, off the fruit and not off the treeix"⁶.

⁶ Longet, R. (2005), *La planète: sauvetage en cours*, éd. Savoirs Suisses. The use of fossil energy, ore extraction, forest overexploitation and overfishing, which beats fish capacities of procreation, are vivid examples of this "use of capital".

Sustainable development: a change of values

It is safe to say that the market has been the reference in terms of values in our western societies focused on a free-market economy. It has almost become a moral value, wiping out family, religion, faith in our country and in our flag, all points of reference during the 18th and 19th centuries. Nevertheless, with more and more frequent natural catastrophes happening and with those that may occur due to climatic changes, other values have (re)emerged. Even though the market is still significant, values such as world solidarity, respect of other cultures, tolerance are mentioned more and more often. This revival of “old” values is not always compatible with the notion of free will (Guichet, 1998; O’Connor, 1998) that the idea of freedom linked to monetary values brings. This “unconstructive” conception of freedom is based on an absence of obstacles (Rawls, 1971) that can be interpreted as “I do as I please, whenever, wherever”. Our lives

are based on the ideological foundation of the unconditional freedom of the individual. [...] Yet, in most cases, it comes down to having the freedom to buy the product that we want. The consumption tyranny oversteps other liberties and other choices, which are outside of the economical circuit. It seems solidarity has no place of its own in this kind of societyx (O’Connor 1988, p. 15).

This free will has pervert effects that are essentially translated in a lack of sense of responsibility of the individual that can be summed up as follows:

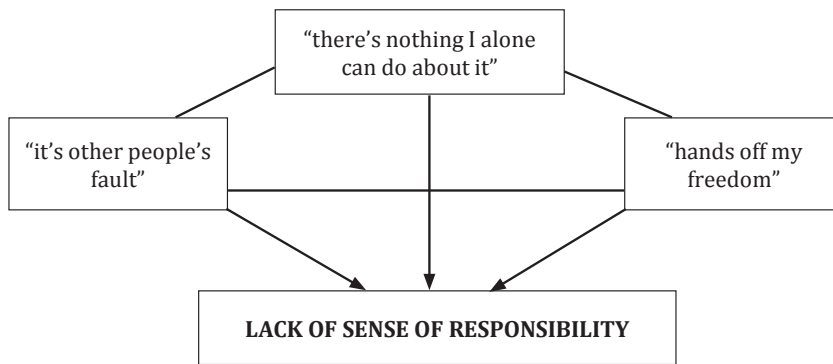


Fig. 1. The individual’s lack of sence of responsibility (Pellaud, LDES, 2000)

This attitude can be explained either by unadapted ways of thinking (the difficulty to find a connection between local initiatives and global development or between the three poles of sustainable development are simple examples of it), or by a sense of helplessness (what we have called the “drop in the ocean syndrome” and expressed here in the words there’s nothing I alone can do about it”), which results from a manipulation (be it economical, political, but most of all advertising). As Jollien reminds us,

[...] commercials hinder us from reaching real freedom. They point us toward an image of a packaged happiness. Mocking happiness, they pretend it relies on material conditions: financial wealth, respectable social status, other people's opinion. They put forward the need, they build up desire, but fail to give the means to satisfy it. (Jolien 2003, p. 77)

The greatest reluctance come from the fear of losing our way of life, our personal comfort, which will be caused by the assumed efforts needed to enter a process of sustainable development. Among these efforts, there is the need to think about our own actions and our choices of life and consumptions. Consequently, we find all kinds of justifications in the lack of infrastructure or information⁷.

A recent study (Pellaud's 2006), which verifies an earlier one conducted in 2005 by the French Institute of Educational Researches (INRP), tells us how future teachers perceive and most of all name these values, directly associated with sustainable development. Respect – for the others, for the environment, for life or for the planet, is without a doubt the value most often pointed out. Responsibility comes second, and it requires us to be personally committed (becoming an actor instead of remaining a spectator) and at the same time to take distance from ourselves in order to better understand other people's point of view. Next follows solidarity, which involves the idea of sharing, fairness and social justice. These three fundamental values, closely intertwined, can be found in all the documents about sustainable development. They seem to appear as mainstays of an education y related to it. Nevertheless, to single them out and to name them is not enough. A deep, ethical, if not philosophical reflection is needed. We will come back to this in the chapter which addresses the school's new needs.

Sustainable development: changes of paradigms

In order to “assess and address the sustainable development concerns”, we must take a closer look at the dramatic modifications brought by the inherent changing of paradigms. By paradigms, we understand the social strongholds of thoughts that define a human group. This definition was first given by the philosopher Thomas Kuhn in *The structure of scientific revolutions*. According to him, a paradigm is the sum of “common elements or examples, shared in practice by members of a scientific community”. It allows these persons to “understand themselves painlessly, to communicate easily, as well as to achieve a consensus”. As such, they are the bedrock of our way of thinking, of our way of reasoning. They are a part of our cultural background, but we are not (always) aware of it⁸. They only surface when confronted to differences (culture shocks) and their influence is great when we judge others or speak truths. Therefore, in a society where sciences and technologies are put forward as absolute truths and universal remedies, it can be

⁷ These analyses and their results come from F. Pellaud's doctoral thesis held in 2000 (see bibliography).

⁸ A few, simple examples of paradigms: the use of the decimal system, the division of time in sixty minutes or seconds, the seven colours of the rainbow, the twelve semitones in a musical scale, the notion of fidelity, which varies depending on the cultures and on the religion, the polluter paying principle, which comes from the free-market economy...

difficult to understand different ways of thinking, inspired by such principles as **impermanence**, **uncertainty** or **relativity**, which we will focus on later on (see fig. 2 and the box).

In addition, in societies where everything is either black or white (the world is divided between the “good” and the “bad guys”, between inhabitants of the North or of the South, between the rich and the poor...), theories such as the one of the **complex systems** (Morin, 1990, 1996, 1998), the principles of **interdependence** and above all **ambivalence** are particularly hard to figure out. However, as the UNESCO rightly reminds us,

problems related to sustainable development are characterized, inter alia, by their complexity. This complexity must be communicated and understood, even though to do so is not easy or necessarily palatable. The simplification of complex issues - so often observed today - is not only fraudulent in that it misrepresents reality, but also irresponsible on the part of those who understand these issues (UNESCO 1997, p. 33).

To top these “total adjustments” in our ways of thinking and these extreme transformations of our vision of the world, we have to bear in mind that “to do so is not easy or necessarily palatable”... These obstacles naturally lead us to examine teaching in order to have a better understanding of its mechanisms so that, ultimately, we can recommend suitable pedagogical strategies.

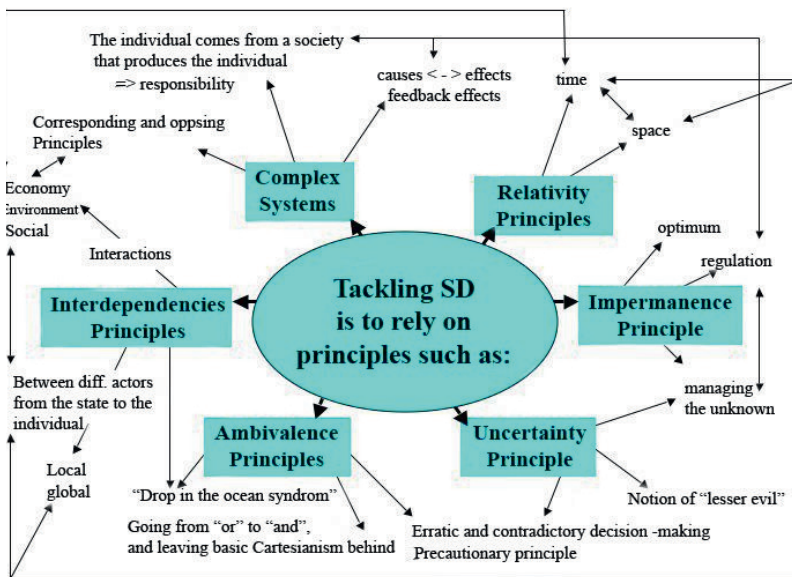


Fig. 2. The connections of the sustainable development principles (Pellaud, LDES, 2004)

Principles of sustainable development

Several principles govern the understanding and the establishment of sustainable development, both in everyday life and in the education y related to it.

The *relativity principle*. This principle is based on the importance of contextualization, which defines an understanding or goals in a particular context and not in the absolute. For instance, thinking about the sustainable development, defining its priorities and ways to achieving it will be considerably different whether it is in Switzerland, Brazil or Mali.

Thanks to notions such as *time* and *space* we can get quite a good idea of this principle. The way “long term” is a remarkably enlightening example: in economy, the corresponding time span is from 3 to 10 years. As far as social development is concerned, it covers one or two generations. As for environmental issues, it can be as short as a life of a mayfly, and as extended as millions of years when talking about nuclear wastes.

Our culture, our thinking habits, our own referent, i.e. human life, didn't familiarize us, didn't prepare us to apprehend relativity in this way. As for space, pollution and other environmental problems have deeply challenged the very ideas of borders, territories, belongings and properties. There are so many paradigms that understanding sustainable development is all the more complicated.

The impermanence principle is connected to the idea of a dynamic process, meaning that the latter needs to act in terms of regulation and optimum. Unlike such notions, our culture has got us into the habit of taking decisions –the laws are a very good example of this – in order to find definite solutions. This paradigm, reflected in the popular idea that “every problem has a solution”, is strengthened by the image of an ever rescuing modernity developed in western industrialized countries, its only limits being technical and financial ones. Even if this modern image is being widely questioned, school still puts forward ways of reasoning that go in this direction. In fact, all problems given to pupils hold only one solution, leading to the “right” answer. The *ambivalence* as well as the *uncertainty principles* must take into account the *paradoxal*, on the one hand, and the *uncertain* and the *random* on the other hand. This means we have to know how to manage the *unknown*, the accidental ingredient inherent in any process, but it also means that other notions appear, such as *erratic*, *contradictory* or even “lesser evil” – or “at its best” if we are being optimistic. Yet, our almost blind confidence in the development of technosciences has lead us to a paradigm that made us believe that we could or would be able to manage everything with consistency. Such notions as precautionary principle hadn't been mentioned until recently, for better decision-making in situations where the complexity and the uncertainty about the outcome won't allow considering all the consequences.

Ultimately, if quantum physics have shown us the way to a new management of the paradoxal, by showing a model where a photon can either

be a wave, a particle or both at the same time, we must realize that our most personal ways of reasoning aren't as black and white as we wished. Therefore, if psychology tells us that behind every fear there is a desire (Salomé 1995), our own actions, our own commitment suffers from this ambivalence. As a result, many people, attentive to environmental and social issues, who are seeking, through their actions, to be respectful of certain ethics, consider that they are a mere *"drop in the ocean"*. This attitude is basically due to a disillusionment towards economical and political systems, as Barbier (2005), among others, points it out, but also to a non-assimilation of the interdependencies principle, that has to be considered, on the one hand, between local actions and global development, and on the other hand, between the different actors of sustainable development, from the single individual to international organizations. We will be able to go past this syndrome, which reveals a way of thinking subject to a very Cartesian division, only when we understand the influence that these different parties exert over each other, and when we appreciate the effect that an action, even limited, may have on a greater whole.

Included in this interdependencies principle, the interactions are, strictly speaking, the mainstays of sustainable development, since they are at the core of the concept, bringing together ***economical, environmental and social*** developments. Just like interdependencies, interactions operate between many systems, each considered field being a system in itself.

As early as 1984, Saaty was already telling us: "Economy, for instance, depends on energy but on other commodities as well; available resources in energy depend on geography and politics; politics depend on military forces; military forces depend on technology; technology depends on ideas and commodities; ideas depend on politics in order to be approved and supported; and so on and so forth" (Saaty 1981–1984, p. 17).

It should be noted that the author remains in the decision-making spheres and neither takes into account the consumer, nor the human resources, nor the working conditions, to name only these three parameters. But this example very well shows the interdependencies and the interdisciplinarity in which dwells every issue. Interactions between these fields are not obvious, they are not "taken for granted". They don't "have" to exist, contrary to most interactions that usually govern the physics and even the social world.

The economical system, for instance, can very well run independently, as free-market economy shows us. The limits forced upon it by sustainable development are out of the system in itself, since they are environmental and social.

Furthermore, sustainable development is in line with several ***complex systems***. Yet it has been theoretically demonstrated that the latter are comprised by general characteristics that manifest themselves in particular in opposing and complementary principles, which eventually apply to sustainable development. And among these, the *"hologrammatic"* principle, defined by Morin (1990, 1996, 1998) which highlights the fact that

the part is present in the whole and the whole is present in the part. But beyond this insertion, it can also add up to more than this sum, since, in this particular example, this system relies on a large amount of subsets establishing subsystems, which range from big pools such as international organizations, governments and nations, to small, local communities and eventually the individual as a single body. At the same time, it can prove to be weaker than the sum of its parts, since their inherent variety loses its resources when approached globally.

The intrinsic features of each culture, of each way of addressing the development of a specific economical system, of any political system or even any person are swamped in the mass and fail to express themselves. The organization, or more precisely the setting, holds back and restrains some inherent qualities or properties to the various parts that make up the whole. This is why the notion of quality of the parts is paramount in this concept. In other words, it is thanks to the quality of all the parties that the quality of the whole will be assured.

These systems have yet another characteristic, i.e. the feedback loops, which occur at their very heart and of which our ways of thinking fail to take account.

These loops ask us to rethink the laws of cause and effects altogether. The goal is to aim at a better incorporation of the notion of cycle and what it involves, as well as to quit thinking that one cause can only have one effect. As Giordan (2002) shows, a cause can have many effects, and an effect can have many causes. It can have a feedback effect on one or more causes and therefore magnify its or their effects. Finally, an effect can magnify or modify a cause that will eventually be the source of a chain reaction.

Yet, beyond these changes of paradigms, we need to undertake a deep reflection on the underlying values beneath our actions and our decisions for the good of sustainable development.

Changing didactic models

Without going as far as the Early Greek philosophers, we can fairly say that since Locke (1693) and Condillac (1746), to name only the most famous ones, we try to explain the mechanisms at work in the way the mind operates. And yet, until today, school and the associated educational practices have mainly run in accordance with three didactic models⁹.

The oldest one is the empiricist model. According to it, the child's entire knowledge can only come from sensory experience. The vision behind this idea is that of a brain similar to a *tabula rasa*, i.e. a clean slate, where new knowledge is written that the child would only have to memorize.

Of a much later inspiration, the behaviourist model suggests that learning is the result of a conditioned reflex based on positive (rewards) or negative (punishments)

⁹ It is essential to distinguish the didactic models from their pedagogical applications. The only purpose of a didactic model is to clarify the mechanisms of the thought. We must bear this in mind so that we do not mix up learning and teaching!

stimuli. Established by Watson (1913), a psychologist specialized in animal behaviour, following the works of animal conditioning lead by the Russian scientist Pavlov as early as 1889, this model was to be developed by the American psychologists Holland and Skinner (1961, 1968).

The theory suggests that we cannot access people's mental states, as they are unobservable. Compared to a "black box", the person can nevertheless be influenced from without by accurately conceived situations: the subsequent propositions of the behaviourist model are set up based on a principle of training through "conditioning" and "reinforcement".

The constructivist model, as its name suggests, regards learning as the result of a construction of knowledge, one step at a time. These steps are defined mostly by biological parameters that suppose a "natural" development of the child. Research lead by the psychologist Jean Piaget (1947) and afterwards by the whole group of social constructivists, followers or not of Vygotsky (1933 and 1934), have brought this learning conception the remarkable soaring that has been witnessed.

In truth, this current of thought displays several variations. Gagné (1965, 1976, 1985) and Bruner (1986) focus on the associations that need to be made between external information and the structure of thought. According to them, any perception is a categorization. Ausubel (1968) mentions "cognitive bridges". The Piagetian school of Geneva puts forward the concepts of "assimilation" and "accommodation", borrowed from evolution biology.

None of these models is either "right" or "wrong". Each one of them is just more or less adapted to describing and explaining a given pedagogical situation. And each one of them, of course, can give rise to a specific pedagogy, whose pros and cons are directly linked to the legitimacy limits of the model it results from. As B. Fleury (2005) rightly reminds us, we can consider learning

in a behaviourist frame (behaviourist approach, conditioning), Piagetian (changing structure or intellectual functioning register), Freudian (revision of identifications), Lewinian (changing social representations) or Bachelardian (epistemological reform). And in order to choose the education strategy, one must first determine the nature of the change aimed at: if the target is to strengthen behaviours, to polish up methods, then why not use a behaviouristic approach? But if the goal is to aim at break offs, at changing paradigms, then the other models seem more appropriate (Fleury 2005).

And these are exactly the kind of changes we aim at when sustainable development is concerned. Let us draw near a more suitable modelization by referring to Bachelard and his "epistemological obstacles". Drawing a parallel between the difficulties related to scientific revolutions as described by Kuhn (epistemological perspective) and the difficulties related to individual learning (psycho-pedagogical perspective), he puts forward a concept that will be taken up and developed by Giordan et al. Giordan, suggesting an allosteric approach to learning, assumes that the obstacles are also our thinking tools and that they cannot, for certain, be destroyed without further ado. He also stresses out the fact that these obstacles are not only cognitive: above all, they come from the various environments in which the learner evolves, among which the emotional and affective ones as well as the family play a very special role. Furthermore, in this model, learning becomes

first and foremost a matter of bonds, forging relationships, standing back, questioning values and thinking habits.

Taking conception as a unit of measurement (see the box), this model suggests that it is both the tool and the obstacle. As a tool, it must not be destroyed, as Bachelard recommended, since it represents the only referent the learner can rely on in order to approach new knowledge. As an obstacle, it must be transformed by a “deconstruction-reconstruction” process.

Appreciated through this analytical grid that makes up the explanatory system of the learner, every new piece of information is going to be interpreted, distorted, modelled, reformulated, even impoverished before it can adapt to it, since the network of conceptions works as a “reducing agent”. Many examples are in line with this, showing that when there is an adjustment, it does not necessarily mean that it goes toward a better understanding of the phenomena.

Figure 3 puts forward the first modelization of learning. It shows that the new piece of information can both be filtered and distorted by conception, or can lead its transformation towards a more operative conception.

If adapting to the new piece of information is not possible to the learner submitted to it, it might end up being rejected altogether. If we want it to pass directly (without a didactical intervention), it has to strike a chord with the whole of the previous knowledge of the learner. According to Vygotsky (1933), it means that the new piece of information has to be located in the “Zone of Proximal Development”, which only happens with a very small percentage of pupils. For all the other ones, appropriate didactical interventions have to be set up (in other words, an “education”), that take into account conceptions and that allow to come as close as possible to this Zone of Proximal Development¹⁰.

Figure 3 helps us understand that the individual formation of knowledge is made of many “steps forward”, as well as “backwards” and “sideways”, thus requiring phases of “knowledge deconstruction”. Indeed, these “sideways and backwards steps” are learning as well, but they end up as distorted, or even as bad understanding of reliable and validated scientific knowledge.

Hence the need to address the transformation of knowledge as a real-time “deconstruction-reconstruction” process of the conceptions, where the old knowledge would be altered and would only give way to the new one when it would appear as expired. Therefore, it is essential to try and find out what parameters are likely to allow this deconstruction-reconstruction inside the conceptions network. We will tackle these elements by taking a closer look at pedagogical practice.

¹⁰ This education, if we want it to be efficient and to lead to a real learning, must be thought and built according to the learners’ conceptions themselves. Since they do not easily change with just a single operation, a specific “didactical environment” is preferred. This concept is not tackled in the present article, but further details can be found in the following reference: F. Pellaud, A. Giordan, Faut-il encore enseigner les sciences ? *L'Actualité Chimique*, juillet 2002.

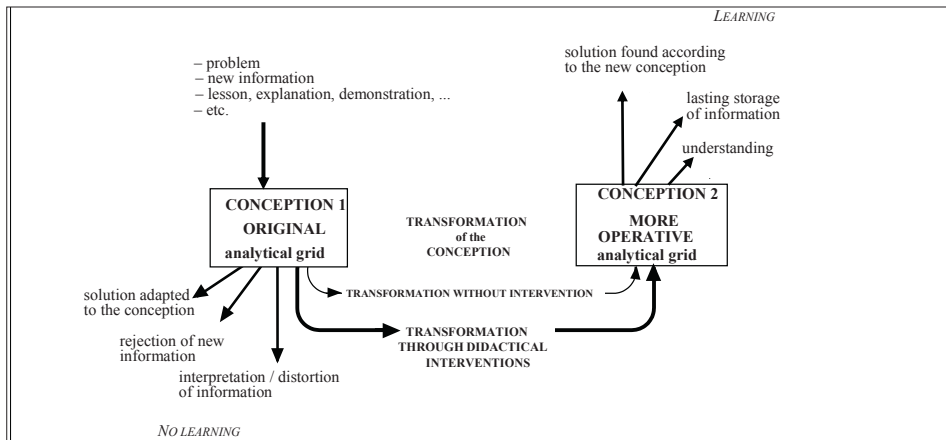


Fig. 3. The process of conceptions transformation (Giordan, Pellaud & Eastes 2002)

Conceptions: tools and obstacles to learning

Why is it so difficult to learn certain things and why is some learning reversible? How come, on the other hand, one explanation, one word is enough for a notion to stay in one's head forever? This largely depends on our "conceptions".

They are both the basic blocks of knowledge and the mainstays of the thought, i.e. the group of mechanisms that allows us to make sense in order to have a better understanding of our environment and to act on it.

More than mere representations or mental images, they relate back to ways of reasoning, networks of references and various signifiers. The whole of these elements results directly from our own experiences, influenced by the many environments in which we dwell in our everyday lives and whose affective aspects will play a major role. These conceptions are never obvious and hardly ever expressed explicitly. Such as the iceberg, spotted thanks to a minuscule portion emerging out of the water (figure 4), they are only revealed through attitudes, body language or even the expression of values, beliefs or knowledge, all things that may seem irrelevant in a discussion, through the answer to a question, or a drawing.

In our everyday lives, in our interpersonal relationships, we usually have access to this emerged part, as well as some elements telling about other people's various environments. Still, even if this knowledge is enough to manage social interactions, it is far too restricted for the mediator who is involved in the act of learning. Why is that so? Because his or her pupils' conceptions are at the heart of their way of thinking, their way of understanding and, therefore, their way of learning.

As André Giordan adds, "the conception is not a product of the thought, it is the very process of mental activity. It becomes a strategy, both behaviourist and mental, that the learner handles to have power over his or her environment" (Giordan 1996, p. 15). Hence, by turning old knowledge on, the conceptions allow situations to be recognized. It is then safe to say that they are an essential tool for any new acquirement of knowledge.

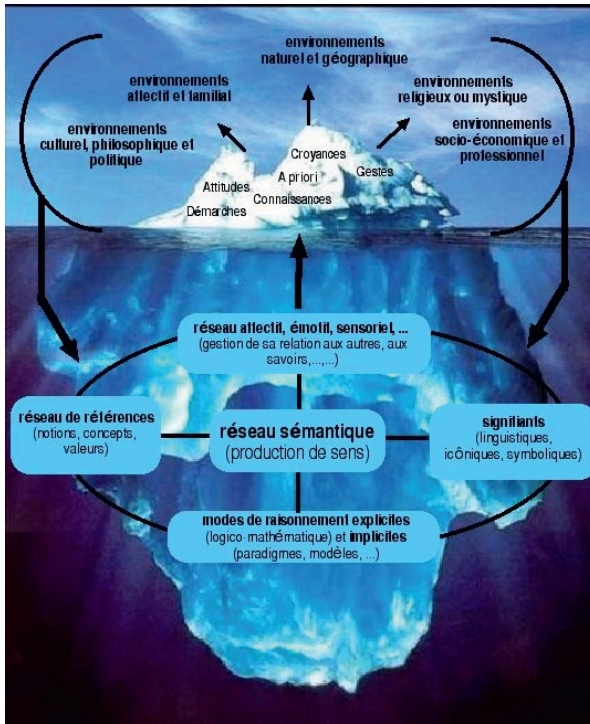


Fig. 4. The iceberg of conceptions (Giordan, Pellaud 2002)

Given such radical changes, school cannot be restricted to the basic models on which it was established. A change of pedagogical paradigms is required here as well, in order to answer these new needs that have to be met.

School's new needs

Sustainable development is not the only “education” that school has to provide. Prior to that, education to the environment, to health, to citizenship, to peace, to the intercultural and global development... was already part of the expression of a certain political and civic will, when not part of the programs as such¹¹. All these themes have been more or less dealt with, and have had different natures, often thanks to enthusiast teachers’ good will. Consequently, we could ask ourselves if there is a real interest in adding to this whole paraphernalia an education to sustainable development.

The answer is clear, even though “on the inside”, the objectives of all these educations are much broader than their designation may let us believe¹². To begin with,

¹¹ To read more about it: “Le bazar des z’éducation” in *Educateur* 9.04, report available at the Fondation Education et Développement (FED), Lausanne (Suisse)

¹² For instance, regarding education to peace, Paul Feyerabend, a sciences philosopher, tells us: “What is the main issue of our times? The issue of peace in different forms – peace with our peers, even if they do not agree with us; peace with other nations, even if this means

it is because sustainable development can be seen as a rallying concept for all of these educations, since it deals with every human action or activity. Then, as we already pointed out, it is because it requires changing of paradigms that in a way define society's new needs, ergo school's new needs, in so far as we feel that its purpose is to get us ready for tomorrow's "living together".

And finally, it is because, if we believe French official directives, the education to sustainable development does not only focus on acquiring conscientious behaviours and attitudes that would go beyond the behaviourist perspective of mere "eco-friendly gestures", but also on adopting changes that we could describe as "pedagogical paradigms".

The Education to the Environment in favour of a Sustainable Development [EESD] must be an essential element of pupils' initial learning, as early as possible and all along their schooling, to allow them to acquire vital knowledge and methods so that they can find their place in their environments and behave conscientiously.

The awareness of environmental, economical and sociocultural issues must help them, without doom watch but with clear-headedness, getting a better picture of the interdependencies between human societies and the whole of the planetary system as well as understanding the need for everyone to adopt behaviours propitious for its sustainable management and for the development of world solidarity¹³.

These are by no means radical objectives, yet they present pioneering perspectives regarding teaching. They just happen to remind us of the importance of trans-disciplinarity, often advocated, hardly ever achieved, and they put forward the building up of knowledge all along schooling, or even life. By focusing on the perception of interdependencies, they recommend, without naming it, the systemic approach. And by daring to put forward the development of world solidarity, they clearly encourage educators to put the notion of value at the heart of their teaching, even if the latter candidly think that new knowledge and methods will only allow pupils to "act in a responsible manner"...

Addressing values is not innocent. A recent study lead by the INRP (2005) shows that teachers frequently have ambivalent opinions when it comes to tackling values. The "eco-friendly gestures" or at least attitudes socially accepted as "citizen attitude" do not raise many objections – not wasting paper, not throwing garbage on the floor, turning lights off... But as soon as the economy and above all a free-market economy as the foundation of a consumer society is to be criticized in an obvious manner, then understandable ethics leads teachers to decline to play the role of a "mister-know-it-all", of a moral professor.

that we have to admit that we committed serious mistakes; and peace with nature, even if it means to stop considering nature as a slave and to start treating it as an element of our existence with the same rights that we have". In *La science en tant qu'art*, Albin Michel Sciences, 2003.

¹³ Bulletin officiel no 28 du 15 juillet 2004 du Ministère de l'éducation nationale. Excerpt of the text sent to superintendents, regional schools inspectors, directors of the regional services, school directors and headteachers.

The introduction of the 'sustainable development' aspect in the education related to the environment therefore questions its ideological content, or at least its intent. Teachers wonder about their role, and the idea of their role, on an institutional level, in the eyes of the School's missions of teaching and educating, as well as on a professional level. In other words, does School have to encourage moral and new behaviours to play a major role in the alteration of society? (Boyer, Pommier 2005, p. 18).

Then again, paradoxically enough, and as far as these practices become institutionalized, a more personal commitment implied in the presence of these values in the educating system attracts teachers and appeals to them:

by becoming institutionalized, the EESD would allow the teacher to be „bona fide', to express himself or herself in his or her work. It would give peace of mind to the person by establishing continuity between personal and professional identity, and at the same time, it would make some practices acceptable and would reinforce the teaching identity. We can go as far as saying that it is as if, for some, the establishment of the EESD removed a proscription and brought relief by acknowledging their practices (Boyer, Pommier 2005, p. 18).

In order to answer to the teachers' worries, their fears of hurting sensibilities, of creating ideological clashes within their own classes, of seeing parents barging in to defend what they think is a stronghold of their parental education, our role is to set ourselves outside any duality that would result in asking ourselves: «is it my job to recommend certain values?» First of all, because we have to realize that every person carries his or her own values through his or her appearance. And pupils are masters in this little game called demystification. You come at work in a SUV or a bike and you are already "categorized". You wear designers' shoes or simple sandals, ditto. The newspaper you read, the tie you wear or don't wear, the look of your handbag or of your briefcase, the coffee you drink, the people you go out with, all these are part of this labelling, be it justified or not.

Therefore, our role is to allow pupils and teachers alike to **clarify their values**. Indeed, many youngsters are caught between venal values put forward by a consumer society and those, much more humanist, of equality, justice and peace which many yearn for. How can we long for the best computer money can buy as well as designers' clothes and wish to put an end to social inequalities at the same time? How can our goal be to reach a high-profile job in order to drive a Ferrari and want to cut emissions of greenhouse gases and put an end to world hunger at the same time?

In order to allow pupils to get out of this conflict between our ideal, our will and our actions, called "cognitive dissonance" by philosophers, we need to bring some hindsight to the many manipulations we are victims of and which –how ironic! – mostly appear as true liberties to the pupils. For, even if political scheming is often protested against in the most passionate way by teenagers, the most efficient and insidious one of advertising is only noticed by a handful of individuals who show their difference through the clothes they wear, their haircuts or any other aspect.

In order to reach this meta-reflection, we need to ask ourselves three essential questions:

- **Identifying what I want** (job, standard of living, social and intimate relationships, environment...),
- **Why do I want it** (what are the values and priorities that prevail in these choices/ desires),
- **And how much am I going to put myself into it...** (in time, energy, money, compromises...)
- **keeping in mind I'm not alone in the world!**

Without always having to resort to philosophy¹⁴, a deep reflection on what respect, conscientiousness and solidarity (to name only the most mentioned values, see chapter "Sustainable Development: a change of values") must be undertaken, even with very young children.

Therefore, without imposing our own values – which would amount to another form of manipulation – we can aim at a positive clarification that would give pupils or students the possibility to distinguish the many influences that condition our lives in general and hence allow them to position themselves regarding them. Realizing that a brand may promote an ideology – and therefore label us as adhering to it – and that the money given for a certain product sponsors movements that might go against our values and beliefs is not only of the utmost importance, it can also be a driving force to developing a critical eye.

This approach can also allow school to question itself on the way it "molds" individuals... Is the search for individual promotion and personal accumulation of wealth – that our free-market society keeps on encouraging and which manifests itself, at school, through a selection process based on summative assessment, consistent with the solidarity and equality principle that is behind sustainable development? What does "quality of life" mean? Is it an ever-growing access to commodities and to individual comfort or can it be understood differently, especially in the way we handle our choices of life, our social relations, etc.?

This clarification of values may also be helpful to meet "new needs". Indeed, more and more, school has to face parents' failure to cope. The "education" bit takes up an ever-growing space at the heart of the teaching. And even if some teachers consider that it goes beyond their skills and what "they get paid for", this aspect must be addressed, only because violence, racketeering and other reprehensible behaviours keep increasing, and school is an easy target for those.

¹⁴ A philosophical approach can only be an advantage for teachers and pupils alike. Unfortunately, this subject is only taught to kids in their late teens, while we recommend it as early as nursery school. Besides, the INRP study quoted above shows that philosophy teachers have to be approached so that less "broad" and "generous" values might be talked about. "(...) What's the point in using philosophy to address these issues (the ones brought up by sustainable development), what values can we use to tackle them, what solutions can be found, how can we put things in perspective (keeping a watchful eye on information, on what is at stake behind economical manipulation...), the individual has the Freedom to act, but fails to grasp the whole Truth. Another philosophy teacher adds: "the EESD ties up with major philosophical questions. For instance: Nature (the definition of the natural and the artificial, the relationship between Man and Nature...), Culture, Law, Justice, responsibility (Jonas), conscience, Man in the Universe (Pascal) and, in relation with people from other cultures and other age brackets, the Past, Science, Anthropology, Ethics, Bioethics, Freedom, Desire..." (Boyer, Pommier 2005, p. 14).

Before we even reach “world solidarity”, we must clearly go through what André Giordan calls “**learning to live together**”, which starts with “**learning to live with ourselves**”.

Isn't it essential that the youngster gets to be interested in his or her person and above all, in his or her body? He or she should respect it, take care of it, and we're not only talking about looks. School has to give him or her a decent perception of himself or herself, beginning with his or her body, free from cultural or any other kind of prejudice. Who can really say that the self (the biological, psychological and cultural self I am part of) is less important than the parabola in mathematics, the carbon in chemistry or Paraguay in geography? „How can I tell what is important for me?“ „How can I tell myself?“ This self-awareness gives sense back or puts forward a project to many youngsters in trouble. Each and every one of them has amazing skills that need to be developed; the individual is perfectible; to realize it is extremely liberating (Giordan 2002, p. 130).

Respecting oneself and the others also means respecting one's own limits. By realizing that “my freedom stops where the other's starts”, foremost principle of all respect, we work on “**our position with regard to the limits**” that André Giordan defines as yet another of these new needs that school has to meet. These limits are clearly those that we must use as references to help us live together. We will add that they also help us understand what sustainable development consists of. Indeed, if it knows no disciplinary boundaries, or at least if it transcends them, it still involves a confined space. Earth is a confined space, therefore it is restricted. Consequently, we cannot keep on ill-using it without taking this fact into account. Knowing and understanding these limits is also the beginning of *consciousness*.

Being true to oneself in order to honour one's commitments, refusing to escape and accepting the rules of a group prompt us to behave in a responsible way. Let us not forget committing oneself in various roles and fulfilling one's pledge for the good of the group. [...] An education towards consciousness involves that pupils learn how to draw up common landmarks and how to refer to them. [...] For it's the constraints (ergo the limits) that liberate us! (Giordan 2002, p. 133-135).

Respect is also essential to meet another need of the school, which is learning how to work in a set of connections and in synergy. With the knowledge boom that we experience nowadays, it is vital and reasonable to accept the idea that we cannot be familiar with everything, even in our own discipline. Far from any individualism and the solitary exploit (the latter hardly ever exists, even Nobel Winners own their prizes to team work!), learning how to work as a team, to share one's knowledge or “breakthroughs” with others to see them develop becomes critical. In this regard, the economic and industrial worlds can be very good examples to follow!

Learning how to work in a set of connections is also a way of meeting the need of inter / trans / and pluridisciplinary approach already mentioned. Just taking a look at all that went wrong because of overly unilateral methods and, more recently, the hard time the teachers have changing their practices to embrace this new education “philosophy”, is enough to understand how essential it has become to set off such a state of mind as soon as possible!

Furthermore, by giving pupils the possibility to simultaneously apply various points of view on the same “object”, we address the heterogeneity of the pupils’ needs, competences and interests.

This last parameter would also allow introducing features that haven’t got a place, yet, in the schools’ programs. Such is the case for economy, ethics, epistemology, history of sciences, psychology, anthropology, architecture, urban planning¹⁵, etc. All points of view which further an insight allow an authentic systemic approach and give access to other fields of exploration, interests and questioning.

Finally, nothing is possible without a certain amount of *curiosity*. Unfortunately, school, by giving answers to questions that pupils do not ask themselves, soon kills curiosity. School has to embrace what Giordan calls a “questioning culture”. The following figure sums up the four kinds of knowledge: the awareness, i.e. the behaviours, the know-how, which stands for skills and approaches, knowledge as in erudition and, last of all, knowledge on knowledge¹⁶, in other terms, metacognition.

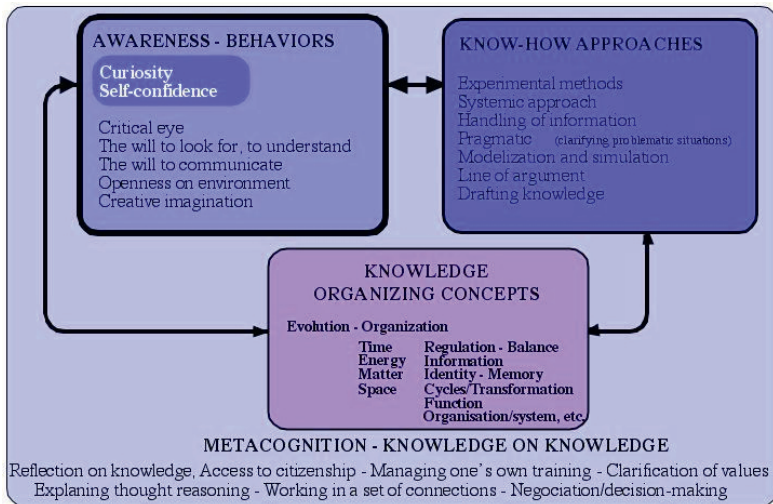


Fig. 5. The four kinds of knowledge (Giordan, Pellaud 2001)

This figure clearly demonstrates that one needs to develop a certain dose of self-confidence and have access to all sorts of knowledge, i.e. be able to handle working methods in order to access them... Everything interacts with everything else, nothing can work without the “other’s” complementarity.

So that the questioning does not wear out, it must not become systematic: just as much regulation as the teacher has to set up. Moreover, curiosity doesn’t have to be restricted to pupils! Teachers, too, owe it to themselves to stay curious, to have the courage to ask questions which they might not be able to answer, on topics they are not familiar with. What a joy, for the pupil, to deliver knowledge to the teacher! Far from the image of an omniscient professor, this new kind of teacher questions

¹⁵ These suggestions come from d’André Giordan. Mentioning urban planning he reminds us that 9 children out of 10 live in the cities!

¹⁶ We will get back to the idea of organizing concepts in the chapter dedicated to assessment.

his or her role (in this case, he or she is no longer a “knowledge medium” but a real “companion” of the learner) as well as his or her way of teaching. We will tackle both these aspects in the following chapter, and we will make some practical suggestions regarding the recommended changes.

Changing pedagogical practices

Regarding this issue, the Agenda 21 gives us very broad leads:

To be effective, environment and development education should deal with the dynamics of both the physical/biological and socio-economic environment and human (which may include spiritual) development, should be integrated in all disciplines, and should employ formal and non-formal methods and effective means of communication (CNUED 1993, p. 229).

Our goal is to define what these methods and means are, in association with the learning theories already mentioned.

The INRP study shows that most teachers think that lectures do not fit in with the objectives of the education to sustainable development. Still, because they see themselves mainly as knowledge media and as informants, the only alternatives they can think of to lectures are group work and debates in class... try putting that into practice!

UNESCO (1997), as well as the experts council in charge of “ethical issues inherent in SD” (EEC, 1994), have tried a more practical approach, though still too broad, in which “means” and “end” meet. From this perspective, teaching methods have to be rethought in order to:

- Promote the identification and the laying down of problems,
- Support the ability to imagine other ways of life and development.
- Learn to negotiate, to justify one’s choices,
- Work in a set of connections, in synergy,
- Encourage taking actions.

To achieve this, we need to:

- Open up disciplines, since the complexity of nowadays issues lies in the interactional zone of multiple disciplines, in their interface.
- Establish a *general reference frame*, which defines global objectives on the purpose of teaching, “while allowing teachers and students to make choices about the specific learning experience” (UNESCO 1997, p. 25).
- Draw up new methods of assessment, which will address learning as a process to be set.
- Consider the idea of an education aiming at self-education, so that the gaining of knowledge and reflection does not stop with the end of school.

In concrete terms, considering school in a process of sustainable development implies that all the actors of the educational world “owe it to themselves to rekindle the custom of social critic or of rebuilding teaching and sponsor, in terms of program planning and pedagogy, approaches capable of integrating social justice and environmental sustainability to a vision and a mission aiming at altering people and society” (Fien 1996).

By drawing our inspiration from these guidelines that, without mentioning it, stress the importance of the pupil's natural motivation, and by taking into account the allosteric approach of learning and the importance of conceptions in the transformation of paradigms and values, we came to develop a “didactic environment” which brings together various parameters that teachers should pay a close attention to.

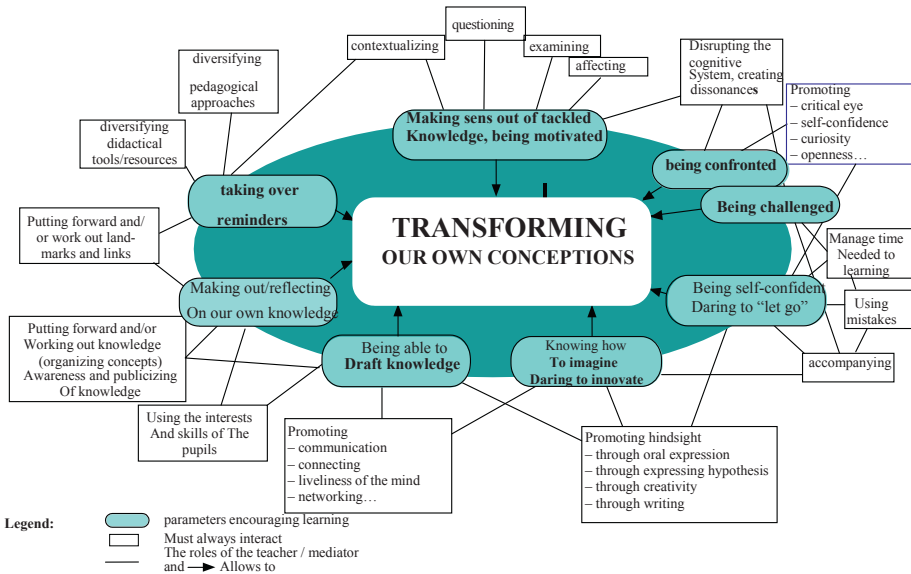


Fig. 6. Didactic environment encouraging learning (Giordan, Pellaud 2002)

Figure 6, with two distinct levels, puts forward, on the one hand, parameters promoting the transformation of conceptions (in the ovals), and on the other hand the different roles that the teacher has to play to set them in motion (in the rectangles). While the interest of this approach lies mainly in the complementarity that these different parameters bring to the learner, i.e. in their constant interaction, we will address them one by one to specify the teacher’s work and the way he or she can, in practical terms, use these leads in his or her teaching¹⁷.

The different parameters of a didactic environment

Making sense out of tackled knowledge, being motivated. This is what pupils have to perceive and feel. To achieve this result, the work of the teacher essentially consists of **examining**, **affecting**, and **questioning** by putting forward a **context** having meaning to the learner.

Amazingly enough, we notice that teachers acknowledge there are virtues in personally motivating the learner... yet they completely overlook this phenomenon when it comes to their own pupils. Indeed, as the INRP study shows, “setting a connection between personal and professional areas would promote a better working practice. Some teachers consequently point out that their personal commitment arouses their research for

¹⁷ These propositions are only examples and they by no means pretend to be exhaustive or to be a magic remedy!

information, it puts them on a data watch beneficial to their pupils. Their taking part in associations deepens their questioning, allows them to build problematics that they can afterwards transfer in their own classes. Both regarding the contribution of knowledge and the coordination of debates (Boyer, Pommier 2005, p. 51)". Therefore, looking into what really appeals to pupils becomes essential if we want to make the most of this individual and personal motivation. Current affairs, watching the news on television, direct questioning on their current concerns, all these are possible ways of introduction. An experiment carried out on pupils from 10 to 12 years old has shown that, when asked about "the greatest issue in the world today", the answers go from war, racism, to water shortage, environmental catastrophes... (see. Pellaud, Muths 2006). Subjects whose roots go deeply in the heart of sustainable development and that can be tackled in inter / trans or pluridisciplinary ways thanks to history and geography, physics, biology, mathematics (by becoming familiar with curves, diagrams, percentages or statistics), philosophy, economic and social sciences, grammar, literature and foreign languages...

Being confronted, being challenged. This objective is vital to "compel" pupils to seek further than their own knowledge. Indeed, we all have pre-conceived ideas, beliefs, convictions on such and such subject. Similarly to any other conception, we stick to them and it is sometimes difficult to make us change our mind. It is essential that the pupil be put in a situation that allows him or her to ***appreciate the limits of his or her own reasoning***¹⁸, of his or her own way of thinking and understanding of the world. Only in these conditions will he or she see the need to trade the old conceptions for new, more operative ones. To do so, clash situations are actually quite positive. Clashes between peers through a debate, through situations where the pupil is lead to defend his or her ideas, to make a case, as well as clashes with the real world, with different cultures, philosophies, points of view that aim at "taking a fresh look" at things, and finally, clashes with knowledge, mainly thanks to media, textbooks, encounters with scientists... Role-playing game can be an effective tool to achieving one's goals¹⁹. Introduced to pupils with no warning, it allows, through the roles that pupils have to play, to highlight their gaps, their conceptions, their assumptions... Only then can a work be undertaken in order to fill these gaps and build a real role- playing game that would be shown, for instance, to parents or to another class. This reinvestment is directly linked to another parameter, the one related to the ***knowledge draft***.

Being self-confident, daring to "let go". This parameter calls upon the role of ***companion*** that the teacher has to play, in transforming conceptions. Indeed, self-confidence can only be acquired through the establishment of

¹⁸ It manifests itself, in our chart, in "disrupting the cognitive system, creating dissonances".

¹⁹ To read more about using role-playing games, see: Pellaud, F. Les enseignants doivent apprendre à éduquer à la responsabilité in *La Revue Durable* no 8 décembre 2003 – janvier 2004.

a healthy relationship between teacher and learner in the heart of the class. As with disruption, the right balance has to be found. In one case or another, too much or not enough disruption or support can hinder the learning process. To allow the establishment of a healthy relationship, we can still point out a few relevant elements. The first one is the pupil's ability to express himself or herself with ***no risk of being judged***. There is nothing worse for a pupil to hear other children laughing at him or her after having given an answer or an explanation to a problem, let alone the teacher's laughter! Linked to the first parameter, the second one is ***being entitled to make mistakes***. A mistake is not a failure, and understanding where it comes from is often more positive than succeeding right away... which has more to do with luck! Finally, the third parameter is ***assessment***. Instead of always relying on summative assessments, focused on memorizing notions, working on the basis of formative assessment, or even self - assessment can also be very positive. We will get back to assessment in details in the next chapter.

Knowing how to imagine, daring to innovate. Imagination, innovation, just like a productive critical eye, are necessary skills in a world where knowledge we identify as such is not definite anymore, and where the many social and environmental issues call for the creation of different landmarks and developments. Indeed, in order to be one step ahead of the issues, to plan solutions, to address the transformations inherent to the changes of paradigms and values, imagination and innovation are essential. And they are also essential to learn, as they bring to the mind certain "flexibility", propitious to transforming conceptions. From this perspective, studying practical and complex problems, setting out hypotheses and looking for alternative solutions is a rather interesting exercise.

Being able to draft one's knowledge. For knowledge to really become operational, the pupil needs to "use" it. It is the teacher's role to find situations where it could be reinvested. This reinvestment often enables the learner to ***find connections*** between knowledge and discipline and to understand the interactions at stake. Various pedagogical approaches allow putting the pupil in a reinvestment situation: preparing an exhibition for the parents to see or other classes or schools, planning a lesson, a workshop or an experience aimed at one's peers, organizing a conference, a round table where experts are invited, being able to publish a paper, even if only for a limited readership. For schools having video equipment or internet access, creating short movies or a website can also represent an exciting means of reinvesting knowledge. Mutual teaching where the pupil takes, momentarily, the place of the teacher is a very positive tool as well, as long as it doesn't always put the same people to the front. This is the error that La Salle²⁰ committed when, as early as the 17th century, he established

²⁰ La Salle (1651–1719) established a public, free and compulsory school. He is behind the primary school teachers' training within the teachers' seminar in Reims in 1680, because "ignorance, and even the moral inability was the main nature of teachers, back then".

simultaneous teaching. Gathering a group of pupils in a single room, he picked the best ones as “tutors” for “the weaker” ones²¹.

The importance of such an approach lies mainly in the autonomy that the pupil gains regarding his own training. This autonomy should help him or her develop a “critical eye”, capable of going beyond the models suggested not only by the teacher, but by society as a whole.

Working Out/reflecting on one’s own knowledge. First, working out one’s own knowledge. We saw it thanks to the allosteric approach of teaching: transforming conceptions needs a deconstruction as well as a reconstruction. This reconstruction is an integral part of the working out process. But the method is laborious and a way to turn it less off-putting is by reaching out to the possibility of standing back regarding what we think we know or what we know for sure, and regarding our own way of transforming it, i.e. of learning. This reflection on our own knowledge is consequently essential in the way “it is being aware of one’s methods and one’s schemes of thought that the learner can grasp all their importance and their subtleties” (Giordan 2002, p. 128).

Taking over reminders. In other words, having the possibility to be confronted with several and suitable ***tools*** and ***pedagogical practices***. The tools are all the backup material which accompanies the given teaching. Videos, textbooks, movies, articles, newspapers, internet, experiments, activities, museums, exhibitions, encounters... As for the pedagogical approaches, we already mentioned some before. Group work, debates, personal research of information (such as practical work), creation of individual or group projects, organizing a role-playing game, a show, an exhibition, a lesson for another class... Let us not forget the lecture, which is relevant, as well, such as attending a conference. It is vital to give the pupils several approaches that allow to reach ways of reasoning as different as, for instance, the systemic approach in comparison to the analytical approach, as well as “reminders”, as varied as diagrams, concept charts, metaphors, trivia, some humour...

Toward a new assessment

Assessment is first of all a way of setting landmarks. In this regard, it is a relevant tool for structuring thought and personality. As long as the prevailing values will be focused on competition – at school, in family, among friends, in sports... – hence on comparison, assessment will appear to the child, to the teenager, as a need to know where he or she stands among the others. Even if this relation with the group cannot be avoided, assessment also has to put this comparison into perspective. Indeed, if the best pupils can see it as a challenge to take up, the others are usually put off by it. Assessment really needs to be thought of so that it can be seen as a tool devoted to learning. The more important in assessment is that the pupil knows where he or she stands in relation with himself or herself, the progression compared to oneself is what matters the most. Comparison with the others really

²¹ To read more about it : Querrien, Stengers (préface) (2005).

has to be put into perspective. In order to do so, several kinds of assessment can be considered, since they do not necessarily fit all cases, depending on what has to be assessed and who is to be assessed.

According to school tradition, knowledge has to be assessed and, more and more, skills, too. Usually done in a summative manner, this assessment only shows what the pupil has remembered when it takes place. Since it usually happens at the end of a chapter or of a lesson, it only appeals to the learner's short term memory. What is measured is, in most cases, the ability to memorize and not what has actually been learned and above all, understood. This method does not allow any retrospect on the stored knowledge, nor does it allow connections between the different subjects studied.

Moreover, how can we give marks on subjects as varied as climatic changes, wars, access to water, and all these fields that make sustainable development the most versatile "subject" ...? And what can we say about the reflection on changes of paradigms and the importance of clarifying values?

As far as we are concerned, we have gone for two radical choices.

The first one concerns values. Since the objective is their clarification and not their transmission, it would seem unfit to pass any judgment (assessment is one) on this field. The best choice is an effort of "reflection on" allowing the pupil to formalize his or her thought, but most of all aiming at a personal training.

The second one involves assessment of knowledge: in terms of quantity, as well as in terms of skills. Since any subject can be used as an "alibi" for an education toward sustainable development, it is a wishful thinking, if not useless, to consider assessment of notional or factual knowledge connected with the very theme of the study. Consequently, following organizing or integrating concepts developed in our laboratory as well as by Mauris and Hunkeler (2000), the authors of an "environmental" chart dedicated to the pupils of the first three years of the primary school of the canton of Bern (Switzerland), we have established a list of concepts that we feel describe sustainable development and how to address it. Figure 7 does not only present these concepts – four are universal (matter, energy, time, space) and they somehow constitute the "nucleus" around which other concepts "gravitate", and just like electrons around an atom, they give it their specific properties – but it shows their transversality as well, both in terms of discipline and in terms of school time.

The "organizing concept" plays the role of an "anchor" that we can track back in every theme tackled regarding sustainable development. Just like an intersection, it helps bringing together, classifying, categorizing and looking for similarities. It also helps decoding reality, by providing tools to "sort out complexity". An organizing concept leads us to pinpoint similarities in various domains that may seem, at first, quite different. Most of all, it helps focusing on the fundamental.

As the figure 7 demonstrates, organizing concepts can become the guiding thread of all teaching. They are transversal to almost every discipline and can be found at all school levels. Obviously, the main difference lies in the *levels of wording* that we will reach for each of them, depending on the age and the conceptions of the pupils. For instance, such a concept as energy or matter will not be addressed the same way whether it's in nursery school, primary school or secondary school. In the first

case, energy can be seen as “the capacity to do something”: “what can it do?” It can then be considered according to its different forms or origin: “the wind”, “the sun”, “electricity”, “the result of my movements”... Between this first approach and principles of thermodynamics lie all the levels of wording that will, little by little, lead the pupil to a real understanding of what energy is; its forms, its origins, its uses, its environmental and social impacts.

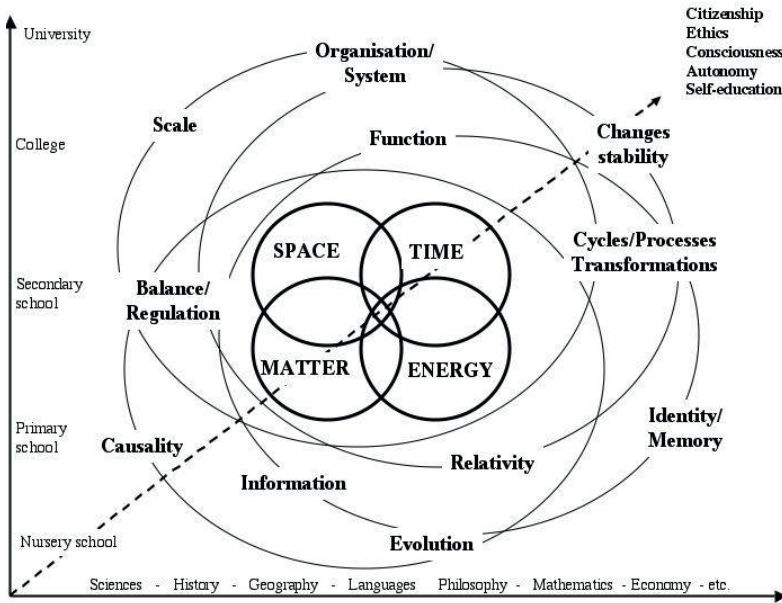


Fig. 7. Arranging concepts (Pellaud, LDES, 2006)

Thanks to them, every individual can make up his or her own “analytical grid” of the reality, a grid able of interpreting and gathering the various data he or she will find. Moreover, it is through this drafting that he or she will be able to develop it. The same thing can be said about matter. In elementary school, the level of wording can be restricted to acknowledging the existence of different materials, with their own special features. Then with children of 10 to 12 years old, we can mention atoms, raw materials and their exploitation, their transformation and the consequences of their use. Finally, in universities, we can refer to chemical compounds and their interactions with environment and health. It is still the same organizing concept “matter”, inflected through other concepts, such as organization, balance, transformation, time, etc.

Conclusion

As we may gather through these both theoretical and practical leads, the concept of sustainable development, as far as we definitely put away its purely economical meaning based on an idea of growth, can be the starting point of a real revolution, both regarding our industrialized societies and teaching, all levels taken together.

If it requires genuine changes of paradigms, they will not be established through ministerial decree alone.

A will emerging from teachers themselves must surface. To paraphrase Gro Harlem Brundtland's quotation presented in the first chapter, we could say that these "pragmatic revolutions", crucial for an education aiming at a sustainable development, will only occur if teachers know how to inspire their governments and lobby them. These changes will only take place thanks to a team spirit leading to a compulsory collaboration, particularly regarding early training of the teachers. Thankfully, these practical minds, who are not even activists, exist. Outstanding experiments have been carried out²² that will help us assess the real contributions of these new approaches and initiate a real reflection on the possibilities and the needed terms of evaluation of these "off-program" subjects.

Literature

- Ausubel D.P., 1968, *Educational Psychology: A Cognitive View*, Holt, Rinehart and Winston, New York.
- Bachelard G., 1938, *La formation de l'esprit scientifique*, Librairie philosophique J. Vrin, pour l'édition de poche, 1993.
- Barbier R., 2005, *Quand le public prend ses distances avec la participation, Topiques de l'ironie ordinaire*, Natures Sciences Sociétés, 13, p. 258–265.
- Boyer C., Pommier M., 2005, *La généralisation de l'Education à l'environnement pour un développement durable vue par des enseignants du secondaire*, INRP, Paris.
- Bruner J., 1986, *Actual Minds, Possible Worlds*, Cambridge, MA: Harvard University Press Bulletin officiel no 28 du 15 juillet 2004 du Ministère de l'éducation nationale, France.
- CNUED, 1993, *Action 21*, Nations Unies, New York.
- Defeyt P., 2005, *Pourquoi et comment sortir du cercle production-consommation-insatisfaction?* [in:] *Penser et agir avec Illich*, Ed. Couleurs livres, Bruxelles.
- Feyerabend P., 2003, *La science en tant qu'art*, Albin Michel Sciences, Paris.
- Fien J., 1996, *Enseigner pour un monde durable*, Connexion, bulletin de l'éducation relative à l'environnement UNESCO-PNUE, vol. XXI, no 4, déc., UNESCO-PNUE.
- Fleury B., 2005, *Le cadre théorique de référence*, document interne, CEP, Florac.
- Gagné R.M., 1965, *The conditions of learning*, Holt, Rinehart and Winston, New York.
- Gagné R.M., 1976, *Les principes fondamentaux de l'apprentissage*, HRW, Montréal.
- Gagné R.M., 1985, *The conditions of learning and theory of instruction*. 4th edition, Holt, Rinehart, and Winston, New York.
- Giordan A., 1996, *Représentations et conceptions*, [in:] *Représentations et conceptions en didactique*, Regards croisés sur les STAPS sous la dir. de J-P. Clément, CIRID/CRDP d'Alsace.
- Giordan A., 1998, *Apprendre !* Ed. Belin, Paris.

²² We are mainly thinking of a class of a primary school in Paris that has created a musical on sustainable development and another one in Bienne, Switzerland that has used this theme as its subject of the year. Many other examples could be found, in Germany, for instance, which, according to de Haan (*La Revue Durable* n°8, 2004) would be "ahead of its time in terms of education for sustainable development".

- Giordan, A., 2002, *Une autre école pour nos enfants*, Ed. Delagrave, Paris.
- Grinevald J., 2005, *De la nature de l'économie à l'économie de la nature*, [in:] *Penser et agir avec Illich*, Ed. Couleurs livres, Bruxelles.
- Guichet J-L., 1998, *La liberté*, éd. Quintette, Paris.
- Holland J.G., Skinner B.F., 1961, *The analysis of behavior*, McGraw-Hill, New York.
- Jollien A., 2003, *Eloge de la faiblesse*, Ed. Cerf, Paris.
- Kuhn T., 1983, *La structure des révolutions scientifiques*, Champs, Flammarion, Paris.
- Latouche S., 2004, *Survivre au développement*, éd. Mille et une nuit, Paris.
- Latouche S., 1985, *Faut-il refuser le développement ?* PUF, Paris,
- Latouche S. 1989, *L'occidentalisation du monde*, La Découverte, Paris, .
- Latouche S. 2001, *Les mirages de l'occidentalisation du monde; en finir, une fois pour toute, avec le développement*, Le Monde. Diplomatique, mai, Encart : Résistances.
- Morin E., 1977, *La Méthode 1: La nature de la nature*, Seuil, Paris.
- Morin E., 1991, *La Méthode 4: Les idées*, Seuil, Paris.
- Morin E., 1990, *Introduction à la pensée complexe*, ESF, Paris.
- Morin E., 1998, *Pour une réforme de la pensée (1996)*, [in:] *Quels savoirs enseigner dans les lycées*, CNDP, Paris.
- Morin E., 1999, (1) *Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur*, UNESCO, Paris.
- O'Connor M., 1998, *La problématique du développement durable*, [in:] *Les entretiens CNRS ASTS de la médiation scientifique et technique : le développement durable*, CNRS, Paris.
- Pellaud F., 2000, *L'utilisation des conceptions du public lors de la diffusion d'un concept complexe, celui de développement durable, dans le cadre d'un projet muséologique*, thèse de doctorat, Université de Genève.
- Pellaud F., 2004, *Les enseignants doivent apprendre à éduquer à la responsabilité*, La Revue Durable no 8, janvier.
- Pellaud F., 2006, *Les valeurs attribuées au développement durable par les futurs enseignants*, recherche LDES (document interne).
- Pellaud F., Muths, D., 2006, *Plus loin que le bout de son nez...*, Cahiers pédagogiques, no 443, mai.
- Piaget J., 1947, *Le jugement et le raisonnement chez l'enfant*, Delachaux et Niestlé, Neuchâtel-Paris.
- Querrien A., Stengers I. (préface) 2005, *L'école mutuelle: Une pédagogie trop efficace?* Les Empêcheurs de Penser en Rond.
- Salomé J., 2005, *Parle-moi... j'ai des choses à te dire*, Les éditions de L'HOMME, 1995
- Skinner B.F., 1968, *The Technology of Teaching*, Appleton-Century-Crofts, New York.
- Sterling S., 2004, *Vers une «éducation durable»*, La Revue Durable, no 8, pp. 14-18, janvier.
- Rawls J., 1971, *Théorie de la justice*, trad. fr. 1987, rééd. Seuil, Paris, coll. «Points essais», 1997.
- UNESCO, 1997, *Eduquer pour un Avenir Viable : une vision transdisciplinaire pour l'action concertée*, Conférence. Internationale, Thessalonique, éd. Unesco et le Gouvernement de la Grèce.
- Saaty T.L., 1981-1984, *Décider face à la complexité, une approche analytique multicritère d'aide à la décision*, Entreprise Moderne d'Édition, Paris.

Vygotsky L., 1933–1934, *Le problème de l'enseignement et du développement à l'âge scolaire*, [in:] *Vygotsky aujourd'hui*, Sous la direction de B. Schneuwly et J-P. Bronckart, Delachaux et Niestlé, Neuchâtel-Paris, 1985.

Watson J.B., 1913, *Psychology as the behaviorist views it*, *Psychological Review*, 20, 158–177.

Le bazar des z'éducation, Educateur 9.04, dossier disponible auprès de la Fondation Education et Développement (FED), Lausanne (Suisse).

Towards new educational paradigms

Abstract

All revolutions, be they scientific or social ones, are the results of changes of paradigms. And the advent of the concept of «sustainable development» in our societies is no different. The radical adjustments that must be made regarding our ways of thinking and our «personal reasoning» are undeniable and they happen to have a direct influence on the educational curriculum. And it is all the more true when an education y related to it is institutionalized, as is the case in many countries. Highlighting these changes, understanding what it implies for the thought, as well as in terms of learning, opening new leads to deal with the complexity that such an education must tackle – these are the goals of this article. Inspired mainly by the results of several groundbreaking works lead by the Laboratory for Science Didactics and Epistemology of the University of Geneva, these reflections take stock of our current knowledge on the subject.

Francine Pellaud, André Giordan, R-Emmanuel Eastes

Laboratoire de Didactique et Epistémologie des Sciences, Université de Genève
Département d'Etudes Cognitives, Ecole normale supérieure (Paris)

*Alicja Walosik***Zrównoważony rozwój i bioróżnorodność
w formalnym systemie kształcenia****Wstęp**

Globalny charakter pogłębiającego się kryzysu ekologicznego skłania społeczeństwo do dyskusji nad problemami środowiskowymi oraz do poszukiwania środków służących jego zahamowaniu, a także do budowy nowego ładu społeczno-gospodarczego. Droga do tego celu prowadzi przez edukację, zapewniającą wiedzę o przyrodzie, kształtującą system wartości. W dokumentach poświęconych Dekadzie Edukacji dla Zrównoważonego Rozwoju oraz w Raporcie Światowej Komisji Środowiska i Rozwoju (1987) zrównoważony rozwój to: „proces mający na celu zaspokojenie aspiracji rozwojowych obecnego pokolenia w sposób umożliwiający realizację tych samych dążeń następnym pokoleniom”. Zawarta w tej definicji wizja rozwoju uwzględnia zarówno populację ludzką, jak i świat zwierząt i roślin, ekosystemy, zasoby naturalne Ziemi: wodę, powietrze, surowce energetyczne; w sposób zintegrowany traktuje także najważniejsze wyzwania stojące przed światem, takie jak walka z ubóstwem, równość płci, prawa człowieka i jego bezpieczeństwo, zdrowie oraz dialog międzykulturowy.

Dla utrzymania podstawowych funkcji ekologicznych w środowisku przyrodniczym konieczne jest więc utrzymywanie na stałym poziomie jakości zasobów naturalnych oraz poszukiwanie odpowiednich środków i warunków zabezpieczających długotrwałe zachowanie funkcji systemu ekologicznego, ponieważ działalność człowieka prowadzi z reguły do zmniejszania użyteczności zasobów środowiska przyrodniczego.

Według Kozłowskiego, cele ekorozwoju są następujące: bezpieczne dla zdrowia ludzkiego środowisko, równowaga ekologiczna w ekosystemach, niezbędne warunki odnowy biologicznych sił człowieka oraz możliwości dalszego rozwoju gospodarczego (Kozłowski 2007).

W Światowej Strategii Ochrony Przyrody (1985) za główne cele ochrony życia i zasobów dla trwałego rozwoju uznaje się m.in.: utrzymanie podstawowych procesów ekologicznych i systemów będących ostoją życia, zachowanie bioróżnorodności, zapewnienie trwałego użytkowania gruntów i ekosystemów.

Różnorodność biologiczna jest pojęciem stosunkowo nowym, które pojawiło się wraz z Konwencją o różnorodności biologicznej, ogłoszoną i przyjętą na Szczycie

Ziemi w Rio de Janeiro w 1992 roku. Do głównych celów Konwencji, realizowanych zgodnie z postanowieniami konferencji, należy ochrona różnorodności biologicznej, zrównoważone wykorzystywanie jej zasobów, a także uczciwy i sprawiedliwy podział korzyści wynikających z wykorzystywania zasobów genetycznych.

Konferencja w Rio de Janeiro stanowiła punkt zwrotny w historii ochrony środowiska na świecie. Uwidoczniała rzeczywistą skalę problemów w tym zakresie i wskazała kierunki i sposoby ich zwalczania. Stanowiła ona szczytowy moment znaczenia ochrony środowiska w hierarchii celów społecznych. Dzięki ochronie środowiska powszechna stała się świadomość istnienia problemów wyzwań globalnych. Dążono także do scharakteryzowania procesu zrównoważonego rozwoju, przypisując mu takie właściwości, jak m.in. trwałość i stabilność rozwoju, samopodtrzymywanie się rozwoju, zachowanie bioróżnorodności, uczciwy dostęp wszystkich społeczeństw świata do zasobów naturalnych, podwyższanie jakości życia człowieka, zaspokajanie podstawowych jego potrzeb życiowych, kształtowanie świadomości środowiskowej, wprowadzanie systemu ekonomicznego zapewniającego rozwój gospodarczy i osiąganie zespołu celów społecznych we wszystkich krajach świata (Kozłowski 2000). Należy się jednak zastanowić, czy rozwój jako taki może być rzeczywiście zrównoważony, trwały, stabilny, samopodtrzymujący się? Ostatnie lata cechuje ogólnoświatowy, stosunkowo głęboki kryzys gospodarczy. Można z całą odpowiedzialnością stwierdzić, że wiek XX i XXI to okres, w którym procesy niszczenia środowiska osiągnęły skalę globalną. W XX wieku ujawniły się specyficzne rodzaje zagrożeń, wynikających z chemicznego zanieczyszczenia gleb, zanieczyszczenia wód i powietrza, ogromnego zwiększenia ilości odpadów komunalnych i przemysłowych oraz z promieniowania radioaktywnego. Jedną z przyczyn tego stanu rzeczy był przyrost ludności świata (Trząski 2003). Wiek XXI jest okresem narastającego przyspieszenia zmian na świecie. W tempie dotychczas niespotykanym zmienia się poziom wiedzy, technologie produkcji i stosunki społeczne. Gospodarka przybiera charakter globalny, a zaistniałe problemy środowiskowe są bardzo trudne do rozwiązania. Najczęściej wymieniane są m.in.: ocieplanie się klimatu, podnoszenie się poziomu mórz i oceanów, zanikanie warstwy ozonowej w atmosferze, malejąca bioróżnorodność, rosnąca ilość wytwarzanych i nagromadzonych odpadów, degradacja gleb, zmniejszanie się powierzchni upraw.

Konwencja o różnorodności biologicznej jest pierwszym globalnym porozumieniem, dotyczącym wszystkich aspektów biologicznej różnorodności: gatunków, ekosystemów oraz zasobów genetycznych. Uznaje ona ochronę różnorodności biologicznej za wspólną troskę ludzkości i integralną część procesu rozwoju świata (Kalinowska 2008).

Określenie „ochrona i zrównoważone użytkowanie różnorodności biologicznej” łączy się z innymi powszechnie znanymi i stosowanymi pojęciami, takimi jak „ochrona przyrody” i „zrównoważony rozwój”.

Ochrona różnorodności biologicznej i racjonalne użytkowanie zasobów przyrody są w świetle Konwencji terminami ściśle ze sobą powiązаныmi i wzajemnie się uzupełniającymi. Cele ochrony przyrody, głównie o charakterze filozoficznym, moralnym i estetycznym, zostały uzupełnione utylitarnym, nowoczesnym ujęciem – łączącym aspekt przyrodniczy ze społecznym i ekonomicznym. Takie podejście zakłada konieczność zachowania całej przyrody Ziemi, na wszystkich poziomach

jej organizacji, zarówno ekosystemów bogatych i zróżnicowanych, jak i ubogich, a także tych elementów, które do tej pory były niedocenione czy wręcz niszczone. Pośrednio, pojęcie różnorodności biologicznej uściśla interpretacja zasad ochrony przyrody zawartych w tekście Konwencji. Zwraca się tam uwagę na konieczność dbania o różnorodność na wszystkich poziomach organizacji przyrody, potrzebę ochrony przyrody na terenach zagospodarowanych oraz ochrony całej różnorodności ras i gatunków zwierząt oraz odmian roślin użytkowych i potrzebę traktowania ich tak, by zapewnić ich trwałość i odtwarzalność. Ważne jest, aby nie ograniczać się jedynie do ochrony konserwatorskiej, ale poprzez poznawanie praw rządzących przyrodą w sposób świadomy ją kształtować, zapobiegając jednocześnie potencjalnym zagrożeniom.

Konwencja definiuje pojęcie różnorodności biologicznej w sposób następujący: „różnorodność biologiczna oznacza zróżnicowanie wszystkich organizmów pochodzących z ekosystemów lądowych, morskich i innych wodnych ekosystemów oraz zespołów ekologicznych, których są one częścią. Dotyczy to różnorodności w obrębie gatunku, pomiędzy gatunkami oraz ekosystemami”.

Bioróżnorodność, w najprostszym ujęciu, to różnorodność form życia wraz z całą ich zmiennością na poziomie genów, gatunków i ekosystemów, w skali Ziemi lub niższych jednostek biogeograficznych. Zagadnienie różnorodności biologicznej stało się jednym z głównych paradygmatów ekologii, współczesnej ochrony przyrody i polityki środowiskowej.

Kształtowanie świadomości na temat znaczenia bioróżnorodności i konieczności ochrony jej zasobów jest jednym z głównych zadań edukacji. Edukacja stanowi podstawę wszelkich działań dla realizacji założeń Konwencji o różnorodności biologicznej. Podejmowane przez UNESCO działania edukacyjne zmierzają w trzech kierunkach:

- przekazu wiedzy na temat różnorodności biologicznej, jej znaczenia i powiązań z różnorodnością kulturową a Dekadą Edukacji dla Zrównoważonego Rozwoju,
- edukacji, szkoleń, przekazu wiedzy na temat sposobów ochrony i zrównoważonego gospodarowania zasobami bioróżnorodności,
- rozwoju komunikacji, tworzenia warunków do współpracy i zapewnienia niezbędnej pomocy.

Zgodnie ze zobowiązaniami wynikającymi z Artykułu 13 Konwencji „O podnoszeniu poziomu wiedzy i świadomości społecznej”, tematyka dotycząca różnorodności biologicznej (z uwzględnieniem wzajemnych związków pomiędzy działaniami człowieka a jej stanem) powinna znaleźć odzwierciedlenie zarówno w podstawie programowej kształcenia ogólnego, jak i w programach nauczania na wszystkich poziomach edukacyjnych.

Kształtowanie i podnoszenie świadomości ekologicznej i środowiskowej uczniów w zakresie osobistej odpowiedzialności za ochronę środowiska i jego zasobów, jak również prezentowanie potrzeby życia zgodnego z ideą rozwoju zrównoważonego stało się nadrzędnym celem edukacji ekologicznej.

W Podstawie programowej kształcenia ogólnego z biologii w gimnazjum (MEN 2009) stwierdzono niewielką liczbę haseł bezpośrednio związanych ze „zrównoważonym rozwojem” i pojęciem bioróżnorodności. Zagadnienia te przejawiają się w treściach nauczania przedmiotu biologia.

Poniżej podano przykład zapisu znajdującego się w Podstawie programowej.

Celem edukacji dotyczącej bioróżnorodności i zrównoważonego rozwoju w gimnazjum jest m.in:

- znajomość różnorodności biologicznej i podstawowych procesów biologicznych,
- opisywanie, porządkowanie i rozpoznawanie organizmów,
- wyjaśnianie zjawisk i procesów biologicznych zachodzących w wybranych organizmach i w środowisku,
- przedstawianie i wyjaśnianie zależności między organizmem a środowiskiem,
- wskazywanie ewolucyjnych źródeł różnorodności biologicznej,
- uzasadnianie potrzeby klasyfikowania organizmów i przedstawianie zasady systemu klasyfikacji biologicznej,
- określanie znaczenia czynności życiowych organizmu: odżywiania, oddychania, wydalania, ruchu, reakcji na bodźce, rozmnażania, wzrostu i rozwoju,
- określanie cech umożliwiających zaklasyfikowanie organizmu,
- obserwowanie okazów i porównywanie cech morfologicznych glonów i roślin lądowych,
- określanie czynników środowiska niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmów w środowisku lądowym i wodnym,
- przedstawianie przyczyn i dokonywanie analizy skutków globalnego ocieplenia klimatu,
- kształtowanie świadomości znaczenia zachowania różnorodności biologicznej oraz motywacji do przestrzegania zasad,
- kształtowanie świadomości zagrożeń cywilizacyjnych,
- rozumienie potrzeby zachowania bioróżnorodności,
- uświadomienie różnorodności sposobów negatywnego i pozytywnego oddziaływania ludzi na środowisko i kształtowanie umiejętności praktycznego ich poznawania,
- kształtowanie postawy odpowiedzialności za stan środowiska oraz gotowość do działań na rzecz rozwoju zrównoważonego,
- formułowanie zasad zrównoważonego rozwoju i analiza własnych decyzji i zachowań w tym zakresie,
- podejmowanie racjonalnych działań służących poprawie stanu środowiska w skali lokalnej, regionalnej, krajowej i globalnej.

Istotnym problemem jest interpretacja założeń zawartych w podstawach programowych dotyczących zrównoważonego rozwoju i sposobu ich ujęcia w autorskich programach nauczania i podręcznikach. Najważniejszym ich zadaniem (na każdym poziomie kształcenia) jest i będzie nie tylko przekazywanie wiedzy o środowisku, objaśnianie istoty globalnego charakteru środowiska, ale również inspirowanie do działania, przekonanie do wyboru określonego modelu życia i systemu wartości.

Wiedza środowiskowa zyskuje obecnie coraz większe uznanie jako podstawa zrównoważonego rozwoju oraz właściwej ochrony różnorodności kulturalnej i biologicznej. W centrum uwagi znalazła się dzięki zapisowi w Konwencji o różnorodności biologicznej, której art. 8 dotyczy wiedzy, innowacji oraz praktyk stosowanych

przez lokalne społeczności, sprzyjające ochronie i zrównoważonemu użytkowaniu różnorodności biologicznej.

Na Światowym Szczycie poświęconym zrównoważonemu rozwojowi, który odbył się w Johannesburgu w 2002 r., dostrzeżono również kluczową rolę różnorodności biologicznej w zrównoważonym rozwoju.

Zdaniem Kozłowskiego (2007), aby w pełni realizować założenia zrównoważonego rozwoju, konieczne jest ukształtowanie społeczności bogatej w wiadomości, umiejętności, wartości i kompetencje, w pełni zaangażowanej w rozwiązywanie problemów środowiskowych, konieczna jest zmiana sposobu myślenia w kierunku myślenia holistycznego, globalnego i ekologicznego. Niezmiernie ważna jest nie tylko wiedza środowiskowa nauczyciela i znajomość faktów przyrodniczych, ale także umiejętność pracy w terenie i współpracy z lokalnymi instytucjami, znajomość psychiki uczniów, ich możliwości, nawiązanie z nimi dialogu i ich aktywizowania. Wiedza ekologiczna i środowiskowa obejmuje wiadomości i umiejętności dotyczące procesów zachodzących w ekosystemach, wiedzę o mechanizmach równowagi ekosystemów, o zależnościach między różnymi formami działalności ludzkiej w środowisku przyrodniczym, a w szczególności wiedzę o zagrożeniach środowiska i sposobach jego ochrony (Tuszyńska 2010, Stawiński 2000).

Dążąc do poprawy sytuacji środowiska na różnych etapach rozwoju lokalnego, należy dokonywać systematycznej oceny aktualnego stanu jego rozwoju w wymiarze społecznym, gospodarczym i środowiskowym (biologicznym), z punktu widzenia wskaźników zrównoważonego rozwoju. Wskaźniki zrównoważonego rozwoju są narzędziem informacyjno-diagnostycznym, ułatwiającym ocenę i zarządzanie sferą społeczną, gospodarczą i środowiskową na poziomie lokalnym, regionalnym i krajowym (Dobrzański 2006).

Opracowanie i stosowanie wskaźników zrównoważonego rozwoju dostarcza wielu korzyści, takich jak kontrolowanie postępu w realizacji celów strategii służących idei trwałego rozwoju, dokonywanie porównań stopnia realizacji koncepcji zrównoważonego rozwoju, ułatwienie planowania trwałego rozwoju, uporządkowanie i udoskonalenie istniejących baz danych o środowisku i poszczególnych sferach funkcjonowania życia społeczno-gospodarczego. Ponadto udział w tworzeniu wskaźników trwałości przyczynia się do wzrostu zrozumienia trwałego rozwoju i jego społecznej akceptacji (Borys 1999).

Usystematyzowany wykaz kryteriów wyboru wskaźników powinien uwzględniać:

- znaczenie wskaźnika w kontekście polityki ekologicznej, tzn. powinien odzwierciedlać w sposób reprezentatywny warunki środowiskowe, zagrożenie dla środowiska oraz podejmowane środki zaradcze, a także powinien być prosty w konstrukcji i łatwy w interpretacji, powinien wykazywać zmiany w środowisku oraz działaniach człowieka wywierających wpływ na środowisko,
- podstawy naukowe, tzn. powinien być sformułowany w postaci nadającej się do zastosowania w modelach ekonomicznych, środowiskowych,
- mierzalność, tzn. dane niezbędne do konstrukcji wskaźnika powinny być właściwie udokumentowane i uaktualniane.

Niezależnie od ilości i zakresu rozpoznania problemu i zagrożeń środowiskowych opracowane przez różne organizacje międzynarodowe (UNEP, Komisja Trwałego Rozwoju ONZ) wskaźniki są dzielone na następujące grupy:

- wskaźniki presji (zagrożenia środowiskowe),
- wskaźniki stanu (poziom jakości środowiska),
- wskaźniki działań zapobiegawczych (reakcji na problemy środowiskowe) (Borys 1999).

Opis grup wskaźników presji, stanu i reakcji przedstawia tabela 1.

Tab. 1. Wskaźniki środowiskowe (wg Borys 1999, zmodyf.)

Wskaźniki	Opis wskaźników
Wskaźniki presji bezpośredniej i pośredniej	<ul style="list-style-type: none"> • główne źródła problemów i zagrożeń środowiskowych, np. tempo eksploatacji zasobów naturalnych, emisja zanieczyszczeń
Wskaźniki stanu	<ul style="list-style-type: none"> • jakość środowiska – ocena elementów środowiska wywierających bezpośredni wpływ na życie i zdrowie człowieka • jakość i ilość zasobów naturalnych
Wskaźniki reakcji	<ul style="list-style-type: none"> • reakcja społeczeństwa na zmiany w środowisku • działania indywidualne i zbiorowe łagodzące skutki oddziaływań człowieka na środowisko, przeciwdziałające powstawaniu skutków • działania nakierowane na zachowanie walorów i zasobów środowiska

Komisja ds. Trwałego Rozwoju Narodów Zjednoczonych (UNCSD) opracowała szczegółowy wykaz wskaźników trwałego rozwoju. Wskaźniki te podzielono według dziedzin, które składają się na funkcjonowanie społeczeństwa w środowisku przyrodniczym. Należą do nich wskaźniki społeczne, ekonomiczne, środowiskowe i instytucjonalne (Śleszyński 2000, Borys 1999).

Grupa wskaźników środowiskowych obejmuje kategorie według Agendy 21, takie jak m.in.: ochrona jakości i dostępności zasobów wodnych, gospodarowanie ekosystemami; zwalczanie pustynnienia i suszy, promocja trwałego rolnictwa i rozwoju wsi, zachowanie różnorodności biologicznej. Wskaźniki dotyczące różnorodności biologicznej dotyczą udziału powierzchni obszarów chronionych w całkowitej powierzchni kraju oraz udziału gatunków zagrożonych w całkowitej liczbie rozpoznanych krajowych gatunków.

Materiał i metody

Głównym celem podjętych badań było określenie poziomu upowszechniania idei zrównoważonego rozwoju w treściach dokumentów szkolnych i wdrażania ich wśród uczniów na poziomie gimnazjum.

Celem teoretycznym badań była analiza dokumentów – Podstawy programowej kształcenia ogólnego z biologii w gimnazjum (2009) oraz wybranych programów nauczania pod kątem upowszechniania pojęcia zrównoważonego rozwoju i jego elementów, a także częstości występowania pojęć kluczowych – wskaźników zrównoważonego rozwoju.

Tab. 2. Wskaźniki zrównoważonego rozwoju w podstawie programowej i programach nauczania biologii w gimnazjum

Typ wskaźnika	Nazwa wskaźnika	Kontekst pozwalający zaklasyfikować wyrażenie jako wskaźnik zrównoważonego rozwoju	Zagadnienia dotyczące zrównoważonego rozwoju w programach nauczania	Zagadnienia dotyczące zrównoważonego rozwoju w podstawie programowej
BEZPO-ŚREDNI	Zrównoważony rozwój	Rozwój ekonomiczny, ekologiczny, społeczny i kulturowy, dążący do podwyższenia jakości życia i wzrostu gospodarczego.	Zachowanie zdrowia ludzi ważnym czynnikiem zrównoważonego rozwoju. Charakterystyka zrównoważonego rozwoju. Rozwój zrównoważony – uzasadnienie idei ochrony przyrody. Współczesny ład ekonomiczny i jego związek z degradacją środowiska.	Różnorodność biologiczna i podstawowe procesy biologiczne. Uczeń opisuje, porządkuje i rozpoznaje organizmy, wyjaśnia zjawiska i procesy biologiczne zachodzące w wybranych organizmach i w środowisku, przedstawia i wyjaśnia zależności między organizmem a środowiskiem, wskazuje ewolucyjne źródła różnorodności biologicznej. Globalne i lokalne problemy środowiska. Uczeń: 1) przedstawia przyczyny i analizuje skutki globalnego ocieplenia klimatu; 2) proponuje działania ograniczające zużycie wody i energii elektrycznej oraz wytwarzanie odpadów w gospodarstwach domowych.
	Ekorozwój	Rozwój społeczno-gospodarczy z większym naciskiem na rozwój ekologiczny.	Znaczenie wiedzy ekologicznej w działaniach na rzecz środowiska. Przyczyny degradacji gleb oraz ich ochrona i rekultywacja. Konieczność ochrony gleb jako warunek ekorozwoju. Ekologiczny styl życia. Przybranie postawy „zielonego” konsumenta. Rozwijanie świadomości ekologicznej. Pestycydy a zdrowie człowieka. Żywność ekologiczna.	

	Problem lokalny	Problemy najbliższego otoczenia ucznia, tj. miejsca zamieszkania, szkoły, problemy regionalne, narodowe.	<p>Środowisko a odżywanie się człowieka.</p> <p>Ochrona plodów rolnych przed metalami ciężkimi, azotanami, pestycydami.</p> <p>Rolnictwo ekologiczne a żywność. Higiena produkcji i przechowywania żywności.</p> <p>Wpływ człowieka na funkcjonowanie ekosystemów.</p> <p>Środowisko a liczebność populacji człowieka.</p> <p>Liczebność a wydajność środowiska.</p> <p>Prawa ekologii podstawa gospodarowania człowieka w ekosystemach.</p>	
POŚREDNI	Problem lokalny	Problemy najbliższego otoczenia ucznia, tj. miejsca zamieszkania, szkoły, problemy regionalne, narodowe.	<p>Lokalne, regionalne działania na rzecz ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju społeczno-gospodarczego.</p> <p>Zanieczyszczenia wody i powietrza w najbliższym otoczeniu.</p> <p>Sposoby zagospodarowania terenu w najbliższej okolicy, przykłady miejsc o różnym stopniu przekształcenia przez człowieka.</p> <p>Źródła zanieczyszczeń wody i powietrza w najbliższym otoczeniu, wpływ zanieczyszczeń na organizmy.</p> <p>Przyczyny zagrożeń lasów, przyczyny pożarów.</p> <p>Stan czystości wód i zagrożenia dla środowiska wynikające z działalności gospodarczej.</p> <p>Źródła zaopatrzenia ludności miast i wsi w wodę. Odpady i ścieki.</p> <p>Degradacja środowiska – przyczyny, wpływ na zdrowie człowieka.</p> <p>Ochrona przed powodzią i ich skutkami.</p> <p>Ochrona przyrody. Formy ochrony przyrody w Polsce. Ochrona środowiska jako problem lokalny.</p> <p>Zanieczyszczenia a stan zdrowotny lasów. Wymieranie lasów w Polsce. Wpływ lasu na środowisko.</p> <p>Las a zdrowie człowieka.</p>	<p>Konieczność segregowania odpadów w gospodarstwie domowym oraz konieczność specjalnego postępowania ze zużytymi i bateriami, świetłówkami, przeterminowanymi lekami.</p> <p>Zanieczyszczenie najbliższego otoczenia (powietrza, wody, gleby). Wpływ codziennych zachowań w domu, w szkole, w miejscu zabawy na stan środowiska.</p> <p>Formy ochrony przyrody stosowane w Polsce i w najbliższej okolicy.</p> <p>Warunki życia ludzi w najbliższym otoczeniu.</p> <p>Krajobraz najbliższej okolicy: sposoby zagospodarowania obszaru, ludzie i kultura, zależność życia ludzi od czynników przyrodniczych.</p> <p>Substancje szkodliwe dla organizmów żywych i ich oddziaływanie na środowisko przyrodnicze.</p>

	Problem globalny	Globalne zjawiska społeczne, ekologiczne, gospodarcze zachodzące w skali światowej.	<p>Wpływ czynników środowiskowych, substancji szkodliwych na zdrowie i rozwój człowieka.</p> <p>Wpływ turystyki na stan środowiska przyrodniczego.</p> <p>Zanieczyszczenie powietrza, wód i gleb w związku z różnymi formami działalności człowieka. Degradacja środowiska – przyczyny, wpływ na zdrowie człowieka.</p> <p>Przyczyny i skutki niewłaściwego żywienia.</p> <p>Stan środowiska wodnego. Metody oceny jakości wód. Klasy czystości wód. Organizmy wskaźnikowe. Oczyszczalnie ścieków a jakość wody.</p> <p>Uprzemysłowienie a zdrowie człowieka.</p> <p>Wpływ cywilizacji i kultury na życie człowieka. Życie w środowisku antropogenicznym. Przejawy i konsekwencje antropopresji wywołanej przyrostem liczby ludności świata.</p> <p>Wpływ gospodarki rolnej i hodowlanej na środowisko.</p> <p>Ogólnoświatowe konsekwencje skażenia biosfery. Główne krajowe i międzynarodowe regulacje prawne jako podstawa działań na rzecz ochrony przyrody i ochrony środowiska.</p>	Przyczyny i skutki globalnego ocieplenia klimatu.
Aktywność społeczna, obywatelska	Aktywność uczniów przejawiająca się w postaci działalności na rzecz społeczności szkolnej, lokalnej oraz w postawie obywatelskiej.		<p>Określanie stopnia zanieczyszczenia powietrza, gleby, wody w najbliższej okolicy.</p> <p>Opracowanie i realizacja „projektu działań na rzecz ochrony środowiska w miejscu zamieszkania”.</p> <p>Podjęcie własnych działań zmierzających do zahamowania procesu zanieczyszczenia i degradacji środowiska.</p> <p>Potrzeba ochrony i racjonalnego zagospodarowania terenu w miejscu zamieszkania.</p> <p>Ochrona zwierząt w Polsce i na świecie.</p> <p>Główne krajowe i międzynarodowe regulacje prawne jako podstawa działań na rzecz ochrony przyrody i ochrony środowiska.</p>	<p>Działania ograniczające zużycie wody i energii elektrycznej oraz wytwarzanie odpadów w gospodarstwach domowych.</p> <p>Działania sprzyjające środowisku przyrodniczemu.</p>

	Zasoby odnawialne, nieodnawialne, naturalne środowiska	Ochrona zasobów, racjonalne ich wykorzystanie i zużywanie.	<p>Odnawialne zasoby przyrody. Ochrona powietrza, wód, gleby. Zasoby nieodnawialne i ich ochrona. Znaczenie obszarów chronionych w zachowaniu równowagi między wszystkimi komponentami oraz różnorodności biologicznej świata. Wpływ pierwotnego człowieka na środowisko. Skutki niekontrolowanej działalności człowieka.</p> <p>Style życia i ich związek z wyczerpywaniem się zasobów naturalnych.</p> <p>Ograniczalność zasobów przyrody i perspektywy ich wyczerpania lub degradacji. Nowoczesne, przyjazne środowisku technologie ograniczające zużycie energii, surowców, odpadów. Wykorzystanie surowców wtórnych. Skutki niekontrolowanej konsumpcji zasobów.</p>	Krajobrazy naturalne i przekształcone przez człowieka
	Potrzeby życiowe człowieka i możliwości ich zaspokajania.	Dążenie do zapewnienia podstawowych potrzeb życiowych człowieka, z myślą o przyszłych pokoleniach.	<p>Środowisko a odżywianie człowieka. Czynniki wpływające na jakość pokarmów. Ochrona plodów rolnych przed metalami ciężkimi, azotanami, pestycydami. Rolnictwo ekologiczne a żywność.</p> <p>Człowiek w środowisku. Negatywny i pozytywny wpływ środowiska na życie człowieka.</p> <p>Następstwa dążenia do podwyższenia standardu jakości życia. Wpływ gospodarki rolnej i hodowlanej na środowisko. Zanieczyszczenia wód a zdrowie człowieka. Dekalog działań służących zmniejszeniu zanieczyszczeń wód.</p> <p>Wpływ czynników środowiskowych, substancji szkodliwych na zdrowie i rozwój człowieka.</p>	<p>Negatywny wpływ na zdrowie człowieka niektórych substancji psychoaktywnych, narkotyków i środków dopingujących oraz nadużywanie kofeiny i niektórych leków, zwłaszcza oddziałujących na psychikę.</p> <p>Czynniki pozytywnie i negatywnie wpływające na samopoczucie w szkole oraz w domu, sposoby eliminowania czynników negatywnych. Znaczenie odpoczynku, odżywiania się i aktywności ruchowej w prawidłowym funkcjonowaniu organizmu.</p>

				<p>Przykłady negatywnego wpływu wybranych gatunków zwierząt, roślin, grzybów, bakterii i wirusów na zdrowie człowieka, zachowania zapobiegające chorobom przenoszonym i wywoływanym przez nie.</p> <p>Zasady postępowania z produktami spożywczymi od momentu zakupu do spożycia (termin przydatności, przechowywanie, przygotowywanie posiłków).</p> <p>Zasady zdrowego stylu życia i konieczność ich stosowania.</p> <p>Wpływ środowiska na zdrowie człowieka: substancje szkodliwe i ich wpływ na organizm człowieka, rola wody, powietrza, gleby, ich odtwarzalność, czystość i skażenie.</p>
--	--	--	--	---

Celem praktycznym badań było opracowanie wykazu wskaźników – słów kluczowych, których obecność świadczy o występowaniu w treściach dokumentów szkolnych: podstawy programowej kształcenia ogólnego i programów nauczania, pojęć związanych ze zrównoważonym rozwojem (tabela 2). Wyróżniono dwa typy wskaźników ekorozwoju: bezpośrednie oraz pośrednie.

Dokonano analizy programów nauczania biologii w gimnazjum (Klimuszko 1999, Długowiejska i wsp. 1999, Kamecka-Krupa 1999) w celu określenia, czy pojęcie zrównoważonego rozwoju występuje w nich w postaci wskaźników pośrednich czy bezpośrednich. Analizą objęto wybrane działy programów nauczania: „Ochrona środowiska”, „Znaczenie środowiska dla człowieka a komfort życia”, „Człowiek w środowisku”, „Ekologia”.

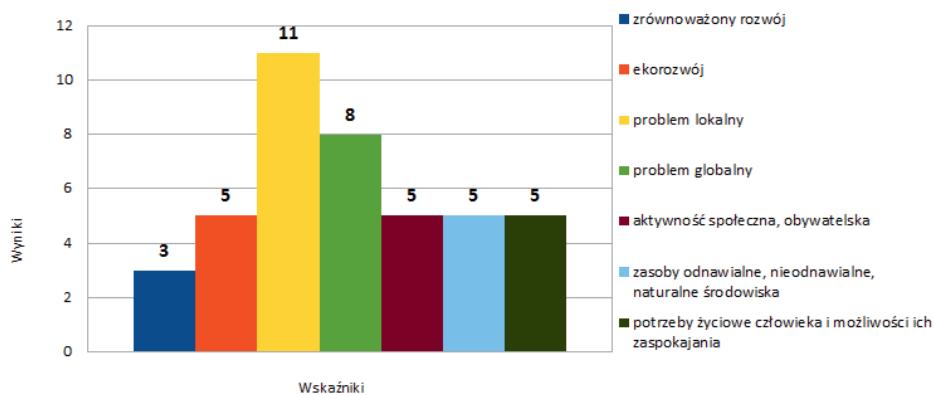
Wyniki badań

Na podstawie analizy programów nauczania stwierdzono, że problematyka zrównoważonego rozwoju podejmowana jest w nich w kilku aspektach, jako:

I. Rozwój zrównoważony, którego celem jest rozwój społeczno-gospodarczy uwzględniający wymogi ekologiczne.

II. Rozwój zrównoważony, którego zadaniem jest utrzymanie bogactwa życia na Ziemi.

III. Rozwój zrównoważony, którego celem jest podnoszenie jakości życia człowieka.

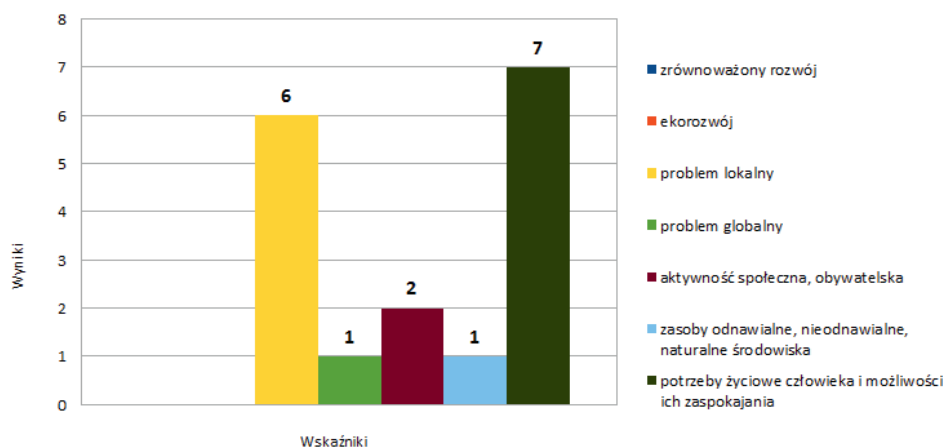


Ryc. 1. Liczba wystąpień wskaźników zrównoważonego rozwoju na III etapie kształcenia w programach nauczania biologii w gimnazjum

Najczęściej występującym wskaźnikiem zrównoważonego rozwoju w programach nauczania jest wskaźnik pośredni: problemy lokalne. Dzieje się tak, ponieważ programy nauczania zakładają, że uczeń na II i III etapie kształcenia powinien znać wszystkie problemy lokalne swojego otoczenia, znać najlepsze metody rozwiązywania tych problemów oraz metody najkorzystniejsze dla utrzymania odpowiednich warunków życia nie tylko dla siebie, ale także dla przyszłych pokoleń. Jak wynika z dokonanej analizy dokumentów, autorzy programów nauczania stawiają

na pierwszym miejscu problemy globalne, które są również ważnym wskaźnikiem zrównoważonego rozwoju, a jednocześnie ważnym zjawiskiem dla zdrowia i rozwoju człowieka. Młody człowiek, przed którym otwiera się ścieżka życia, powinien znać takie problemy, jak: zanieczyszczenie powietrza, wód i gleb czy wpływ cywilizacji i kultury na życie człowieka.

Kolejno w równym stopniu w programach nauczania występuje wskaźnik bezpośredni, jakim jest ekorozwój, oraz wskaźniki pośrednie, takie jak: aktywność społeczna i obywatelska; zasoby odnawialne, nieodnawialne i naturalne środowiska oraz potrzeby życiowe człowieka i możliwości ich zaspokajania. Autorzy traktują te wskaźniki na jednakowym poziomie ważności, uważają, że powinny w równym stopniu występować w programach nauczania, ponieważ zarówno ekologiczny styl życia, jak i aktywność społeczna przejawiająca się w postaci działalności na rzecz społeczności szkolnej, lokalnej oraz ochrona zasobów, racjonalne ich wykorzystanie i zużywanie, a także dążenie do zapewnienia podstawowych potrzeb życiowych człowieka powinny być w jednakowym stopniu wdrażane uczniom, jako ważne czynniki podnoszące jakość życia. Samo pojęcie zrównoważony rozwój pojawiło się w programach nauczania trzykrotnie, jako m.in. idea ochrony przyrody oraz współczesny ład ekonomiczny i jego związek z degradacją środowiska. Na tym etapie kształcenia uczeń nie zrozumie tego pojęcia, dlatego aby ucznia wprowadzić w znaczenie tego problemu przedstawia się zastępcze wskaźniki, które są mu bliższe i bardziej znane, a które dążą do realizacji założeń dla rozwoju zrównoważonego.



Ryc. 2. Liczba wystąpień wskaźników zrównoważonego rozwoju na III etapie kształcenia w podstawie programowej z 2009 r.

W Podstawie programowej z biologii w gimnazjum (2009) do najliczniej występujących wskaźników zrównoważonego rozwoju należą wskaźniki pośrednie, takie jak: potrzeby życiowe człowieka i możliwości ich zaspokajania. Podstawa programowa za główny cel stawia przygotowanie młodego człowieka do życia i ukierunkowanie go na prawidłowe zachowania dążące do zaspokojenia najważniejszych potrzeb człowieka. Kolejnym ważnym wskaźnikiem występującym równie często w podstawie programowej jest problem lokalny. Podstawa programowa zakłada

w dużym stopniu, podobnie jak programy nauczania, realizację tego problemu na lekcjach biologii. W niewielkim stopniu pojawia się w podstawie programowej: aktywność społeczna i obywatelska, być może dlatego, że nie każda szkoła może zapewnić uczniom warunki do działania na rzecz społeczeństwa. Jednorazowo występuje problem globalny oraz zasoby odnawialne, nieodnawialne i naturalne środowiska.

Edukacja XXI wieku, zgodnie z założeniami przeprowadzonej reformy oświaty, zmierza w stronę kształcenia umiejętności i integracji międzyprzedmiotowej. Głównym celem kształcenia staje się wszechstronny rozwój osobowości człowieka i przygotowanie go do twórczego i samodzielnego życia w ciągle zmieniającym się społeczeństwie. Konieczne wydaje się określenie ram prawnych wspierających strategię edukacji dla zrównoważonego rozwoju w kontekście realizacji lokalnych programów edukacji dla zrównoważonego rozwoju. Wprowadzenie do programów nauczania elementów kształcenia dla zrównoważonego rozwoju i zasad etyki środowiskowej to kolejne ważne zadanie dla edukacji. Misją szkoły powinno być eksponowanie szczególnie takich zasad, jak: odpowiedzialność za siebie i stan środowiska przyrodniczego, ograniczenie konsumpcjonizmu, szacunek do życia i do własnego zdrowia. Dobrze opracowany program działań ekologicznych i środowiskowych spowoduje, że szkoła stanie się liderem w procesie edukacji dla zrównoważonego rozwoju.

Literatura

- Borys T. (red.), 1999, *Wskaźniki ekorozwoju*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- Dobrzański G., 2006, *Wyzwania wobec edukacji na rzecz zrównoważonego rozwoju w szkolnictwie wyższym*, [w:] *Ekonomia i środowisko. Doskonalenie metod i form kształcenia ekonomiczno-ekologicznego w szkołach wyższych*, Białystok.
- Kalinowska A., 2008, *Artykuł 13. W poszukiwaniu społecznego wsparcia w zarządzaniu Konwencją o różnorodności biologicznej. Polska praktyka na tle doświadczeń światowych*, Agencja Wyd. A. Grzegorzcyk, Warszawa.
- Kozłowski S., 2007, *Przyszłość ekorozwoju*, Wydawnictwo KUL, Lublin.
- Stawiński W., 2000, *Przygotowanie nauczycieli przyrody i biologii do kształcenia dla zrównoważonego rozwoju*, [w:] D. Cichy (red.), *Podstawy kształcenia dla zrównoważonego rozwoju*, PAN Komitet „Człowiek i Środowisko”, Warszawa.
- Śleszyński J., 2000, *Ekonomiczne problemy ochrony środowiska*, Agencja Wydawnicza ARIES, Warszawa.
- Trząski L., 2003, *Edukacja ekologiczna*, Videograf Edukacja, Katowice.
- Tuszyńska L., 2010, *Strategia edukacji dla zrównoważonego rozwoju i jej realizacja w polskiej szkole*, [w:] L. Tuszyńska (red.), *Edukacja środowiskowa w społeczeństwie wiedzy*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa.

Programy nauczania

Długowiejska J., Stawiński W., Zębalska E., 1999, *Program nauczania Biologii w klasach I–III gimnazjum*, Wydawnictwo Kubajak.

Kamecka-Krupa J., 1999, *Program nauczania Biologii w klasach I–III gimnazjum*, Wydawnictwo Edukacyjne, Kraków.

Klimuszko B., 1999, *Program nauczania Biologii w gimnazjum*, Wydawnictwo Akademickie Żak, Warszawa.

Sustainable development and biodiversity in the formal system of education**Abstract**

Biodiversity includes all the richness of life on Earth - from genetic diversity to the diversity of species and ecosystems. Education for biodiversity is directly derived from biological and environmental education. In modern terms, it combines the natural social and economic aspects and relates directly or indirectly to all areas of human life, from health to culture. At the time when Earth's biodiversity is being reduced at an alarming rate, the need to reach the public consciousness with the knowledge of the consequences of that threat and to look for ways of counteraction became a global challenge.

The presence of content related to the broad issues of biodiversity and sustainable development in the core curriculum of general education (2009) and the curricula of biology is one of the obligations under Article 13 of the Convention on Biological Diversity. Based on the analysis of documents devoted to the Decade of Education for Sustainable Development, a list of indicators has been prepared - key words, the presence of which indicates the presence of the curriculum content in high school biology curriculum and the concept of sustainable development.

The conclusions of the analysis are to show if there is any change in the "Curricular basis for general education" concerning nature and biological and ecological education, a change that would offer new opportunities to implement the Sustainable Development idea in Polish schools. Environmental knowledge of students and local communities has increasingly been recognized as one of the foundations of sustainable development and the basis for proper protection of cultural and biological diversity.

Alicja Walosik

Uniwersytet Pedagogiczny

Instytut Biologii

Zakład Edukacji, Komunikacji i Mediacji Przyrodniczej

ul. Podbrzezie 3, 31-054 Kraków

alice@ap.krakow.pl

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia ad Didacticam Biologiae Pertinentia II (2012)

Alina Stankiewicz

Problemy bioróżnorodności w podstawie programowej kształcenia ogólnego

O potrzebie podjęcia natychmiastowych działań w celu ochrony bioróżnorodności zaapelowano w 1992 r. na Konferencji ONZ „Środowisko i Rozwój”. Podczas tej konferencji przyjęto konwencję o bioróżnorodności, która ma ogromne znaczenie dla utrzymania gatunków i zrównoważonego wykorzystania zasobów biologicznych. W konwencji zobowiązuje się kraje do opracowania narodowych strategii, planów dotyczących ochrony i zrównoważonego wykorzystania bioróżnorodności oraz możliwości międzynarodowej współpracy w zakresie dostępu do zasobów genetycznych i przekazywania technologii, a także odpowiedniego dzielenia się korzyściami wynikającymi z ich zastosowania. Współpraca międzynarodowa ma się przejawiać w zakresie propagowania problemów ochrony i zrównoważonego rozwoju, wykorzystania bioróżnorodności w środkach masowego przekazu i rozwijania programów edukacyjnych dotyczących tej problematyki (Cichy 2007).

Utrata bioróżnorodności wydaje się największym zagrożeniem życia na Ziemi. Dane na temat liczby gatunków ginących w ciągu roku oraz prognozy dotyczące tego zjawiska na najbliższe dziesięciolecia różnią się w ocenach poszczególnych organizacji i instytutów naukowych (Symonides 1995). Według Programu Środowiskowego ONZ (UNEP), 50–55 tysięcy gatunków wymiera co roku w wyniku działalności człowieka. W raporcie Milenijnej Oceny Ekosystemu (największej oceny stanu ekosystemów na Ziemi, jakiej kiedykolwiek się podjęto) pojawia się informacja o 1000-krotnym przyspieszeniu tempa wymierania gatunków (Millennium Ecosystem Assessment 2005, za: Skubała, Kukowka 2010). W związku z wymieraniem gatunków, kurczeniem się ich zasięgu oraz unifikacją środowisk na wielu obszarach kuli ziemskiej różnorodność genetyczna biosfery obniża się równie drastycznie jak różnorodność gatunkowa i ekosystemalna (Symonides 1995). Pełny zakres różnorodności biologicznej nie został jeszcze poznany. Szacuje się, że na Ziemi jest co najmniej 10 tys. typów ekosystemów lądowych i morskich i żyje prawdopodobnie 5–30 mln gatunków. Poznanych i opisanych jest ok. 1,5 mln gatunków. Różnorodność jest ogromną siłą organizmów, która daje roślinom i zwierzętom szanse przystosowania się do zmiennych i zmieniających się warunków środowiska oraz pełnego wykorzystania jego zasobów. Dla człowieka bioróżnorodność ma

ogromne znaczenie ekonomiczne i jest potężnym czynnikiem kształtującym biosferę. Ochronę różnorodności biologicznej traktuje się jako naczelny cel wszystkich przedsięwzięć w ochronie przyrody (*Encyklopedia szkolna – biologia* 1999).

Pojęcie „różnorodność biologiczna” w oficjalnych dokumentach powszechnie funkcjonuje od 1992 r. Pojawiło się wraz z Konwencją o różnorodności biologicznej, ogłoszoną podczas Szczytu Ziemi ONZ w Rio de Janeiro. Termin ten obejmuje i logicznie łączy inne pojęcia, powszechnie znane i stosowane, takie jak ochrona przyrody, zrównoważone rolnictwo i leśnictwo czy też szerzej – zrównoważona eksploatacja zasobów przyrody, a wreszcie: rozwój zrównoważony (Andrzejewski 2005). Według Konwencji, pod terminem różnorodność biologiczna rozumie się zróżnicowanie wszystkich żywych organizmów występujących na Ziemi w ekosystemach lądowych, morskich i słodkowodnych oraz w zespołach ekologicznych, których są częścią; dotyczy to różnorodności w obrębie gatunku, pomiędzy gatunkami oraz różnorodności ekosystemów. Bioróżnorodność ma podstawowe znaczenie dla ewolucji oraz dla utrzymania systemów podtrzymujących życie w biosferze. Ma fundamentalne znaczenie dla całej ludzkości (Kozłowski 1995).

W *Encyklopedii szkolnej – biologia* (1999) w definicji pojęcia „różnorodność biologiczna” podkreślono, że jest to sposób uzewnętrzniania się informacji genetycznej tkwiącej w zasobach genowych Ziemi, inaczej – różnorodność form i struktury żywej materii. Rozróżnia się trzy poziomy różnorodności biologicznej: genetyczny, gatunkowy, ekologiczny. Bioróżnorodność traktowana jest również jako symptom stanu przyrody (im większa bioróżnorodność, tym lepszy stan przyrody). Globalne ocieplenie klimatu, ponieważ sprzyja m.in. wylesieniu i ginięciu kolejnych gatunków, niszczy bioróżnorodność (*Ekologia...* 2009). Podobne efekty przynosi także spowodowane ociepleniem klęski żywiołowe oraz bezpośrednia działalność ludzka (np. urbanizacja i wielkoobszarowe rolnictwo sprzyjają tworzeniu się monokultur, tzn. ekosystemów zdominowanych przez jedną formę życia). Według Ewy Symonides (1995), różnorodność biologiczną można odnosić do biosfery jako całości lub do jej fragmentów: biomów, regionów geograficzno-przyrodniczych, fizjocenoz (krajobrazów ekologicznych) lub jakiegokolwiek obszaru, na przykład jeziora Łebsko, Kampinoskiego Parku Narodowego, Tatr, Mazowsza, Polski lub Europy. Przez różnorodność biologiczną danego obszaru, niezależnie od skali przestrzennej, w jakiej jest rozpatrywana, rozumie się przede wszystkim jego bogactwo gatunkowe (zazwyczaj mierzone liczbą gatunków), genetyczne (na ogół tym większe, im większa jest liczba lokalnych populacji, ogólny zasięg gatunku i silniej zróżnicowany zakres środowisk, w jakich on występuje), wreszcie ekosystemalne lub biocenotyczne (odzwierciedlające zwykle naturalną heterogenność warunków środowiska abiotycznego, a także różnorodność sposobu użytkowania przestrzeni przyrodniczej przez człowieka).

Przyjęta podczas konferencji Konwencja o różnorodności biologicznej oraz Agenda 21 wytyczyły działania edukacji formalnej i nieformalnej w odniesieniu do różnych kategorii wieku oraz różnych środowisk i zawodów. Edukację w zakresie bioróżnorodności należy traktować jako nierozłączny element edukacji dla zrównoważonego rozwoju, która obejmuje poznanie bioróżnorodności na poziomie globalnym, europejskim, krajowym, regionalnym i lokalnym. Celem tej edukacji jest także uwrażliwienie w procesie kształcenia na wartości, bez których niemożliwy byłby dalszy rozwój oparty na respektowaniu godności ludzkiej, poszanowaniu

różnorodności, ochrony środowiska naturalnego i zasobów naszej planety. Edukacja w zakresie bioróżnorodności ma zatem znaczenie dla ochrony przyrody i ochrony środowiska oraz dla kształtowania ładu środowiskowego i przestrzennego. Stąd też jednym z zadań samorządów i społeczności lokalnych jest przywracanie zanikających ras bydła, rewitalizacja zaniedbanych ogrodów, parków.

Polski system edukacji ma długą tradycję w zakresie kształcenia o bioróżnorodności, szczególnie w aspekcie różnorodności gatunkowej. Już Komisja Edukacji Narodowej wprowadziła historię naturalną jako przedmiot nauczania do wszystkich szkół średnich, a jej elementy nawet do szkół parafialnych. Prace Towarzystwa do Ksiąg Elementarnych nad podręcznikami botaniki, zoologii i nauki o człowieku doprowadziły do sprecyzowania kryteriów doboru treści rzeczowych oraz do sformułowania pierwszych wskazówek metodycznych, dotyczących nauczania historii naturalnej, m.in. postulowano wykorzystanie w procesie nauczania okazów naturalnych, rozpoznawanie roślin, prowadzenie przez uczniów terenowych obserwacji biologicznych. Trwałym dorobkiem Towarzystwa było opracowanie dwóch podręczników historii naturalnej – *Botanika dla szkół narodowych* (1785) i *Zoologia, czyli Zwierzętopismo* (1789). Autorem wymienionych podręczników był ks. K. Kluk (Stawiński 2006).

Samo pojęcie „bioróżnorodność” do treści kształcenia zostało wprowadzone w zapisach podstawy programowej przedmiotu biologia i ścieżki ekologicznej na poziomie gimnazjum oraz szkoły ponadgimnazjalnej w zakresie podstawowym i rozszerzonym (Rozporządzenie... 2001). Według zapisów w podstawie programowej, uczniowie gimnazjum poznawali różnorodność świata żywego w aspekcie różnorodności budowy organizmów (jednokomórkowe, wielokomórkowe, beztkankowe, tkankowe, posiadające narządy i układy), ich czynności życiowych (np. sposobów odżywiania się organizmów, oddychania, rozmnażania) oraz różnorodnych zależności między organizmami a środowiskiem. W podstawie programowej na poziomie gimnazjum nie zalecano poznania różnorodności gatunków w podejściu systematycznym, taksonomicznym, co z pewnością utrudniało uczniom usystematyzowanie wiedzy o różnorodności gatunków. Według zapisów w ścieżce ekologicznej uczniowie powinni poznać różnorodność biologiczną na poziomie gatunkowym, genetycznym i ekosystemów oraz znaczenie jej ochrony. Opanowanie przez uczniów pojęcia różnorodność genetyczna było na poziomie gimnazjum trudne do zrealizowania. Proponowany zakres treści kształcenia charakteryzował się zbyt dużym poziomem trudności pojęć i terminów naukowych, niedostosowanym do możliwości ucznia gimnazjum oraz do posiadanej przez niego wiedzy wyjściowej. Jak wykazała praktyka szkolna, ostatecznie zapisy dotyczące ścieżek edukacyjnych nie były realizowane (takie wnioski znalazły się w uzasadnieniu wprowadzanej nowej podstawy programowej w 2009 r.).

Na poziomie szkoły ponadgimnazjalnej zagadnienie bioróżnorodności zaplanowano do realizacji w zakresie podstawowym i rozszerzonym. W zakresie podstawowym założono pogłębienie przez uczniów rozumienia potrzeby zachowania bioróżnorodności, a co do samych zagadnień dotyczących bioróżnorodności zaleca się, by były opracowywane w powiązaniu z zagadnieniami ewolucyjnymi (np. „ewolucja i różnorodność biologiczna, znaczenie różnorodności biologicznej dla człowieka i przyrody”). Zapis zaleca poznanie przez uczniów czynników kształtujących

i sprzyjających utrzymaniu różnorodności biologicznej (tj. różnorodność siedlisk, zależności międzygatunkowe) oraz wpływu nowych form uprawy roślin i nowych odmian zwierząt hodowlanych na środowisko i zdrowie człowieka. Poznanie przez uczniów wymienionych problemów ma służyć podwyższeniu ich świadomości dotyczącej wartości różnorodności biologicznej oraz zrozumieniu przyrodniczych następstw jej ograniczania.

W zakresie rozszerzonym w podstawie programowej (2001) zaplanowano poznanie różnorodności życia na Ziemi poprzez takie zagadnienia, jak: klasyfikowanie organizmów; przegląd różnych grup systematycznych: wirusy, bakterie, porosty, grzyby, rośliny, zwierzęta; podstawowe czynności życiowe roślin i zwierząt: odżywianie, oddychanie, transport, wydalanie, koordynacja, rozmnażanie. W przeglądzie grup organizmów pominięto organizmy z królestwa Protista, a porosty wyodrębniono z królestwa grzybów. W podstawie programowej w zagadnieniach dotyczących ewolucji znalazły się zapisy o zjawiskach genetycznych w populacjach, o powstawaniu gatunków. Zrozumieniu bioróżnorodności na poziomie ekosystemalnym miało służyć poznanie przez uczniów zależności międzygatunkowych oraz lądowych i wodnych stref życia. Brak natomiast jest zapisów dotyczących poznania różnych ekosystemów Ziemi. Zagadnienia z zakresu biogeografii mają w liceum bardzo wąski zakres treści. Podsumowując, można stwierdzić, iż w zapisach podstawy programowej do liceum, w porównaniu z gimnazjum, rozszerzono zagadnienie odnoszące się do różnorodności na poziomie gatunkowym, genetycznym i ekosystemalnym.

Zdaniem Stawińskiego (2003), na świecie doszło do zbyt daleko idącej redukcji treści kształcenia z dziedziny taksonomii i systematyki, które, odpowiednio ujęte, winny stanowić czynnik strukturotwórczy programów biologii. Z tego względu Międzynarodowa Unia Nauk Biologicznych apelowała o podjęcie działań, zapobiegających ich dalszej deprecjacji. Tymczasem niedocenienie wiedzy z tej dziedziny, jak też dotyczącej różnicowania form – budowy zewnętrznej i wewnętrznej, warunków życia i etologii organizmów, prowadzi do niszczenia podstaw niezbędnych do zrozumienia treści z ekologii oraz istoty bioróżnorodności. Zagadnienia dotyczące etologii są pomijane w podstawach programowych od 1999 roku. Uczniowie gimnazjum, zdaniem Stawińskiego (2003), mogą nie zrozumieć problemu bioróżnorodności oraz funkcjonowania biocenoz i ekosystemów, ponieważ prawie całkowicie pominięte zostały w programach nauczania zagadnienia z systematyki i zróżnicowania form organizmów. Treści te, odpowiednio ujęte, powinny stanowić czynnik strukturotwórczy programów nauczania biologii. Niezrozumienie wiedzy z tej dziedziny, jak też dotyczącej zróżnicowania form budowy i warunków życia organizmów, prowadzi do braku zrozumienia podstaw wiedzy ekologicznej oraz istoty i znaczenia bioróżnorodności. Przewidywania profesora Stawińskiego potwierdziły wyniki badań prowadzone przez Suskę-Wróbel (2005). Zgodnie z przyjętą koncepcją badań, związaną z diagnozą zasobu wiedzy w zakresie bioróżnorodności, przeprowadzono badania wśród uczniów klas VI szkół podstawowych z terenu Polski północnej. Badani uczniowie nie mieli problemów z rozpoznawaniem bardzo popularnych organizmów występujących pospolicie lub związanych z wiedzą pozabiologiczną. Bóbr, łoś, kret, jeź, wróbel to nie tylko organizmy poznawane już w okresie przedszkolnym w ramach edukacji, ale także postaci z popularnych bajek. Rozpoznawalność tych organizmów wynosiła 92–100%. Spośród roślin problemów

nie nastęrcza uczniom rozpoznawanie okazów związanych z życiem codziennym. Świerk, dąb, malina czy borówka czarna rozpoznawane są przez 80–90% uczniów. Poniżej 20% uczniów rozpoznaje kozicę, stułbę, cis, modrzew, kosa. W tej grupie znalazły się organizmy zarówno mniej pospolite i rzadko pojawiające się w programach nauczania (łyska, kuna), jak i bardzo rozpowszechnione w środowiskach synantropijnych i jednocześnie znajdujące się w kanonach kształcenia w szkole podstawowej (krwawnik pospolity, buk, jesion, sójka, kawka). Zasób wiedzy w zakresie różnorodności gatunkowej organizmów pospolicie występujących jest niski. Reforma systemu oświaty nie przyczyniła się w znaczącym stopniu do jej podniesienia. Oderwanie edukacji w zakresie bioróżnorodności od poznawania jej w naturalnym środowisku, choćby na podstawie okazów naturalnych, nie sprzyja trwałości wiedzy przyrodniczej ani utrwalaniu jednej z najbardziej fundamentalnych umiejętności biologicznych.

Badania dotyczące znajomości bioróżnorodności przeprowadziła wśród uczniów klas I–III LO Obrębska (2003). Ich celem było zebranie opinii uczniów na temat znajomości przez nich roślin i zwierząt oraz znaczenia wiedzy z systematyki biologicznej. 58,3% ankietowanych uczniów deklaruowało swoje zainteresowanie roślinami i zwierzętami (z klas biologiczno-chemicznych – 76,7%). Spośród wszystkich badanych około połowa znała po 5 gatunków drzew i krzewów oraz roślin zielnych i 3 gatunki ptaków. Niewielu uczniów znało większą liczbę gatunków wymienionych grup organizmów. Przekonanie o potrzebie poznawania różnorodności gatunkowej organizmów oraz przydatności człowiekowi tej wiedzy w życiu i pracy uznało 88,6% badanych. Według 11,4% respondentów wiedza ta jest nieprzydatna wykształconemu człowiekowi. Badani podkreślali, że znajomość pospolitych roślin i zwierząt jest niezbędna tylko niektórym osobom, wykonującym określone zawody (np. rolnikom), i nie wiązali tej wiedzy z ogólnym wykształceniem.

Czy wprowadzane od 2009 r. zmiany programowe przyczynią się do podwyższenia znajomości różnorodności gatunków roślin i zwierząt przez uczniów, czy wzbogacą ich wiedzę na temat bioróżnorodności genetycznej i ekosystemalnej? Założone w podstawie programowej cele odnoszące się do bioróżnorodności zebrano w tabeli 1.

Analiza celów z tabeli 1 pozwala odczytać zalecenia dotyczące nauczania w zakresie bioróżnorodności. Można stwierdzić, że zagadnienia różnorodności biologicznej są wprowadzane zgodnie z zasadą stopniowania trudności i stosownie do wiedzy wyjściowej i możliwości intelektualnych uczniów. Na poziomie szkoły podstawowej samo pojęcie różnorodność biologiczna nie występuje, lecz jest wyjaśniane w formie opisowej. Ilustrują to zapisy przykładowych wymagań szczegółowych z podstawy programowej przedmiotu przyroda w szkole podstawowej: uczeń obserwuje i nazywa typowe organizmy lasu, łąki, pola uprawnego, opisuje przystosowania budowy zewnętrznej i czynności życiowych organizmów lądowych do środowiska życia, obserwuje i nazywa typowe rośliny i zwierzęta żyjące w jeziorze lub rzece, opisuje przystosowania ich budowy zewnętrznej i czynności życiowych do środowiska życia, charakteryzuje wybrane krajobrazy Polski: gór wysokich, wyżyny wapiennej, nizinny, pojezierny, nadmorski i in., opisuje krajobrazy wybranych obszarów Europy (śródlądowy, alpejski), charakteryzuje wybrane organizmy oceanu, opisuje ich przystosowania w budowie zewnętrznej do życia na różnej

głębokości, opisuje krajobrazy świata, charakteryzuje przystosowania do nich wybranych organizmów, rozpoznaje i nazywa organizmy roślinne i zwierzęce typowe dla poznanych krajobrazów. Zatem w zapisie na poziomie szkoły podstawowej można odnaleźć punkty odnoszące się do różnorodności gatunkowej oraz ekosystemalnej, najbliższej okolicy (poziom lokalny, regionalny), kraju, Europy i świata.

Tab. 1. Wymagania ogólne odnoszące się do nauczania problemów różnorodności biologicznej na poszczególnych etapach edukacji

Szkoła podstawowa	Gimnazjum	Biologia IV etap edukacyjny – zakres podstawowy	Biologia IV etap edukacyjny – zakres rozszerzony
I. Zaciekawienie światem przyrody: uczeń stawia pytania dotyczące zjawisk zachodzących w przyrodzie; prezentuje postawę badawczą w poznawaniu prawidłowości świata przyrody przez poszukiwanie odpowiedzi na pytania: „dlaczego?”, „jak jest?”, „co się stanie gdy?” IV. Poszanowanie przyrody: uczeń działa na rzecz ochrony przyrody	I. Znajomość różnorodności biologicznej i podstawowych procesów biologicznych: uczeń opisuje i porządkuje organizmy, wyjaśnia zjawiska i procesy biologiczne zachodzące w wybranych organizmach i w środowisku, przedstawia i wyjaśnia zależności między organizmem a środowiskiem, wskazuje ewolucyjne źródła różnorodności biologicznej	III. Postawa wobec przyrody i środowiska: uczeń rozumie znaczenie i konieczność ochrony przyrody; prezentuje postawę szacunku wobec siebie i wszystkich istot żywych; opisuje postawę i zachowanie człowieka odpowiedzialnie korzystającego z dóbr przyrody	I. Poznanie świata organizmów na różnych poziomach organizacji życia – uczeń wskazuje źródła różnorodności biologicznej i jej reprezentację na poziomie genetycznym, gatunkowym i ekosystemów; interpretuje różnorodność organizmów na Ziemi jako efekt ewolucji biologicznej

Na poziomie gimnazjum założono poznanie przez ucznia różnorodności biologicznej i podstawowych procesów biologicznych oraz wskazanie ewolucyjnych źródeł różnorodności biologicznej. Zagadnienia bioróżnorodności uwzględniono w następujących działach podstawy programowej: systematyka, ekologia, ewolucja życia oraz globalne i lokalne problemy środowiska. Kolejność opracowywania zaproponowanych zagadnień w podstawie programowej jest zgodna z zasadą stopniowania trudności i systematyczności. Poznanie przez uczniów gatunków roślin, zwierząt, ich wymagań i czynności życiowych jest niezbędne do zrozumienia zależności między organizmami a środowiskiem. Natomiast znajomość powiązań organizmów ze środowiskiem ułatwia zrozumienie trwałości i ciągłości życia na Ziemi. W gimnazjum zatem możemy mówić o trzech skalach różnorodności biologicznej, tj. genetycznej, taksonomicznej i ekologicznej. Podobnie jak w okresie obowiązywania „starej” podstawy programowej (2001), na poziomie gimnazjum nie sugeruje się żadnego formalnego systemu klasyfikacji organizmów. Podkreśla się jednak konieczność kształtowania umiejętności odróżniania organizmów od siebie, np. gadów od płazów (np. jaszczurkę od salamandry), oraz zrozumienie, że różnorodność form organizmów jest wynikiem adaptacji do warunków środowiska. W zaleceniach do nauczania zwraca się uwagę na to, by nie skupiać się na szczegółowej

charakterystyce poszczególnych grup organizmów ani nie wchodzi w szczególności budowy morfologicznej i anatomicznej lub fizjologii. Zgodnie z zaleceniami, w nauczaniu różnorodności gatunków trzeba się skupić na najprostszych cechach, które uczeń może sam zaobserwować na okazach żywych lub zakonserwowanych. Przegląd systematyczny ma służyć przedstawianiu funkcjonowania organizmów najprostszych i złożonych oraz ukazywać związek ich budowy z trybem życia i występowaniem w przyrodzie. Zwraca się uwagę na znaczenie różnych gatunków dla człowieka, pomija się zaś znaczenie gatunków w przyrodzie. Sposób poznawania przez uczniów różnorodności gatunkowej przedstawiają wybrane zapisy wymagań szczegółowych, np. uczeń wymienia cechy umożliwiające zaklasyfikowanie organizmu do grzybów oraz identyfikuje nieznanego organizm jako przedstawiciela grzybów na podstawie obecności tych cech; wskazuje miejsca występowania grzybów; porównuje cechy morfologiczne glonów i roślin lądowych, wymienia cechy umożliwiające zaklasyfikowanie organizmu do parzydełkowców, płazińców, nicieni, pierścienic, stawonogów, mięczaków, ryb, płazów, gadów, ptaków, ssaków oraz identyfikuje nieznanego organizm jako przedstawiciela jednej z wymienionych grup na podstawie obecności tych cech; porównuje cechy morfologiczne, środowisko i tryb życia grup zwierząt, w szczególności porównuje grupy kręgowców pod kątem pokrycia ciała, narządów wymiany gazowej, ciepłoty ciała, rozmnażania i rozwoju; przedstawia znaczenie poznanych grzybów, roślin i zwierząt w środowisku i dla człowieka.

W komentarzu do podstawy programowej przedmiotu biologia (2010) odnośnie do realizacji działu ekologia wskazuje się na konieczność nawiązywania do przeglądu systematycznego organizmów, a jednocześnie nawiązywanie do działu „Ewolucja”. Np. na przykładzie roślinożerców, drapieżników i pasożytów wprowadzić pojęcie adaptacji, wskazywać powiązania między organizmami i środowiskiem nieożywionym, dowieść, że skutki konkurencji są niezbędne do wyjaśnienia doboru naturalnego. Zwraca się uwagę na potrzebę skoncentrowania nauczania na wyjaśnianiu zależności, a nie na definiowaniu i zapamiętywaniu pojęć. Przy omawianiu zagadnień ewolucji życia zwraca się uwagę, że tylko w nawiązaniu do doboru naturalnego można wyjaśnić powstanie adaptacji w budowie organizmów i zrozumieć np. związek między budową różnych struktur a pełnionymi przez nie funkcjami. Zwraca się uwagę, że odwołania do teorii ewolucji powinny się znaleźć w całym programie nauczania biologii. Jest to bardzo ambitne założenie, szczególnie wysoki poziom trudności wiąże się ze zrozumieniem przez ucznia ewolucyjnych źródeł bioróżnorodności. W gimnazjum należy skupić się przede wszystkim na wytłumaczeniu podstawowego mechanizmu ewolucji, jakim jest dobór naturalny. Należy wskazać na zjawisko dziedziczenia i mutacji jako źródło zmienności genetycznej, zaś jako mechanizm selekcyjny wskazać zależności ekologiczne między organizmami a środowiskiem, zarówno żywym, jak i nieożywionym. Przykłady doboru sztucznego mają posłużyć do udowodnienia wielkiego potencjału zmienności organizmów. Należy jednak zauważyć, że w zapisach podstawy programowej do gimnazjum pominięto pojęcie różnorodności genetycznej. A zatem, czy bez wystarczającej wiedzy z genetyki uczeń gimnazjum zrozumie ewolucyjne podłoże bioróżnorodności?

W szkole ponadgimnazjalnej w zakresie podstawowym uczniowie według zapisów podstawy powinni umieć wyjaśnić pojęcie różnorodność biologiczna, w tym różnorodność gatunkowa, genetyczna i ekosystemowa, znać przyczyny

zmniejszania się bioróżnorodności i być przekonany, że najlepszym sposobem ochrony bioróżnorodności jest ochrona siedlisk. Natomiast w zakresie rozszerzonym punktem wyjścia do poznania znaczenia różnorodności biologicznej jest poznanie różnorodności organizmów. Celem nauczania odnoszącym się do bioróżnorodności jest poznanie świata organizmów na różnych poziomach organizacji życia: uczeń wskazuje źródła różnorodności biologicznej i jej reprezentację na poziomie genetycznym, gatunkowym i ekosystemów; interpretuje różnorodność organizmów na Ziemi jako efekt ewolucji biologicznej. Wymagania szczegółowe są następujące: uczeń wymienia główne czynniki geograficzne kształtujące różnorodność gatunkową i ekosystemową Ziemi, podaje przykłady miejsc charakteryzujących się szczególnie bogactwem gatunkowym; przedstawia wpływ człowieka na różnorodność biologiczną, podaje przykłady tego wpływu (zagrożenie gatunków rodzimych, introdukcja gatunków obcych); uzasadnia konieczność zachowania starych odmian roślin uprawnych i ras zwierząt hodowlanych jako części różnorodności biologicznej; uzasadnia konieczność stosowania ochrony czynnej dla zachowania wybranych gatunków i ekosystemów.

Można dopatrzeć się pewnej tendencji w omawianiu różnorodności biologicznej. Dominujące w podstawach programowych z lat 1999–2009 podejście ekologiczne zostało zastąpione podejściem ekologiczno-ewolucyjnym. Można je zamknąć w pytaniach postawionych przez Januarego Weinerja w książce *Życie i ewolucja biosfery* (2008) – Czy życie na Ziemi uwarunkowane jest różnorodnością biologiczną? Czy różnorodność biologiczna warunkuje życie na Ziemi? Zdaniem Weinerja, ekologia współczesna zdaje się koncentrować na dwóch aspektach życia biosfery. Z jednej strony interesują nas mechanizmy, którym życie na Ziemi zawdzięcza swoją trwałość, z drugiej – zastanawiamy się, czy trwałość biosfery ma związek z jej gatunkową różnorodnością. Pierwsze podejście traktuje wszystkie organizmy jak cząsteczki w wielkim reaktorze chemicznym biosfery; drugie – widzi poszczególne osobniki wyposażone w unikatowe programy genetyczne, współpracujące lub konkurujące między sobą o zasoby i podlegające doborowi naturalnemu. Oba podejścia badają życie biosfery i oferują dla jego przejawów wyjaśnienie komplementarne, a nie konkurencyjne. Teoria ewolucji stanowi szkielet całej biologii. Zdaniem Weinerja (2008), zbliżenie ekologii i ewolucji pozwala wyjaśnić takie zjawiska, jak kształtowanie różnorodności zespołów organizmów i ich adaptacji.

Podsumowując można stwierdzić, że na wszystkich etapach edukacji (szkoła podstawowa, gimnazjum, liceum) zwraca się uwagę uczniów na cechy charakterystyczne w budowie roślin i zwierząt, umożliwiające zarówno rozpoznanie gatunków roślin i zwierząt, jak i ich przyporządkowanie do właściwych grup, nadrzędnych jednostek. Tylko na poziomie szkoły podstawowej, zgodnie z założeniami podstawy, uczniowie poznają różnorodność gatunków występujących w ich lokalnym środowisku, w regionie. Na wyższych etapach edukacji odnośnych zapisów brak, jak również nie przewiduje się w gimnazjum i liceum zajęć w terenie służących poznaniu gatunków roślin i zwierząt. Jednocześnie zapisy w nowej podstawie programowej wymagają nowego spojrzenia na różnorodność biologiczną, nie tylko jako sposób inwentaryzowania liczby gatunków. Uczniowie mają zrozumieć, że bioróżnorodność się zmienia, podlega ewolucji, a dynamiczne zmiany w bioróżnorodności mają swoje podłoże w zdarzeniach z historii życia na Ziemi, w zmieniających się czynnikach klimatycznych, działalności człowieka związanej np. z introdukcją gatunków

obcych, wprowadzaniem nowych odmian roślin uprawnych czy nowych ras zwierząt. Podkreśla się znaczenie mechanizmów ewolucji w wyjaśnianiu istnienia bioróżnorodności i trwałości życia na Ziemi.

Literatura

- Andrzejewski R., 2007, *Różnorodność biologiczna. Dlaczego chronić?*, [w:] A. Kalinowska, W. Lenart (red.), *Wybrane zagadnienia z ekologii i ochrony środowiska. Teoria i praktyka zrównoważonego rozwoju. Wybór wykładów z lat 2004–2007*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
- Cichy D., 2007, *Wyzwania środowiskowe dla kształcenia przyrodniczego*, [w:] M. Pedryc-Wrona (red.), *Nauka, technika, społeczeństwo. Wyzwania i perspektywy w zakresie kształcenia przyrodniczego*, Wydawnictwo UMCS, Lublin.
- Ekologia. Przewodnik krytyki politycznej*, 2009, Warszawa.
- Encyklopedia szkolna – biologia*, 1999, WSiP, Warszawa.
- Kozłowski S., 1995, *Założenia ery ekologicznej*, [w:] *Zagadnienia ekonomiczno-prawne*, Podstawy Ochrony Środowiska 4, WSiP, Warszawa.
- Obrebska M., 2003, *Wiedza z systematyki biologicznej uczniów liceum ogólnokształcącego*, Słupskie Prace Przyrodnicze. Biologia Eksperymentalna i Ochrona Środowiska, nr 2, Pomorska Akademia Pedagogiczna, Słupsk.
- Podstawa programowa z komentarzami. Tom 5. Edukacja przyrodnicza w szkole podstawowej, gimnazjum i liceum*, 2010, MEN, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministerstwa Edukacji Narodowej z dnia 23 grudnia 2008 r. w sprawie podstawy programowej wychowania przedszkolnego oraz kształcenia ogólnego w poszczególnych typach szkół, Dz. U. z 2009 r., nr 4, poz. 7.
- Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 21 maja 2001 r. w sprawie podstawy programowej wychowania przedszkolnego, kształcenia ogólnego w poszczególnych typach szkół oraz kształcenia w profilach w liceach profilowanych, Dz. U. z 2001 r., nr 61, poz. 625.
- Skubała P., Kukowka I., 2010, *Zrozumieć przyrodę na nowo. 10 zasad jak uczyć o przyrodzie, by budować motywację do działań ekologicznych*, Zeszyty Ekologiczne 1, Pracownia na rzecz Wszystkich Istot, Bystra.
- Stawiński W., 2003, *Rozważania nad współczesnymi podstawami wiedzy biologicznej*, Słupskie Prace Przyrodnicze. Biologia Eksperymentalna i Ochrona Środowiska, nr 2, Pomorska Akademia Pedagogiczna, Słupsk.
- Stawiński W. (red.), 2006, *Dydaktyka biologii i ochrony środowiska*, Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa
- Suska-Wróbel R., 2005, *Zasób wiedzy uczniów szkoły podstawowej o bioróżnorodności gatunkowej*, [w:] D. Cichy (red.), *Edukacja środowiskowa wzmocnieniem zrównoważonego rozwoju*, IBE, WSP ZNP, Warszawa.
- Symonides E., 1995, *Różnorodność biologiczna biosfery i udział Polski w jej ochronie*, Podstawy Ochrony Środowiska 5, WSiP, Warszawa.
- Weiner J., 2008, *Życie i ewolucja biosfery*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Biological diversity in basic curriculum of general education

Abstract

The main conclusion of the United Nations Conference on Environment and Development in 1992 (UNCED) was the necessity of immediate undertaking any activities to protect biological diversity (biodiversity). That Conference resulted in establishing United Nations Convention on Biological Diversity and Action Programme (Agenda 21), which are the basic documents for the development of any activities in the educational system.

Biodiversity problems are included in the new educational basic curriculum, which has been introduced to scholar practice since 2009. The aim of this research was to determine (1) the degree of changes in purposes and contents of education in relation to the reform nearly carried out in educational programmes and (2) the degree of realization of the biodiversity topics included in the new programmes in education for the sustainable development. The results of these two analyses are presented in the paper.

Alina Stankiewicz

Uniwersytet w Białymstoku

Instytut Biologii

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia ad Didacticam Biologiae Pertinentia II (2012)

Wojciech Mikos

Zagadnienia bioróżnorodności w programie nauczania przyrody

Bioróżnorodność to pojęcie często używane w telewizji, radio oraz innych środkach masowego przekazu, utworzone z zestawienia słów „różnorodność biologiczna”. Jest to neologizm utworzony stosunkowo niedawno, w latach osiemdziesiątych zeszłego wieku, przez amerykańskiego naukowca Waltera G. Rosena na potrzeby Narodowego Forum Bioróżnorodności, które odbyło się w Waszyngtonie we wrześniu 1986 roku.

Słowo „bioróżnorodność” pochodzi ze zlepku słów: greckiego *bios*, oznaczającego „życie” oraz łacińskiego *diversitas(-atis)*, czyli „różnorodność”. W większości języków indoeuropejskich brzmi podobnie: po angielsku *biodiversity*, po czesku *biodiverzita*, po niemiecku *Biodiversität*, po francusku *biodiversité*, a po hiszpańsku *biodiversidad*.

Różnorodność biologiczna związana jest ze zróżnicowaniem organizmów żywych na Ziemi, ich powiązaniem ze sobą oraz środowiskiem naturalnym, co pozwala na utrzymanie równowagi w przyrodzie. Cele przyświecające ochronie bioróżnorodności mają wymiar przede wszystkim przyrodniczy, ale również kulturowy, społeczny i ekonomiczny, dlatego tak ważne jest, aby już uczniowie na poziomie szkoły podstawowej wiedzieli, czego ten termin dotyczy.

Istnieje wiele definicji obrazujących zagadnienie bioróżnorodności, ale najbardziej klasyczną jest ta przedstawiona przez Edwarda O. Wilsona – różnorodność biologiczna to zróżnicowanie wszystkich organizmów, rozpatrywane na wszystkich poziomach organizacji przyrody, od odmian genetycznych w obrębie gatunku, poprzez rodzaje, rodziny i jeszcze większe jednostki systematyczne, a także różnorodność ekosystemów, zarówno zespołów organizmów żyjących w określonych siedliskach, jak i samych warunków fizycznych, w których żyją (Wilson 1999).

Bioróżnorodność można rozpatrywać na trzech płaszczyznach:

- w zróżnicowaniu genetycznym wewnątrz jednego gatunku – widoczne jest ono w ilości odmian, podgatunków i ekotypów,
- w wielości gatunków występujących na Ziemi. Obecnie docenia się wartość wszystkich gatunków, w tym również i tych uważanych powszechnie za „chwasty”,

- wielości siedlisk, ekosystemów i krajobrazów występujących na Ziemi. Nie można chronić pojedynczych gatunków w oderwaniu od warunków, w jakich one żyją oraz od organizmów, które poprzez współistnienie z nimi warunkują ich byt (www.ekologia.pl).

W czerwcu 1992 roku na Szczycie Ziemi w Rio de Janeiro został zaprezentowany projekt Konwencji o różnorodności biologicznej, tzw. Nairobi Act, dotyczący troski o różnorodność biologiczną na Ziemi. Konwencja została podpisana 5 czerwca 1992 roku przez ponad 150 państw (w tym przez Polskę). Na chwilę obecną Konwencja jest podpisana przez 189 państw i ratyfikowana przez większość z nich (Polska ratyfikowała Konwencję 18 stycznia 1996 r.). W odróżnieniu od innych międzynarodowych postanowień, Konwencja nakreśla ogólne cele i politykę, ale państwa mają swobodę w doborze sposobów wprowadzania ich w życie.

Bioróżnorodność to nieoszacowana wartość zarówno dla współcześnie żyjących ludzi, jak i przyszłych pokoleń. Należy więc przekazywać jak najwięcej informacji i wiedzy młodym pokoleniom na temat ochrony różnorodności biologicznej.

W szkole podstawowej na lekcjach przyrody powinno poświęcać się jak najwięcej czasu problemom bioróżnorodności. Zagadnienia te powinny być przedstawiane w sposób przyjazny dla ucznia.

Już w klasie IV na lekcjach przyrody omawia się takie zagadnienia, jak różnorodność środowisk życia (np. rzeka, łąka, las), najczęściej spotykane rośliny, zwierzęta tych środowisk, ich podstawowe przystosowanie do warunków życia. W szkole podstawowej powinno się kłaść nacisk na kształtowanie postawy badawczej ucznia poprzez poznawanie zmysłowe, myślowe i empiryczne. Zagadnienia związane z różnorodnością biologiczną występującą w rzekach, w lesie i na łące powinny rozbudzać instynkt badawczy; nauczyciel ma odgrywać znaczącą rolę w tym procesie. Proponuje się, aby uczniowie sami poznali problemy dotyczące zagadnień poprzez obserwację, badanie i formułowanie problemów badawczych. Zachęca się nauczyciela do organizowania zajęć terenowych, by sami uczniowie byli w „centrum tematu”.

Będąc na zajęciach terenowych w lesie należy omówić z uczniami budowę lasu, funkcję lasu oraz pozwolić im samodzielnie określić gatunki organizmów żywych występujących w lesie. Spostrzeżenia uczniów powinny być zapisywane w kartach pracy, a następnie zapiski te samodzielnie przez nich przeanalizowane pod kątem różnorodności biologicznej. Stopniowo obserwacje mogą być źródłem pytań uczniowskich (problemów badawczych), związanych z rodzajami zanieczyszczeń, zagrożeniami na jakie narażony jest las, a dokładnie organizmy, które występują w tym ekosystemie. Uczniowie również powinni wywnioskować, że na terenach leśnych kluczowe znaczenie dla utrzymania różnorodności biologicznej mają spróchniałe drzewa i powalone pnie (martwe drewno), starodrzewy, torfowiska i polany śródleśne (Krebs 2011).

Łąka to również bardzo dobry teren do przeprowadzenia zajęć terenowych obrazujących zjawisko bioróżnorodności. Zajęcia te powinny być poprzedzone prelekcją lub filmem przedstawiającym problem wypalania traw, a dokładnie problem związany z wymieraniem dużej ilości gatunków zwierząt i roślin. Uczniowie idący na taką wycieczkę terenową powinni rozpatrywać różnorodność biologiczną łąki pod kątem zagrożeń antropogenicznych.

W klasie V omawia się zagadnienia związane z naszym krajem. Stan różnorodności biologicznej Polski determinują zarówno warunki fizyczno-geograficzne, jak i nasilenie oddziaływań człowieka, w tym stopnia i jakości podejmowanych przez niego działań ochronnych. Jeżeli różnorodność biologiczną oceniać stopniem zachowania naturalnie występujących gatunków oraz zbiorowisk, a także ras i form roślin i zwierząt użytkowych, to można przyjąć, że Polska należy do krajów o dużym bogactwie przyrodniczym. Sytuacja pod tym względem jest jednak silnie zróżnicowana regionalnie (Kondracki 2000). Istnieją rejony, np. północno-wschodnia część naszego kraju, w których bardzo dobrze zachowały się liczne gatunki, silnie zagrożone lub wymarłe w pozostałych częściach Europy czy świata. Na uwagę zasługuje Białowieski Park Narodowy, który powinien być omówiony na lekcjach przyrody pod kątem różnorodności organizmów. Uczniowie powinni przeanalizować historię parku, bogactwo fauny i flory oraz zastanowić się nad sensem ochrony tych terenów. Oprócz regionów, na których zachowała się duża bioróżnorodność, są również i takie, gdzie postępuje degradacja przyrody i ubożenie składu gatunkowego (obszary Wyżyny Śląskiej). Na zajęciach przyrody nauczyciel powinien naprowadzać uczniów na problem związany z występowaniem lub brakiem różnorodności fauny i flory w poszczególnych krainach geograficznych Polski.

Należy również zaznajamiać uczniów z publikacjami, które dotyczą problemu bioróżnorodności: czerwone księgi dla polskiej flory (Kazimierczakowa, Zarzycki 2001) i fauny – kręgowce (Głowaciński 2001), ostoje ptaków w Polsce (Gromadzki 1994), czerwona lista biotopów Morza Bałtyckiego (Warzocha, Herbich 1996) i in. Analizując ukształtowanie powierzchni terenu, klimat, różnorodność warunków glebowych oraz faunę i florę Polski, należy zwrócić uwagę na formy ochrony przyrody w naszym kraju oraz podkreślić sens ich tworzenia.

Różnorodność biologiczna jest jednym z darów przyrody, tworzące ją elementy są wykorzystywane przez człowieka w bardzo różnorodny sposób – jako pożywienie, materiały budowlane, ubranie, lekarstwa. Czasami nie jesteśmy świadomi, że korzystamy z produktów, które powstały z elementów składających się na różnorodność biologiczną (tkaniny naturalne, wyroby skórzanе, leki, kosmetyki) (Janowiec, Internet). Zagadnienia omawiane na lekcjach przyrody, dotyczące znaczenia owadów w przyrodzie i gospodarce człowieka, zastosowania i wykorzystania grzybów, glonów itd., mogą być dobrym przykładem do uświadomienia uczniom faktu wykorzystywania bioróżnorodności przez człowieka.

W klasie VI, podczas omawiania budowy, przystosowań zwierząt do środowiska, w którym żyją nie należy zapominać o gatunkach, które są wymierające lub zagrożone. Obecnie jest 1318 gatunków zwierząt szczególnie zagrożonych, występujących w niewielkich, izolowanych populacjach, w tym endemitów i reliktywów oraz 1648 gatunków roślin. Trzeba uświadomić uczniom, że różnorodność biologiczna może ulec zachwianiu i mogą wyginąć bezpowrotnie gatunki faunistyczne i florystyczne. Uczniowie powinni sami stawiać sobie pytania dotyczące problemów związanych z formami ochrony zagrożonych gatunków.

Największe zagrożenia dla bioróżnorodności, związane z antropogenicznymi, czynnikami, to: niszczenie miejsc życia roślin i zwierząt, zmiany klimatyczne wywoływane przez zwiększającą się ilość gazów cieplarnianych, powodujące zmiany warunków życia niektórych organizmów żywych oraz wprowadzanie gatunków

i odmian pochodzących z innych rejonów geograficznych, powodujących wypieranie gatunków rodzimych.

Należy uświadomić uczniom, że różnorodność biologiczna to również warunek życia człowieka. Większość tlenu, którym oddychamy, pochodzi od planktonu żyjącego w oceanach oraz porośniętych bujną roślinnością lasów naszego globu. Owoce i warzywa, które są spożywane przez ludzi, zostały zapylone przez owady. Dieta jest prawie całkowicie zależna od roślin i zwierząt żyjących wokół nas, począwszy od gruntów ornych dostarczających różnorodnych zbóż, po ryby i mięso pochodzące ze środowiska naturalnego, jak i z hodowli.

Najważniejszymi warunkami skuteczności ochrony różnorodności biologicznej są edukacja społeczeństwa i poziom jego świadomości oraz prezentowane przez nie postawy. Nawet w sytuacji pokrycia prawie całej powierzchni kraju parkami narodowymi, krajobrazowymi i rezerwatami różnorodność biologiczna będzie nadal zagrożona, jeśli społeczeństwo będzie stosowało barbarzyńskie postawy ujarzmnienia przyrody lub rabunkową eksploatację zasobów, lekceważyło ekologiczne konsekwencje działań czy promowało modele nadkonsumpcji. Skuteczność ochrony bioróżnorodności zależy od przekonania ludzi o znaczeniu bioróżnorodności dla człowieka i jego rozwoju, o zagrożeniach różnorodności biologicznej i możliwości trwałego użytkowania zasobów biologicznych, a zatem o potrzebie ochrony bioróżnorodności i umiarkowanego użytkowania jej elementów, a także od znajomości sposobów jej ochrony (Umiński 1999). Dlatego tak ważne jest, aby już od szkoły podstawowej na lekcjach przyrody kształtować postawy uczniów wobec bioróżnorodności.

Literatura

- Głowaciński Z. (red.), 2001, *Polska czerwona księga zwierząt – kregowce*, PWRiL, Warszawa.
- Gromadzki M. et al., 1994, *Ostoje ptaków w Polsce*, Gdańsk.
- Janowiec J., *Bioróżnorodność jako główny paradygmat ekologii i współczesnej ochrony przyrody*, www.zstrzcinica.pl/publikacje_nauczyc.htm.
- Kazimierczakowa R., Zarzycki K. (red.), 2001, *Polska czerwona księga roślin*, PAN, Instytut Botaniki im Szafera, Instytut Ochrony Przyrody, Kraków.
- Kondracki J., 2000, *Geografia regionalna Polski*, PWN, Warszawa.
- Krebs Ch., 2001, *Ekologia. Eksperymentalna analiza rozmieszczenia i liczebności*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Umiński T., 1999, *Ekologia, środowisko, przyroda*, WSiP, Warszawa.
- Warzocha J., Herbich M., 1996, „Czerwona lista biotopów Morza Bałtyckiego”, maszynopis, Narodowa Fundacja Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Wilson E.O., 1999, *Diversity of life*, W.W. Norton & Company.
- www.ekologia.pl

The question biodiversity in programme of teaching in science education

Abstract

The realization of is the pupils of effectiveness of protection biological variety the very important factor in formation in the face environment of natural the man's young the attitude. Teacher's part in this process should be significant, then he has for task to show on lessons of nature the connection with natural environment the alive organisms as well as introduce question biodiversity on different planes. To be guilty pupils conscious, that it came into being from consisting on biological variety elements many objects, products of everyday use. The cognition the questions the biodiversity should be to hold across observations, the investigation and the formulate of investigative problems. The basic school has for task to develop in young citizens the sense of protection the biodiversity in Poland how and on world, as well as to turn on this the attention, that the man is the part of biological variety.

Wojciech Mikos

Uniwersytet Pedagogiczny

Instytut Biologii

ul. Podbrzezie 3, 31-054 Kraków

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia ad Didacticam Biologiae Pertinentia II (2012)

Maria Obrębska

Studenci wobec bioróżnorodności

Wstęp

Zagadnienie bioróżnorodności nie jest wyłącznie domeną biologów, w rzeczywistości ma bardzo szeroki kontekst. Dotyczy bezpośrednio lub pośrednio wszystkich dziedzin ludzkiego życia – od zdrowia po kulturę (Kalinowska 2011). Bioróżnorodność jest częścią zasobów naszej planety, a jakość naszego życia zależy od stanu i wykorzystania tychże zasobów. Z tych względów ważnym problemem jest uświadomienie ludziom wartości różnorodności biologicznej i potrzeby jej ochrony. Wiedza na ten temat potrzebna jest wszystkim, niezależnie od wieku, wykształcenia czy zainteresowań. Wyniki wielu badań krajowych i międzynarodowych wskazują na braki w edukacji społeczeństw na temat znaczenia bioróżnorodności (np. Lindemann-Matthies, Bose 2008, Menzel, Bögeholz 2009, Obrębska 2004, Suska-Wróbel 2005) oraz na niski poziom świadomości ekologicznej ludzi (np. Grodzińska-Jurczak i wsp. 2004, Obrębska i wsp. 2007, Wójcik 2005).

Cel i metody badań

Celem badań było poznanie opinii studentów biologii, studentów kierunków humanistycznych (filologii polskiej i historii) oraz studentów kierunków ścisłych (matematyki i chemii) na temat znaczenia organizmów w przyrodzie i ich wykorzystania przez człowieka. Opinie te posłużyły do wyciągnięcia wniosków na temat stosunku studentów do wartości różnorodności biologicznej.

W artykule przedstawiono wyniki badań ankietowych, przeprowadzonych w lutym i w czerwcu 2010 roku, na próbie 300 studentów Akademii Podlaskiej w Siedlcach. W badaniach udział wzięło 87 biologów, 144 humanistów i 69 przedstawicieli kierunków ścisłych w wieku od 21 do 24 lat. W grupie tej znalazło się 187 kobiet i 113 mężczyzn.

Opinie studentów na temat znaczenia organizmów badane były za pomocą kwestionariusza składającego się z 25 wskaźników (stwierdzeń), dobranych zgodnie z założeniami skali Likerta (Brzeziński 1984, s. 264–268) (zał. 1).

Do każdego stwierdzenia studenci ustosunkowywali się w taki sposób, iż wybierali spośród pięciu możliwych jedną odpowiedź (zdecydowanie się nie zgadzam, nie zgadzam się, nie wiem, zgadzam się, zdecydowanie się zgadzam). Odpowiedzi studentów na stwierdzenia punktowane były w ten sposób, że maksymalna liczba punktów (5) przypisana była tej kategorii odpowiedzi, która wyrażała pozytywną postawę, a minimalna liczba punktów (1) – odpowiedzi, która wyrażała postawę negatywną. Dla 16 stwierdzeń (nr 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 17, 19, 20, 21, 25) odpowiedź „zdecydowanie się zgadzam” odpowiadała postawie pozytywnej, a dla 9 stwierdzeń (nr 8, 10, 14, 15, 16, 18, 22, 23, 24) odpowiedź „zdecydowanie się nie zgadzam” również oznaczała postawę pozytywną wobec bioróżnorodności (zał. 1).

Przy zastosowaniu punktowania aprobaty każdego z 25 stwierdzeń w zakresie od 1 do 5 każdy student mógł uzyskać od 25 do 125 punktów.

Przyjęto następujący klucz interpretacyjny ogólnego wyniku dla studenta:

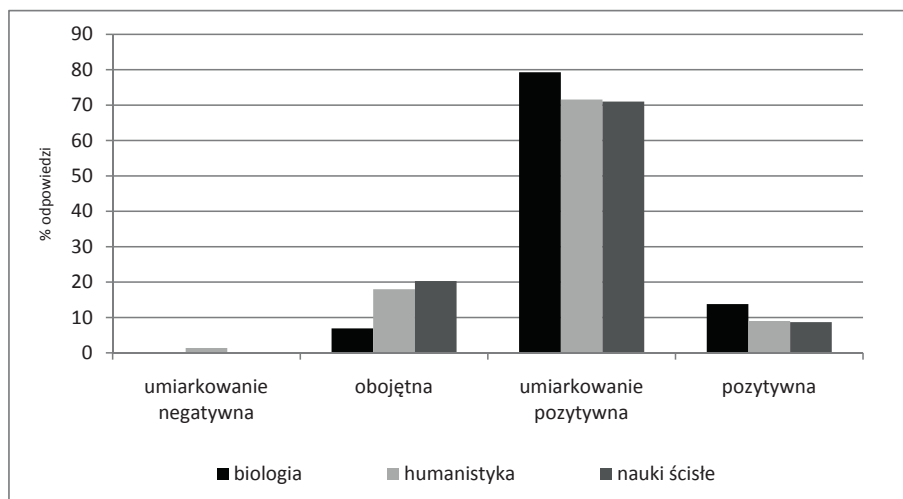
- 25–44 zdecydowany brak przekonania o wartości bioróżnorodności,
- 45–64 niskie przekonanie o wartości bioróżnorodności,
- 65–84 postawa obojętna wobec wartości bioróżnorodności,
- 85–104 umiarkowanie pozytywne przekonanie o wartości bioróżnorodności,
- 105–125 pozytywne przekonanie o wartości bioróżnorodności.

Obliczono także wskaźnik akceptacji dla każdego stwierdzenia. Jest on średnią liczbą punktów uzyskanych przez dane stwierdzenie (może przyjmować wartości od 1 do 5).

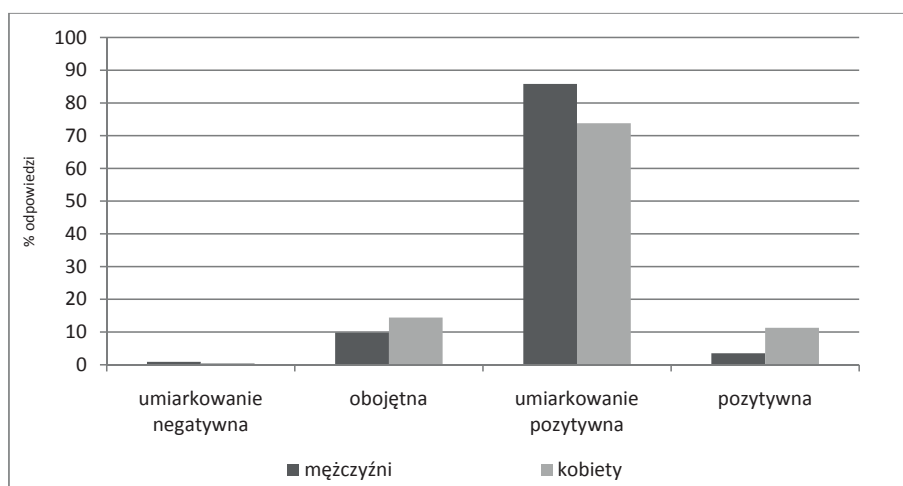
Do ilościowego opracowania uzyskanych wyników zastosowano metody statystyczne: wskaźniki procentowe, test t-Studenta (do porównania płci) i test analizy wariancji jednoczynnikowej (ANOVA) (do porównania kierunków studiów).

Wyniki badań

W badanej grupie najliczniej reprezentowana była umiarkowanie pozytywna postawa wobec bioróżnorodności (średnio 80% wszystkich odpowiedzi). Wśród osób przejawiających taką postawę przeważali studenci biologii i mężczyźni. Z kolei postawę pozytywną wykazało więcej kobiet (11%) niż mężczyzn (3%) i więcej studentów biologii (14%) niż studentów reprezentujących inne kierunki studiów (9%) (ryc. 1, 2). Obojętną postawę wobec bioróżnorodności zadeklarowało po 20% badanych studentów kierunków humanistycznych i ścisłych oraz 7% osób studiujących biologię. Taką postawę częściej przejawiały kobiety niż mężczyźni. Porównując średnie wyniki uzyskane przez wszystkie analizowane grupy, należy odnotować istotne statystycznie różnice między studentami biologii a studentami kierunków humanistycznych oraz brak istotnych statystycznie różnic między odpowiedziami kobiet i mężczyzn (wartości testu t-Studenta dla K i M – 0,497).



Ryc. 1. Postawa studentów różnych kierunków studiów wobec bioróżnorodności

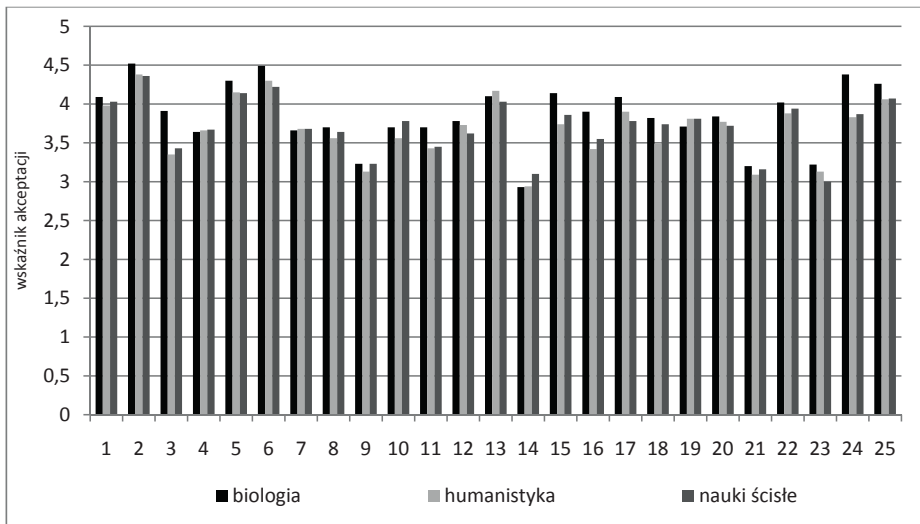


Ryc. 2. Postawa studentów i studentek wobec bioróżnorodności

Najwyższy wskaźnik akceptacji wśród badanej młodzieży uzyskało stwierdzenie, mówiące o tym, iż obowiązkiem człowieka jest objęcie ochroną ginących gatunków (nr 2) oraz stwierdzenie, że substancje zawarte w roślinach mogą być źródłem nowych leków (nr 6). W dalszej kolejności znalazły się stwierdzenia nr 5, 13 i 25. Najniższe wyniki punktowe – odpowiadające pozycji „nie wiem” – uzyskały trzy stwierdzenia: komfort życia stawiam przed problemami środowiska (nr 14), zieleń drzew, śpiew ptaków i szum morza to wartości nie mające związku z ekonomią (nr 23) oraz gatunki „dzikie” są zabezpieczeniem żywnościowym na wypadek klęsk żywiołowych i chorób niszczących płony (nr 21).

Należy stwierdzić różnicę między wynikami uzyskanymi przez studentów różnych kierunków studiów (ryc. 3). Istotne statystycznie różnice wystąpiły

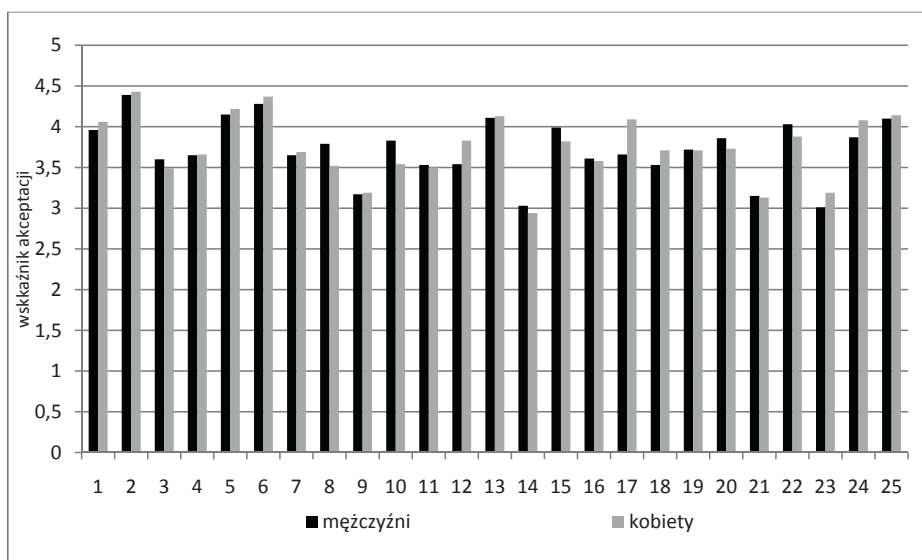
w odpowiedziach studentów biologii (względem studentów kierunków humanistycznych) na stwierdzenia nr 3, 5, 6, 11, 15, 16, 17, 18, 24, 25. W przypadku większości stwierdzeń studenci biologii uzyskali wyższe wyniki punktowe niż studenci pozostałych kierunków studiów. Studenci biologii wykazali się większym zasobem wiedzy biologicznej (nr 6, 11, 16) i większym zainteresowaniem światem roślin i zwierząt (nr 24) oraz większym zainteresowaniem ochroną przyrody (nr 2, 25). Świadczy to o ich większej wiedzy i świadomości biologicznej w porównaniu z rówieśnikami z innych kierunków studiów, choć w przypadku kilku stwierdzeń uzyskane wyniki ujawniają niedostateczny poziom wiedzy studentów biologii. Dotyczy to następujących stwierdzeń: im większa różnorodność organizmów zamieszkuje dane środowisko, tym jest ono bardziej stabilne (nr 4), klimat kuli ziemskiej kształtowany jest przez organizmy (nr 7), wycinanie lasów jest przyczyną niszczenia gleb (nr 19), gatunki „dzikie” są zabezpieczeniem żywnościowym na wypadek klęsk żywiołowych i chorób niszczących plony (nr 21), zieleń drzew, śpiew ptaków i szum morza to wartości nie mające związku z ekonomią (nr 23).



Ryc. 3. Opinie studentów różnych kierunków studiów na temat wartości bioróżnorodności

Studenci biologii w dużo większym stopniu niż ich rówieśnicy studiujący na innych kierunkach studiów interesują się światem roślin i zwierząt (nr 24) i uważają, że nadal jest on za mało przez nas poznany (nr 15). W dużo większym stopniu niż inni potrzebują kontaktu z przyrodą, by wypocząć (nr 17). Uważają, że człowiek zaspokajając swoje potrzeby powinien uwzględnić stan środowiska przyrodniczego (nr 25). Nie wyróżniają się natomiast (na tle pozostałych studentów) znaczącą wiedzą o inspiracjach pochodzących z natury dla powstania wielu dzieł kultury i sztuki. Brakuje im także (jak i pozostałym studentom) przekonania o wymiernej ekonomicznej wartości środowiska przyrodniczego. Opowiadają się za obowiązkiem objęcia ochroną ginących i zagrożonych gatunków, ale jednocześnie część z nich ochronę taką warunkuje użytecznością danego gatunku dla człowieka.

Analizując wyniki ankiety ze względu na płeć respondentów należy stwierdzić, że studentki dużo bardziej niż studenci potrzebują kontaktu z przyrodą, aby wypocząć (ryc. 4). Zdaniem dziewcząt, każdy człowiek powinien znać otaczające go gatunki roślin i zwierząt oraz orientować się, jaką rolę odgrywają w środowisku i dla człowieka. Mężczyźni natomiast zaprezentowali pragmatyczne podejście do roślin i zwierząt. W większym stopniu niż ich koleżanki zgadzają się ze stwierdzeniami, iż gatunki niebezpieczne dla człowieka powinny być tępione oraz że o ochronie jakiegoś gatunku powinna decydować jego użyteczność. Ich zdaniem, świat roślin i zwierząt jest już wystarczająco zbadany i poznany, podczas gdy studentki w większym stopniu dostrzegają możliwości i potrzebę prowadzenia dalszych badań służących poznaniu flory i fauny.



Ryc. 4. Opinie studentów i studentek na temat wartości bioróżnorodności

Wnioski

1. Studenci uczestniczący w badaniach przejawiają umiarkowaną pozytywną postawę wobec wartości bioróżnorodności. Deklarowane przez nich postawy, mówiące o obowiązku ochrony ginących gatunków spoczywającym na ludziach, nie gwarantują włączenia się tych młodych osób w faktyczną ochronę przyrody.
2. Największe uznanie dla wartości różnorodności biologicznej przejawiają studenci biologii, co nie dziwi, gdyż osoby te powinny charakteryzować się wysokim zainteresowaniem światem roślin i zwierząt i jego ochroną. Niestety na zachowanie i ochronę bioróżnorodności, choć w różnym stopniu, wpływ mają wszyscy mieszkańcy Ziemi. Nie zależy ona jedynie od biologów. Na przykładzie tych badań widoczna jest potrzeba podniesienia świadomości także innych, nie związanych z biologią grup społecznych na temat znaczenia różnych gatunków w przyrodzie i możliwości ich wykorzystania przez człowieka. Wiedza na temat tak zwanych „dzikich” i „niebezpiecznych” gatunków, roli mikroorganizmów, ekonomicznej

wartości środowiska przyrodniczego czy wpływu organizmów na klimat powinna być upowszechniana w społeczeństwie i wpływać na jego myślenie, postawy i wybory. Z przeprowadzonych badań wynika, że grupą, która najbardziej wymaga uzupełnienia swej edukacji biologicznej w zakresie znaczenia bioróżnorodności, są studenci kierunków humanistycznych.

Literatura

- Brzeźnicki J., 1984, *Elementy metodologii badań psychologicznych*, PWN, Warszawa.
- Grodzińska-Jurczak M., Tarabuła M., Mętel A., 2004, *Świadomość ekologiczna i postawy względem środowiska na przykładzie uczniów z wybranych gimnazjów województw małopolskiego i śląskiego*, [w:] R. Kowalski (red.), *Efekty edukacji przyrodniczej, biologicznej i środowiskowej w zreformowanej szkole*, AP, Siedlce, s. 59–74.
- Kalinowska A., 2011, *Dla trwałości życia – różnorodność biologiczna a dobrostan ludzi*, [w:] A. Kalinowska (red.), *Różnorodność biologiczna w wielu odstonach*, UW UCB, Warszawa, s. 11–21.
- Lindemann-Matthies P., Bose E., 2008, *How Many Species Are There? Public Understanding and Awareness of Biodiversity in Switzerland*, *Hum. Ecol.*, 36, s. 731–742.
- Menzel S., Bögeholz S., 2009, *The Loss of Biodiversity as a Challenge for Sustainable Development: How Do Pupils in Chile and Germany. Perceive Resource Dilemmas?* *Res. Sci. Educ.*, 39, s. 429–447.
- Obrębska M., 2004, *Młodzież gimnazjalna i licealna wobec bioróżnorodności*, [w:] R. Kowalski (red.), *Efekty edukacji przyrodniczej, biologicznej i środowiskowej w zreformowanej szkole*, AP, Siedlce, s. 143–150.
- Obrębska M., Kowalski R., Stoczkowska R., Gomulska K., 2007, *Przygotowanie studentów kierunku zarządzanie i marketing do realizacji idei zrównoważonego rozwoju*, [w:] J. Czartoszewski (red.), *Problemy XXI wieku. Uwarunkowania społeczno-pedagogiczne wychowania do zrównoważonego rozwoju*, UKSW, Warszawa.
- Suska-Wróbel R., 2005, *Zasób wiedzy uczniów szkoły podstawowej o bioróżnorodności gatunkowej*, [w:] D. Cichy (red.), *Edukacja środowiskowa wzmocnieniem zrównoważonego rozwoju*, IBE, WSP ZNP, Warszawa, s. 63–67.
- Wójcik A.M., 2005, *Postawy prośrodowiskowe wobec zrównoważonego rozwoju*, [w:] D. Cichy (red.), *Edukacja środowiskowa wzmocnieniem zrównoważonego rozwoju*, Warszawa, IBE, WSP ZNP, Warszawa, s. 34–42.

Załącznik 1

Lista stwierdzeń kwestionariusza ankiety

Lp.	STWIERDZENIA
1	Wszystkie gatunki roślin i zwierząt są potrzebne na Ziemi.
2	Objęcie ochroną ginących gatunków jest obowiązkiem człowieka.
3	Mało wiem o znaczeniu roślin i zwierząt w przyrodzie.
4	Im większa różnorodność organizmów zamieszkuje dane środowisko, tym jest ono bardziej stabilne.
5	Życie ludzi zależy od roślin i zwierząt.
6	Substancje zawarte w roślinach mogą być źródłem nowych leków.
7	Klimat kuli ziemskiej kształtowany jest przez organizmy.
8*	Gatunki niebezpieczne dla człowieka powinny być tępione.
9	Człowiek wykorzystuje niewielką liczbę gatunków.
10*	O ochronie jakiegoś gatunku powinna decydować jego użyteczność dla człowieka.
11	Z „dzikich” gatunków roślin i zwierząt można uzyskać nowe odmiany hodowlane.
12	Każdy człowiek powinien znać rośliny i zwierzęta oraz ich znaczenie.
13	Sztuka na przestrzeni wieków czerpie inspiracje z przyrody.
14*	Komfort życia stawiam przed problemami środowiska.
15*	Świat roślin i zwierząt jest już wystarczająco zbadany i poznany.
16*	Mikroorganizmy powodują więcej szkód, niż rzeczy pozytywnych w przyrodzie.
17	Aby odpocząć, potrzebuję kontaktu z przyrodą.
18*	Dzięki technice człowiek przestanie być zależny od przyrody.
19	Wycinanie lasów jest przyczyną niszczenia gleb.
20	Nasze pożywienie może być bardziej urozmaicone przez wykorzystanie nowych gatunków roślin i zwierząt.
21	Gatunki „dzikie” są zabezpieczeniem żywnościowym na wypadek klęsk żywiołowych i chorób niszczących plony.
22*	Człowiek nie ma wpływu na tempo wymierania gatunków roślin i zwierząt.
23*	Zieleń drzew, śpiew ptaków i szum morza to wartości nie mające związku z ekonomią.
24*	Nie interesuję się światem roślin i zwierząt.
25	Człowiek zaspokajając swoje potrzeby powinien uwzględnić stan środowiska przyrodniczego.

* Stwierdzenia, dla których odpowiedź „zdecydowanie się nie zgadzam” oznaczała postawę pozytywną.

Students on biodiversity

Abstract

A survey among the students of the Academy of Podlasie was carried out in order to examine their views on the significance of living organisms in nature and the ways in which the organisms are used by man. This paper presents the results of the survey.

Maria Obrębska

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

ul. Prusa 12, 08-110 Siedlce

mariao@uph.edu.pl

*Julian Piotr Sawiński***O potrzebie uczenia się biologicznej systematyki****Po co się uczyć systematyki? – wprowadzenie**

Biologiczne wykształcenie domaga się znajomości i rozumienia podstaw biologicznej systematyki. Przygotowanie młodych ludzi do przyszłej pracy i życia w warunkach epoki cyfrowej oraz osiągnięcia przez nich przyszłych sukcesów życiowych zależy w dużej mierze od skierowania edukacji ku innowacjom i przyszłości. O sukcesach uczniów i szkoły decyduje m.in. dążenie do nowoczesności i humanizacji edukacji. Czy uczenie się treści systematyki biologicznej mieści się w cechach nowoczesnej edukacji? Sukces umożliwia nie tylko stosowanie odpowiednich strategii uczenia się i nowoczesnych technologii informacyjno-komunikacyjnych, ale przede wszystkim rozumienie odpowiednich treści biologicznego kształcenia.

Systematyka biologiczna ułatwia rozumienie biologicznych treści kształcenia, cech okazów, procesów i zjawisk życia. Biologia to przecież przede wszystkim znajomość i rozumienie bioróżnorodności, która jest obiektem badań systematyki. Dlaczego i jak w XXI wieku uczyć podstaw biologicznej systematyki, a w tym rozpoznawania, klasyfikowania, charakteryzowania organizmów i samodzielnego oznaczania różnych gatunków?

Dydaktyka systematyki biologicznej jest ważnym działem szczegółowej dydaktyki biologii. Wprowadzenie studentów i nauczycieli biologii w wybrane zagadnienia szczegółowej dydaktyki biologii, w tym podstaw dydaktyki systematyki biologicznej, zostało przedstawione już 30 lat w pracach prof. Wiesława Stawińskiego (1980, 1985), a poszerzone w *Głównych nurtach rozwoju dydaktyki biologii* (Stawiński 1992). Na potrzebę zahamowania postępującej redukcji treści z systematyki roślin i zwierząt oraz bardziej nowoczesnego ich ujmowania w nauczaniu biologii zwróciła uwagę Międzynarodowa Unia Nauk Biologicznych (IUBS). Wskazano, że: „Treści z systematyki stanowią element strukturotwórczy i porządkujący wiedzę biologiczną” (Stawiński 1999).

We współczesnej edukacji biologicznej, z wielu różnych względów, nie może zabraknąć odpowiednich treści kształcenia z systematyki biologicznej, bo jest ona wiedzą strukturotwórczą w nabywaniu biologicznych kompetencji i swoistą filozofią nauk przyrodniczych. Trudno mówić o rozwijaniu biologicznego, racjonalnego myślenia czy ekologicznych postaw młodzieży bez strukturotwórczego fundamentu,

którym są umiejętności łączące się z rozumieniem systematyki biologicznej – jako podstawowego działu biologii. Człowiek, oprócz różnorodnych aspektów społecznych, psychologicznych, kulturowych i duchowych swego rozwoju, jest i pozostanie biologiczną istotą należącą do podkrólestwa zwierząt. Trudno jest zrozumieć siebie samego bez uchwycenia naszej łączności ze światem żywych organizmów, ssakami i innymi zwierzętami. Rozwój ten jest silnie zdeterminowany biologią i biotopem.

Wniosek: Szkolna edukacja biologiczna potrzebuje zasadniczych zmian, innowacyjności, a badania dydaktyków powinny wskazać ich sedno i kierunki oraz proponować treści i strategie uczenia się biologii na miarę warunków epoki cyfrowej!

Badawcze problemy, cele analiz i metody badań

- Jakie były główne cele analiz i badań nad potrzebą uczenia się systematyki?
- Jakie badawcze problemy postawiono przed badaniem?

Współczesna szkoła, w tym kształcenie biologiczne, potrzebuje zasadniczych reform. Wielu twierdzi, że zmienia się ona zbyt wolno i potrzebuje ustawicznego reformowania. To założenie powinno stać się wstępem do refleksji nad istotą nowoczesnej edukacji i jej treści kształcenia. Stąd rodzą się różnorodne pytania, w tym dwa ważne:

- Dlaczego obecna edukacja biologiczna, jak i cała szkoła potrzebują reform?
- Dlaczego w uczeniu się biologii nie powinno brakować treści systematyki biologicznej oraz poznawania bioróżnorodności regionu, kraju i Ziemi?

Zainteresowani szkolną edukacją wskazują na potrzebę dokonywania w niej ustawicznych i zasadniczych zmian. Podkreślają zalety podejmowania innowacji i pytają konkretnie: Dlaczego potrzebujemy innowacyjnej oświaty? Jest to zasadniczy problem w myśleniu o reformowaniu edukacji, w tym biologicznej, i w planowaniu w niej potrzebnych zmian na miarę wyzwań XXI wieku (Fazlagić 2010, Sawiński 2011b).

Zasadnicze problemy biologicznej edukacji szkolnej i dydaktyki biologii – jako teorii i praktyki organizowania uczenia się biologii – można zawrzeć w pytaniach:

- Jakie treści systematyki biologicznej powinny znaleźć się w programie biologicznego kształcenia szkoły ogólnokształcącej w XXI wieku?
- Dlaczego uczenie się biologii nie może obyć się bez treści systematyki biologicznej?
- Jakie jest miejsce i rola systematyki w nowoczesnej edukacji biologicznej?
- Co w obecnej edukacji biologicznej jest najważniejsze? (Sawiński 2009g).

Obecny świat zachwyca się nie tylko nowoczesnymi technologiami informacyjno-komunikacyjnymi, ale także różnymi problemami biologii, medycyny i ekologii. Niektórzy ogłosili nawet wiek XXI „erą biologii i ekologii”. Przygotowanie do nadchodzących wyzwań i przemian spoczywa na szkolnej i akademickiej edukacji. Ogromną rolę ma tu do spełnienia edukacja biologiczna, prozdrowotna i ekologiczna, której podstawowym zadaniem jest dobre przygotowanie młodych do ochrony życia i zdrowia człowieka oraz przyrodniczego środowiska Ziemi. Rosną obecnie oczekiwania wobec edukacji, w tym biologicznej, prozdrowotnej i ekologicznej, a ilość czasu na realizację ich zadań raczej się zmniejsza.

Głównym celem opracowania była analiza i refleksja nad potrzebą uczenia się treści biologicznej systematyki w obecnej szkole, czyli chodziło o:

- ujawnienie znaczenia systematyki biologicznej w szkolnej edukacji biologicznej,
- ustalenie i określenie biologicznych treści kształcenia, które warto uznać za bazowe,
- wskazanie kluczowych treści kształcenia biologicznego w szkole ogólnokształcącej.

Obserwacja szkolnej praktyki i analiza różnorodnych edukacyjnych publikacji przekonują, że niektóre podejmowane obecnie w szkołach innowacje zbyt wyrażnie, lub czasem po prostu zbyt mocno, koncentrują się na formie realizacji danej nowości, zmiany, nie zaś na samej treści. W innowacjach ważne jest uzyskiwanie faktycznych efektów uczenia się, tj. uzyskanie wyższej skuteczności edukacji i jakości ludzkiego życia. Najważniejsze jest to, czego się uczeń uczy na lekcjach (zajęciach) biologii. Istota tej edukacji leży też w treściach kształcenia.

W odniesieniu do ww. problemów sformułowano kilka konkretnych celów, które były drogowskazami poszukiwań i analiz. Sformułowano je dualistycznie, zgodnie z ideą i potrzebą stawiania osobistych celów edukacyjnych tak, by łatwiej było je osiągnąć, tj. od strony autora – badacza ww. problemów oraz czytelnika – odbiorcy treści tego opracowania. Zostaną one upowszechnione w innej publikacji.

Świat zachwyca się dziś nie tylko nowoczesnymi technologiami informacyjno-komunikacyjnymi, osiągnięciami techniki i komunikacji, ale także pięknem i wartościami naturalnego środowiska, którego najważniejszą i najpiękniejszą część stanowią żywe organizmy. Czy można poznawać żywą przyrodę bez jej obserwowania i nazywania, klasyfikowania, porównywania i rozpoznawania? Czy można sobie wyobrazić uczenie się biologii bez znajomości podstaw współczesnej systematyki biologicznej, w tym nomenklatury i klasyfikacji?

Wniosek: Świat zmienia się bardzo szybko, stąd ważne są inicjatywy i działania zmierzające do opracowania nowoczesnej podstawy programowej kształcenia ogólnego, w tym biologii i przyrody. Naiwnością jest wiara, że obecna podstawa dobrze przygotowuje młodzież do pracy i komunikacji oraz życia w epoce cyfrowej!

Dydaktyka systematyki jako ważna część dydaktyki biologii

- Jakie są główne kierunki rozwoju szczegółowej dydaktyki biologii?
- Jak jest miejsce systematyki biologicznej w obecnej dydaktyce biologii?

Problematyką nauczania i uczenia się systematyki biologicznej oraz poznawania bioróżnorodności zajmuje się **dydaktyka systematyki** – jedna z ważniejszych dziedzin szczegółowej dydaktyki biologii. Kierunki rozwoju szczegółowej dydaktyki biologii przedstawił kilkanaście lat temu prof. W. Stawiński (1999), podejmując ważniejsze problemy szczegółowej dydaktyki biologii w kształceniu nauczycieli biologii i badaniach naukowych. Wskazał, że jej wyodrębnienie się zostało zapoczątkowane przed kilkudziesięciu laty. Powstały wówczas w Polsce i za granicą monograficzne opracowania o nauczaniu botaniki, zoologii czy fizjologii roślin i zwierząt.

Analiza różnych opracowań z dydaktyki biologii, w tym również prac z początku XX wieku, przekonuje, że już wówczas dostrzegano konieczność zróżnicowanego podejścia do doboru metod i środków dydaktycznych w zależności od celów nauczania i biologicznych treści merytorycznych związanych z poszczególnymi dziedzinami biologii. Opracowania te jednak, podobnie jak ogólne wskazówki metodyczne, opierały się głównie na doświadczeniu dydaktycznym autorów oraz uogólnianiu

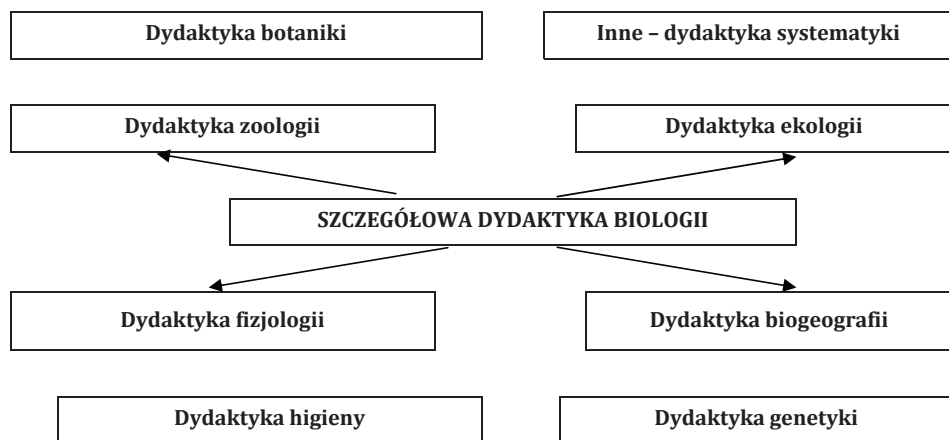
własnej praktyki wybitnych nauczycieli i metodyków nauczania biologii (Stawiński 1992).

Zawarte w nich sądy i wskazówki dydaktyczne nie wynikały z badań prowadzonych nad dydaktycznymi aspektami nauczania treści botaniki, taksonomii i innych. Problemy szczegółowej dydaktyki biologii zaczęto w Polsce badać i opisywać w zasadzie dopiero w latach 80. XX wieku. Uzasadniano potrzebę naukowych badań nad jej zadaniami i treściami kształcenia. Przedstawiono konkretne argumenty przemawiające za rozwojem szczegółowej dydaktyki biologii (Cichy 1987).

Podejmowano także próby określenia podziału i charakterystyki ważniejszych gałęzi szczegółowej dydaktyki biologii. Na przykład Stawiński (1992) za podstawowe kryteria jej podziału przyjął:

- powiązania treści nauczania z różnymi naukami biologicznymi,
- szczebel nauczania, charakter szkoły,
- związek z formalnym i nieformalnym nauczaniem biologii.

Szczegółową dydaktykę biologii podzielono na szereg działów ze względu na charakter treści nauczania (ryc. 1). Wśród wielu wyróżnionych wskazano na „inne”, ale zabrakło w nich dydaktyki systematyki biologicznej.



Ryc. 1. Działy dydaktyki biologii ze względu na charakter treści nauczania (wybrane)

Obserwuje się lawinowe narastanie zasobu naukowej wiedzy biologicznej, co powoduje, że nie jest możliwe zdobycie przez jedną osobę posiadającą wyższe wykształcenie biologiczne i biologiczno-dydaktyczne pełnego wglądu w całościowy współczesny wiedzy biologicznej oraz śledzenie naukowych osiągnięć. Szybko także zwiększa się zasób wiedzy z systematyki biologicznej i bioróżnorodności. Niektórzy twierdzą, że przeżywa ona teraz renesans. Trudno jest wskazać, które treści są kluczowe i niezbędne w ogólnym wykształceniu współczesnego człowieka.

Jest to trudne tym bardziej, że niemożliwe staje się przewidywanie i określenie wagi i znaczenia konkretnych treści biologicznych w życiu i działalności człowieka jutro. Nie jest łatwo ustalić zasady i szczegółowe kryteria biologiczno-dydaktyczne ich doboru do programu biologicznej edukacji na poszczególnych jej etapach ogólnego kształcenia. Zdaniem Stawińskiego (1992), bardzo utrudnione jest opracowywanie racjonalnych rozwiązań dydaktycznych, adekwatnych nie tylko do charakteru

danej nauki biologicznej i jej tendencji rozwojowych, lecz również potrzeb i możliwości intelektualnych młodzieży szkolnej. Jeszcze większe trudności przysparza ustalenie sposobów dydaktycznej interpretacji specjalistycznych treści, w taki sposób, aby nie spowodować ich deformacji.

Zasadne są pytania o naukowe i praktyczne podstawy dydaktyki biologii czy przyrody, oparte w dużej mierze na naukowych i praktycznych badaniach. Określono je i upowszechniano w Polsce od lat 60–70. Prace dydaktyczne z tego okresu, poszerzane i stale uzupełniane, ukazywały się jeszcze kilka, kilkanaście lat temu. Znaczna część ich treści nie straciła na aktualności, ale warto zapytać, co tak naprawdę zostało z tamtej dydaktyki oraz proponowanych zasad uczenia się i nauczania? Trafnie określili to poszukiwanie nowego Bartosz Kramek i Witold Kołodziejczyk (2011). Po prostu, dziś nie mamy odwrotu, trzeba iść w stronę nowego modelu szkolnej edukacji, w tym biologicznej. Trzeba zrozumieć, że potrzebna jest „Szkoła ustawicznie reformowana” (Polak 2010).

Głównym celem zmiany biologicznych treści kształcenia, zwanej często programową innowacją edukacyjną, która pociąga za sobą zmianę programu i strategii oraz warunków uczenia się, jest osiągnięcie wyższej od dotychczasowej skuteczności pracy uczniów i nauczycieli oraz lepszych wyników szkolnej edukacji.

Wniosek: Jeśli od ucznia wymaga się, aby rozumiał i stosował podstawy naukowego myślenia oraz wyjaśniał zjawiska biologiczne odpowiednim językiem – to niezbędne jest prowadzenie naukowych badań nad zadaniami i treściami kształcenia szczegółowej dydaktyki biologii, w tym dydaktyki systematyki!

Biologiczne treści kształcenia w dydaktyce i uczeniu się

- Czym są treści kształcenia w biologicznej edukacji?
- Jakie są główne składniki biologicznych pojęć i jak je nabywać?

Treści kształcenia (nauczania, edukacyjne, programowe) są podstawową kategorią dydaktyki biologii i każdej innej. Sam termin treść w refleksji estetycznej jest pojęciem przeciwstawnym do słowa forma. Jest rozumiane najczęściej jako ogólny sens utworu, dzieła (sedno), czyli jego ideologiczna (znaczeniowa) wymowa lub zespół procesów i zdarzeń przedstawionych w dziele.

Znajomość podstawowych biologicznych treści dotyczących nazywania, rozpoznawania okazów i ich klasyfikowania jest podstawową kategorią dydaktyki oraz uczenia się biologii. W obecnej edukacji obserwuje się wyraźne pomniejszanie roli faktograficznej, encyklopedycznej wiedzy przedmiotowej na rzecz akcentowania umiejętności i postaw uczniów. W czasie szczególnie dynamicznych i głębokich przemian społecznych, kulturowych, politycznych i ekonomicznych pomniejsza się również znaczenie uczenia się biologii. Niektórzy dziś nawet proponują ograniczenie szkolnego uczenia się biologii do zagadnień fizjologii, genetyki i higieny człowieka.

Cywilizacyjne przemiany determinują szkolne reformy, w tym również szkolnych programów nauczania. Są skutkiem wielu różnorodnych procesów i zjawisk. Dobra (bardzo dobra) szkolna edukacja biologiczna dziś to kształcenie akcentujące humanistyczne wartości (motywuujące, osobiste, wychowawcze) i praktyczne działania podejmowane na rzecz indywidualnego rozwoju uczniów.

Uczenie się biologii, oparte na zasadach i terminologii ustalanych przez systematyków biologicznych, w sposób wyjątkowo skuteczny ułatwia zrozumienie istoty

człowieczeństwa. Biologia z natury rzeczy sprzyja kształceniu humanistycznych przekonań i postaw. Wśród tych „ludzkich” cech, ważnych składników osobowości, istotną rolę, tak dla samego sensu i jakości życia, jak i przebiegu ontogenetycznego rozwoju, odgrywają cztery kluczowe sprawy:

- rozumienie człowieka i jego biologii, fizjologii, genetyki,
- biologiczne umiejętności poznawcze i zdrowotne,
- indywidualne kierunkowe zainteresowania poznawcze biologią,
- wewnętrzna motywacja do uczenia się i pracy nad sobą.

Znacząco wpływają one na kierunek i ogólną orientację człowieka oraz jego nastawienie do ludzi, przyrody i życia. Każdy z nas ma jakieś zainteresowania, rzecz w tym, żeby je nie tyle ujawniać i chwalić się nimi, co przede wszystkim pogłębiać, rozszerzać i rozwijać. Poznanie i rozumienie człowieka oraz jego mocne biologiczne zainteresowania są warunkiem sukcesu biologicznej edukacji.

W dydaktyce zwykle odróżnia się cele od treści kształcenia (materiał nauczania, materiał programowy). Występują one w programach, podręcznikach dla uczniów i nauczycieli, a także w naszej mowie i piśmie oraz komunikacji w ogóle. Treść jednak to przecież wszystko w danym programie (książce), co ma sens i znaczenie (wyrazy, zdania, rysunki, kropki). Warto rozumieć, że treść terminów (nazw, nazwisk, znaków, symboli...), która jako myślowa abstrakcja, ale i konkretyzacja, odbija sedno danego terminu, czyli istotne, charakterystyczne i ogólne cechy ludzi, rzeczy oraz zjawisk, powstaje w wyniku poznania i myślenia – uogólnienia tych właściwości.

Biologiczne pojęcia (przedmiotowe, kierunkowe) są przede wszystkim składnikami języka, którym posługują się biolodzy badający i opisujący procesy oraz zjawiska życia, czyli terminologii danej dyscypliny nauk biologicznych. Są też swoistymi składnikami myślenia: biologicznego, ekologicznego czy też humanistycznego. Dotyczy to także myślenia narodowego, bo np. Polacy myślą po polsku, a Francuzi po francusku.

Niesłuchanie ważna jest treść biologicznego języka którym posługuje się nauczyciel. Są ludzie, którzy mówią dużo, ale bez sensu. A to właśnie mowa świadczy o nas, o znajomości języka, inteligencji i ludzkich kompetencjach. Mówi się, że jakość naszego języka zależy od zasobu opanowanych słów, ale w istocie rzeczy zależy ona od rozumienia treści, zakresu i znaczenia słów. Wszystkie dydaktyki, ogólne i przedmiotowe, akcentują kształcenie pojęć jako istotnego składnika uczenia się i nauczania. Zabiegają o ich prawidłowe nabywanie i stosowanie.

Biologiczne treści, jak i inne, zawarte są w pojęciach (słowach, zwrotach, znakach itp.) oraz w całych ich systemach. W danym pojęciu wyróżnia się treść (sens, sedno, znaczenie) oraz zakres. W uczeniu się pojęć występują określone poziomy czynności. Można znać termin, np. wiedzieć, że dany proces nazywa się fotosyntezą, oraz rozumieć go, tj. umieć go streścić, rozróżnić od innych podobnych, wyłonić cechy istotne lub prawidłowo wyjaśnić jego sedno. Dydaktyka wyróżnia poziom zapamiętania i rozumienia treści kształcenia oraz poziom umiejętności ich stosowania w różnych zadaniach. W systematyce wyróżnia się 3 systemy pojęć (ryc. 2).

Wniosek: Naiwnością jest wymagać od ucznia, aby opisał wybrany proces czy zjawisko biologiczne swoimi słowami. Ono domaga się omówienia czy wyjaśnienia odpowiednim językiem biologicznym. Zadanie to trzeba uczynić priorytetem edukacji!

Treści systematyki w programie biologicznej edukacji

- Jakże składniki budują szkolny program edukacyjny (nauczania)?
- Jak zbudować nowoczesny program biologicznej edukacji?

Ważnym i fundamentalnym działem systematyki biologicznej jest nomenklatura, czyli naukowe nazewnictwo biologiczne. Wśród ważnych zadań nauczycieli, nie tylko języka polskiego, nie może zabraknąć precyzyjnego formułowania myśli i działania na rzecz przyzwoitej edukacji. Warto zapytać się siebie samego i nauczycieli, jak lepiej uczyć ładnej polszczyzny i precyzyjnego formułowania myśli na zajęciach biologii czy przyrody?

Treści systematyki biologicznej są ważne, bo zasadniczym celem edukacji biologicznej było i jest zapoznanie uczniów z różnorodnością organizmów żywych najbliższego środowiska, własnego regionu i kraju oraz Ziemi. Liczebność gatunków i osobników stale się zmienia, zarówno przez odkrywanie nowych odmian i gatunków, jak i poprzez ich wymieranie. Orientowanie się w tej ogromnej różnorodności organizmów biologicznych jest zadaniem trudnym i przekraczającym możliwości jednego człowieka. Podstawą tej ogromnej różnorodności jest zmienność świata organicznego, która ma charakter powszechny i jest związana ze sposobem dziedziczenia materiału genetycznego – DNA, oraz z tym, że życie jest zawsze związane z określonym osobnikiem, a poszczególne organizmy (też jednokomórkowe) występują w postaci „indywiduów”.

Warto przypomnieć, że pod pojęciem bioróżnorodności rozumie się wszelkie zróżnicowanie cech organizmów żywych: ich kształtów, wielkości, wyglądu, barw, budowy anatomicznej, przystosowań do środowiska ich życia, długości życia, fizjologii, embriologii, zachowania się, pochodzenia, składu genetycznego jąder komórkowych oraz wielu innych cech. Różnorodność w tym znaczeniu jest zasadniczą cechą żywej materii i organizmów na Ziemi i nią właśnie zajmuje się systematyka biologiczna.

Interesująco o różnych sprawach współczesnej systematyki biologicznej pisał Stace (1993) w książce pt. *Taksonomia roślin i biosystematyka*. Warto ją poznać i wykorzystać w praktyce. Zawiera szereg interesujących zagadnień systematycznych.

Naukowe nazewnictwo biologiczne i reguły systematyki w dużej mierze decydują o języku nauczycieli biologii. Ich ważnym zadaniem jest uczyć logicznego, naukowego, precyzyjnego i zrozumiałego dla innych, czyli ładnego mówienia. Potrzebna jest biologiczna edukacja, która uczy precyzyjnego myślenia biologicznego i mówienia poprawnym językiem oraz cała szkoła ładnie mówiąca po polsku (Sawiński 2009b, c). Chodzi o uwrażliwienie nauczycieli na potrzebę pracy nad podniesieniem precyzyjności formułowania myśli i słów. Warto głębiej zastanowić się nad precyzją własnego języka, ale przede wszystkim podjąć intensywną pracę z nauczycielami nad poprawnością stosowania terminologii i mowy. Do ucznia trzeba mówić precyzyjnie i zrozumiale.

Bardzo ważna jest logika i precyzja zaplanowania oraz napisania treści programu. Precyzja mówienia i pisanja ujawnia się w różny sposób, ale w ogólnym znaczeniu zależy ona od komunikatywności i logiki tekstu. Zależy od wykorzystania systemu opanowanych pojęć, nazw i definicji. Precyzyjne formułowanie myśli i zdań jest składnikiem komunikowania się za pomocą mowy i pisma. Składa się

z różnorodnych składników, ale najważniejszym jest posługiwanie się językiem – tu biologicznym.

Niektórzy wskazują na potrzebę tworzenia modelu (struktury) treści kształcenia biologii. Swoiste miejsce w tych badaniach zajmuje ustalenie teoretycznej struktury biologicznych treści kształcenia (ogólnych celów, zadań szkoły, zakresu materiału kształcenia i edukacyjnych wymagań na poszczególnych etapach edukacji). Badania zmierzające do opracowania modelowej struktury treści biologicznej edukacji prowadziła wiele lat temu Ciemochowska (1973), prezentując *Propozycje w zakresie struktury biologii w szkole ogólnokształcącej*.

Kluczową kompetencją w dydaktyce i uczeniu się systematyki jest rozpoznawanie organizmów. Prawie 20 lat temu opracowano broszurę na temat kształcenia umiejętności rozpoznawania i oznaczania organizmów w szkole podstawowej (Sawiński 1992). Można ją uaktualnić i wznowić, skoro z rozpoznawaniem organizmów jest w szkole źle, nawet wśród laureatów olimpiady biologicznej? W jej treści znalazły się następujące ważne problemy uczenia ww. umiejętności:

- Pojęcie i struktura umiejętności biologicznych;
- Kształcenie umiejętności biologicznych;
- Znaczenie poznawania różnorodności organizmów żywych;
- Umiejętność rozpoznawania organizmów oraz oznaczania roślin i zwierząt.

Wniosek: Przygotowując treści podstawy programowej trzeba głębiej zastanowić się nad jej językiem i bardzo precyzyjnie ująć jej treści oraz podjąć intensywną pracę z nauczycielami nad poprawnością stosowania biologicznej i edukacyjnej terminologii!

Potrzeba uczenia się treści systematyki biologicznej

- Jakie są główne potrzeby uczenia się treści systematyki biologicznej?
- Dlaczego biologiczna edukacja powinna lepiej służyć człowiekowi?

Biolodzy bardzo dobrze rozumieją potrzebę i znaczenie uczenia się biologicznych treści. Trudno sobie też wyobrazić życie człowieka bez znajomości własnej biologii: morfologii, anatomii i fizjologii swojego ciała, biologii mózgu, genetyki i ekologii. Trudno jest myśleć o nowoczesnej szkole bez uczenia w niej biologii. A stałym problemem jest pytanie, jakich treści z biologii i systematyki nie może zabraknąć w gimnazjum oraz liceum ogólnokształcącym? We współczesnej szkole nie może zabraknąć nauczania biologii człowieka, podstaw fizjologii i genetyki, ekologii, zoologii oraz systematyki. Jest to ważna i użyteczna potrzeba każdego człowieka, i to nie tylko jako przeciwwaga dla ustawicznego i powszechnego korzystania z nowoczesnych technologii, zasobów Internetu i rozszerzającej się technizacji życia, ale przede wszystkim dlatego, że współczesna edukacja powinna wyraźnie służyć człowiekowi, czyli mieć charakter wyraźnie i mocno „ludzki”, humanistyczny.

Nowoczesna edukacja biologiczna powinna być oparta na założeniach nie tylko biologii jako nauki, ale także humanistycznej psychologii i pedagogiki, w których człowiek postrzegany jest jako istota autonomiczna, aktywna i kreatywna oraz mająca własny system wartości i samorealizująca się poprzez dokonywanie świadomych wyborów. Nie można w tym pomniejszać czy marginalizować biologicznych i higienicznych wartości oraz umiejętności stosowania wiedzy w codziennej praktyce. Powinna ak-

centować humanistyczne wartości, godność każdej osoby i kształcenie praktycznych, użytecznych biologicznych kompetencji człowieka (Sawiński 2009d, e).

Obserwuje się ostatnio dość wyraźne odejście w programach od akcentowania wartości i wychowania w szkole. Gołym okiem widać powszechny relatywizm moralny ludzi różnych grup, wielki chaos czy raczej kryzys w świecie ludzkich wartości. W tej sytuacji trudno nie wspierać konieczności powrotu do aksjologicznych korzeni. Uczenie się biologii również powinno bazować na aksjologii. Trzeba szerzej i wyraźniej działać na rzecz humanizacji edukacji biologicznej. Szkoła powinna stać się coraz bardziej humanistyczna, bo „edukacja nowoczesna jest humanistyczna” (Sawiński 2010g).

Edukacyjne cele są pierwszą i zasadniczą treścią w programach kształcenia. Analizując obecną podstawę programową i programy nauczania biologii, widać swoisty paradoks oraz brak konsekwencji stosowanego w nich języka. We wstępie są wskazane nowoczesnie i bardzo ładnie ujęte cele edukacyjne, zaś w szczegółowych celach – wymaganiach szczegółowych przedmiotu zachowany jest akcent na poznawanie i odtwarzanie pamięciowej wiedzy biologicznej.

Wniosek: Warto uporządkować terminologię dydaktyczno-biologiczną i bardziej precyzyjnie formułować treści edukacyjne w programach nauczania biologii. Trzeba domagać się zachowania logicznych i merytorycznych relacji między stawianymi celami a innymi składnikami programu kształcenia.

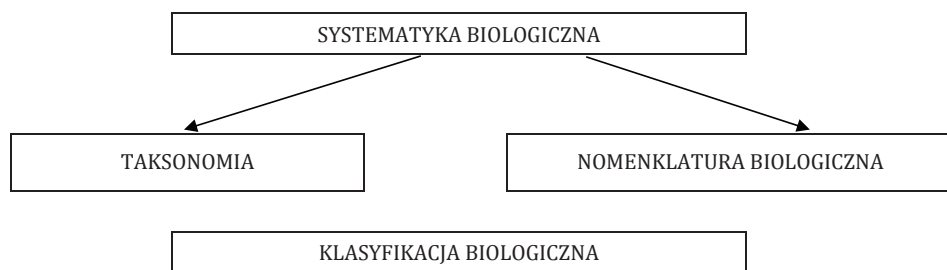
Nowoczesność treści kształcenia biologicznej edukacji

- Jakie cele i biologiczne treści kształcenia uznać za nowoczesne?
- Dlaczego biologia powinna uczyć eksperymentowania i rozwiązywania problemów?

Nowoczesna systematyka biologiczna (taksonomia) jest, i pewnie pozostanie, eklektyczną dyscypliną naukową, integrującą osiągnięcia bardziej szczegółowych biologicznych dyscyplin botanicznych i innych, w formie różnorodnych systemów klasyfikacyjnych żywych organizmów. Jest swoistą bazą i filozofią nauk biologicznych. O jej nowym rozumieniu i zadaniach pisał już ponad ćwierć wieku temu Andrzej Batko (1983) w artykule pt. *O systematyce biologicznej*.

W systematyce współczesnej wyróżnia się 3 główne działy: taksonomię, klasyfikację i nomenklaturę biologiczną (Mayr 1974, za: Sawiński 1992).

1. Taksonomia – teoria i praktyka klasyfikowania organizmów żywych.
2. Klasyfikacja – dzielenie organizmów na grupy (taksony) na podstawie ich podobieństwa i pokrewieństwa, w tym – klasyfikacja – jako klasyfikowanie, czyli czynności badacza taksonoma–systematyka, które zmierzają do zbudowania systemu klasyfikacji; oraz: klasyfikacja – jako opracowanie systemu klasyfikacji organizmów żywych (system sztuczny, naturalny, syntetyczny).
3. Nomenklatura (nazewnictwo biologiczne) – nadawanie i stosowanie nazw wyróżniających dla każdej wyróżnionej grupy (ryc. 2).



Ryc. 2. Podstawowe dziedziny systematyki jako nauki o bioróżnorodności

Młodzież nie ma dobrych skojarzeń z uczeniem się systematyki. Ona jest dziś inna, otwarta i nie lubi schematów. Stawia trudne, różnorodne i istotne dla siebie pytania o człowieka, jego fizjologię, genetykę, ewolucję, zdrowie... Wykazuje się sporą ciekawością i zainteresowaniem problemami ciała i ludzkiej psychiki. Biologiczna edukacja powinna być wyraźnie ukierunkowana na rozumienie indywidualnego ludzkiego rozwoju oraz pomagać młodym ludziom podejmować i rozwiązywać ich trudności, problemy. Dla przyszłości i zdrowia młodych ważniejsza jest umiejętność rozwiązywania ich życiowych problemów, niż szczegółowa i faktograficzna wiedza z rozmaitych dziedzin. W tym zakresie istotne jest zrozumienie, że dziś ważniejsza od tej wiedzy jest umiejętność radzenia sobie z problemami. Trzeba znaleźć trafną odpowiedź i uzasadnienie na pytanie: Dlaczego ważne jest uczenie rozwiązywania problemów? (Sawiński 2011a) – bo to jest priorytet obecnej edukacji biologicznej.

W szkole zwykle jedynie nauczyciel biologii potrafi zaspokoić młodzieńczą ciekawość dotyczącą bioróżnorodności, a także wywołać ją, rozszerzyć i wzmacniać. Szkolna edukacja biologiczna powinna podejmować mniej treści kształcenia, tj. uczyć o tych wybranych i ważnych problemach, ale za to rzetelniej, głębiej, ze zrozumieniem istoty rzeczy oraz względnie trwale, akcentując nabywanie kompetencji.

Rozwiązywanie biologicznych problemów łączy się z eksperymentowaniem. Różne treści systematyki sprzyjają uczeniu się metodą eksperymentu. Szkolna edukacja biologiczna nie może eksperymentować na skalę naukowych badań, ale nie może w niej brakować treści, które wymagają dokonywania uczniowskich badań i eksperymentów. Tworząc nowe programy biologii, warto się zastanowić, jak ciekawiej i skuteczniej niż obecnie organizować uczenie się biologii? Odpowiedź można znaleźć w artykule pt. *Jak ciekawiej organizować uczenie się biologii?* – (Sawiński 2010d) oraz w opracowaniu pt. *Nowoczesne technologie w edukacji biologicznej* (Sawiński 2009a).

Ciekawsze, oczywiście dla samej młodzieży, i skuteczniejsze niż obecnie organizowanie uczenia się biologii w szkole nie może się obyć bez organizowania interesujących, problemowych eksperymentów, planowanych i prowadzonych przez samych uczniów – bo w biologicznej edukacji najważniejsze było i jest: *Uczenie się biologii metodą uczniowskiego eksperymentu* (Sawiński 2010a). Biologia powinna się kojarzyć uczniom z samodzielnym planowaniem i prowadzeniem różnych badań, obserwacji oraz eksperymentów. Powinna także przeciwdziałać deformacji wiedzy biologicznej i prowadzić do kształtowania krytycznej postawy uczniów

wobec pseudonaukowych, nieracjonalnych opinii i poglądów rozpowszechnianych przez współczesne media: prasę, radio i telewizję (Stawiński 1991).

Większość pytaných nauczycieli i doradców metodycznych, którzy nie są biologami, kojarzy termin „nowoczesność edukacji” z posługiwaniem się komputerem i wykorzystywaniem zasobów Internetu oraz innych nowoczesnych technologii informacyjnych. A nowoczesność edukacji tkwi przecież przede wszystkim w treści kształcenia – uczenia się. Myśląc o innowacjach i zmianie szkolnej edukacji biologicznej (i każdej innej), trzeba zrozumieć, że: *Sedno edukacji leży w treści nauczania* (Sawiński 2009f). Nowoczesność edukacji to przecież również:

- oparcie założeń na nowoczesnym systemie wartości nowoczesnego człowieka,
- otwartość na zmiany i edukacja dialogu,
- kreatywna aktywność uczniów i nauczycieli,
- orientacja humanistyczna (uczenie „po ludzku”) i humanizacji szkolnego życia,
- nowe projekty i programy innowacyjne skierowane na zarządzanie wiedzą,
- orientacja przyszłościowa w projektach i programach edukacyjnych.

Ważnym elementem nowoczesnej edukacji jest uczenie krytycznego myślenia. Jest ono dziś kluczowym zadaniem edukacji. Różne treści systematyki, taksonomii i klasyfikacji sprzyjają organizowaniu zdrowej, racjonalnej krytyki i edukacyjnych debat. Rozważanie różnych biologicznych problemów sprzyja logicznemu i krytycznemu myśleniu (Sawiński 2010c, e, f).

Warto również, z wielu istotnych względów, intensywniej pracować z nauczycielami w ramach ich zawodowego doskonalenia, pomóc im zrozumieć istotę i znaczenie kluczowych umiejętności ucznia oraz skuteczne strategie ich nabywania i uczenia się biologii w ogóle. Trzeba dyskutować z młodzieżą o przyszłości biologii, genetyki, neurobiologii, bioetyki i oczywiście medycyny. Trzeba dziś głośno i mocno zapytać, dlaczego w sytuacji gdy naturalne środowisko naszego kraju, i planety w ogóle, zostało tak mocno przekształcone i uległo głębokiej degradacji oraz mimo wielu różnorodnych działań edukacyjnych, podejmowanych często szeroko zakrojonych akcji i działań tzw. ekologicznych, przyroda jest w dalszym ciągu niszczona. Głębsze rozumienie bioróżnorodności pomaga pozytywnie myśleć o przyrodzie i jej ochronie.

Od kilkunastu lat dominuje tendencja ujmowania najważniejszych treści kształcenia w postaci kluczowych kompetencji ucznia, ogólnych i przedmiotowych. Warto poznać jej założenia i praktykę przedstawione m.in. w pracy pt. *Kluczowe kompetencje biologiczne ucznia gimnazjum i liceum* (Sawiński 2005). Warto zrozumieć założenia i praktykę budowania programu kształcenia na kluczowych kompetencjach biologicznych ucznia oraz poznać np. treść artykułu: *Smak kluczowych kompetencji ucznia* (Sawiński 2007). Z ważnych względów edukacyjnych warto, mając na uwadze przede wszystkim faktyczne wspieranie indywidualnego rozwoju uczniów, zbudować program uczenia się biologii na kluczowych kompetencjach biologicznych ucznia.

W związku z tym nasuwa się szereg pytań, a wśród nich: Czy teraz uczymy biologii nieskutecznie, a może zbyt powierzchownie lub za mało? Świątecznym w tunelu w tej sytuacji jest zabieganie o znaczącą poprawę i podwyższenie jakości biologicznej edukacji (nie jedynie wiedzy, ale właśnie kluczowych kompetencji biologicznych uczniów) – mierzonej faktycznym przyrostem uczniowskich umiejętności

praktycznych, ważnych w codziennym życiu, które kształci nowoczesna edukacja biologiczna.

Wniosek: Wspólnie trzeba głębiej zastanowić się nad przyczynami niechęci uczniów do uczenia się systematyki i niskiej jakości edukacji biologicznej w tym zakresie oraz podjąć odpowiednie badania naukowe nad różnymi drogami przywrócenia właściwej jej rangi we współczesnej szkole!

Literatura

- Batko A., 1983, *O systematyce biologicznej*, „Biologia w Szkole”, nr 2, s. 67–78.
- Cichy D., 1987, *Stan dydaktyki biologii w Polsce*, „Biologia w Szkole”, nr 3.
- Ciemochowska J., 1973, *Propozycje w zakresie struktury biologii w szkole ogólnokształcącej*, Prace z Dydaktyki Biologii X, Wydawnictwo Naukowe WSP, Kraków.
- Fazjagić J., 2010, *Dlaczego potrzebujemy innowacyjnej oświaty?*, „Dyrektor Szkoły”, dodatek do miesięcznika „Niezbędnik Dyrektora”, nr 1, s. 2–3.
- Kramek B., Kołodziejczyk W., 2010, *W stronę nowego modelu edukacji (1)*, „Edunews.pl”, 04.07.
- Mayr E., 1974, *Podstawy systematyki zwierząt*, PWN, Warszawa.
- Polak M., 2010, *Szkoła ustawicznie reformowana*, „Edunews.pl”, 08.04.
- Sawiński J.P., 1992, *Umiejętność rozpoznawania i oznaczania organizmów w szkole podstawowej*, WOM, Koszalin.
- Sawiński J.P., 2005, *Kluczowe kompetencje biologiczne ucznia gimnazjum i liceum*, [w:] W. Wrześniewski (red.), *Wybrane zagadnienia dydaktyki biologii*, Wydawnictwo AR w Poznaniu, Poznań, s. 153–169.
- Sawiński J.P., 2007, *Smak kluczowych kompetencji ucznia*, „Biologia w Szkole”, nr 6, s. 47–53.
- Sawiński J.P., 2009a, *Nowoczesne technologie w edukacji biologicznej*, „Biologia w Szkole”, nr 6, s. 46–51.
- Sawiński J.P., 2009b, *Szkoła ładnie mówiąca po polsku*, „Edunews.pl”, 25.10
- Sawiński J.P., 2009c, *Szkoła potrzebuje ładnego mówienia*, „SEDNO – Magazyn DS”, nr 5, s. 63.
- Sawiński J.P., 2009d, *Edukacja służąca człowiekowi*, „Edunews.pl”, 21.09.
- Sawiński J.P., 2009e, *O potrzebie uczenia się biologii*, „Edunews.pl”, 13.09.
- Sawiński J.P., 2009f, *Sedno edukacji leży w treści nauczania*, „Edunews.pl”, 07.12.
- Sawiński J.P., 2009g, *Co w obecnej edukacji jest najważniejsze?*, „Edunews.pl”, 14.12.
- Sawiński J.P., 2010a, *Uczyć krytycznego myślenia*, „Edunews.pl”, 13.09.
- Sawiński J.P., 2010b, *Uczenie się metodą uczniowskiego eksperymentu*, „Edunews.pl”, 19.09.
- Sawiński J.P., 2010c, *Czy i jak w szkole uczyć kombinowania?*, „Edunews.pl”, 26.09.
- Sawiński J.P., 2010d, *Jak ciekawiej organizować uczenie się biologii?*, „Biologia w Szkole”, nr 1, s. 48–55.
- Sawiński J.P., 2010e, *Uczenie się biologii metodą uczniowskiego eksperymentu*, „Biologia w Szkole”, nr 6, s. 38–43.
- Sawiński J.P., 2010f, *Uczyć krytycznego myślenia*, „Edunews.pl”, 13.09.

- Sawiński J.P., 2010g, *Edukacja nowoczesna jest humanistyczna*, „Edunews.pl”, 08.03.
- Sawiński J.P., 2011a, *Dlaczego ważne jest uczenie rozwiązywania problemów?*, „Problemy Opiekuńczo-Wychowawcze”, nr 3, s. 44–46.
- Sawiński J.P., 2011b, *Jakich innowacji potrzebuje dziś szkoła?* „Edunews.pl”, 29.06.
- Stace C.A., 1993, *Taksonomia roślin i biosystematyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Stawiński W., 1980, *Zarys dydaktyki biologii*, PWN, Warszawa.
- Stawiński W., 1991, *Dokształcanie i doskonalenie nauczycieli biologii*, „Biologia w Szkole”, nr 4, s. 212–216.
- Stawiński W., 1992, *Główne nurty rozwoju dydaktyki biologii*, WSiP, Warszawa.
- Stawiński W., 1992, *Współczesne tendencje w nauczaniu biologii*, „Biologia w Szkole”, s. 21–28.
- Stawiński W., 1999, *Kierunki rozwoju szczegółowej dydaktyki biologii*, [w:] W. Stawiński (red.), *Dydaktyka biologii. Problemy szczegółowej dydaktyki biologii w kształceniu nauczycieli biologii i badaniach naukowych*, Wydawnictwo Naukowe WSP, Kraków, s. 8–21.

On the necessity of learning biological systematics

Abstract

The article presents the significance and necessity of learning biological systematics and discovering the biodiversity of the Earth. It shows the need of conducting research on the choice of content of biological education. It also indicates the importance and the necessity of developing a scientific, critical way of thinking, and of learning biological systematic, which constitutes the structure of knowledge on life and organizes it. In Biology education there can be no shortage of time for teaching the terms of biological systematics. It is important to be familiar with biological terminology and understand the phenomena of life; it is also necessary to use modern technologies in learning and discovering biodiversity.

Julian Piotr Sawiński

Centrum Edukacji Nauczycieli w Koszalinie
ul. Ruszczyca 16, 75–654 Koszalin
e-mail: jpss51@tlen.pl

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia ad Didacticam Biologiae Pertinentia II (2012)

Ulrich Kattmann

Students' alternative conceptions of animal classification

Presently the knowledge of species and taxonomic categories is becoming more important for biology lessons again, as greater emphasis is laid on ecological studies and the understanding of biodiversity.

In the view of evolution, biodiversity is not restricted to species level, but extends beyond it. *Below* the species level, the diversity of populations and individuals are to be acknowledged. Due to social, psychological and educational reasons this issue is especially important in the human species (cf. Hirschfeld, 1995; Kattmann 2011).

Above the species level, the biodiversity of taxonomical groups and ecosystems are to be mentioned.

This study is concerned with the understanding how groups of animals belong together. In the view of evolution and phylogenetic systematics, taxonomic groups of animals ought to be a monophylum, i.e. their members are descendants of one common ancestor, and thus are joined by genealogy. But in the view of students, and most of biologically non-educated persons, animals are classified in quite another way. The significance of alternative, everyday conceptions for biology learning and biology education is the subject of the study presented here.

Educational background of the study

The efforts in biology education to gain a better understanding of biodiversity will fail if the conceptions of students in this field will go on being neglected. In a constructivist perspective, scientific conceptions cannot be simply transferred from the teacher to the students. Instead, the everyday conceptions of students must be understood and used as preconditions for the design of learning environments as proposed by the Model of Educational Reconstruction (Kattmann, 2007; cf. Duit, Gropengießer & Kattmann, 2005). Teaching should be therefore built up from the conceptions of the students in a larger degree than it is practised today. In accordance with this principle, a study was conducted to find out how students

would classify animals, if they were allowed to develop and apply their own criteria and categories. Therefore the students were not confronted with biological taxa, nor were they asked to use taxonomic categories, as it had been done in most of the former studies (cf. Natadze, 1963; Ryman, 1974; Trowbridge & Mintzes, 1985; 1988; Mintzes & Trowbridge, 1987; Braund, 1991; 1998). Instead they had the opportunity to sort a set of animals in an order that made sense to them.

Research questions and methods

The study was conducted to answer the following questions:

- Which criteria of classifying animals are applied by the students themselves?
- Which opportunities are opened by the personal conceptions of the students for the meaningful learning of biological diversity?

The students' conceptions were investigated by a questionnaire, which contains three parts (see the appendix).

Grouping and naming (task 1)

A set of 25 names of animals is given. In a pilot study we asked students aged 9 to 10 to write down names of as many animals as they could. Thus it was confirmed that the names of the animals used in our study were familiar even to the students of lower grades. For this reason colloquial names of animals are used, also those which refer to a number of species, e. g. lizard. The task is to sort the animals into groups and to find an appropriate name for every group (s. fig. 1). The category "single" is provided so that the students should not feel obliged to fit every animal into a group. The questionnaire does not include pictures of the animals. Using just names, we made sure that the students could construct and use their mental models most freely (cf. Duit & Glynn, 1996) and that their attention was not attracted by accidental features of specimens, photos or drawings (see also the discussion below).

Odd one out (task 2 with 6 items, see the appendix)

Each item consists of a multiple-choice part and a free-answer part. In the multiple-choice part, out of a group of 5 animals one animal must be chosen, the one which – according to the conception of the student – does not belong to the group. The reason for the choice has to be given in the free-answer part. The groups are composed in such a way that the students can find a member which does not fit in the sense of biological taxonomy, and another one which fits, but differs from the other members either in locomotion, habitat or size.

Allocating (task 3 with 5 items, see the appendix)

Each item consists of a two-choice part and a free-answer part. The student has the choice to put one of two animals into a group of 3 or 4 animals. The reason for the choice has to be given in the free-answer part.

The study was conducted with 536 students of Lower Saxony and North-Rhine-Westfalia. In detail 93 students of grade 4 (9 to 10 years, primary school) 174 of grade 5 (10 to 11 years) and 269 students of grade 7/8 (13 to 16 years, Comprehensive School and Grammar School) participated in the survey. The investigation was carried out in co-operation with 12 teachers, who were familiar with the design and with the aims of the study through proceedings of teacher in-service.

A. B. 1

Auf dem Bogen findest Du die Namen von Tieren, die Du sicher kennst. Du wirst merken, daß manche Tiere zusammengehören. Unterstreiche alle die Tiere, die gut zusammenpassen, mit einer Farbe! Versuche danach, den verschiedenen Gruppen einen Namen zu geben! Du darfst dabei auch Namen erfinden.

[grouping:]



[naming the groups:]

Finde Namen für die Gruppen:

- Rot: *Wassertiere* [aquatic animals]
- Grün: *fliegende Tiere* [flying animals]
- Blau: *kriechende Tiere* [creeping animals]
- Gelb: *Haustiere* [domestic animals]
- Schwarz: *Nagetiere* [rodents]
- Braun: *kluge Tiere* [clever animals]

Wenn Du ein Tier nicht in eine Gruppe einordnen willst, schreibe diesen Namen in die Zeile "Einzelgänger"!

[singles:]

- "Einzelgänger": *Löwe, Spinne*
- [lion] [spider]

Fig. 1. Grouping and naming: Example of the answers of a student (Grade 5) Questionnaire task 1 (German original, English translation: see appendix)

Results

– Grouping and naming

In the following the terms “non-taxonomic” and “taxonomic” are used in the biological sense.

The main results are presented in figure 2 and table 1. Obviously *non-taxonomic categories* are predominant. The ratios of students using non-taxonomic criteria are given in figure 3. The orientation in classifying along habitat dominates in all grades. The category “aquatic animal” has the first rank in all grades. Nearly each student of grade 4 and 5 forms this group and so do even two-thirds of the students of grade 7/8 (table 1).

The second important role is played by the orientation on locomotion (especially flying and creeping).

Tab. 1. Grouping and naming: Results (task 1) Included are groups and names which reached a ratio of 10 % and more in one grade. Similar names were comprised (in brackets: percentage of students; N: number of students with evaluable answers). Correlations of ranks (seven first places): grades 4 and 5: $r = .74$ ($p < .05$); 5 and 7/8: $r = .53$ (n.s.); 4 and 7/8: $r = .15$ (n.s.)

Grade 4 (N = 83)		Grade 5 (N = 138)		Grade 7/8 (N = 262)	
1. aquatic animals	(86,7)	1. aquatic animals	(90,6)	1. aquatic animals	(66,0)
2. flying animals	(69,9)	2. flying animals	(45,0)	2. insects	(60,7)
3. four- or two-legged animals	(65,1)	3. insects	(43,5)	3. mammals	(51,5)
4. creeping animals	(48,2)	4. domestic animals	(43,5)	4. birds	(43,1)
5. insects	(27,7)	5. creeping animals	(42,0)	5. domestic animals	(34,4)
6. domestic animals	(16,9)	6. mammals	(23,2)	6. reptiles	(31,7)
7. terrestrial animals	(15,7)	7. four- or two-legged animals	(18,8)	7. flying animals	(30,2)
8. large or small animals	(14,5)	8. birds	(13,8)	8. creeping animals	(22,1)
9. fast or slow animals	(10,8)	9. large or small animals	(12,3)	9. amphibians	(18,3)
		10. exotic animals	(10,1)	10. vertebrates	(14,5)
				11. fishes	(13,4)
				12. molluscs	(11,5)
- birds	(4,8)	- terrestrial animals	(8,0)	- four- or two-legged animals	(5,0)
- mammals	(1,2)	- reptiles	(6,5)	- terrestrial animals	(4,2)
- reptiles	(1,2)				

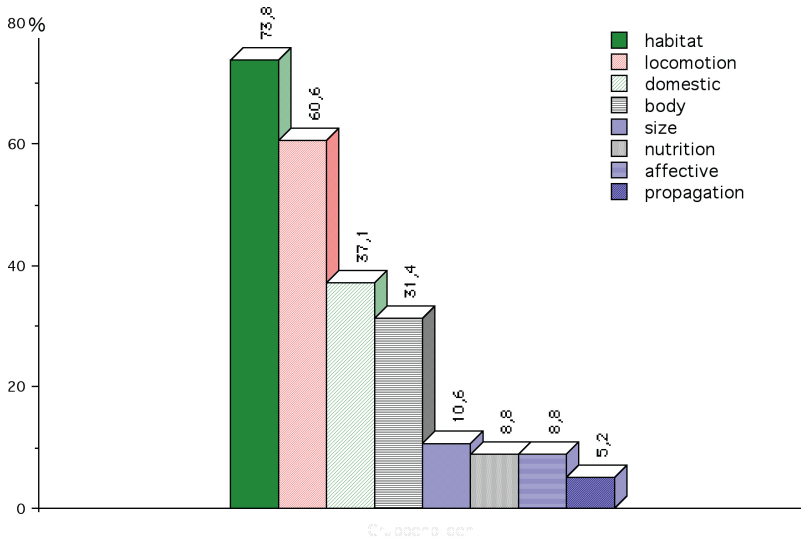


Fig. 2. Grouping and naming: Results over all grades (task 1)

In spite of this, morphological or anatomical characteristics play a minor role. Only the criterion “number of legs”, by which the students formed groups of animals with four legs and with two legs, respectively, is worth mentioning for grade 4

(65%). The frequency of this criterion diminishes in the higher grades while taxonomic categories increase.

In all grades number and frequency of *taxonomic categories* are significantly lower than non-taxonomic, but they are higher in grade 7/8 than in grades 5 and 4. The forming of taxonomic groups seems to increase continuously, but the frequency is low even in grade 7/8: Only the group “insects” and the group “mammals” are formed by more than half of the students of this grade (table 1).

– Odd one out and allocating

Results of the two tasks are given in figures 3 and 4.

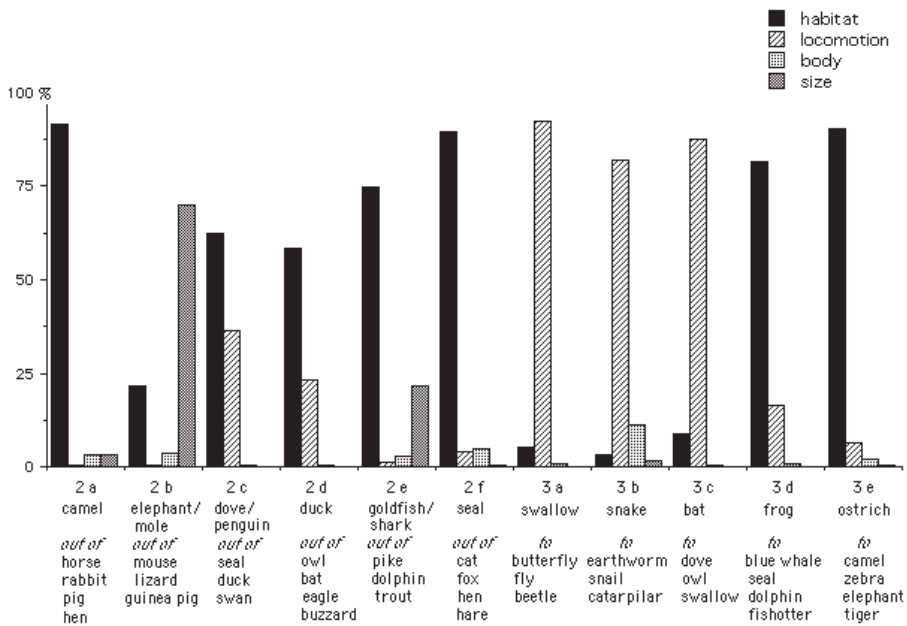


Fig. 3. Odd one out and allocating: Criteria of non-taxonomic choices (inconsistent reasons less than 1%; tasks 2 and 3, all grades)

The results are overall consistent.

- With a few exceptions, the ratio of the taxonomic choices is lower than that of non-taxonomic choices. If the results of both tasks are comprised, the ratios of non-taxonomic choices sum up to 97% in grade 4, 92% in grade 5 and still more than two-thirds in grade 7/8 (65%).
- The criteria of habitat and locomotion are the most frequent (see fig 3).
- Often the reason for the taxonomic choice is inconsistent with the choice (i.e. the taxonomic choice is explained with non-taxonomic reasons, see fig. 4). In contrast, the non-taxonomic choices are generally consistent. Only in 1% of these choices an inconsistent reason is given.

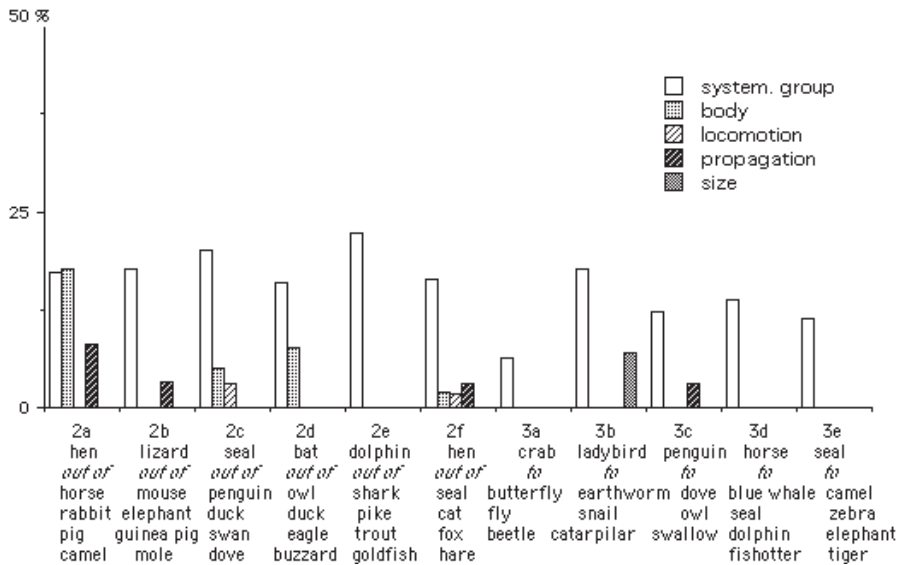


Fig. 4. Odd one out and allocating: Criteria of taxonomic choices (inconsistent reasons included; tasks 2 and 3, all grades)

Interpretation of the results

Consistency of criteria choosing and coexistence of different taxonomies

The questionnaire makes it possible to test whether an individual student consistently chooses taxonomic or non-taxonomic criteria over all the items. The results show that consistency is very different between taxonomic and non-taxonomic criteria (see table 2). The probability of consistency is the same for both categories of the criteria. If there were no bias in choosing the criteria, one should expect that a majority of students would be inconsistent in choosing criteria. That is not the case. Over all grades more students are consistent in choosing non-taxonomic criteria although the ratio decreases with higher grades. In grades 4 and 5 no student is consistent in choosing taxonomic criteria and only a minority of about 4% is consistent in grade 7/8.

The predominance of non-taxonomic criteria (mainly habitat and locomotion) is apparent in grades 4 and 5. Accordingly, the students use several non-taxonomic criteria creating their personal taxonomies. The criteria biologists apply in establishing a scientific taxonomy play an insignificant role, or none at all, for the students. The problems of students, which were found in previous studies of several researchers, may therefore be deeper and more comprehensive than it is supposed by many biology educators. In grade 7/8 taxonomic and non-taxonomic criteria are used side by side by most of the students. The greater ratio of taxonomic choices in grade 7/8 shows that taxonomic classification is learnt during biology lessons and

partly applied by the students. The criteria of biological taxonomy thus join those of personal taxonomies but do not replace them.

Tab. 2. Consistency of students' choices by taxonomic and non-taxonomic criteria. The results for grades 4, 5 and 7/8 are placed in three following rows

Consistency of Choices	Grouping (task 1) %	Odd one out (task 2) %	Allocating (task 3) %	All tasks %
Consistently non-taxonomic	68,7	86,0	89,8	50,6
	47,1	66,7	77,7	29,7
	21,8	25,6	41,5	8,2
Consistently taxonomic	0	0	0	0
	2,2	1,4	0	0
	14,5	13,9	8,1	3,7
inconsistent	31,3	14,0	10,2	49,4
	50,7	31,9	22,3	70,3
	63,7	60,5	50,4	88,1
valuable/non evaluable cases (students who fail to answer at least one item)	483 /53	454/82	461/75	440/99

Evidence for an implicit theory of kinship

The differences in classification between the grades cannot be explained by growing skills of classification. The ability of classifying hierarchically is present already in students of grade 4 (age 9-10; cf. Inhelder & Piaget, 1973; Markman, 1985). The results of our study do not show an increase in the differentiation of categories. On the contrary, the number of categories decreases from a mean of 3.3 in grade 4 to 2.7 in grade 8. Furthermore, the consistency in using categories diminishes dramatically from 50.6 % in grade 4 to 19.9% in grade 7/8. Thus only a change of the categories used is evident. The findings cannot be explained sufficiently, neither by classical theories of concept forming and logical classification (cf. e.g. Bruner, Goodnow & Austin, 1956; Clark, 1973) nor by prototypical approaches (cf. e.g. Rosch et al., 1976; Mervis & Rosch, 1981). In the personal taxonomies of the students, the visible features of the body play quite a marginal role. If birds and flying insects are put together into one group, one can hardly speak of a typological approach. Flying is the only visible phenomenon which is common to all the members of the group and which is therefore decisive. Even the habitus cannot be responsible for forming the group, because a similarity of the habitus of a swallow and that of a beetle or a butterfly is not detectable at all. The same is true for classifying the frog with the aquatic mammals only because it spends its life in the water.

Our study seems to indicate that the personal taxonomies of the students are not derived by computing features but constructed systematically on the basis of a comprehensive world-view. In this world-view the environment may be divided into elementary domains which all together represent a wholeness of reality. The classification is supposed to be oriented towards a scheme providing them with explanatory principles for the elementary order of living things. This scheme,

which the students need not be aware of, can be called an implicit theory of animal kinship.

The reasons, which the students give in tasks 2 and 3, indicate that habitat and locomotion are seen only as one and the same group of criteria so that they can substitute one another. Accordingly, the criteria used in task 1 can be associated to four large areas of life, which are called "elements":

- Water (aquatic animals, swimming)
- Air (air living animals, flying animals)
- Ground (creepers, crawling animals)
- Land (land living animals, running animals, fourlegs, game and domestic animals).

The groups of the last "element" seem to be heterogeneous, but this configuration is justified because the members of the groups formed are usually the same.

In grade 4 the first four most frequent categories do reflect the four "elements" accurately: Aquatics, Flyers, Creepers and Terrestrials.

The results of the study indicate that students may have an implicit theory of animal kinship, which is oriented towards the large areas of living and which can be characterised as elementary ordering. This theory is domain specific. It applies only to a medium level classification, which in ethnozoology is called "life form", i.e. the level of larger groups, not of species and genus. The latter are formed by typological or prototypological categories instead, whereas the highest levels (e. g. plant and animal) are formed through abstraction.

Findings of former studies, which refer to a medium level of classification (e.g. the classifying into classes or the distinction of vertebrates and invertebrates) should therefore be revisited in the light of the supposed implicit theory of the students (for more details cf. Kattmann, 2001; Kattmann & Schmitt, 1996).

Discussion

The results of Tunnicliffe & Reiss (1999) seem to contradict our results. In naming and grouping six animals presented as conserved specimens, the orientation of the students was clearly dominated by the criteria of "anatomy". The different results are mainly due to the number and set of animals presented. The small number of just six animals in the study of Tunnicliffe and Reiss causes the students to compute the features as it is usually done on species level. When a larger number of animals, including those of several habitats, are taken into account, as in the studies reported, the diversity of animals requires a more general orientation, which encourages the students to construct or use their own mental models.

One could assume that the perception of specimens may lead the students to be predominantly guided by sensation and not by imagination. But this assumption is disproved by a teaching experiment with students of one class of grade 7 of a Grammar School (N=22, 13–14 years old). In this follow-up study, the students were asked to group a set of 19 vertebrates, which were presented as preserved specimens (Sonnefeld & Kattmann, 2002). The results totally confirm the outcome of the study presented here: More than 80 % (18 of 22) of the students used the criterion of habitat, 45 % (10 of 22) – of locomotion, and only 9 % (2 of 22) – the criterion of anatomy. After group discussions, five of six groups used the criterion

of habitat, and one group was not able to decide between the criteria of nutrition, habitat and taxonomy. After a free discussion in the class all the students agreed that habitat is the most valid criterion for the classification of the 19 animals presented.

The results of the study presented here were also confirmed by a Greek study with primary teachers, in which the same questionnaire (after Kattmann, 2000) was used (Papadopoulou & Athanassiou, 2002). Further evidence is given by the comprehensive study of Hammann (2002) on the method of comparison in biology teaching.

Educational implications

Teaching which neglects the conceptions of the students will have no success in trying to overcome the difficulties students have in understanding and applying biological classification. Those difficulties may not be caused by deficient generalisation or logical thinking but can be due to the conflict between the biological criteria and elementary ones. This can also explain why whales and dolphins are still classified as fish, while the same students were able to point out that their features are those of mammals (cf. Natadze, 1963).

To overcome the learning difficulties, imprinting of group features or the exercise on the principles of generalisation and logic of classification are proposed by several authors (cf. Trowbridge & Mintzes, 1985, p. 313 f.; Braund, 1991, p. 109; Braund, 1998). According to the findings of the study presented here, these approaches are of limited value. They relate to an instructivistic rather than to a constructivist conception of teaching and learning.

If implicit theories and personal taxonomies are the students' reasons for animals classification, different views and perspectives should be reflected in order to appreciate their function in different contexts. Thereby students must have the chance to develop and apply their own conceptions adequately to the problem.

On this basis, an educationally reconstructed teaching unit for grade 5 was developed, which is concerned with the classifying of the classes of vertebrates (cf. Baumann, Harwardt, Schoppe & Kattmann, 1996, s. table 2). The basic idea of constructing this unit is to use the fundamental orientation of the students on habitat for the biological classification. Consequently, the classification in the biological sense is closely linked to an ecological and evolutionary approach. Thus, the Educational Reconstruction does not only make it possible to consider students' conceptions but opens up a new view to scientific theories as well: in considering that the phylogenetic groups of animals evolved in interdependence with the habitat, the phylogenetic taxonomy can be seen and worked out along this aspect. Following the evolutionary path of vertebrates from water to land, the large groups of vertebrates are formed phylogenetically. Students generally are highly motivated to get information about whales, bats, penguins and platypus or the care of the brood in crocodiles. Thus the evolutionary approach is not only scientifically more adequate than the logical classification along features, but at the same time meets the conceptions and interests of the students. In this way the unit is paradigmatic for the "natural history concept" of biology teaching, in which evolutionary theory serves as the basic explanatory principle (cf. Kattmann, 1995).

Tab. 3. Outline of a teaching unit for classifying vertebrates

From Water to Land - and Back again
Natural History and the Classification of Vertebrates

(1) Habitats: Mirrors of evolutionary order

Phylogenetic groups can be classified according to their original ecological zones.

Introduction into evolutionary thinking: Vertebrates first evolved in the water and settled on land from there. This history corresponds with the large groups of vertebrates:

- Fishes (water),
- Amphibians (water and land),
- Amniotes (terrestrial vertebrates: land and air).

Thus a provisional order of vertebrates can be achieved through the orientation towards habitats.

(2) Valid signs: Tracks of history

Aquatic vertebrates are the forerunners of terrestrial ones. But terrestrial animals can return to water. History matters:

A comparison of the lifecycle of a salamander and a lizard reveals the phylogenetic kinship: The characteristic trait of the amniotes is to lay eggs on land.

Thus with students working like detectives aquatic living amniota (e. g. crocodiles and some tortoises) are recognised as such. The egg-laying platypus helps to relate the mammals to the other amniotes.

(3) Traits of help: Feathers and hairs

Kinship is not caused by similarity but by communal history.

Traits and features of the body (e. g. feathers or hairs) are means only in helping to classify validly.

Thus erroneous associations are corrected: Bats, whales and penguins join their phylogenetic group (mammals and birds respectively).

(4) Radiation into several habitats

Secondarily vertebrates of different groups settled into various habitats followed by a great diversification of life forms. Mammals are living e. g. like birds (bats), fishes (whales) and amphibians (seal). The reptiles of Cretaceous times can serve as another example.

Thus the diversification within the classes of vertebrates is recognised, especially in mammals, birds and reptiles.

Acknowledgements

I'd like to thank the teachers for participating in this study, the co-workers Marina Fischbeck, Catja Hilge and Elke Sander for processing the data, and Dr. Annette Schmitt for statistic evaluation.

References

- Baumann B., Harwardt M., Schoppe S. & Kattmann U., 1996, *Vom Wasser aufs Land – und zurück*, Unterricht Biologie, 20 (218), p. 20–25.
- Braund M., 1991, *Children's ideas in classifying animals*, Journal of Biological Education, 25 (2), p. 103–110.
- Braund M., 1998, *Trends in children's concepts of vertebrate and invertebrate*, Journal of Biological Education, 32 (2), p. 112–118.
- Bruner J., Goodnow J. & Austin G., 1956, *A study of thinking*, Wiley, New York.

- Clark E., 1973, *What's in a word? On the child's acquisition of semantics in his first language*, [in:] T. Moore (Ed.), *Cognitive development and the acquisition of language*, p. 65–110, Academic Press, New York.
- Duit R., Glynn S., 1996, *Mental modelling*, [in:] G. Welford, J. Osborne, P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe*, The Falmer Press, London, p. 166–176.
- Duit R., Gropengießer H. & Kattmann U., 2005, *Towards science education research that is relevant for improving practice*, [in:] H. Fischer (Ed.), *Developing standards in research on science education*, Taylor & Francis, London, p. 1–9.
- Hammann M., 2002, *Kriteriengeleitetes Vergleichen im Biologieunterricht*, Studienverlag, Innsbruck.
- Hirschfeld L.A., 1995, *Do children have a theory of race?* *Cognition*, 54, p. 209–252.
- Inhelder B. & Piaget J., 1973, *Die Entwicklung der elementaren geistigen Strukturen* (Bd. I/II) Schwann, Düsseldorf.
- Jungwirth E., 1971, *A comparison of the acquisition of taxonomic concepts by B.S.C.S. and non-B.S.C.S. pupils*, *The Australian Science Teachers Journal*, 17 (4), p. 80–82.
- Kattmann U., 1995, *Konzeption eines naturgeschichtlichen Biologieunterrichts: Wie Evolution Sinn macht*, *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 1 (1), p. 29–42.
- Kattmann U., 2000, *Do students have an implicit theory of animal kinship?* [in:] B. Anderson et al. (Eds.), *Research in Didaktik of Biology. Proceedings of the Second Conference of European Researchers in Didaktik of Biology*, Göteborg, p. 61–78.
- Kattmann U., 2001, *Aquatics, fleyers, creepers and terrestrials – students' conceptions of animal classification*, *Journal of Biological Education*, 35 (3), p. 141–147.
- Kattmann U., 2007, *Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie*, [in:] D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*, Springer, Heidelberg, Berlin, S. 93–104.
- Kattmann U., 2011, *On the diversity of humans – scientific and educational considerations*, *Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis*, 38, p. 145–153.
- Kattmann U. & Schmitt A., 1996, *Elementares Ordnen: Wie Schüler Tiere klassifizieren*, *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 2 (2), p. 21–38.
- Markman E.M., 1985, *The acquisition and hierarchical organization of categories by children*, [in:] C. Sophian (Ed), *Origin of cognitive skills*, Erlbaum, Hillsdale, NJ.
- Mervis C.B. & Rosch E., 1981, *Categorization of natural objects*, *Annual Review of Psychology*, 32, p. 89–115.
- Mintzes J.J. & Trowbridge J.E., 1987, *Alternative frameworks in animal classification*, [in:] J. Novak (Ed.), *Proceedings of the 2. International Seminar "Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics"*, Cornell University, Ithaca, Vol. II, p. 338–347.
- Natadze R.G., 1963, *The mastery of scientific concepts in school*, [in:] *Educational psychology in the U.S.S.R.*, ed. Simon, B. and Simon, J., University Press, Stanford, Cal., p. 192–197.
- Papadopoulou P. & Athanasiou K., 2002, *Primary school teachers' categories for "animal": biology or folkbiology?* [in:] M. Ergazaki, J. Lewis & V. Zogza (Eds.), *Trends in Biology Education. Research in the New Biology Era*, University Press, Patras, p. 43–58.
- Rosch E., Mervis C.B., Gray W.D., Johnson D.M. & Boyes-Braem P., 1976, *Basic objects in natural categories*, *Cognitive Psychology*, 8, p. 382–439.
- Ryman D., 1974, *Children's understanding of the classification of living organisms*, *Journal of Biological Education*, 8 (3), p. 140–144.

- Sonnefeld U., & Kattmann U., 2002, *Lebensräume helfen ordnen. Schülerinnen und Schüler klassifizieren Wirbeltiere*, Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 8, s. 23–31.
- Trowbridge J.E. & Mintzes J.J., 1985, *Students' alternative conceptions of animals and animal classification*, School Science and Mathematics, 85 (4), p. 304–316.
- Trowbridge J.E. & Mintzes J.J., 1988, *Alternative conceptions in animal classification: A cross-age study*, Journal of Research in Science Teaching, 25 (7), p. 547–571.
- Tunncliffe S.D. & Reiss M.J., 1999, *Building a model of the environment: how do children see animals*, Journal of Biology Education, 33 (3), p. 142–148.

Appendix

Which of the animals belong together?

On the following sheets there is a number of tasks for you, but this is not a test. Your answers will help us to improve biology teaching.

There is no right or wrong. We like to get your personal choices and reasons.

1. In this task you will find a number names of animals you certainly know. You will note that some of the animals belong together

Underline all names of animals which belong together with one colour.

Afterwards give an adequate name to each group you formed!

You can also invent adequate names if you like.

dog	cat	butterfly	earthworm		
	wasp	hen	snail	spider	
snake	fox	fly	seal		beetle
	hamster	duck	crab	lion	
herring	swallow	frog		mouse	
	elephant	jellyfish	lizard	starfish	

Find a name for each group:

Red:

Green:

Blue:

Yellow:

Black:
.....

If you don't want to include an animal in any of the groups, write the name of this animal into row of "singles"!

"Singles":

2. In the following tasks five names of animals are given.
Only four of them belong together.

a) Which of the animals does not belong to the group? Mark its name:

- horse
- rabbit
- pig
- hen
- camel

Please give the reason why this animal does not fit into the group:

.....

b) Which of the animals does not belong to the group? Mark its name:

- mouse
- lizard
- mole
- guinea pig
- elephant

Please give the reason why this animal does not fit into the group:

.....

c) Which of the animals does not belong to the group? Mark its name:

- seal
- duck
- penguin
- swan
- dove

Please give the reason why this animal does not fit into the group:

.....

d) Which of the animals does not belong to the group? Mark its name:

- owl
- duck

- bat
- eagle
- buzzard

Please give the reason why this animal does not fit into the group:

.....

e) Which of the animals does not belong to the group? Mark its name:

- shark
- pike
- dolphin
- trout
- goldfish

Please give the reason why this animal does not fit into the group:

.....

f) Which of the animals does not belong to the group? Mark its name:

- seal
- cat
- fox
- hen
- hare

Please give the reason why this animal does not fit into the group:

.....

3. In the following tasks you will find groups of animals which belong together:

- a) butterfly
fly
beetle
dragonfly

Which of the following animals fits into the group? Mark its name:

- crab
- swallow

Please give the reason, why according to your opinion the animal chosen fits into the group of the other four animals:

.....

- b) earthworm
- snail
- caterpillar

Which of the following animals fits into the group? Mark its name:

- snake
- ladybird

Please give the reason, why according to your opinion the animal chosen fits into the group of the other three animals:

.....

- c) dove
- owl
- swallow
- eagle

Which of the following animals fits into the group? Mark its name:

- penguin
- bat

Please give the reason, why according to your opinion the animal chosen fits into the group of the other four animals:

.....

- d) blue whale
- seal
- dolphin
- otter

Which of the following animals fits into the group? Mark its name:

- frog
- horse

Please give the reason, why according to your opinion the animal chosen fits into the group of the other four animals:

.....

- e) camel
- zebra
- elephant
- tiger

Which of the following animals fits into the group? Mark its name:

- seal
- ostrich

Please give the reason, why according to your opinion the animal chosen fits into the group of the other four animals:

.....

Students' alternative conceptions of animal classification

Abstract

Students' conceptions of animal classification are the subject of several investigations. In previous research the criteria of classification used by the students were generally neglected. In a constructivistic view of learning and teaching these investigations must be judged as fallacious. The study presented here shows that students prefer to classify creatures along the criteria of habitat and locomotion. They maintain using these criteria even after learning the categories of biological taxonomy. The results point to the assumption that students have an implicit theory of natural kinship of animals.

The „personal taxonomies” of the students investigated are expected to be important means for or hints of learning biological systematic and therefore should be seriously taken into account in biology teaching, especially with regard to biological taxonomy, biodiversity and evolution.

In accord with the results of the research, the outline of a teaching unit on the evolutionary approach to the classification of vertebrates is presented.

Ulrich Kattmann

Carl von Ossietzky University of Oldenburg
Institute of Biology and Environmental Sciences
D-26111 Oldenburg, Germany
e-mail: ulrich.kattmann@uni-oldenburg.de
<http://www.staff.uni-oldenburg.de/ulrich.kattmann>

Spis treści

Wstęp	3
Introduction	7
Bożena Witek, Adam Kołtąj	
Zmienność jako podstawowe prawo przyrody	10
Alina Krzemińska	
Zmienność form morfologicznych w ujęciu ewolucyjnym na przykładzie trąbowców (Proboscidea)	20
Gabriela Bugla-Płoskońska	
Bioróżnorodność w bakteriologii jako złożony problem biologiczny	35
Dany Azar	
Lebanese amber: a “Guinness Book of Records”	44
Beata Gabryś	
Jak owady oligofagi odnajdują odpowiednie rośliny żywielskie w zróżnicowanym biologicznie środowisku?	61
Grzegorz Rut, Andrzej Rzepka, Agata Stokłosa-Wojtaś, Grzegorz Migdalek	
Wpływ substancji allelopatycznych na kiełkowanie nasion, wzrost i rozwój roślin	78
Danuta Cichy	
Różnorodność biologiczna jako moduł nauczania szkolnego	88
Francine Pellaud, André Giordan, R-Emmanuel Eastes	
Towards new educational paradigms	98
Alicja Walosik	
Zrównoważony rozwój i bioróżnorodność w formalnym systemie kształcenia	127
Alina Stankiewicz	
Problemy bioróżnorodności w podstawie programowej kształcenia ogólnego	142
Wojciech Mikos	
Zagadnienia bioróżnorodności w programie nauczania przyrody	152
Maria Obrębska	
Studenci wobec bioróżnorodności	157
Julian Piotr Sawiński	
O potrzebie uczenia się biologicznej systematyki	165
Ulrich Kattmann	
Students’ alternative conceptions of animal classification	178

Contents

Introduction	3
Introduction (in English)	7
<i>Bożena Witek, Adam Kołtąj</i>	
Variability as the basic law of nature	10
<i>Alina Krzemińska</i>	
Morphological diversity of proboscides (Proboscidea) from the evolutionary point of view	20
<i>Gabriela Bugla-Płoskońska</i>	
Biodiversity in bacteriology as a complex biological problem	35
<i>Dany Azar</i>	
Lebanese amber: a “Guinness Book of Records”	44
<i>Beata Gabryś</i>	
How do oligophagous insects find suitable host plants in biologically diverse environment?	61
<i>Grzegorz Rut, Andrzej Rzepka, Agata Stokłosa-Wojtaś, Grzegorz Migdalek</i>	
Influence of allelopathic substances on the sprouting of seeds, growth and development of plants	78
<i>Danuta Cichy</i>	
Biodiversity as a school teaching module	88
<i>Francine Pellaud, André Giordan, R-Emmanuel Eastes</i>	
Towards new educational paradigms	98
<i>Alicja Walosik</i>	
Sustainable development and biodiversity in the formal system of education	127
<i>Alina Stankiewicz</i>	
Biological diversity in basic curriculum of general education	142
<i>Wojciech Mikos</i>	
The question biodiversity in programme of teaching in science education	152
<i>Maria Obrębska</i>	
Students on biodiversity	157
<i>Julian Piotr Sawiński</i>	
On the necessity of learning biological systematics	165
<i>Ulrich Kattmann</i>	
Students’ alternative conceptions of animal classification	178