



## Introduction

There are many plants which demonstrate an unusual way of life. Plants grow in extreme habitats, for example, in sites highly polluted by heavy metals. Heavy metals (also known as trace metals) include arsenic, cadmium, chromium, copper, lead, nickel, and thallium. Some of them are microelements (biogenes), which are essential for plant life (chromium, copper, nickel, zinc); others are xenobiotics that have no function in living organisms (arsenic, cadmium, lead, thallium). Plants only need trace amounts of biogenes, less than a few hundredths of a percent of the dry weight. Even slightly higher concentrations can affect plant vital functions, and equally small concentrations of xenobiotics have a similar effect.

The source of heavy metals for terrestrial plants is soil, and less commonly, dust and atmospheric precipitation. In natural conditions, plants rarely come into contact with high concentrations of heavy metals, except for sites where soil is formed on shallow-lying deposits that are rich in these elements. However, human activity, mainly industry and agriculture, have caused the spread of heavy metals in the environment. At present, elevated concentrations of metals, compared with their natural background concentrations, are found throughout almost the whole human environment. Large expanses of cropland and urban areas, and above all industrial regions are highly polluted. Heavy metals, once introduced to the

environment, do not undergo biodegradation; they cumulate mainly in the soil and may be introduced into the trophic chain. They pose a threat not only to plants and animals but also to man.

Among the sites most polluted by heavy metals are post-mining areas, particularly heaps of waste from the mining and ore-processing of these metals. These metalliferous sites, though toxic for most plants, are not deprived of them. Specific plants, named metallophytes, which developed many mechanisms of adaptation to the high concentrations of heavy metals, grow and develop there. This is well-characterized because the study of metallophytes has been a part of the basic and applied sciences for many years. There are questions posed about the strategies adopted by these plants to cope with an excess of metals, including morphological, physiological, metabolic and genome adaptations. It is important to decipher the riddle of their evolution. Metallophytes are examined for their use in restraining and mitigating the spread of pollutants in the environment, and removing them from the soil, water and air (phytoremediation).

In this volume, the results of multidisciplinary studies on metallophytes are shown using the example of *Biscutella laevigata* L. (buckler mustard), an extraordinary plant growing on heaps of mining and zinc-lead ore-processing waste in the post-mining area extending from

Olkusz to Bolesław and Bukowno, situated in the Silesian-Cracow Upland (southern Poland). This volume is composed of ten chapters. Chapter 1 provides information about the history of zinc and lead ore mining in Poland, and about the Olkusz region, which has the richest deposits of these ores in the country. The Olkusz region has a very long history of mining, which started in the 12th century, and is evidenced by numerous open cast workings and mine waste heaps in the post-mining area. Chapter 2 deals with metalliferous soils (named calamine soils after calamine, i.e. zinc ore) formed on these heaps, their mineral composition, and processes occurring in them, which results in the release of very large amounts of heavy metals in the forms available to plants. Chapter 3 contains a short description of the species *B. laevigata*, its morphology, sites of occurrence and ecology. The buckler mustard is a small perennial plant. It is a mountain species whose geographical range covers mountain areas in Europe. In Poland, its natural sites are in the West Tatra Mountains, but also on lowland sites, including sites on mine waste heaps near Olkusz. Chapter 4 is dedicated to the biology of reproduction of the buckler mustard growing on the metalliferous (calamine) substrate of these heaps. In Chapter 5, the mechanisms of microevolutionary processes occurring in the heavy metal contaminated environment are discussed using examples of several plant species. The genetic structure of the *B. laevigata* population from the Tatra Mountains is compared to that of the calamine heaps. This comparison shows that a new subspecies has emerged on the waste heaps. A proposed name for this subspecies is *B. laevigata* subsp. *woycickii*. Chapter 6 gives the detailed characteristics of this subspecies at length. The Woycicki's buckler mustard is an endemic taxon, a postglacial relict and a facultative metallophyte (zinc-loving). Due to the

unique character of this taxon, it should be given legal protection. Chapters 7 and 8 show prospects for the use of metallophytes in phytoremediation, and the use of biotechnological methods to obtain the plant material necessary for phytoremediation projects. In both chapters, laboratory and field experiments with the buckler mustard are described. Chapter 9 describes the field experiment carried out on a calamine waste heap from beyond the area of the natural occurrence of *B. laevigata* (in Upper Silesia). As a result of this experiment, a new site of *B. laevigata* has been established on the heap by introducing two seeds of the plants originating from the surroundings of Olkusz. Chapter 10 deals with calaminarian grasslands, of which *B. laevigata* is a characteristic species, and which are protected within the Natura 2000 European Ecological Network. The threats to these grasslands are described, and activities are proposed to maintain their biological diversity, with particular reference to metallophytes. All chapters contain illustrations and photographs, some very numerous (Chapter 6). References are given at the end of each chapter.

This volume has eighteen authors. The buckler mustard has brought together both young scientists who are at the beginning of their scientific career, as well as experienced scientists who have been engaged in research work for several decades. There are specialists from different fields of biology, working at: The Jagiellonian University, The University of Agriculture in Cracow, The University of Silesia in Katowice, The University of Warsaw, The Warsaw University of Life Sciences, The W. Szafer Institute of Botany of the Polish Academy of Sciences in Cracow and The Maria Grzegorzewska University in Warsaw. There are also geologists, including a mining and geological engineer, a long-time employee of the Bolesław Mining and Metallurgy Plant

(ZGH Bolesław). The authors have done their best to discuss scientific matters in such a manner as to make them accessible for a wide group of readers, not only research workers and biology students. To this end, the text is richly illustrated, and some scientific terms are defined in footnotes. However, it is impossible to explain all the topics covered in this volume in a simple way. The basic knowledge required to understand them can be found in manuals and relevant papers, freely accessible on the Internet.

Finally, it should be stressed that studies on the buckler mustard would not be possible without the cooperation between scientists, and the managers and owners of post-mining areas. The mutual understanding of each other's limitations and needs has allowed a long-term cooperation (over 30 years), with continued prospects, to be established. Post-mining areas are still a laboratory for testing new research hypotheses, perhaps those inspired by this volume.

Editor





## Wprowadzenie

Jest wiele roślin reprezentujących nietypowy „styl życia”. Przykładowo mogą to być rośliny rosnące w skrajnie trudnych warunkach siedliskowych, w miejscach silnie zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Do metali ciężkich (nazywanych również metalami śladowymi) zaliczane są m.in.: arsen, chrom, cynk, kadm, miedź, nikiel, ołów i tal. Jedne z tych pierwiastków są mikroelementami (biogenami), niezbędnymi do prawidłowego funkcjonowania roślin (chrom, cynk, miedź, nikiel), inne są ksenobiotykami, nie pełnią żadnej funkcji w organizmach (arsen, kadm, ołów, tal). Dla roślin konieczne są jedynie śladowe ilości biogenów, w stężeniach do kilku setnych procenta w ich suchej masie. Już nieco wyższe stężenia mogą powodować zaburzenia w podstawowych funkcjach życiowych, podobnie jak niewielkie stężenia ksenobiotyków.

Źródłem metali ciężkich dla roślin lądowych jest gleba, rzadziej może być również pył i opad atmosferyczny. W naturalnych warunkach rośliny rzadko stykają się z wysokimi stężeniami metali ciężkich, najczęściej tylko tam gdzie gleba tworzy się na płytce zalegających utworach geologicznych bogatych w te pierwiastki. Jednak działalność człowieka, głównie przemysł i rolnictwo spowodowały rozprzestrzenienie się metali ciężkich w środowisku. Aktualnie podwyższone w stosunku do naturalnego tła stężenia metali są powszechne praktycznie w całym otoczeniu człowieka. Znacznie zanieczyszczone są duże fragmenty obszarów uprawnych, miejskich a przede wszystkim tereny przemysłowe. Metale ciężkie raz wprowadzone do środowiska nie ulegają w nim biodegradacji, akumulują się głównie w glebie i mogą być włączane w łańcuch troficzny. Stanowią zagrożenie nie tylko dla roślin i zwierząt, ale i dla człowieka.

Jednymi z najsilniej zanieczyszczonych metalami ciężkimi są tereny pogórnice, a szczególnie składowiska odpadów z wydobycia i przetwarzania ich rud. Te metalonośne miejsca mimo że są toksyczne dla większości roślin, nie są ich pozbawione. Rosną tu i rozwijają się specyficzne rośliny (nazywane metalofitami), które wykształciły szereg mechanizmów adaptacji do wysokich stężeń metali ciężkich. Wiemy o tym gdyż badania nad metalofitami od wielu lat na stałe wpisane są w zakres nauk podstawowych i praktycznych. Stawiane są pytania o sposoby jakie wykorzystują te rośliny w radzeniu sobie z nadmiarem metali, na poziomie ich morfologii, fizjologii, metabolizmu oraz genomu. Ważne jest rozwiązanie zagadki ich ewolucji. Metalofity badane są pod kątem wykorzystania w praktycznych działaniach prowadzących do ograniczania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w środowisku i do oczyszczania z nich gleb, wody i powietrza (fitoremediacji).

W prezentowanym tomie wyniki wielokierunkowych studiów nad metalofitami zostały pokazane na przykładzie *Biscutella laevigata* L. (pleszczotki górskiej), nietypowej rośliny z hałd odpadów z górnictwa rud cynku i ołowiu ulokowanych na pogórnicymskim obszarze rozciągającym się od Olkusza po Bolesław i Bukowno, leżącym w granicach Wyżyny Śląsko-Krakowskiej (południowa Polska). Opracowanie składa się z dziesięciu rozdziałów. W Rozdziale 1 przedstawiona jest historia wydobycia rud cynku i ołowiu w Polsce oraz obszar (tzw. rejon olkuski) z najbogatszymi złożami tych rud oraz bardzo długą, bo trwającą już od XII w., górnicymską historią. Jej świadectwem jest pogórnicymski teren, z wyrobiskami i licznymi hałdami skalnych odpadów górnicymskich. W Rozdziale 2

pokazane są tworzące się na tych hałdach metalonośne gleby (nazywane galmanowymi od rudy cynku, galmanu), ich skład mineralny oraz procesy w nich zachodzące, które prowadzą do pojawiania się bardzo dużych ilości metali ciężkich dostępnych dla roślin. Rozdział 3 zawiera krótki opis gatunku *B. laevigata*, jego morfologii, stanowisk występowania i ekologii. Pleszczotka górską jest niewielką, wieloletnią rośliną. Jest gatunkiem górskim, zasięgiem obejmuje góry całej Europy, w Polsce ma naturalne stanowiska w Tatrach Zachodnich i wyjątkowo dwa na niżu, w tym na hałdach górniczych okolic Olkusza. Rozdział 4 poświęcony jest biologii rozmnażania pleszczotki górskiej, w sytuacji życia na metalonośnym podłożu (galmanowym) tych hałd. W Rozdziale 5 mechanizmy mikroewolucji zachodzącej w środowisku zanieczyszczonym metalami ciężkimi omówione są na przykładzie kilku gatunków. W przypadku pleszczotki górskiej pokazana jest struktura genetyczna jej populacji z Tatr i hałd galmanowych. Wskazuje ona na wyodrębnienie się na hałdach nowego podgatunku, który proponuje się nazwać *B. laevigata* subsp. *woycickii*. W obszernym Rozdziale 6 szczegółowo opisane są wyjątkowe cechy tego podgatunku. Pleszczotka Wójcickiego jest gatunkiem endemicznym, reliktem polodowcowym oraz metalofitem fakultatywnym, charakteryzującym się cynkolubnością. Ze względu na unikatowość tego taksonu postuluje się objęcie go ochroną prawną. Rozdziały 7 i 8 odnoszą się do możliwości wykorzystania metalofitów w fitoremediacji oraz do zastosowania metod biotechnologicznych w uzyskiwaniu materiału roślinnego koniecznego do tych działań. W obu rozdziałach pokazane są eksperymenty laboratoryjne i terenowe z pleszczotką górską. Rozdział 9 omawia terenowy eksperyment przeprowadzony na hałdzie galmanowej, ale spoza obszaru naturalnego występowania *B. laevigata* (na Górnym Śląsku). W jego wyniku, z dwóch nasion roślin introdukowanych z okolic Olkusza, na tej hałdzie powstało nowe stanowisko pleszczotki górskiej. Tematem Rozdziału 10 są murawy galmanowe, dla których *B. laevigata* jest gatunkiem charakterystycznym, a które są chronione w Europejskiej Sieci Ekologicznej Natura

2000. Omówione są ich zagrożenia oraz proponowane działania w celu zachowania ich różnorodności biologicznej, ze szczególnym uwzględnieniem metalofitów. Wszystkie rozdziały zawierają ilustracje i fotografie, niektóre bardzo liczne (Rozdział 6). Na końcu każdego rozdziału znajduje się bibliografia.

Autorów niniejszego tomu jest osiemnastu. Pleszczotka górską zgromadziła zarówno badaczy, którzy są na początku drogi naukowej jak i tych, którzy zajmują się nauką już kilkadziesiąt lat. Są specjalistami w różnych dziedzinach biologii. Pracują na: Uniwersytecie Jagiellońskim, Uniwersytecie Rolniczym im. H. Kołłątaja w Krakowie, Uniwersytecie Śląskim, Uniwersytecie Warszawskim, w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, w Instytucie Botaniki im. W. Szafera Polskiej Akademii Nauk oraz w Akademii Pedagogiki Specjalnej im. Marii Grzegorzewskiej. Są również geolodzy, w tym geolog-górnik, wieloletni pracownik Zakładów-Górnictwo Hutniczych „Bolesław” (ZGH „Bolesław”). Starali się oni omawiać naukowe tematy tak aby były zrozumiałe dla szerszego grona czytelników, nie tylko dla pracowników naukowych i studentów biologii. Stąd teksty zilustrowane są licznymi rycinami, część specjalistycznych terminów jest zdefiniowana w przypisach. Nie sposób jednak prosto wyjaśnić wszystkich zagadnień poruszanych w niniejszym tomie. Podstawy do zrozumienia ich można znaleźć w podręcznikach i tematycznych opracowaniach, znajdujących się w powszechnym (wolnym) dostępie w Internecie.

Na koniec należy pokreślić, że badania nad pleszczotką górską nie byłyby możliwe bez współpracy między naukowcami a zarządzającymi i właścicielami terenów pogórnich. Ich wzajemne zrozumienie swoich ograniczeń i potrzeb, pozwoliło na długoletnią współpracę (ponad 30 lat), która ma perspektywy na przyszłość. Tereny pogórnice mogą być wciąż laboratorium do testowania nowych hipotez badawczych, może tych zainspirowanych niniejszym tomem.

Redaktor