

organicznych jest średnio o ok. 42% wyższa niż przy wykorzystaniu chemicznych środków ochrony roślin i nawozów syntetycznych. W doświadczeniu przeprowadzonym na plantacji pomidorów w New Jersey w Stanach Zjednoczonych wykazano, że gdyby chcieć utrzymać produkcję metodami organicznymi na obecnym poziomie, charakterystycznym dla tradycyjnych upraw, wymagałoby to nawet 30-krotnie większego nakładu pracy. Warto tu przypomnieć, że około jedna trzecia ludzkości żyje za mniej niż dwa dolary dziennie.

Jest zatem jasne, że przez co najmniej kilkadziesiąt najbliższych lat ludzkość nie będzie w stanie obyć się bez pestycydów. Intensywne prace nad

szczepionkami przeciwko roznoszonym przez owały chorób oraz powszechniejsze wprowadzenie zmodyfikowanych genetycznie roślin niosą nadzieję – jeśli nie na możliwość eliminacji pestycydów z naszego życia - to przynajmniej na bardzo znaczną redukcję ich stosowania. Tymczasem zaś pozostaje ściśle przestrzeganie procedur stosowania pestycydów, prowadzenie szczegółowych badań nad potencjalnymi niebezpieczeństwami, jakie mogą nieść dla środowiska i człowieka oraz opracowywanie coraz nowszych generacji pestycydów, które zapewniłyby jak najlepszą ochronę przed szkodnikami przy zminimalizowaniu niepożądanych skutków ubocznych.

Prof. dr hab. Ryszard Laskowski pracuje w Instytucie Nauk o Środowisku Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie.



*Prawidłowy rozwój człowieka, zwierzęcia i rośliny zależy od jakości gleby...*  
Hipokrates, 377 r. p.n.e.

## W PŁYW ZANIECZYSZCZEŃ NA FUNKCJE GLEBY W ŚRODOWISKU I W ŻYCIU CZŁOWIEKA

*Maria Niklińska (Kraków)*

### Gleba jako składnik biosfery i środowisko życia

Gleba jest naturalnym tworem powierzchniowej warstwy skorupy ziemskiej powstałym ze zwietrzliny skalnej w wyniku oddziaływania na nią zmieniających się w czasie zespołów organizmów żywych i czynników klimatycznych w określonych warunkach rzeźby terenu. Stanowi najważniejszy składnik biosfery, odgrywający rolę w procesie przepływu energii, regulujący obieg niezbędnych do życia pierwiastków i utrzymujący równowagę między tlenem i dwutlenkiem węgla w atmosferze. Gleba jest źródłem składników mineralnych i wraz z wodą, powietrzem oraz energią słoneczną zapewnia istnienie i rozwój życia w ekosystemach lądowych. Stanowi podstawowe ogniwo w łańcuchu troficznym gleba – roślina – zwierzę – człowiek.

Od tysięcy lat człowiek wykorzystuje glebę dla rolnictwa, budownictwa i transportu, a także eksploatuje surowce w niej występujące. Gleba pośrednio i bezpośrednio wpływa na jakość naszego życia, a mimo to wydaje się być ciągle niedoceniana przez człowieka.

Wręcz przeciwnie, intensywne rolnictwo, przemysł, urbanizacja i rozwijająca się komunikacja lądowa powoduje niszczenie gleb i utratę jej podstawowych funkcji. Gleba wykorzystywana jest także jako miejsce gromadzenia większości produkowanych odpadów. Przekształcenia antropogeniczne gleb

odnajdujemy współcześnie niemal we wszystkich obszarach świata. Tempo tych przekształceń wzrasta lawinowo wraz z dynamicznym wzrostem zaludnienia naszej planety oraz koniecznością zaspokojenia rosnących potrzeb ludzkości. Powoduje to systematyczną redukcję arealu gleb naturalnych, zużywanych na składowiska pozostałości poprodukcyjnych i konsumpcyjnych. Niestety, proces tworzenia gleby jest tak powolny, że możemy traktować zasoby glebowe jako nieodnawialne. Jeden centymetr naturalnej gleby powstaje w okresie 200 - 400 lat, a wytworzenie pełnego profilu glebowego (ryc. 1) wymaga kilku tysięcy lat. Poza zdegradowanymi i zanieczyszczonymi glebami w rejonach przemysłowych, także gleby miejskie znajdujące się pod stałą bezpośrednią antropopresją podlegają mechanicznym przekształceniom, którym towarzyszy szereg przemian chemicznych i fizyczno-chemicznych, takich jak: zwiększenie zasolenia, zmiany odczynu gleby, zawartości próchnicy glebowej oraz stężeń pierwiastków śladowych lub niektórych substancji organicznych, np. pochodnych ropy naftowej. Wszystkie te przekształcenia oddziałują na organizmy glebowe a tym samym osłabiają tempo przebiegu podstawowych procesów glebowych, czyli procesów produkcji i dekompozycji.

### Organizmy glebowe i funkcje gleby

Gleba, główny składnik ekosystemów lądowych, utrzymuje korzenie roślin i umożliwia ich rozwój oraz

stanowi środowisko życia dla różnorodnych organizmów glebowych, uczestniczących w rozkładzie materii organicznej i obiegu pierwiastków. Gleba dostarcza nam pożywienie, biomasę oraz surowce. Stanowi platformę dla krajobrazu i działalności człowieka, archiwum historii naturalnej (badania paleontologiczne) oraz odgrywa istotną rolę jako naturalne siedlisko i miejsce gromadzenia zasobów genetycznych. Ze względu na heterogeniczność (zmiennosc własności) w glebie odnajdujemy cztery razy więcej genów organizmów tam występujących niż na jej powierzchni.

Gleba magazynuje, filtruje i przekształca wiele substancji, w tym wodę, składniki odżywcze i węgiel, a także pełni funkcje buforujące, chroniące ekosystemy przed nadmiernym przepływem pierwiastków śladowych do innych elementów biosfery. Gleby magazynują olbrzymie zasoby węgla, znacznie więcej niż organizmy lądowe, w tym także rośliny. Szacuje się, że glebach zmagazynowane jest 1 500 gigaton węgla.

Zmienne w czasie i w przestrzeni właściwości gleby sprzyjają zróżnicowaniu organizmów glebowych; bakterii, grzybów oraz mikro- i makrofauny. Szczególną rolę odgrywa tu górna warstwa gleby, czyli materia organiczna, której zawartość w glebach może się bardzo różnić, np. niektóre gleby piaszczyste mogą mieć ok. 1% materii organicznej a gleby torfowe zawierają jej ponad 80%.

Organizmy glebowe biorą aktywny udział w dekompozycji materii organicznej, przepływie dwutlenku węgla i obiegu biogenów (węgla, azotu, fosforu, siarki). Różnorodność organizmów glebowych jest również widoczna w ich funkcjach; niektóre organizmy wpływają na fizyczne własności gleby a inne na tempo obiegu pierwiastków. Wzajemne oddziaływania (interakcje troficzne) w rozbudowanym łańcuchu glebowym silnie oddziałują na funkcje ekosystemu.

Kompleksowa struktura gleb zależna od naturalnych czynników klimatycznych i geologicznych oraz od aktywności człowieka, a także zróżnicowanie organizmów glebowych utrudnia rozpoznanie zależności pomiędzy różnorodnością i aktywnością organizmów a funkcjonowaniem ekosystemów. Wiadomo, że pojawienie się w glebie zanieczyszczeń wpływa na przebieg procesów glebowych. Jednakże oddziaływania te są silnie zależne od własności gleb, takich jak: zawartość materii organicznej, odczyn, pojemność kationowymienna, struktura, uziarnienie czy wilgotność lub temperatura.

### Zanieczyszczenia w glebach i ich oddziaływanie

Większość pierwiastków niezbędnych do życia (mikroelementów) organizmom różnych poziomów troficznych dostarczana jest z gleby jako zewnętrz-

nej warstwy litosfery. W rejonach nie objętych presją przemysłu pierwiastki te występują w naturalnych, niewielkich stężeniach, zależnych od rodzaju i składu chemicznego skał, z których gleby pochodzą, stąd też niekiedy nazywane są „metalami śladowymi” lub „pierwiastkami śladowymi”. Są one katalizatorami procesów życiowych, składnikami enzymów (Cu, Zn) i brak tych pierwiastków w organizmie człowieka wywołuje stany chorobowe (np. anemie, choroby układu nerwowego, zaburzenia rozwoju, obniżenie płodności lub stany zapalne skóry). O ile śladowe ilości niemal wszystkich metali ciężkich są niezbędne dla prawidłowego funkcjonowania organizmów żywych, to występowanie tych pierwiastków w podwyższonych stężeniach najczęściej oddziałują negatywnie na większość organizmów. Mikroelementami niezbędnymi w procesach metabolicznych roślin, w tym procesie fotosyntezy oraz w przemianach azotowych są żelazo (Fe), mangan (Mn), kobalt (Co), miedź (Cu), cynk (Zn), molibden (Mo) i wanad (V). Jednak, wskutek zamierzonej lub niezamierzonej działalności człowieka wiele pierwiastków przedostaje się do gleby w ilościach nadmiarowych, co powoduje, że gleby stają się miejscem akumulowania metali, a w określonych warunkach mogą stać się także ich niekontrolowanym źródłem.

Zanieczyszczenie gleb oznacza nienaturalne nagromadzenie w glebie składników chemicznych wywołujących zaburzenia w środowisku glebowym, wegetacji roślin, zmniejszenie plonów i obniżenie ich jakości oraz w procesach dekompozycji materii organicznej. Głównym źródłem antropogenicznych zanieczyszczeń szkodliwych lub toksycznych dla organizmów żywych są huty, elektrownie i elektrociepłownie lub cementownie zlokalizowane najczęściej w okręgach przemysłowych. Także środki komunikacji, ścieki i odpady, przemysł chemiczny i farmaceutyczny oraz stosowane intensywnie nawozy sztuczne i środki ochrony roślin są istotnym źródłem nadmiarowych ilości zanieczyszczeń. W szczególności emisja przenoszonych drogą atmosferyczną zanieczyszczeń przemysłowych prowadzić może do znaczącej akumulacji metali ciężkich w powierzchniowych warstwach gleb. Do szczególnie intensywnej akumulacji zanieczyszczeń dochodzi w glebach ekosystemów leśnych (ryc. 2). Specyficzny mikroklimat terenów leśnych oraz duża szorstkość powierzchni koron drzew sprzyjają ich zwiększonej depozycji. Uważa się, że tereny leśne, zwłaszcza lasy iglaste, pełnią niekiedy rolę filtra wychytującego znaczną część zanieczyszczeń atmosferycznych.

Wśród zanieczyszczeń nieorganicznych szczególną rolę odgrywają metale ciężkie, które stosunkowo

łatwo docierają do gleby, w skutek opadów atmosferycznych pyłów przemysłowych i intensywnie akumulują się w górnych, organicznych warstwach gleby i na długo pozostają w środowisku. Najwyższe stężenia metali ciężkich w glebach występują zazwyczaj w pobliżu emitorów. Wraz ze wzrastającą odległością od źródła emisji, stężenia metali ciężkich w glebach istotnie maleją, jednakże wpływ dużych emitorów może być nawet widoczny w glebach odległych o ponad 100 km od źródeł zanieczyszczeń. Akumulacji metali w glebach sprzyja wysoka zawartość minerałów ilastych, dlatego też gleby cięższe (ilaste, gliniaste) mogą zawierać większe ilości tych pierwiastków. Czynnikiem sprzyjającym akumulacji metali jest też wysoka zawartość martwej materii organicznej (humusu), która ma zdolność wiązania metali ciężkich w związki kompleksowe.

Występujące w Polsce gleby są zróżnicowane zależnie od budowy geologicznej i rzeźby terenu, warunków klimatycznych i hydrograficznych, szaty roślinnej, a także sposobu użytkowania. Największe obszary kraju ok. 80% pokrywają gleby brunatnoziemne i bielicoziemne, powstałe pod zbiorowiskami leśnymi. Gleby brunatnoziemne, wytworzone na skałach wapiennych pokrywają ok. 52% powierzchni, głównie w zachodnich i północnych regionach oraz w górach (las mieszane i liściaste). Gleby bielicoziemne, rozproszone po całej Polsce wytworzone zostały na ubogich piaskach i stanowią ok. 25%. Odczyn tych gleb jest przeważnie kwaśny lub słabo kwaśny, co decyduje o ich własnościach i funkcjach. Wiadomo, że znaczna część substancji i pierwiastków zanieczyszczających jest transformowana lub wiązana w glebie w formach nieaktywnych. Gleby, szczególnie te wytworzone na skałach wapiennych chronią wody głębinowe i roślinność przed zatruciem. Zanieczyszczenia docierające do kwaśnych gleb bielcowych mogą stanowić znacznie większe zagrożenie. Na tego rodzaju stresy szczególnie narażone nie tylko gleby o niskim pH, ale też obszary, na których występują kwaśne opady, powstające na skutek wprowadzania do atmosfery dużych ilości tlenków siarki i azotu ( $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$ ) lub stosowania w nadmiarze nawozów mineralnych. Zakwaszenie powoduje większą mobilność, a więc wymywanie biogenów (K, Ca, Mg) oraz niszczenie zdolności buforowych gleb, a tym samym wzrost stężenia dostępnych form metali ciężkich, co oznacza ich większą toksyczność. Obserwuje się, że procesy te mogą zależeć także od wielkości i intensywności opadów. Dostępne wolne jony metali są łatwiej przyswajane i akumulowane przez rośliny oraz zwierzęta, a tym samym stanowią zagrożenie dla człowieka, np. jony glinu (Al).

Tabela 1. Stężenia wybranych metali ciężkich w glebach niezanieczyszczonych i zanieczyszczonych w Polsce (Kabata-Pendias i Pendias, 1999).

Pierwiastek	Zakresy średnich stężeń w różnych glebach niezanieczyszczonych ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Maksymalne zawartości w glebach skażonych ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
Zn	35-80	14500
Pb	13 - 25	13000
Cu	6 - 19	1600
Cd	0,05- 0.5	107
Hg	0.02 - 0.3	55
As	2-15	2500
Tl	0.01- 2.8	80

Do najbardziej niebezpiecznych pierwiastków, których stężenia w glebach przekraczają średnie stężenia występujące w skorupie ziemskiej, należą przede wszystkim: kadm, ołów, rtęć, cynk, miedź, cyna, arsen, tal. Wysokie dawki tych metali mogą powodować silne toksyczne efekty u organizmów żywych różnych poziomów troficznych. Ich szkodliwe działanie zależy od czynników środowiskowych: odczynu gleby, wilgotności i temperatury, zawartości materii organicznej, jej składu i zdolności buforowych oraz obecności i oddziaływaniu innych związków lub pierwiastków. Obecne w glebach metale oddziałują na wszystkie organizmy mających z glebą kontakt. Skutki tych oddziaływań zależą od rodzaju metalu i stężenia w jakim występują w przyrodzie oraz czasu ekspozycji (narażenia). Dlatego w naturalnych warunkach niezmiernie trudno oceniać i przewidywać skutki obecności konkretnego pierwiastka w środowisku. Problem oceny ryzyka wynika także z faktu, że metale nie występują w glebach pojedynczo. Ponadto, badania dowodzą, że czasem niewielkie stężenia rozproszonych w środowisku zanieczyszczeń mogą stać się niebezpieczne w przypadku pojawienia się równocześnie różnych innych czynników stresu, co często ma miejsce w naturalnych warunkach środowiskowych. Takim dodatkowym stresem może być susza, duże wahania temperatury, pojawienie się drapieżników, konkurencja o pokarm lub też brak pokarmu.

### Toksyczność metali dla organizmów

Określenie wpływu konkretnego metalu na funkcje gleby w środowisku i w życiu człowieka wiąże się z oceną jego toksyczności. Toksyczność metali ciężkich dla organizmów żywych zależy od:

- chemicznej formy występowania;
- stężenia i czasu narażenia organizmu;
- drogi wnikania do organizmu;
- narządowej i subkomórkowej dystrybucji;
- formy magazynowania lub unieruchamiania;
- interakcji z innymi pierwiastkami (związkami);
- stanu fizjologicznego organizmu;
- występowania innych stresów.

Oznacza to, że o toksycznym oddziaływaniu metalu decyduje nie tylko dostępność tego pierwiastka (forma występowania) i droga dostępu (mechanizm jego pobrania, przyswajania i wydalania), ale także stan fizjologiczny organizmu. Co ciekawe, wykazano, że niektóre zwierzęta mogą zmieniać swoje zachowania i unikać silnie zanieczyszczonego pokarmu. Reakcje takie obserwowane były np. u dżdżownic i ślimaków.

Najbardziej toksyczne są wolny jony metali, oddziaływujące bezpośrednio na organizmy glebowe. Pierwiastki należące do ksenobiotyków (substancji nie wykorzystywanych przez żaden organizm) ołów i rtęć, występują w glebach najczęściej w formach niedostępnych. Jednak w wyniku procesów mikrobiologicznej lub chemicznej metyzacji, rtęć może stać się przyswajalna dla roślin. Wśród pierwiastków śladowych za najbardziej toksyczny uznawany jest kadm (do niedawna uważany także za ksenobiotyk), który charakteryzuje się bardzo dużą mobilnością w systemie gleba-roślina. Łatwe przyswajanie i akumulowanie kadmu przez rośliny związane jest z ryzykiem bezpośredniego włączenia go do diety człowieka. Pierwiastek ten jest łatwo wchłaniany, stosunkowo długo zatrzymywany w tkankach i akumulowany w ważnych dla organizmów organach (nerki, wątroba). Osoby niepalące pobierają kadm głównie z żywnością. Różnice w toksyczności metali zależą od zakresu tolerancji charakterystycznych dla poszczególnych gatunków roślin, zwierząt czy grup mikroorganizmów. Niektóre populacje mogą przejawiać mniejszą wrażliwość na występujące w glebie metale wskutek wykształconych w drodze doboru specyficznych adaptacji. Taki mechanizm występuje np. u mikroorganizmów glebowych lub roślin rosnących na glebach trwale zanieczyszczonych.

### Wpływ pierwiastków śladowych na mikroorganizmy i procesy glebowe

Mikroorganizmy glebowe i ich aktywność fizjologiczna jest podstawą wszelkich procesów zachodzących w glebie: dekompozycji, mineralizacji azotu i fosforu oraz przemian siarki. Mikroorganizmy zawierają część składników odżywczych krążących w ekosystemie glebowym, biorą udział w procesach mineralizacji i humifikacji materii organicznej, rozkładzie substancji zanieczyszczających oraz przyczyniają się do utrzymywania właściwej struktury gleb. Prawidłowy obieg pierwiastków często zależy od aktywności wyspecjalizowanych mikroorganizmów, które nie mogą być zastąpione innymi gatunkami. Wyniki badań uzyskanych w ostatnich latach wska-

zują, że największym zagrożeniem dla funkcjonowania ekosystemów jest nie tyle osłabienie aktywności i zmniejszenie biomasy mikroorganizmów, ile zmiana struktury i różnorodności ich zespołów. Różnorodność ta dotyczy zarówno różnorodności funkcjonalnej (metabolicznej) jak i różnorodności genetycznej. Dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów leśnych ważne są zależności pomiędzy mikroorganizmami chorobotwórczymi a saprofitycznymi. Te ostatnie są często antagonistami fitopatogenów. Na-



Ryc. 1. Naturalny profil glebowy. Fot. Maria Niklińska.

ruszenie równowagi pomiędzy tymi dwiema grupami może zwiększać zagrożenie roślin chorobami, a tym samym zmniejszać produktywność ekosystemu leśnego. Dla rozwoju roślinności leśnej niezwykle istotne są mikroorganizmy symbiotyczne, z którymi wiele roślin tworzy mikoryzę. Bez grzybów mikoryzowych wiele gatunków roślin w ogóle nie jest w stanie przeżyć. Każda roślina żyje w pewnym związku z określonymi mikroorganizmami glebowymi, które w istotny sposób wpływają na jej zdolność do konkurencji z innymi roślinami i odporność na patogeny korzeni. Mikroorganizmy stanowią też pokarm dla bezkręgowców glebowych. Przedstawiciele fauny glebowej odżywiają się niekiedy jedynie specyficznymi rodzajami mikroorganizmów, dlatego ekstynkcja pewnych grup mikroorganizmów wskutek zanieczyszczenia środowiska prowadzić może do wyginięcia także części fauny glebowej. Z drugiej strony zanieczyszczenia mogą oddziaływać pośrednio na zespół organizmów, kiedy ograniczeniu lub wyeliminowaniu ulegają pasożyty, drapieżniki lub konkurenci spoza tego zespołu. Na skutek osłabienia ograniczającego wpływu innych gatunków może nastąpić wzrost różnorodności zespołu. Wykazano, że gromadzenie się ściółki poprzez redukcję organizmów ją rozkładających powoduje wzrost bogactwa gatunkowego chrząszczy i niektórych pajęczaków.

Zazwyczaj uważa się, że zmiany bioróżnorodności zespołów wiążą się ze zmianami w funkcyjono-

waniu ekosystemów, czyli zmianami tempa dekompozycji i obiegu pierwiastków oraz tempa produkcji biomasy. Jednak skutki redukcji różnorodności mikroorganizmów w glebach, choćby na skutek działania zanieczyszczeń nie są łatwe do przewidzenia. Wiele grup mikroorganizmów pełni w glebie te same funkcje i organizmy bardziej wrażliwe mogą być zastępowane przez inne, bardziej odporne organizmy. Wielu badaczy potwierdza istnienie mechanizmu prowadzącego do wzrostu tolerancji zespołów mikroorganizmów glebowych indukowanej zanieczyszczeniem (ang. *pollution induced community tolerance*, PICT). Tak dzieje się często w glebach długotrwale narażonych na dopływ metali. Coraz częściej nurtuje nas jednak pytanie, czy to zastępowanie gatunków jest możliwe w każdych warunkach środowiskowych. Czy pojawienie się kilku czynników stresogennych prowadzą-



Ryc. 2. Leśna materia organiczna stanowi główne miejsce gromadzenia się zanieczyszczeń. Fot. Maria Niklińska.

cych do istotnych zmian różnorodności gatunkowej i funkcjonalnej nie spowoduje niebezpieczeństwa ekstynkcji (wyginięcia) gatunków ważnych z punktu widzenia funkcjonowania ekosystemów, tzw. gatunków zwornikowych. Za najbardziej wrażliwe uważa się mikroorganizmy glebowe biorące udział w przemianach związków azotowych.

Właściwy stan zespołów mikroorganizmów glebowych, ich odpowiednia ilość, aktywność i różnorodność jest warunkiem koniecznym dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów lądowych. Zespoły mikroorganizmów glebowych mogą być charakteryzowane szeregiem parametrów opisujących ich funkcje, ilość oraz różnorodność. Parametry te używane są często jako wskaźniki jakości biologicznej gleb. Z uwagi na znaczną wrażliwość mikroorganizmów glebowych na podwyższone stężenia metali ciężkich, pa-

rametry zespołów mikroorganizmów glebowych mogą być stosowane także do oceny ryzyka środowiskowego lub oceny skutków środowiskowych. Ponieważ mikroorganizmy glebowe w największej obfitości występują w poziomach organicznych gleb leśnych, a poziomy te są najbardziej narażone na emisję i akumulację metali ciężkich, parametry zespołów mikroorganizmów zasiedlających próchnicę nadkładową mogą być szczególnie przydatne dla oceny skutków zanieczyszczenia gleb i ryzyka środowiskowego.

### Oddziaływanie metali na rośliny i człowieka

Chociaż mechanizm biologicznego wykorzystania większości pierwiastków jest w pewnym zakresie kontrolowany przez rośliny, to bariery te nie zawsze działają w przypadku metali ciężkich. W takich przypadkach stężenia pierwiastków śladowych w roślinach są silnie skorelowane z ich stężeniami w glebie. Powoduje to różnorodne problemy nie tylko dla roślin, ale także dla zwierząt czy ludzi, dla których niedobór lub nadmiar pierwiastka w pożywieniu może stanowić zagrożenie. Taką prostą zależność między stężeniem pierwiastków w podłożu i w roślinach obserwuje się np. na obszarach zanieczyszczonych lub rudonośnych. Podwyższone stężenia niektórych metali np. Zn, Cd czy Pb w glebach powodują, że rosnące tam rośliny wykazują także znacznie wyższe stężenia tych metali w tkankach niż te same gatunki rosnące na glebach czystych. Rośliny występujące na glebach o wysokich stężeniach metali ciężkich wykształciły specyficzne cechy: słabe pobieranie metali z gleby, ich zatrzymywanie w korzeniach i ograniczenie transportu do części nadziemnych. Ważną funkcję w odporności na metale ciężkie pełni mikoryza.



Ryc. 3. Zawciąg pospolity *Armeria maritima* - gatunek przystosowany do życia na glebach silnie zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Fot. Paweł Kapusta.

Obserwuje się zdolność korzeni niektórych drzew do unikania miejsc o wysokich stężeniach metali ciężkich. W zależności od gatunku i pierwiastka, metale są różnie pobierane i transportowane do części nadziemnych. U brzozy rosnącej na odpadach z zakładów przetwarzających chrom stwierdzano najwyższe stężenia Pb i Cu w korzeniach, a Zn w korze.

Specyficzną zdolność niektórych roślin do bioakumulacji metali wykorzystuje się do oceny stanu środowiska, wykorzystując rośliny jako wskaźniki zanieczyszczenia. Należy pamiętać jednak, że rośliny stanowią naturalne pożywienie dla ludzi i zwierząt, więc mogą stać się one źródłem niebezpiecznych dla zdrowia metali ciężkich.

Wyraźny wzrost stężenia metali ciężkich w płodach rolnych wiąże się głównie z ich uprawą na glebach rejonów objętych bezpośrednio przemysłem lub będących w zasięgu atmosferycznych pyłów metalonowych. Stosowane obecnie w przemyśle filtry znacząco redukują stężenia zanieczyszczeń w pyłach atmosferycznych. Niekiedy jednak ciągle jeszcze istotnym zagrożeniem dla zdrowia są obecne w diecie warzywa uprawiane w miejskich ogródkach działkowych, zlokalizowanych w rejonach objętych przemysłem lub w pobliżu arterii komunikacyjnych. Pomimo wprowadzenia benzyny bezołowiowej stężenia ołowiu w roślinach rosnących wzdłuż ruchliwych arterii komunikacyjnych są wyższe od dopuszczalnych norm. Obserwuje się, że prowadzony od lat monitoring środowiskowy, popularyzacja wyników oraz odpowiednie akcje uświadamiające właścicieli ogródków działkowych i gospodarstw sąsiadujących z drogami szybkiego ruchu, prowadzą do zmiany struktury upraw i zamiany warzyw na rośliny ozdobne. Z kolei intensyfikacja rolnictwa i rozwój lokalnego transportu powoduje, że obecnie notujemy niższe, ale bardziej rozproszone i różnorodne zanieczyszczenia, które w formach przyswajalnych mogą być pobierane przez warzywa, owoce czy zboża pochodzące z rejonów pozaprzemysłowych i pozamiejskich, a tym samym mogą stanowić źródło przedostających się do naszych organizmów zanieczyszczeń. Coraz częściej stwierdza się także zwiększone zawartości metali ciężkich w roślinach pochodzących z pól intensywnie nawożonych nawozami fosforowymi (dotyczy to głównie kadmu) oraz substancjami odpadowymi, takimi jak osady ściekowe, popioły z węgla czy wapna poflotacyjne. Różnice w akumulacji metali przez rośliny mają szczególne znaczenie w przypadku warzyw stanowiących podstawę diety. Obserwuje się tendencje do zwiększonej zawartości niektórych pierwiastków np. ołowiu, kadmu, cynku i molibdenu w kapuście i innych roślinach krzyżowych, kadmu i ołowiu w ziemniakach i marchwi (szczególnie w skórce), a chromu, ołowiu i kadmu w sałacie. Poza sałatą naziemne części pietruszki i selera stosunkowo silnie akumulują szkodliwe metale. Na ogół rośliny zbożowe i trawy pobierają mniej metali śladowych niż rośliny dwuliścienne. Wydaje się więc, że najprostszym i najbezpieczniejszym rozwiązaniem jest zróżnico-

wana dieta składająca się z żywności różnego pochodzenia (rośliny i zwierzęta lądowe, ryby słodkowodne i morskie) oraz kupowanie żywności pochodzącej od różnych producentów i z różnych rejonów upraw.

Nie można zapominać jednakże, że większość omawianych tu pierwiastków śladowych jest niezbędna dla rozwoju organizmów. W warunkach naturalnych istnieje duże zróżnicowanie zawartości pierwiastków śladowych w zależności od gatunków, a nawet odmian roślin oraz od warunków wegetacji. Ważną funkcję pełni temperatura w strefie korzeni, np. wzrost temperatury od 8 do 16°C zwiększa dwukrotnie stężenie Cu, Zn i Mn w liściach pszenicy ozimej. Oznacza to jednak, że niskie temperatury mogą powodować deficyt tych pierwiastków w roślinach, a także u zwierząt żywionych taką paszą.



Ryc. 4. Tobolek alpejski *Thlaspi caerulescens* roślina silnie akumulująca metale. Fot. Grażyna Szarek-Lukaszewska.

### Biologiczne sposoby oczyszczania gleb

Częściowe poznanie mechanizmów pobierania, transportowania i akumulowania metali ciężkich przez rośliny znajduje zastosowanie w procesach bioremediacji gleb zanieczyszczonych. Tereny objęte presją przemysłową są zasiedlane przez różne populacje roślin, które wykazują tolerancję na zawarte w glebie metale. W wielu rejonach obserwuje się sukcesywne wkraczanie roślin na gleby silnie zanieczyszczone. Gatunki rosnące na takich glebach różnią się zdolnościami pobierania i akumulowania metali oraz ich unikania. Wyróżniane są trzy podstawowe grupy roślin:

- akumulatory- rośliny gromadzące metale w pędach w stężeniach wyższych niż w środowisku;
- indykatory (rośliny wskaźnikowe) – ilość pobieranych i transportowanych metali zależy silnie od stężeń w podłożu;
- eliminatory (rośliny wykluczające) - wykorzystujące mechanizmy blokowania metali i nie pobierania metali.

Hiperakumulacja metali ciężkich jest cechą występującą u ponad 450 gatunków roślin wyższych. Hiperakumulatory wykazują także tolerancję na metale ciężkie, a najnowsze badania wykazują, że cechy te są niezależne genetycznie. Ekologiczne i biologiczne znaczenie silnej akumulacji metali przez rośliny pozostaje nadal nie do końca rozpoznane.

Mechanizm ten jest coraz częściej wykorzystywany w procesach remediacji terenów i gleb zanieczyszczonych (fitoremediacja i fitostabilizacja) oraz w procesach odzyskiwania metali (fitoekstracji). Wśród niewielu gatunków roślin tolerancyjnych szczególnie silną akumulację kadmu i cynku wykazuje *Arabidopsis halleri* (L.) i *Armeria maritima* (Mill.) Willd. (ryc. 3), a kadmu, cynku i niklu tobołek alpejski (*Thlaspi caerulescens* J.) (ryc. 4). Ta ostatnia roślina nie tylko wykazuje tolerancję na metale, ale także może je silnie akumulować np. 10000 mg Zn/kg suchej masy, 100 mg Cd/kg suchej masy i 1000 mg Ni/kg suchej masy. Poziom akumulacji metali u tobołka zależy silnie od odczynu gleby, gdyż rośliny rosnące na glebach kwaśnych akumulują znacznie więcej kadmu i cynku niż na glebach o podłożu wapiennym. Czasem poziom metali ciężkich w pędach tobołka alpejskiego może być tak wysoki, że stanowią one toksyczny pokarm dla zwierząt żywiących się tym gatunkiem. Podejrzewa się, że cecha ta wyewoluowała by odstraszać zwierzęta.

Poza roślinami, także niektóre mikroorganizmy glebowe mogą być stosowane w procesach oczyszczania gleb lub pozyskiwania metali. W procesach biolugowania metali z odpadów odzyskuje się np. miedź, złoto czy uran. Mikroorganizmy biolugują metale poprzez utlenienie nierozpuszczalnych minerałów siarcz-

kowych do rozpuszczalnych w wodzie siarczanów metali lub przez utlenienie minerałów siarczkowych, które są zanieczyszczeniem silnie związanym z rodzimym metalem.

Obecny stan wiedzy wskazuje, że substancje toksyczne praktycznie zawsze zmieniają warunki środowiskowe oddziałując na różnorodność i funkcjonowanie ekosystemu. Jednakże, same pomiary stężeń zanieczyszczeń np. metali w glebach nie dają informacji o ich wpływie na organizmy i pełnione przez te organizmy funkcje w ekosystemach. Konieczne jest prowadzenie badań ekotoksykologicznych uwzględniających zmienność warunków glebowych oraz występowanie wielu czynników stresogennych równocześnie, które pomogą przewidywać skutki działania substancji toksycznych na różnych poziomach organizacji biologicznej. Ostatnio udowodniono, że występowanie mechanizmu tolerancji na metale u mikroorganizmów glebowych oznacza często wzrost tolerancji na antybiotyki. Powszechne stosowanie antybiotyków zarówno u ludzi jak i u zwierząt hodowlanych, i w konsekwencji wzrastające ich nagromadzenie w środowisku oznacza, że wprowadzone do środowiska glebowego zanieczyszczenia, nawet jeśli nie oddziałują bezpośrednio na człowieka, mogą stać się niebezpieczne poprzez oddziaływanie na mikroorganizmy glebowe.

Dr hab. Maria Niklińska pracuje w Instytucie Nauk o Środowisku Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, e-mail: maria.niklinska@uj.edu.pl

## KŁOPOTY Z GRYPĄ

Barbara Płytycz (Kraków)

Już drugi raz w bieżącym dziesięcioleciu zagrożiła nam pandemia grypy. W latach 2005/2006 była to tzw. grypa ptasia, a w roku 2009 grypa świńska. Już same nazwy wskazują, że choroba ta dotyka nie tylko ludzi. Uporządkujmy wiedzę na ten temat, zaczynając od grypy człowieka.

### Grypa a przeziębienia grypo-podobne

W terminologii medycznej, grypa jest chorobą górnych dróg oddechowych wywołaną przez wirusy z rodziny Orthomyxoviridae, na którą zapadamy stosunkowo rzadko i przeciw której mogą chronić szczepienia. W języku potocznym, grypą nazywamy także różnego rodzaju grypo-podobne przeziębienia, objawiające się bólem gardła i kaszlem lub nieżytem nosa i katarrem, albo biegunką i wymiotami. W tym ostatnim przypadku mówimy potocznie o grypie żołądkowej. Nie ma szczepionek przeciw przeziębie-

niom, gdyż są one wywoływane przez bardzo różne drobnoustroje.

Tabela 1 ukazuje główne różnice między grypą (angielski termin: *influenza* lub *flu*), wywołaną przez ortomyksowirusy a przeziębieniem (angielski termin: *cold*). Rycina 1 ukazuje natomiast typową kinetykę rozwoju grypy. Posłużyłam się tu również łatwym do zapamiętania anglojęzycznym akronimem objawów tej choroby – *FLU FACTS*.

Chory człowiek zaraża wirusami grypy ludzkiej drogą kropelkową, najczęściej podczas kichania lub kaszlu. U kolejnej osoby wirusy atakują komórki nabłonka górnych dróg oddechowych. W odróżnieniu od przeziębień, rozwijających się zazwyczaj powoli, symptomy grypy występują bardzo szybko, zazwyczaj w ciągu drugiej doby od zakażenia. Pojawia się wówczas gorączka przekraczająca 39°C, silny ból głowy i tzw. „łamanie w kościach”, męczący suchy kaszel i ogromne zmęczenie, senność i brak apetytu.