

się np. różnym poziomem aktywności genu. Wykazaliśmy, że polimorfizm skutkujący mniejszą ekspresją MMP-9 jest częstszy u chorych na schizofrenię, a rzadszy u cierpiących na chorobę maniako-depresyjną, niż u osób zdrowych. Wyniki tych badań są w zgodzie z innymi ostatnimi odkryciami, wskazującymi, że zmiany plastyczności synaptycznej leżą

u podłoża chorób psychicznych. Taki postęp naszej wiedzy – wskazujący na rolę podobnych mechanizmów leżących u podłoża uczenia się i pamięci, jako wybranych wyższych czynności intelektualnych z jednej strony, a ich zaburzeń w postaci chorób psychicznych z drugiej, jest niewątpliwie fascynujący, acz nie całkiem nieoczekiwany...

Prof. dr hab. Leszek Kaczmarek, Kierownik Pracowni Neurobiologii Molekularnej Instytutu Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN, 02-093 Warszawa, Pasteura 3, tel. (22) 659-30-01, fax: (22) 822-53-42; E-mail: l.kaczmarek@nencki.gov.pl



Wsparcie udzielone przez Islandię, Liechtenstein i Norwegię poprzez dofinansowanie ze środków Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego oraz Norweskiego Mechanizmu Finansowego, a także ze środków budżetu Rzeczypospolitej Polskiej w ramach Funduszu dla Organizacji Pozarządowych.

PESTYCYDY: ZA CZY PRZECIW?

Ryszard Laskowski (Kraków)



Pestycydy to termin bardzo ogólny, obejmujący ogromną grupę substancji chemicznych, których jedyną wspólną cechą jest to, że służą do niszczenia organizmów uznanych przez człowieka za szkodniki (łac. *pestis* – zaraza, plaga; *caedere* – zabijać). Znajdziemy wśród nich zarówno substancje nieorganiczne (np. zieleń paryska – $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, kryolit – Na_3AlF_6), jak i całą gamę substancji organicznych (np. DDT, aldryna, dimetoat, chlorpiryfos i wiele innych). Obecnie znanych jest około 1500 takich substancji, należących do ponad 50 klas związków chemicznych. Pod względem powszechności stosowania pierwsze miejsce zajmują herbicydy – substancje do zwalczania chwastów, stanowiące około 60% światowego zużycia pestycydów. Na miejscu drugim znajdują się fungicydy, służące do walki z grzybami (do 20% światowego zużycia), zaś miejsce trzecie to dość zróżnicowana grupa związków chemicznych używanych do walki ze szkodnikami zwierzęcymi – zoocydy (około 10-20% zużycia). Pozostałe kilka procent przypada na wszelkie inne substancje stosowane do walki ze szkodnikami i chorobami, np. baktericydy. Jak widać z tego zestawienia, pestycydy służą bardzo różnym celom. Ochrona roślin uprawnych przed szkodnikami, mikroorganizmami chorobotwórczymi oraz konkurencją ze strony innych roślin (chwastów), umożliwia zwiększenie plonów. Pestycydy stosowane przeciwko bakteriom oraz pasożytom zwierzęcym zapewniają dobry stan zdrowotny zwierząt

hodowlanych, a w konsekwencji większą produkcję mięsa, tłuszczu czy mleka. Chronią także nas samych przed owadami i pajęczakami roznoszącymi choroby oraz przed samymi organizmami chorobotwórczymi. Lista korzyści płynących ze stosowania pestycydów jest więc długa. Jest jednak druga strona medalu: pestycydy są skutecznym orężem w walce ze szkodnikami dzięki temu, że są dla nich toksyczne, nie jest zaś możliwe stworzenie takich substancji, których toksyczność ograniczałaby się do tych wyłącznie gatunków, przeciwko którym są kierowane. Zatem stosowanie pestycydów z definicji pociąga za sobą jakieś niekorzystne skutki, co czyni postawione w tytule artykułu pytanie jak najbardziej zasadnym. Zanim jednak będziemy mogli wytoczyć konkretne argumenty przemawiające za i przeciw powszechnemu stosowaniu pestycydów, musimy, choć pobieżnie, poznać te substancje.

Czym są pestycydy?

Nie miejsce tu na szczegółową prezentację wszystkich grup pestycydów pod kątem ich budowy chemicznej i mechanizmów oddziaływania na organizmy. Skupimy się zatem na tych, które wydają się nieść największe ryzyko dla człowieka i jego środowiska. Należą tu przede wszystkim środki stosowane do zwalczania szkodników owadzych – insektycydy, mimo że ich udział w ogólnym zużyciu pestycydów

wynosi mniej niż 20%. Najślawniejszym z nich (niektórzy powiedzieliby - najbardziej niesławnym) jest niewątpliwie DDT – dichlorodifenylotrichloroetan, w Polsce znany swego czasu pod nazwą handlową Azotox. Zsyntetyzowany w 1874 roku przez austriackiego chemika Othmara Zedlera, wówczas doktora Adolfa von Baeyera, profesora Uniwersytetu w Salzburgu, pozostał praktycznie nieznanym aż do roku 1939, kiedy to jego owadobójcze właściwości odkrył szwajcarski uczonek Paul Müller. DDT wszedł do powszechnego użycia już na początku lat 1940. To dzięki niemu udało się w czasie II Wojny Światowej opanować epidemię roznoszonego przez wszy tyfusu. Za swoje odkrycie Müller otrzymał w 1948 roku nagrodę Nobla, a DDT i jego pochodne przez z górą 20 lat stanowiły podstawowy oręż człowieka w walce ze szkodnikami upraw i owadami roznoszącymi choroby.

Jednak idea walki ze szkodnikami przy pomocy toksycznych substancji chemicznych nie jest bynajmniej wymysłem naszych czasów. Z zapisków historycznych wiadomo, że do niszczenia owadów pasożytów i roztoczy Sumerowie stosowali fumigację wewnątrz domów siarką już około 2000 lat przed naszą erą. Do walki ze szkodnikami upraw Chińczycy wykorzystywali naturalne pestycydy pochodzenia roślinnego, co najmniej 1000 lat p.n.e., zaś pluskwy zwalczali przy pomocy związków rtęci i arsenu. W XVII wieku po raz pierwszy jako pestycyd zastosowano siarczan nikotyny, a w wieku XIX odkryto dwa kolejne pestycydy pochodzenia naturalnego: pyretrynę, pochodzącą z kwiatów złocienia *Chrysanthemum cinerariaefolium* Vis., oraz rotenon z korzeni tropikalnych bobowatych (Fabaceae). Pestycydy nie tylko więc nie są substancjami odkrytymi niedawno, ale nawet nie są substancjami odkrytymi przez człowieka. Rośliny zawsze musiały się bronić przed roślinożercami, a najskuteczniejszą metodą obrony jest właśnie produkcja substancji toksycznych lub odstraszających. Należy do nich cała gama tzw. wtórnych produktów przemiany materii u roślin: glikozydy, flawonoidy, olejki eteryczne, garbniki, alkaloidy i inne. Niektóre z nich są tak silnie toksyczne dla zwierząt i występują w roślinach w tak wysokich stężeniach, że można je pozyskiwać na skalę przemysłową – jak ma to miejsce ze wspomnianymi wyżej pyretryną, nikotyną i rotenonem, czy też fizostygminą pozyskiwaną z bobu kalabarskiego (*Physostigma venenosum* Balf.).

Najważniejsze obecnie klasy insektycydów syntetycznych to związki chloroorganiczne, fosforoorganiczne, pyretroidy (pochodne pyretryny), rotenoidy (pochodne rotenonu), karbaminiany (należy tu m.in. fizostygmina) i substancje wywodzące się z nikotyny

– chloronikotynyle. Poza samym faktem, że są toksyczne dla owadów, łączą je dwie inne istotne cechy: wszystkie są substancjami organicznymi, wyraźnie lipofilnymi, wszystkie też działają bezpośrednio na układ nerwowy. Pestycydy chloroorganiczne przede wszystkim blokują kanały sodowe w komórkach nerwowych oraz Ca^{2+} -ATPazę, hamując w ten sposób repolaryzację neuronów, co uniemożliwia prawidłowe przekazywanie sygnału nerwowego. Działając na ATPazy, uszkadzają także funkcjonowanie mitochondriów. Zbliżone, choć nie do końca poznane, jest też działanie pyretroidów, które wchodzi w interakcje głównie z kanałami sodowymi komórek nerwowych. Pestycydy fosforoorganiczne i karbaminiany blokują acetylocholinesterazę, uniemożliwiając rozkład acetylocholine, a tym samym pozostawiając układ nerwowy w stanie wzbudzenia, co uniemożliwia normalne przewodzenie sygnałów nerwowych. Mechanizm działania chloronikotynyli jest odmienny – wiąże się one z receptorami acetylocholine na błonie postsynaptycznej, ale skutek jest podobny – upośledzenie przekazywania sygnałów nerwowych pomiędzy neuronami. Rotenoidy upośledzają produkcję ATP w komórkach nerwowych, a bezpośrednią przyczyną śmierci z powodu zatrucia tymi substancjami jest najprawdopodobniej uszkodzenie funkcji oddechowych.

Teraz wiemy już o pestycydach wystarczająco dużo, by spróbować się zmierzyć z pytaniami o rolę pestycydów w naszym życiu, w naszej cywilizacji. Czy ze względu na liczne korzyści możemy i powinniśmy używać pestycydów, czy też ich skutki uboczne są tak poważne, że należałoby wprowadzić powszechny zakaz ich stosowania? Czy rozstanie się z pestycydami jest w ogóle możliwe, czy też jesteśmy na nie skazani po wsze czasy? Problem jest ciekawy z jeszcze jednego względu – niemal codziennie możemy przeczytać lub usłyszeć w mediach skrajne na ten temat poglądy, a ich wyznawcy wychodzą czasami na ulice z transparentami (jeśli nie gorzej). Abyśmy mogli podejmować w tej sprawie racjonalne decyzje, trzeba poznać argumenty obu stron i skonfrontować je z faktami.

Pestycydy to nieszczęście dla ludzkości i biosfery – szkodzą środowisku i trują ludzi

Z przedstawionej wyżej krótkiej charakterystyki głównych grup insektycydów organicznych jasno wynika, że podstawowym mechanizmem ich działania jest upośledzanie działania systemu nerwowego. Równocześnie, w ogólnych zarysach, mechanizm działania systemu nerwowego jest wspólny dla całego królestwa zwierząt. Prostą implikacją tych dwóch faktów jest bardzo szerokie spektrum działania insek-

tycydów opartych na tym mechanizmie. Pewne różnice na poziomie mechanizmów przekazywania sygnałów nerwowych u gatunków zwierząt należących do różnych wielkich jednostek taksonomicznych, takich jak gromady, pozwalają wprawdzie obecnie na opracowywanie pestycydów bardziej toksycznych dla owadów niż dla ssaków, nie jest jednak możliwe opracowanie tego rodzaju substancji całkowicie bezpiecznych dla innych grup taksonomicznych niż organizmy docelowe (szkodniki). To między innymi z tego właśnie powodu Rachel Carson, autorka słynnej książki „Silent spring” („Milcząca wiosna”), wydanej w USA w 1962 roku, nazwała pestycydy „biocydami” – a więc substancjami zabijającymi nie tylko szkodniki (*pestis*), ale wszelkie życie (gr. βίος, czyt. *bios* - życie). Do napisania „Silent spring” skłoniło autorkę stosowanie w latach 1940 – 1960 na masową skalę nowo odkrytych pestycydów z DDT na czele. Bodaj najsłynniejszym przykładem problemów, jakie z tego wynikły, był przypadek kalifornijskiego jeziora Clear. W latach 50. XX w. zastosowano tam DDT do zwalczania niewielkich muchówek z rodziny Sciaridae. Muchówki nie były wprawdzie żadnym szkodnikiem, ale ich wielkie populacje, jakie każdej wiosny lęły się w jeziorze, nie były mile widziane przez turystów wypoczywających nad jego brzegami. Wstępne badania wykazały, że przy pomocy względnie niewielkich dawek DDT i jego pochodnej DDE, da się skutecznie ograniczyć populację Sciaridae. Pestycydy spełniły pokładane w nich nadzieje. Niestety nie przewidziano jednego zjawiska: skutek dużej hydrofobowości i łatwego rozpuszczania się w tłuszczach oraz dużej trwałości DDT i DDE, pestycydy kumulowały się w organizmach zwierząt żyjących w wodzie – następowała *bioakumulacja* toksycznej substancji. Wraz z tłuszczem drobnych zwierząt planktonowych DDT i jego metabolity trafiały do kolejnych ogniw łańcucha troficznego: ryb i drapieżnych ptaków, znów kumulując się w ich tkankach. To zjawisko wzrostu stężenia substancji toksycznych w kolejnych ogniwach łańcucha troficznego zostało później nazwane *biomagnifikacją*, czyli „biologicznym wzmocnieniem”. Rzeczywiście – ostatecznym skutkiem było „wzmocnienie” efektów na najwyższych poziomach troficznych – zaczęły ginąć perkozy, bieliki amerykańskie i inne drapieżne ptaki żywiące się rybami. Późniejsze badania wykazały niezbicie, że pestycydy organiczne generalnie wykazują tendencję do wzrostu stężenia wzdłuż łańcuchów troficznych (biomagnifikację). Zjawisko to powoduje, że nawet przy niewielkich dawkach pestycydy mogą osiągać w ciałach szczytowych drapieżników szkodliwe stężenia; aby po jakimś czasie uwidoczniły się negatywne skutki tego

zjawiska, nie muszą one występować w środowisku w stężeniach letalnych. To właśnie wydarzyło się w okolicach jeziora Clear.

Populacje szczytowych drapieżników mogą być zagrożone przez pestycydy nawet wówczas, gdy w ich tkankach letalne stężenia nie zostaną osiągnięte. Wystarczy, że spowodują zaburzenia rozrodu, a także zubożenie bazy pokarmowej, by po kilku latach liczebność populacji dramatycznie spadła. Taki negatywny wpływ insektycydów, zwłaszcza z grupy związków chloroorganicznych, został wielokrotnie dowiedziony, a w krajach, gdzie od wielu lat prowadzi się regularne badania liczebności ptaków, stwierdzono istotny spadek ich liczebności (rzędu 20-30%) na terenach otwartych – a więc tam, gdzie przede wszystkim stosuje się pestycydy. Podobne zjawisko zaobserwowano w Europie wśród motyli (średnio 10-15% spadku w krajach Unii Europejskiej), a można sądzić, że dotyczy ono także wielu innych organizmów, zwłaszcza owadów; jeśli o tym nie wiemy, to wyłącznie dlatego, że nie mamy dobrych historycznych danych o wielkości ich populacji. Gwoli naukowej uczciwości należy zaznaczyć, że przynajmniej za część obserwowanego spadku liczebności ptaków i motyli są zapewne odpowiedzialne inne zjawiska: osuszanie łąk, zmiana zagospodarowania terenów zielonych, zanieczyszczenia przemysłowe. Nie sposób określić procentowo, który z czynników w jakim stopniu odpowiada za te niekorzystne procesy. Nie ulega jednak wątpliwości, że pestycydy zajmują tu miejsce poczesne.

Nieprzewidziane negatywne skutki powszechnego i, dodajmy, w znacznej mierze beztroskiego stosowania DDT, wynikające z jego dużej lipofilności i trwałości w środowisku, doprowadziły do stopniowego wycofywania tego pestycydu z rynku, aż do całkowitego zakazu jego stosowania. W większości krajów Europy i Ameryki zakaz wprowadzono w latach 70. XX w. (Polska – 1976), a do połowy lat 90. ubiegłego wieku DDT został praktycznie wycofany z użycia na całym świecie. Stopniowo zastępowano go nowocześniejszymi insektycydami, jednak charakter działania większości insektycydów jest podobny – oddziałując na układ nerwowy, nie mogą być wysoce specyficzne, ponieważ sygnały nerwowe przekazywane są w praktycznie identyczny sposób u wszystkich zwierząt, w tym u człowieka. Można zatem uznać, że problemy znane z historii DDT w znacznej mierze odnoszą się także do większości innych organicznych insektycydów, w tym tych powszechnie dziś stosowanych.

Uboczne, niekorzystne skutki skażenia środowiska pestycydami dla człowieka nie są już tak dobrze dowiedzione, tym niemniej o niektórych z tych związków wiadomo, iż są potencjalnie kancerogenne (choć nie ma

pewnych dowodów na bezpośredni związek częstotliwości występowania nowotworów z narażeniem na pestycydy). Mogą też powodować zaburzenia układu endokrynnego. Najnowsze badania wskazują na rotenoidy jako substancje mogące przyczyniać się do rozwoju choroby Parkinsona, a rotenon stosuje się w badaniach nad tą chorobą do wywołania jej objawów u doświadczalnych myszy i szczurów.

Pestycydy to błogosławieństwo ludzkości - bez nich nie możemy istnieć

Jeśli uświadomimy sobie tempo wzrostu populacji człowieka w ciągu ostatnich dwustu lat, jeśli zdamy sobie sprawę z wykładniczego wzrostu zapotrzebowania na energię i pożywienie, przy równocześnie ograniczonych możliwościach dalszego poszerzania arealu upraw, staje przed nami iście maltuzjański obraz. Jak każda inna populacja, tak i nasza własna, podlega pewnym ograniczeniom. Ekolodzy nazywają te ograniczenia „pojemnością środowiska”. Wszelkie teoretyczne modele, wielokrotnie zweryfikowane empirycznie, o zdrowym rozsądku nie wspominając, wskazują, że liczebność żadnej populacji nie może rosnąć w nieskończoność. Przy pomocy modeli matematycznych i doświadczalnie można łatwo wykazać, że po okresie wykładniczego wzrostu następuje albo stabilizacja liczebności, albo, co gorsza, dramatyczny jej spadek, jeśli doszło do nadmiernego wyeksploatowania zasobów. W skrajnym przypadku może dojść do ekstynkcji populacji. Thomas Robert Malthus (1776 – 1834) zdał sobie z tego sprawę już w XVIII wieku i nawet jeśli pomylił się co do szczegółów, to miał stuprocentową rację co do generalnych faktów. Tymczasem nasza populacja wciąż rośnie i wiadomo, że jeśli nie nastąpi jakieś dramatyczne wydarzenie, będzie rosła jeszcze przynajmniej do końca bieżącego stulecia. Będzie nas wówczas jakieś 10-15 miliardów! Właśnie! – czy aby na pewno? Będzie to zależało przede wszystkim od możliwości zaspokojenia potrzeb konsumpcyjnych tak wielkiej populacji. Czy na świecie wystarczy zasobów, z żywnością na czele? Na tak postawione pytanie nie ma, niestety, jednoznacznej odpowiedzi. Pomijając wszelkie niedoskonałości oszacowań teoretycznej wydajności naszej planety pod względem możliwości produkcji żywności, ogromny znak zapytania to przeciętny poziom spożycia w skali ludzkości. Niektórzy demografowie i ekolodzy twierdzą, że gdyby za docelowy dla całej ludzkości przyjąć przeciętny poziom życia Europejczyka czy też mieszkańca Ameryki Północnej, to już przekroczyliśmy możliwości naszej planety. Jednak nawet jeśli tak nie jest, to z pewnością zbliżamy się

do granic możliwości. Tymczasem straty w plonach, powodowane przez szkodniki i chwasty, szacuje się w skali świata na kilkanaście do kilkudziesięciu procent produkcji, np. około 12-21% ryżu, 9-20% kukurydzy. W samych Stanach Zjednoczonych wartość tych strat wynosi obecnie nieco poniżej 4 mld dolarów rocznie, a specjaliści szacują, że przy zaniechaniu stosowania pestycydów osiągnęłyby około 20 mld dolarów. W krajach tropikalnych, gdzie znajdują się wszystkie najuboższe kraje świata, z największymi problemami demograficznymi, szkodniki i chwasty potrafią odebrać człowiekowi nawet ponad 41% plonów ryżu, blisko 40% plonów kukurydzy, około 70% zbiorów buraka cukrowego, marchwi czy cebuli. Należy pamiętać, że są to dane dotyczące krajów, gdzie głód już teraz jest zjawiskiem powszechnym – nietrudno sobie wyobrazić skutki, jakie pociągnęłoby za sobą zaniechanie stosowania pestycydów.

Wyżywienie kilku miliardów ludzi to jednak nie jedyny problem, z jakim wiąże się kwestia (nie) stosowania pestycydów. Wspomnieliśmy wcześniej o roli, jaką odegrało w latach 40. XX w. DDT w zwalczaniu chorób zakaźnych przenoszonych przez owady. Obecnie na malarię zapada rocznie 300 – 500 mln ludzi, spośród których umiera od 1 do 2,7 mln. Nie istnieje na Ziemi druga choroba, która co roku zabierałaby równie wiele istnień ludzkich. Malaria roznoszona jest przez komary i w tej chwili stanowi problem przede wszystkim w krajach tropikalnych (zwłaszcza w Afryce), należy jednak pamiętać, że niemal cała Europa i znaczna część Stanów Zjednoczonych znajdują się w zasięgu potencjalnego występowania malarii i choroba ta jeszcze niedawno tam występowała (w południowych Stanach, choć nie przybierała rozmiarów epidemii, występuje do dziś). W Polsce ostatnia epidemia malarii miała miejsce zaledwie 60 lat temu – w latach 1946-1949, a dopiero w 1968 roku Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) uznała Polskę za kraj wolny od malarii. Poza malarią, owady roznoszą wiele innych, równie niebezpiecznych chorób, choć żadna nie może się równać z malarią pod względem skali śmiertelności. Na dengę choruje rocznie około 50 mln ludzi, a kilkaset tysięcy umiera; leishmanioza to kolejne 1,5 – 2 mln zachorowań. A są jeszcze: filarioza, pierwotniakowe zapalenie mózgu, żółta febra, tyfus i inne. Wszystkie te choroby łączą dwie istotne cechy: nie istnieją skuteczne szczepionki przeciwko żadnej z nich i wszystkie są roznoszone przez owady. W tej chwili zatem jedynym skutecznym sposobem zapobiegania rozprzestrzenianiu się ich wszystkich jest eliminacja wektorów, przy mocy których się przenoszą, zaś najskuteczniejszą metodą eliminacji roznoszących choroby owadów jest stosowanie pestycydów. Spek-

takularny jest tu przykład RPA, gdzie głównie przy pomocy DDT występowanie malarii ograniczono w latach 1950. – 1960. do kilkuset, najwyżej kilku tysięcy zachorowań rocznie. Po czterech latach od zastosowania się RPA w 1996 roku do powszechnego zakazu stosowania tego pestycydu, w roku 2000, liczba zachorowań przekroczyła 64 tysiące. W tej sytuacji RPA podjęła decyzję o ponownym wprowadzeniu DDT to zwalczania komarów, dzięki czemu już w roku 2003 liczba zachorowań z powrotem spadła do nieco ponad 3,5 tysiąca. Pod naporem tych faktów, w 2006 roku Światowa Organizacja Zdrowia ponownie dopuściła DDT do stosowania w celu zwalczania malarii i innych tropikalnych chorób przenoszonych przez owady.

Między młotem a kowadłem – czyli co robić?

Przytoczone powyżej dane świadczą dobitnie, że przynajmniej w chwili obecnej bez pestycydów nie możemy się obejść. Zaprzeszanie ich stosowania oznaczałoby praktycznie natychmiastową klęskę głodu w skali, jakiej ludzkość dotąd nie zaznała. Epidemie roznoszonych przez owady chorób zaczęłyby zbierać żniwo znane co najwyżej z zapisków historycznych, a ich zasięg rozszerzyłby się z powrotem na rejony ich pierwotnego występowania. Z drugiej jednak strony, powszechność stosowania pestycydów w sposób ewidentny prowadzi do zatrucia wielu środowisk, pociąga za sobą wymieranie wielu populacji zwierząt, a być może nawet prowadzi do ekstynkcji gatunków. Niektóre pestycydy niosą bezpośrednie zagrożenie dla zdrowia człowieka; mogą przyczyniać się do rozwoju parkinsonizmu, być może zwiększają ryzyko występowania chorób nowotworowych, mogą wchodzić w interakcje z naszym systemem endokrynnym. Czy istnieje zatem jakaś alternatywa dla pestycydów? W tej chwili niestety nie. Od kilkudziesięciu lat trwają wprawdzie prace nad szczepionką przeciwko malarii, ale jak dotąd bez skutku. Malaria jest chorobą pasożytniczą, powodowaną nie przez bakterie, lecz przez znacznie większe, jednokomórkowe organizmy, o ogromnej zmienności i skomplikowanej strukturze. Nasz układ immunologiczny nie radzi sobie dobrze z takimi organizmami chorobotwórczymi i nawet przebycie malarii daje tylko bardzo nieznaczny wzrost odporności na tę chorobę, i to na bardzo krótko. Dlatego nie należy się spodziewać, aby w najbliższym czasie udało się opracować naprawdę skuteczną szczepionkę. Podobnie więc, jak w przypadku innych chorób powodowanych przez pasożyty (leiszmanioza, filarioza), tymczasem jesteśmy skazani na pestycydy.

Nieco lepiej wygląda sytuacja w rolnictwie. Dzięki inżynierii genetycznej potrafimy już produ-

kować rośliny, które same potrafią się bronić przed szkodnikami. Na skalę przemysłową stosuje się genetycznie zmodyfikowane rośliny, wzbogacone o gen pochodzący od bakterii *Bacillus thuringiensis*, produkujący substancję chemiczną toksyczną dla owadów (toksyna Bt). Co istotne, nie wykazano jak dotąd toksyczności Bt dla ssaków i ptaków, a ponieważ jest produkowana przez samą roślinę, trafia bezpośrednio do organizmów żywiących się nią owadów – zminimalizowane jest zatem ryzyko wystąpienia skutków ubocznych w postaci zatrucia np. owadów pożytecznych. Choć całkiem tego ryzyka wykluczyć się nie da, jest ono nieporównanie mniejsze, niż w wypadku opryskiwania tysięcy hektarów pestycydami. Tak zmodyfikowane genetycznie organizmy, w połączeniu z biologicznymi metodami walki ze szkodnikami, dają nadzieję, jeśli nie na całkowite zaprzestanie stosowania tradycyjnych pestycydów, to przynajmniej na bardzo znaczne ograniczenie ich zużycia. Metodami inżynierii genetycznej produkuje się już także hybrydy dające znacznie większe plony: nawet o 48% w przypadku pomidorów czy o 20-40% w przypadku ryżu. Niestety dopuszczenie do powszechnego użycia roślin genetycznie zmodyfikowanych natrafia w wielu krajach, w tym w Polsce, na bardzo poważny opór społeczny; jak to często w takich wypadkach bywa, wynikający wyłącznie z niewiedzy i idącej za tym skłonności do łatwego dawania wiary nie mającej pokrycia w faktach propagandzie. Jak dotąd nie wykazano bowiem żadnych rzeczywistych zagrożeń ze strony genetycznie zmodyfikowanych roślin. Co więcej, owe modyfikacje genetyczne, jak choćby ta polegająca na wyposażeniu kukurydzy w gen toksyny Bt, nie polegają na tworzeniu żadnych nowych genów, produkujących nie istniejące wcześniej substancje. Bakteria *Bacillus thuringiensis* jest powszechnie obecna w środowisku i większość z nas zapewne nie raz miała okazję się z nią zetknąć bez pomocy inżynierii genetycznej. Tak promowane „rolnictwo organiczne”, które miałoby polegać na całkowitym odejściu od pestycydów i nie dopuszczające stosowania roślin genetycznie zmodyfikowanych, jest ślepą uliczką. Szacunki, poparte konkretnymi danymi na temat wielkości produkcji i pracochłonności tego rodzaju metod uprawy są jednoznaczne - przeciętne plony są w rolnictwie organicznym niższe o około 21%. Zatem utrzymanie produkcji żywności na obecnym poziomie (a pamiętajmy, że już teraz ponad miliard ludzi na świecie głoduje, a ponad dwa miliardy cierpi na niedożywienie!) wymagałoby przeznaczenia pod uprawy 1,47 mln km² – to obszar blisko pięciokrotnie większy od Polski, czy też wielkości ponad 30% całej Unii Europejskiej. Co więcej, pracochłonność upraw

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.



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

Maria Niklińska (Kraków)

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

Gleba jako składnik biosfery i środowisko życia

Gleba jest naturalnym tworem powierzchniowej warstwy skorupy ziemskiej powstałym ze zwiaterziny 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