

GRZEGORZ GRYZIAK

*Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin
Państwowy Instytut Badawczy
Radzików, 05-870 Błonie
E-mail: g.gryziak@ihar.edu.pl*

WZAJEMNIE RELACJE DŹDŻOWNIC, ROŚLIN I MECHOWCÓW*

WSTĘP

Powstawanie próchnicy w wyniku aktywności dżdżownic oraz obserwacje ich zwyczajów – to tytuł wydanej w 1881 r. książki Karola Darwina. Była wynikiem kilkudziesięciu lat obserwacji i pomiarów tych zwierząt. Publikacja, w nakładzie aż 12000 egzemplarzy, rozeszła się w ciągu niespełna trzech lat (FELLER i współaut. 2003). Darwin stwierdza w niej m.in., że nie ma chyba zbyt wielu zwierząt, które by odegrały w historii świata tak ważną rolę jak dżdżownice. Książka sprzedawała się porównywalnie dobrze, jak wydane w 1859 r. *O powstawaniu gatunków drogą naturalnego doboru czyli o utrzymywaniu się doskonalszych ras w walce o byt*. Obie te książki były przełomowe, pierwsza zapoczątkowała nowoczesne badania ekologii gleby, druga stworzyła podwaliny biologii ewolucyjnej. To właśnie w *O powstawaniu gatunków...* Darwin postawił hipotezę, wielokrotnie później potwierdzaną eksperymentalnie, mówiącą, że wyższe poziomy troficzne powodują wzrost różnorodności niższych poziomów troficznych, poprzez uniemożliwienie zdominowania zgrupowań przez jeden gatunek.

Współczesna ekologia stawia kilka zasadniczych pytań dotyczących genezy i funkcji różnorodności biotycznej gleb:

– Ile jest gatunków organizmów zasiedlających glebę? (szacuje się, że na świecie jest 1 mln gatunków roztoczy, do tej pory opisano jedynie 40 tys.);

– Jak to możliwe, że występują w aż tak dużych zagęszczeniach? (mechowce w niektórych biocenozach leśnych osiągają zagęszczenie do 1 mln osobników na m²);

– Jak organizmy glebowe oddziałują między sobą?

– Jaka jest rola zgrupowań organizmów glebowych w funkcjonowaniu ekosystemu? Odpowiedzi na te pytania ciągle są niepełne (LEE 1994). Obecne badania ekologii gleby skupiają się na wpływie zróżnicowania roślinności na faunę glebową (HUHTA 2007), a także na oddziaływaniach pomiędzy organizmami występującymi na powierzchni i w samej glebie (HECTOR i współaut. 1999).

Różnorodność biologiczna organizmów zasiedlających glebę jest determinowana przez czynniki abiotyczne (właściwości fizyczno-chemiczne gleby, klimat) i biotyczne (presja drapieżników, wpływ roślinności, konkurencja) oraz wzajemne powiązania między tymi komponentami (SWIFT i współaut. 1979, WALL i współaut. 2001). Przyjmuje się, że różnorodność gatunkowa rośnie wraz z heterogennością środowiska (WHITFORD 1996) oraz jest zależna od stadium sukcesji roślinności (SCHEU i SCHULZ 1996). Ponadto różnorodnością gatunkową fauny glebowej, szczególnie roztoczy, jest dodatnio skorelowana z zawartością martwej materii organicznej; gruba warstwa organiczna gleby zawiera więcej gatunków i osobników niż warstwa cienka (np. STANTON 1979, CURRY 1994).

*Praca ta była zrealizowana w ramach projektów badawczych MNiSW PBZ-KBN-087/P04/2003 oraz N304 031 31/1155 wykonanych w Centrum Badań Ekologicznych PAN.

W moim artykule zajmę się jedynie trzema elementami tego złożonego systemu wza-

jemnych oddziaływań, jaki spotykamy w glebie: mechowcami, roślinami i dżdżownicami.

MECHOWCE (ACARI: ORIBATIDA)

Mechowce są to drobne pajęczaki, o długości ciała od 0,1 do 2,5 mm i masie od ok. 0,5 µg do ok. 100 µg. Jest to najliczniejsza grupa wśród roztoczy glebowych. Cechują się dużym zróżnicowaniem ekologicznym i w wielu środowiskach osiągają wysoką liczebność oraz różnorodność gatunkową. W Polsce występuje ponad 550 gatunków mechowców (OLSZANOWSKI i współaut. 1996), a na świecie ponad 11000 (WALTER i PROCTOR 2004). W organicznych poziomach gleb leśnych strefy umiarkowanej, na powierzchni 1 m² można znaleźć kilkaset tysięcy mechowców (nierzadko ponad milion), należących do co najmniej 100 gatunków (NIEDBAŁA 1980). Jak pisze KRIVOLUCKIJ (1976), w wielu środowiskach lądowych biomasa mechowców przewyższa biomasę ptaków i ssaków, a ich produkcja netto jest dwukrotnie wyższa niż gryzoni i sześciokrotnie wyższa niż ptaków żyjących na tym samym terenie. Występują powszechnie w wysokich górach, okolicach podbiegunowych czy na pustyniach. Powszechność występowania i wielka liczebność mechowców decydują o ich znacznej roli w przetwarzaniu materii organicznej i udziale w procesach glebotwórczych (NIEDBAŁA 1980). Większość z mechowców występujących w glebie odżywia się sporami, plechą grzybów czy glonami i porostami. Jednak niektóre gatunki, większe i z lepiej zesklekotyzowanym pancerzem, odżywiają się martwą materią organiczną, zarówno tą pochodzenia roślinnego jak i zwierzęcego, co sprzyja rozwojowi mikroorganizmów i bezpośrednio redukuje zawartość detrytusu w glebie. Część z nich jest także padlinożercami i mięsożercami (SCHNEIDER i współaut. 2004). Drobiny pokarmu w czasie przechodzenia przez przewód pokarmowy mechowców pokrywają się grubą membraną perytroficzną, dzięki temu odchody mechowców tworzą zbite, gładkie drobiny (nie większe niż 200×140 µm), pozbawione mineralnych inkluzji, często spotykanych u innych zwierząt zamieszkujących glebę (RUSEK 1985). Spory mikroorganizmów znajdujące się w tych odchodach, mimo że przeszły przez cały przewód pokarmowy pozostają zdolne do wzrostu (RUSEK 1985). Mechowce w znacznym stopniu przyczyniają się do rozprze-

strzenia się w glebie mikroflory glebowej, którą przenoszą biernie zarówno na sobie, jak i w przewodzie pokarmowym. W glebach poddawanych silnym zaburzeniom mechowce wpływają tą drogą na poprawę ich jakości przyspieszając rekolonizację grzybów, powodując wzrost biomasy bakterii i oddychania podstawowego. Stabilizują także pośrednio w glebach zaburzonych pulę pierwiastków biogennych ograniczając ich straty (MARAUN i współaut. 1998). Zwiększają liczbę mikrośrodków, które mogą być zasiedlone przez mniejsze roztocze, nicienie, pierwotniaki, grzyby i bakterie. Mechowce co prawda mają ograniczoną zdolność do modyfikowania porowatości gleb mineralnych (NORTON 1985), ale w glebach suchych, pewne, większe gatunki tych roztoczy potrafią drażyć agregaty glebowe (Coineau, za: WALTER i PROCTOR 2004). Wzrost zagęszczenia mechowców i innych przedstawicieli mezofauny powoduje zwiększoną mineralizację azotu w glebach. Z drugiej strony, wzrost różnorodności gatunkowej fauny glebowej wiąże się z obniżeniem intensywności tego procesu (COLE i współaut. 2004).

Mechowce cechuje niska rozrodczość i długi cykl rozwojowy, wynoszący od 33 dni u *Oppia concolor* (Nannelli, za: SIEPEL 1994) do 400 dni u *Steganacarus magnus* (Webb, za: SIEPEL 1994). Wydają, zależnie od gatunku, od 1 do 5 pokoleń rocznie. Niektóre z nich potrafią żyć nawet 5–7 lat (CANNON i BLOCK 1988, SØVIK i współaut. 2003). Dzięki tym właściwościom, a także niskiej mobilności uniemożliwiającej im szybkie opuszczenie gleby poddanej zaburzeniom (GULVIK 2007), są dobrymi wskaźnikami jakości ekosystemów. Na nawet najdrobniejsze zaburzenia środowiska glebowego reagują zmianą składu i udziału gatunków oraz zmianami zagęszczenia (BEHAN-PELLETIER 1999, CLAPERTON i współaut. 2002). Najistotniejsze czynniki wpływające na zgrupowania mechowców to: (i) warunki klimatyczne: średnia temperatura roczna, suma i rozkład opadów (a w konsekwencji wilgotność gleby) i wysokość nad poziomem morza, (ii) właściwości gleby: stosunek C:N i tekstura, (iii) typ próchnicy i pH (Beck i współaut., za: RUF i BECK 2005). Gatunki rozmnażające się partenogenetycz-

nie (np. *Brachychochthonius immaculatus*, *Microppia minus*) są bardziej wrażliwe od rozmnażających się płciowo na ograniczenie zasobów (DOMES i współaut. 2007) i zmiany środowiska (MARAUN i współaut. 2003).

Roztocze, obok skoczogonków, to najliczniejsza grupa zwierząt w większości ekosystemów. Ich zagęszczenie jest przeważnie wyższe w powierzchniowych częściach profilu glebowego. Nawet 92–98% roztoczy znajduje się w górnych 2–2,5 cm gleby (ŻYROMSKA-RUDZKA 1976, 1978; Bardgett, za: BARDGETT i COOK 1998). Oznacza to, że w tej warstwie gleby przebiegają najintensywniejsze procesy z udziałem mechowców. Budowa morfologiczna fauny glebowej jest zależna od głębokości na jakiej żyje. Gatunki roztoczy występujące na powierzchni gleby są duże, mają mocne, zesklerotyzowane i wyraźnie pigmentowane pancerze. W głębszych warstwach gleby są mniejsze, często pozbawione pigmentacji, ze słabszymi pancerzami (BARDGETT i COOK 1998).

Chociaż roztocze występują w glebie w wysokich zagęszczeniach, to nie ma zbyt wielu badań na temat tego, czy padają ofiarą drapieżników. Badania przeprowadzone w ostatnich latach wykazały, że mechowce produkują feromony alarmowe, które wydzielają w obliczu zagrożenia. Stanowią one sygnał do ucieczki dla pozostałych mechowców (SHIMANO i współaut. 2002, RASPOTNIG 2006). Jednak pomimo tego, mechowce niewątpliwie padają ofiarą drapieżników. Fragmenty roztoczy znajdowano w przewodach pokarmowych pareczników, drobnonogów i widłonogów (WALTER i współaut. 1989). Dla licznych, występujących w glebie drapieżników (pająki, zaleszczotki, kosarze, chrząszcze – biegaczowate i kusakowate, mrówki), roztocze stanowią znaczny odsetek w ich pokarmie (EISENBEIS i WICHARD 1987). Dżdżownice, ze względu na znaczne rozmiary i odżywianie się materiałą organiczną mogą być potencjalnymi drapieżnikami dla mechowców, jednak dotychczas brak danych na ten temat.

DŹDŻOWNICE

BOUCHÉ (1977) wyróżnia trzy typy ekologiczne wśród dżdżownic: epigeiczne, endogeiczne i *anecic*. Dżdżownice epigeiczne zamieszkują powierzchnię, bogatą w próchnicę warstwę gleby oraz ściółkę. Przeważnie są drobne, ciemno ubarwione i szybko się poruszają oraz wydają liczne, szybko rozwijające się potomstwo. Dżdżownice endogeiczne zasiedlają gleby mineralne i nimi się odżywiają. Są zwykle lekko pigmentowane lub pozbawione barwy. Różnią się znacznie pod względem rozmiarów ciała; w tej grupie są zarówno małe jak i duże gatunki. Poruszają się stosunkowo wolno i wykazują wolniejsze tempo reprodukcji niż dżdżownice epigeiczne. Większość dżdżownic *anecic* tworzy głębokie, trwałe korytarze, do których wciągają pokarm z powierzchni gleby. Dżdżownice z tej grupy są znacznych rozmiarów. Ich ciało w przedniej części jest silnie pigmentowane. Cechuje je także niskie tempo reprodukcji (JAMES i HENDRIX 2004).

Doniesienia o wpływie dżdżownic na faunę glebową nie są zgodne: część autorów (MARINISSEN i BOK 1988, LORANGER i współaut. 1998, SALMON 2001, SALMON i PONGE 2001) uważa, że dżdżownice powodują wzrost, inni (DASH i współaut. 1980; MARAUN i współaut. 1998) natomiast, że wywołują spadek różnorodności i zagęszczenia organi-

zmów glebowych. Jednak ich wpływ na roślinność jest bezsporny. W większości artykułów analizowanych przez SCHEUA (2004) wykazano intensywniejszy wzrost roślin w obecności dżdżownic. Główną przyczyną jest wzrost, pod wpływem dżdżownic, koncentracji azotu mineralnego dostępnego dla roślin (SCHEU i współaut. 1999, FRASER i współaut. 2003).

Gatunki inżynierskie to organizmy, które w sposób bezpośredni lub pośredni modyfikują dostępność zasobów biotycznych i abiotycznych ekosystemu dla innych gatunków, poprzez znaczące zmiany stanu fizycznego tych zasobów. Dżdżownice, które w szczególności wysokim stopniu przekształcają środowisko gleby, nazywa się gatunkami inżynierskimi (JONES i współaut. 1994, JOUQUET i współaut. 2006). Oddziaływanie dżdżownic jest różnokierunkowe. Zmieniają zarówno warunki fizyczno-chemiczne gleby, jak i jej właściwości biologiczne. Dżdżownice, drążąc korytarze i chodniki, zwiększają zróżnicowanie siedliska, co sprzyja penetracji w głąb niektórych gatunków skoczogonków, roztoczy i larw owadów (MARINISSEN i BOK 1988, LORANGER i współaut. 1998). Zwiększają także aerację gleby, zmniejszają jej gęstość, a zwiększają porowatość (KRETSCHMAR 1978, CARTER i współaut. 1982, BROWN 1995).

Zagęszczenie nicieni i pierwotniaków, zamieszkujących ściany stałych tuneli dżdżownic (drylosfera), może być znacznie wyższe niż w otaczającej glebie (TIUNOV i współaut. 2001).

Przejsięcie pokarmu przez przewód pokarmowy dżdżownic wpływa niszcząco na zawarte w nim spory niektórych gatunków grzybów, natomiast innym ułatwia kiełkowanie (MOODY i współaut. 1996). Liczba bakterii w wolu i żołądku mięśniowym dżdżownic jest zwykle większa niż w otaczającej glebie i zwiększa się w miarę przechodzenia treści pokarmowej przez jelita (EDWARDS i FLETCHER 1988). Dżdżownice rozdrabniając i mieszając resztki roślinne z frakcją mineralną gleby stymulują rozwój mikroflory, przyspieszając tempo mineralizacji i humifikacji materii organicznej. Ogromne ilości wydalanych przez nie odchodów, warunkuje utrzymywanie się i odnowę struktury agregacyjnej gleb ekosystemów naturalnych i agrocenoz. Dżdżownice w większym stopniu wpływają na powstawanie agregatów mineralno-organicznych niż systemy korzeniowe roślin, zarówno pod względem ich ilości, jak i rozmiarów. Tym niemniej w, przeciwieństwie do dżdżownic, rośliny pozytywnie wpływają na trwałość gruzełków gleby (FRASER i współaut. 2003). Z pewnością ta aktywność dżdżownic wpływa na zasób i jakość pokarmu dostępnego dla mechowców (plecha grzybów, glony, martwa materia organiczna).

Jednak stopień tych oddziaływań jest różny u różnych gatunków dżdżownic. I tak okres połowicznego rozpadu tuneli *Aporrectodea caliginosa* wynosi ok. 13 dni, natomiast *Lumbricus rubellus* ok. 17 dni. Tunele *A. caliginosa*, w przeciwieństwie do tuneli *L. rubellus*, nie są w zasadzie połączone z powierzchnią gleby. Na polach ornych strefy umiarkowanej liczba tuneli dżdżownic waha się od 180 do 1260 na m² i większość z nich stanowią tunele *A. caliginosa* (PITKÄNEN i NUUTINEN 1997). Co więcej, gatunek ten stale draży korytarze, których przeciętna długość wynosi 39,2 cm (FRANCIS i współaut. 2001). Sięgają one na 23 cm w głąb gleby, jednak większość z nich znajduje się do 8 cm pod powierzchnią gleby (EDWARDS i BOHLEN 1996). Blżej powierzchni położone są horyzontalnie, jednak z głębokością stają się bardziej pionowe. Ma to ogromne znaczenie w przechodzeniu wody przez profil glebowy (MCKENZIE i DEXTER 1993). Drylosfera wykazuje wyższą aktywność mikrobiologiczną niż otaczająca ją gleba (LOQUET i współaut. 1977,

TIUNOV i współaut. 2001) i może zawierać nawet 320 razy więcej mikroorganizmów niż pozostała gleba (DEVILIEGHER i VERSTRAETE 1997).

Aktywność epigeicznych dżdżownic *D. octaedra* w warstwie próchnicy gleby lasu sosnowego wpływa negatywnie na zagęszczenie małych gatunków mechowców z rodzin Brachychthoniidae i Oppiidae. Jednakże w ściółce ich różnorodność gatunkowa jest dodatnio skorelowana z biomasą dżdżownic (MCLEAN i PARKINSON 2000). We wcześniejszym eksperymencie MCLEANA i PARKINSONA (1998), również z udziałem epigeicznych dżdżownic *D. octaedra*, korelacja ta była dodatnia zarówno w warstwie próchnicy, jak i w ściółce. GUTIÉRREZ i współaut. (2003) wskazują, że spadek zawartości martwej materii organicznej nasila także konkurencję między endogeicznymi (glebożernymi), stale drażącymi korytarze dżdżownicami a mechowcami.

Nie do końca ustalono, jaki jest mechanizm tych oddziaływań: czy mechowce mogą być zjadane przez dżdżownice biernie, razem z przepuszczaną przez ich przewód pokarmowy glebą, czy są aktywnie wyszukiwane przez dżdżownice (MCLEAN i PARKINSON 1998). DASH i współaut. (1980) oraz SENAPATI (1992) podają, że wydzieliny powłok ciała niektórych, tropikalnych gatunków dżdżownic mogą być toksyczne dla nicieni. Z kolei śluz innych gatunków dżdżownic zawiera substancje przywabiające skoczogonki, co doprowadza do powstawania ich skupisk (SALMON 2001, SALMON i PONGE 2001). Wyciągi z koprolitów i przewodu pokarmowego *A. caliginosa* inhibują metabolizm oraz rozwój komórek bakterii i drożdży (BYZOV i KHOMEYAKOV 2004, OLEJNIK i współaut. 2004). Czy tak samo reagują mechowce na substancje zawarte w śluzie, koprolitach i przewodzie pokarmowym dżdżownic? Jak dotąd brakuje literatury na ten temat.

Badania mikroskopowe treści jelitowej dżdżownic były już wykonywane i opisywane kilkakrotnie (PIEARCE 1978, ROZEN i współaut. 1995, BERNIER 1998). Jednak tylko w jednym przypadku ich celem było poszukiwanie i identyfikacja trudno rozkładalnych fragmentów mezofauny glebowej (GUTIÉRREZ i współaut. 2003). Autorzy nie znaleźli żadnych rozpoznawalnych fragmentów chitynowego pancerza roztoczy i skoczogonków w przewodzie pokarmowym *Hormogaster elisae*, glebożernego gatunku dżdżownic z gleb mineralnych Hiszpanii. Autorzy nie su-

gerują żadnego wyjaśnienia. Dżdżownice ze względu na stosunkowo duże rozmiary mogą być aktywnymi lub biernymi konsumentami przedstawicieli mikro- i mezofauny glebowej. Nawet jeśli w ich jelitach produkowana jest chitynaza własna lub mikrobiologicznego pochodzenia (wyniki nie są jednoznacz-

ne, URBAŠEK i PIŽL 1991), to co najmniej w przednim odcinku przewodu pokarmowego powinno być możliwe rozpoznanie np. szczecinek wazonkowców, *furca* skoczogonków oraz fragmentów odnóży, gnatosomy lub idiosomy mechowców.

ROŚLINY

Uważa się, że zarówno w skali globalnej, jak i regionalnej rośliny są najważniejszym czynnikiem kształtującym różnorodność biologiczną gleby. Wpływają na fizyczne i chemiczne właściwości środowiska produkując substancje organiczne i pobierając mineralne. Poprzez modyfikację mikroklimatu i jako źródło zasobów pokarmowych są czynnikiem decydującym o składzie gatunkowym fauny glebowej. Różnorodność gatunkowa roślin, a także ich produktywność wpływają na różnorodność wyższych poziomów troficznych. Wzrost produktywności roślin zwiększa bogactwo gatunkowe roślinożerców i detrytofagów, a także łączy się ze wzrostem ich zagęszczenia (SIEMANN 1998). Spadek różnorodności gatunkowej roślin w ekosystemie pociąga za sobą uproszczenie składu edafonu (INGHAM i współaut. 1985, MCSORLEY i FREDERICK 1996). Rośliny oddziałują na zespoły organizmów glebowych nie tylko poprzez zmiany mikroklimatu, struktury i zasobów gleby, ale też poprzez ilość i jakość nadziemnej i podziemnej produkcji pierwotnej, z których znaczna część, jako ściółka, stanowi źródło pierwiastków biogenych i energii dla edafonu. Jakość ściółki, w przeciwieństwie do jej różnorodności, wpływa na zgrupowania edafonu. Najniższą różnorodność edafonu notuje się w ściółce o niskim stosunku C:N (ILIEVA-MAKULEC i współaut. 2006).

Innym źródłem zasilania podsystemu glebowego są łatwo dostępne składniki organiczne i mineralne wypłukiwane z obszaru fyllosfery (KRAM 2001) oraz eksudaty i wydzieliny ryzosfery kształtujące mikroflorę i mikrofaunę. U roślin uprawnych 25-44% produktów fotosyntezy translokowanych do korzeni trafia bezpośrednio do gleby w postaci wydzielin, śluzów i złuszczających się komórek młodych korzeni (MARTIN 1977, HALLER i STOLP 1985). Pomimo pewnych kontrowersji i zastrzeżeń (HUSTON i współaut. 2000) przyjmuje się, że wielogatunkowe zespoły roślinności łąkowej wykazują wyższą produktywność w porównaniu do układów kilkuga-

tunkowych i monokultur (TILMAN i DOWNING 1994, HECTOR i współaut. 1999, LOREAU i współaut. 2001). MILCU i współaut. (2006) odnotowali, że wraz ze wzrostem bogactwa gatunkowego roślin rośnie masa ciała *A. caliginosa*. Zależność ta nie jest skorelowana z biomasa korzeni i pędów, lecz z różnorodnością korzeni, wynikającą ze zróżnicowania zespołów roślinnych. Masa ciała dżdżownic w układach z niską różnorodnością roślin była wyższa w obecności skoczogonków niż bez nich. Autorzy sugerują, że skoczogonki ułatwiają wykorzystanie zasobów przez dżdżownice. Prawdopodobnie podobne zjawisko może zachodzić przy udziale i innych saprofitów, w tym mechowców.

Korzenie roślin wpływają na rozmieszczenie, liczbę, kierunek i długość tuneli dżdżownic. Potrafią także w nie wrastać (COLE i współaut. 2004). Z drugiej strony, aktywność dżdżownic wpływa na biomasę korzeni i ich głębokość. Dżdżownice mogą także wydzielać substancje zbliżone do regulatorów wzrostu, pobudzając wzrost roślin (TOMATI i współaut. 1990). W agroekosystemach dżdżownice, wraz z wydzielinami i wydaliniami, dostarczają na hektar uprawy 41,5 kg azotu rocznie (BOHLEN i współaut. 2004). Jest to znaczące źródło azotu w glebie. Blisko połowa biomasy korzeni życicy trwałej sięga głębokości 15 cm, a tunele *A. caliginosa* nie sięgają w zasadzie głębiej (COLE i współaut. 2004). Ponadto wzrost zagęszczenia fauny glebowej ujemnie oddziałuje na wielkość biomasy żdźbeł życicy trwałej, przy czym pozytywnie wpływa na nią różnorodność gatunkowa tych zwierząt. Nie zaobserwowano wpływu tych czynników na wielkość biomasy korzeni tej rośliny (COLE i współaut. 2004). Ścinanie darni znacznie redukuje biomasę korzeni i liczbę tuneli dżdżownic (SPRINGETT i GRAY 1997). Dżdżownice wpływają na konkurencję między roślinami – w ich obecności niektóre gatunki rosną lepiej od innych (WURST i współaut. 2005).

LAOSSI i współaut. (2009) zaobserwowali, że obecność w glebie *Lumbricus terrestris* (gatunku *anecic*) sprzyja zwiększeniu biomasy zespołu traw rocznych poprzez stymulację wzrostu *Poa annua* kosztem innych traw. Ten sam efekt zaobserwowano w przypadku gatunku endogeicznego *A. caliginosa* i *Lolium perenne* (KREUZER i współaut. 2004).

Jednak dżdżownice mogą oddziaływać także negatywnie na rośliny. Gdy rosną na glebie, w której żerują dżdżownice, są bardziej podatne na porażenie przez mszyce (EISENHAUER i SCHEU 2008b). Ponadto motylkowate w obecności dżdżownic wydają mniej kwiatostanów, przez co są mniej atrakcyjne dla zapylaczy (EISENHAUER i SCHEU 2008a).

PODSUMOWANIE

Nasza wiedza o wzajemnych relacjach między składowymi systemy glebowego, zwierzętami i roślinami, jest nadal niewystarczająca. Zbadanie tych wzajemnych oddziaływań pozwoli nam na poznanie praw rządzących przyrodą. Co więcej, wiedza ta może także znaleźć swoje zastosowanie w praktyce, np. w rolnictwie, ponieważ zwierzęta zasiedlające glebę są nie tylko indykatorami procesów zachodzących w glebie, ale także

biorą udział w podtrzymywaniu jej zasobności i w konsekwencji produktywności.

PODZIĘKOWANIA

Autor dziękuje prof. Grzegorzowi Makulcowi i prof. Piotrowi Skubale oraz anonimowemu recenzentowi za cenne uwagi. Artykuł powstał w ramach projektów badawczych PBZ-KBN-087/P04/2003 oraz N304 031 31/1155 finansowanych ze środków MNiSW w latach 2003–2009.

WZAJEMNIE RELACJE DŹDŻOWNIC, ROŚLIN I MECHOWCÓW

Streszczenie

Obecne badania ekologii gleby skupiają się na wpływie zróżnicowania roślinności na faunę glebową, a także na oddziaływaniach pomiędzy organizmami występującymi na powierzchni i w samej glebie. Gleba stanowi złożony system oddziaływań między

organizmami ją zasiedlającymi. Praca niniejsza traktuje jedynie o trzech elementach tego systemu: o mechowcach, roślinach i inżynierskich dżdżownicach. Opisane zostały wzajemne ich oddziaływania a także ich wpływ na środowisko gleby.

MUTUAL RELATIONSHIPS OF EARTHWORMS, PLANTS AND ORIBATID MITES

Summary

Current research of soil ecology focuses on the impact of diversity of vegetation on soil fauna, as well as the interactions between organisms occurring above and below soil surface. Soil is a complex system of interactions between soil dwellers. This

paper deals only with the three elements of this system: oribatid mites, plants and engineering earthworms. This work described their mutual interaction and their impact on soil environment.

LITERATURA

- BARDGETT R. D., COOK R., 1998. *Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grasslands*. Appl. Soil Ecol. 10, 263–276.
- BEHAN-PELLETIER V. M., 1999. *Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication*. Agric. Ecos. Environ. 74, 411–423.
- BERNIER N., 1998. *Earthworm feeding activity and development of the humus profile*. Biol. Fertil. Soils 26, 215–223.
- BOHLEN P. J., PARMELEE R. W., BLAIR J. M., 2004. *Integrating the effects of earthworms on nutrient cycling across spatial and temporal scales*. [W:] *Earthworm ecology*. EDWARDS C. A. (red.). CRC Press, Boca Raton.
- BOUCHÉ M. B., 1977. *Strategies lombricines*. Ecol. Bull. 25, 122–132.
- BROWN G. B., 1995. *How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity?* Plant Soil 170, 209–231.
- BYZOV B. A., KHOMYAKOV N. V., 2004. *The microbicide activity of the earthworm gut extracts*. Abstracts of 14th International Colloquium of Soil Zoology and Ecology, 120.
- CANNON R. S. C., BLOCK W., 1988. *Cold tolerance of microarthropods*. Biol. Rev. 63, 23–77.
- CARTER A., HEINONEN J., DE VRIES J., 1982. *Earthworms and water movement*. Pedobiologia 23, 395–397.

- CLAPERTON M. J., KANASHIRO D. A., BEHAN-PELLETIER V. M., 2002. *Changes in abundance and diversity of microarthropods associated with Fescue Prairie grazing regimes*. Pedobiologia 46, 496–511.
- COLE L., DROMPH K. M., BOAGLIO V., BARDGETT R. D. 2004. *Effect of density and species richness of soil mesofauna on nutrient mineralisation and plant growth*. Biol. Fertil. Soils 39, 337–343.
- CURRY J. P., 1994. *Grassland invertebrates, ecology influence on soil fertility and effects on plant growth*. Chapman & Hall, Londyn.
- DASH M. C., SENAPATI B. K., MISHRA C. C., 1980. *Nematode feeding by tropical earthworms*. Oikos 34, 322–325.
- DEVLIEGHER W., VERSTRAETE W., 1997. *Microorganisms and soil physico-chemical conditions in the drilosphere of Lumbricus terrestris*. Soil Biol. Biochem. 29, 1721–1729.
- DOMES K., SCHEU S., MARAUN M., 2007. *Resources and sex: Soil re-colonization by sexual and parthenogenetic oribatid mites*. Pedobiologia 51, 1–11.
- EDWARDS C. A., BOHLEN P. J., 1996. *Biology and ecology of earthworms*. Chapman & Hall, Londyn.
- EDWARDS C. A., FLETCHER K. E., 1988. *Interactions between earthworms and microorganisms in organic matter breakdown*. Agric. Ecosystems Environ. 24, 235–247.
- EISENBEIS G., WICHARD W., 1987. *Atlas on the biology of soil arthropods*. Springer-Verlag, Berlin.
- EISENHAEUER N., SCHEU S., 2008a. *Earthworms as drivers of the competition between grasses and legumes*. Soil Biol. Biochem. 40, 2650–2659.
- EISENHAEUER N., SCHEU S., 2008b. *Invasibility of experimental grassland communities: the role of earthworms, plant functional group identity and seed size*. Oikos 117, 1026–1036.
- FELLER C., BROWN G. G., BLANCHART E., DELEPORTE P., CHERNYANSKII S. S., 2003. *Charles Darwin, earthworms and the natural sciences: various lesson from past to future*. Agric. Ecos. Environ. 99, 29–49.
- FRANCIS G. S., TABLEY F. J., BUTLER R. C., FRASER P. M., 2001. *The burrowing characteristics of three earthworm species*. Aust. J. Soil Res. 39, 1453–1456.
- FRASER P. M., BEARE M. H., BUTLER R. C., HARRISON-KIRK T., PIERCY J. E., 2003. *Interactions between earthworms (Aporrectodea caliginosa), plants and crop residues for restoring properties of a degraded arable soil*. Pedobiologia 47, 870–876.
- GULVIK M., 2007. *Mites (Acari) as indicators of soil biodiversity and land use monitoring: a review*. Pol. J. Ecol. 55, 415–440.
- GUTIÉRREZ LÓPEZ M., RAMAJO MATESANZ M., JESÚS LIDÓN J. B., DÍAZ COSÍN D. J., 2003. *The effect of Hormogaster elisae (Hormogastridae) on the abundance of soil Collembola and Acari in laboratory cultures*. Biol. Fertil. Soils 37, 231–236.
- HALLER T., STOLP H., 1985. *Quantitative estimation of root exudation of maize plants*. Plant and Soil 86, 207–216.
- HECTOR A., SCHMID B., BEIERKUHNLIN C., CALDEIRA M. C., DIEMER M., DIMITRAKOPOULOS P.G., FINN J., FREITAS H., GILLER P.S., GOOD J., HARRIS R., HÖGBERG P., HUSS-DANELL K., JOSHI J., JUMPPONEN A., KÖRNER C., LEADLEY P. W. i współaut., 1999. *Plant diversity and productivity experiments in European grasslands*. Science 286, 1123–1127.
- HUHTA V., 2007. *The role of soil fauna in ecosystems: A historical review*. Pedobiologia 50, 489–495.
- HUSTON M. A., AARSSSEN L. W., AUSTIN M. P., CADE B. S., FRIDLEY J. D. i współaut., 2000. *No consistent effect of plant diversity on productivity*. Science 289, 1255.
- ILIEVA-MAKULEC K., OLEJNICZAK I., SZANSER M., 2006. *Response of soil micro- and mesofauna to diversity and quality of plant litter*. Europ. J. Soil Biol. 42, 244–249.
- INGHAM R. E., TROFYMOW J. A., INGHAM E. R., COLEMAN D. C., 1985. *Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth*. Ecol. Monographs 55, 119–140.
- JAMES S. W., HENDRIX P. F., 2004. *Invasion of Exotic earthworms into north America and other regions*. [W:] *Earthworm ecology*. EDWARDS C. A. (red.). CRC Press, Boca Raton.
- JONES C. G., LAWTON J. H., SHACHAK M., 1994. *Organisms as ecosystem engineers*. Oikos 69, 373–386.
- JOUQUET P., DAUBER J., LAGERLÖF J., 2006. *Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops*. App. Soil Ecol. 32, 153–164.
- KRAM K. J., 2001. *Influence of leaf area on atmospheric input of elements to the ecosystems of the Kampinos National Park (Central Poland)*. Pol. J. Ecol. 49, 327–337.
- KRETZCHMAR A., 1978. *Quantification écologique des galeries de lombriciens. Techniques et premi res estimations*. Pedobiologia 18, 31–38.
- KREUZER K., BONKOWSKI M., LANGE R., SCHEU S., 2004. *Decomposer animals (Lumbricidae, Collembola) and organic matter distribution affect the performance of Lolium perenne (Poaceae) and Trifolium repens (Fabaceae)*. Soil Biol. Biochem. 36, 2005–2011.
- KRIVOLUCKIJ D. A., 1976. *Rol pancirnych kleszczew biogeocenozach*. Zool. 55, 226–236.
- LAOSSI K.-R., NOGUERA D. C., BARTOLOMÉ-LASA A., MATHIEU J., BLOUIN M., BAROT S., 2009. *Effects on an endogeic and an anecic earthworm on the competition between four annual plants and their relative fecundity*. Soil Biol. Biochem. 41, 1668–1673.
- LEE K. E., 1994. *The biodiversity of soil organisms*. Appl. Soil Ecol. 1, 251–254.
- LOQUET M., BHATNAGAR T., BOUCHÉ M. B., ROUELLE J., 1977. *Essai d'estimation de l'influence écologique de lombriciens sur les microorganismes*. Pedobiologia 17, 400–417.
- LORANGER G., PONGE J. E., BLANCHART E., LAVELLE P., 1998. *Impact of earthworms on the diversity of microarthropods in vertisol (Martinique)*. Biol. Fertil. Soils 27, 21–26.
- LOREAU M., NAEEM S., INCHAUSTI P., BENGTTSSON J., GRIME J. P., HECTOR A., HOOPER D. U., HUSTON M. A., RAFFAELLI D., SCHMID B., TILMAN D., WARDLE D. A., 2001. *Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges*. Science 294, 804–808.
- MARAUN M., SALAMON J.-A., SCHNEIDER K., SCHAEFER M., SCHEU S., 2003. *Oribatid mite and collembolan diversity, density and community structure in a moder beech forest (Fagus sylvatica): effects of mechanical perturbation*. Soil Biol. Biochem. 35, 1387–1394.
- MARAUN M., VISSER S., SCHEU S., 1998. *Oribatid mites enhance the recovery of the microbial community after a strong disturbance*. Appl. Soil Ecol. 9, 175–181.
- MARINISSEN J. C. Y., BOK J., 1988. *Earthworm-amended soil structure: Its influence on Collembola population in grassland*. Pedobiologia 32, 243–252.
- MARTIN J. A., 1977. *Factors influencing the loss of organic carbon from wheat roots*. Soil Biol. Biochem. 9, 1–7.
- MCKENZIE B. M., DEXTER A. R., 1993. *Size and orientation of burrows made by the earthworms*

- Aporrectodea rosea* and *A. caliginosa*. *Geoderma* 56, 233-241.
- MCLEAN M. A., PARKINSON D., 1998. Impacts of epigeic earthworm *Dendrobaena octaedra* on oribatid mite community diversity and microarthropod abundances in pine forest floor: a mesocosm study. *Appl. Soil Ecol.* 7, 125-136.
- MCLEAN M. A., PARKINSON D., 2000. Introduction of epigeic earthworm *Dendrobaena octaedra* changes the oribatid community and microarthropod abundances in a pine forest. *Soil Biol. Bioch.* 32, 1671-1687.
- MCSORLEY R., FREDERICK J. J., 1996. Nematode community structure in rows and between rows of a soybean field. *Fund. Appl. Nematol.* 19, 251-261.
- MILCU A., PARTSCH S., LANGEL R., SCHEU S., 2006. The response of decomposers (earthworms, springtails and microorganisms) to variations in species and functional group diversity of plants. *Oikos* 112, 514-524.
- MOODY S. A., PEARCE T. G., DIGHTON J., 1996. Fate of some fungal spores associated with wheat straw decomposition on passage through the gut of *Lumbricus terrestris* and *Aporrectodea longa*. *Soil. Biol. Biochem.* 28, 533-537.
- NIEDBAŁA W., 1980. *Mechowce – roztocze ekosystemów lądowych*. PWN, Warszawa.
- NIEDBAŁA W., 2004. *Fauna Europaea: Oribatida* [W:] *Fauna Europaea*, MAGOWSKI W. (red.). On-line. <http://www.faunaeur.org/>
- NORTON R. A., 1985. Aspects of the biology and systematics of soil arachnids particularly saprophagous and mycophagous mites. *Quaest. Entomol.* 21, 523-541.
- OLEJNIK A. S., BYZOV B. A., BITYUTSKIJ N. P., 2004. The effect of excretes of the earthworm *Aporrectodea caliginosa* on soil respiration. Abstracts of 14th International Colloquium of Soil Zoology and Ecology, 135.
- OLSZANOWSKI Z., RAJSKI A., NIEDBAŁA W., 1996. Roztocze (Acari), mechowce (Oribatida). *Katalog fauny Polski*, 39.
- PEARCE T. G., 1978. Gut contents of some lumbricid earthworms. *Pedobiologia* 18, 153-157.
- PITKÄNEN J., NUUTINEN V., 1997. Distribution and abundance of burrows formed by *Lumbricus terrestris* L. and *Aporrectodea caliginosa* Sav. in the soil profile. *Soil Biol. Biochem.* 29, 463-467.
- RASPOTNIG G., 2006. Chemical alarm and defence in the oribatid mite *Collohimannia gigantea* (Acari: Oribatida). *Exp. Appl. Acarol.* 39, 177-194.
- ROŽEN A., FIJAŁ K., GRUCA B., 1995. Feeding ecology of some earthworms (*Lumbricidae*). *Acta Zool. Fenn.* 196, 90-91.
- RUF A., BECK L., 2005. The use of predatory mites in ecological soil classification and assessment concepts, with perspectives for oribatid mites. *Ecotox. Environ. Safety* 62, 290-299.
- RUSEK J., 1985. Soil microstructures Contributions on specific soil organisms. *Quaestiones Entomologicae* 21, 497-514.
- SALMON S., 2001. Earthworm excreta (mucus and urine) affect the distribution of springtails in forest soils. *Biol. Fertil. Soils* 34, 304-310.
- SALMON S., PONGE J. F., 2001. Earthworm excreta attract soil springtails: laboratory experiments on *Heteromurus nitidus* (Collembola: Entomobryidae). *Soil Biol. Biochem.* 33, 1959-1969.
- SCHEU S., 2004. Effects of earthworms on plant growth: patterns and perspectives. *Pedobiologia* 47, 846-856.
- SCHEU S., SCHULZ E., 1996. Secondary succession, soil formation and development of a diverse community of oribatids and saprophagous soil macro-invertebrates. *Biodiv. Conserv.* 5, 235-250.
- SCHEU S., THEENHAUS T., JONES H., 1999. Links between the detritivore and the herbivore system: effects of earthworms and *Collembola* on plant growth and aphid development. *Oecologia* 119, 541-551.
- SCHNEIDER K., MIGGE S., NORTON R. A., SCHEU S., LANGEL R., REINEKING, MARAUN M., 2004. Trophic niche differentiation in soil microarthropods (Oribatida, Acari): evidence from stable isotope ratios (¹⁵N/¹⁴N). *Soil Biol. Bioch.* 36, 1769-1774.
- SENAPATI B. K., 1992. Biotic interactions between soil nematodes and earthworms. *Soil Biol. Biochem.* 24, 1441-1444.
- SHIMANO S., SAKATA T., MIZUTANI Y., KUWAHARA Y., AOKI J.-I., 2002. Geranial: the alarm pheromone in the nymphal stage of the oribatid mite, *Nothrus palustris*. *J. Chem. Ecol.* 28, 1831-1837.
- SIEMIANN E., 1998. Experimental tests of effects of plant productivity and diversity on grassland arthropod diversity. *Ecology* 79, 2057-2070.
- SIEPEL H., 1994. Life-history tactics of soil microarthropods. *Biol. Fertil. Soils* 18, 263-278.
- SØVIK G., LEINAAS H. P., IMS R. A., SOLHØY T., 2003. Population dynamics and life history of the oribatid mite *Ameronothrus lineatus* (Acari, Oribatida) on the high arctic archipelago of Svalbard. *Pedobiologia* 47, 257-271.
- SPRINGETT J., GRAY R., 1997. The interaction between plant roots and earthworm burrows in pasture. *Soil Biol. Biochem.* 29, 621-625.
- STANTON N. L., 1979. Patterns of species diversity in temperate and tropical litter mites. *Ecology* 60, 295-304.
- SWIFT M. J., HEAL O. W., ANDERSON J. M., 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Univ. California Press.
- TILMAN D., DOWNING J. A., 1994. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature* 367, 363-365.
- TIUNOV A. V., BONKOWSKI M., ALPHEI J., SCHEU S., 2001. Microflora, Protozoa and Nematoda in *Lumbricus terrestris* burrows walls: a laboratory experiment. *Pedobiologia* 45, 46-60.
- TOMATI U., GALLI E., GRAPPELLI A., DI LENA G., 1990. Effect of earthworm casts on protein synthesis in radish (*Raphanus sativum*) and lettuce (*Lactuca sativa*) seedlings. *Biol. Fert. Soils* 9, 288-289.
- URBAŠEK F., PIŽL V., 1991. Activity of digestive enzymes in the gut of five earthworm species (*Oligochaeta: Lumbricidae*). *Rev. Ecol. Bol. Sol* 28, 461-468.
- WALL D. H., ADAMS G., PARSONS A. N., 2001. Soil biodiversity. [W:] *Global biodiversity in a changing environment – scenarios for the 21st century*. STUART F., SALA E. O., HUBER-SANNWALD E. (red.). Springer, Nowy Jork.
- WALTER D. E., MOORE J. C., LORING S.M 1989. *Symphella* sp. (Symphyla: Scolopendrellidae): predators of arthropods and nematodes in grassland soils. *Pedobiologia* 33, 113-116.
- WALTER D. E., PROCTOR H., 2004. *Mites: ecology, evolution and behaviour*. CABI Publishing, Wallingford.
- WHITFORD W. G., 1996. The importance of the biodiversity of soil biota in arid ecosystems. *Biodiv. Conserv.* 5, 185-195.
- WURST S., LANGEL R., SCHEU S., 2005. Do endogeic earthworms change plant competition? A mesocosm study. *Plant Soil* 271, 123-130.
- ŻYROMSKA-RUDZKA H., 1976. The effect of mineral fertilization of a meadow on the oribatid mites and other soil mesofauna. *Pol. Ecol. Studies* 2, 157-182.
- ŻYROMSKA-RUDZKA H., 1978. The oribatid mite community as an ecosystem component accumulating and dispersing some chemical elements in an intensely fertilized meadow. *Pol. Ecol. Studies* 4, 107-121.