

**Ewa Dmowska**

Instytut Ekologii PAN

Dziekanów Leśny

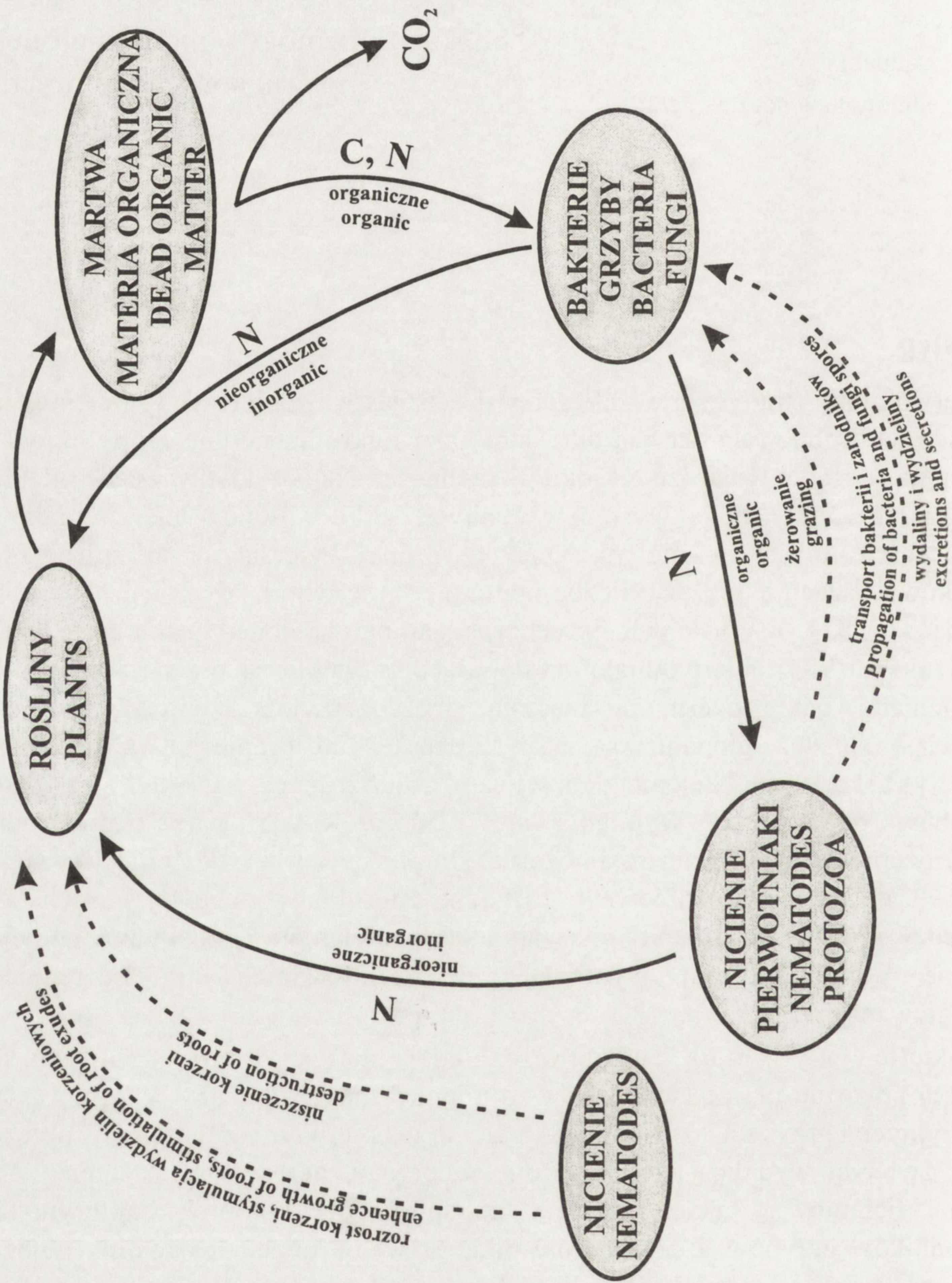
05-092 Łomianki

e-mail: edmowska@poczta.onet.pl

**Rola pierwotniaków i nicieni  
w środowisku glebowym****The role of protozoa and nematodes  
in soil environment****1. Wstęp**

Pierwotniaki (tradycyjnie zaliczane do królestwa zwierząt) i nicienie ze względu na drobne rozmiary są określane jako mikrofauna. Obie grupy na ogół występują w glebie w bardzo wysokiej liczebności. Na przykład w żyznej glebie łąkowej na 1 m<sup>2</sup> mogą występować nawet setki milionów pierwotniaków i kilkanaście milionów nicieni. Obie te grupy zwierząt są zróżnicowane gatunkowo: szacuje się, że liczba gatunków pierwotniaków sięga 40 000 (Corliss 1991), a opisanych dotychczas gatunków nicieni jest ok. 25 000 (Andrássy 1984). Pierwotniaki występujące w glebie są przede wszystkim organizmami bakteriożernymi, rzadziej grzybożernymi. Nieliczne gatunki odżywiają się też glonami, są wszystkożerne lub drapieżne (Couteaux i Darbyshire 1998). Nicienie glebowe są również zróżnicowane pod względem sposobów odżywiania. Wymienia się pięć głównych grup troficznych: bakteriożerne, grzybożerne, roślinożerne, drapieżne i wszystkożerne (Yeates i in. 1993). Znaczne zróżnicowanie troficzne mikrofauny glebowej sprawia, że pomiędzy mikroorganizmami, pierwotniakami, nicieniami i roślinami istnieją złożone współzależności wynikające z bezpośrednich lub pośrednich oddziaływań (rys. 1).

Bakterie i grzyby biorące udział w rozkładzie martwej materii organicznej są źródłem pokarmu dla pierwotniaków i nicieni. Zmagazynowany w komórkach bakteryjnych i grzybach azot jest uwalniany przez pierwotniaki i nicienie, obie te grupy zwierząt wydalają azot w formie nieorganicznej, a więc dostępnej dla roślin. Nicienie są także środkiem transportu dla komórek bakteryjnych i zarodników grzybów. Bezpośrednie oddziaływanie nicieni na rośliny polega m.in. na tym, że żerowanie niewielkiej liczby pasożytów roślin sprzyja rozrostowi systemu korzeniowego oraz intensywniejszej produkcji wydzielin korzeniowych. Natomiast atak dużej liczby pasożytów doprowadza do znacznego zniszczenia systemu korzeniowego.



Rys. 1. Współzależności pomiędzy mikroorganizmami, pierwotniakami, nicieniami i roślinami (oryg.)  
 Relationships between microorganisms, protozoa, nematodes and plants (orig.)

## 2. Wpływ nicieni pasożytów roślin na produkcję pierwotną

Wpływem nicieni roślinożernych na produkcję pierwotną w różnych ekosystemach interesowano się od dawna, gdyż aż 2 000 gatunków nicieni to pasożyty roślin wyższych (Baldwin i in. 2000). Szacuje się, że roczne straty w produkcji pierwotnej spowodowane żerowaniem nicieni w ekosystemach trawiastych wynoszą 6–13% (Inghman i Detling 1984). Straty w produkcji rolniczej spowodowane przez nicienie są liczone w bilionach dolarów (Barker 1994). Można spotkać się z poglądem, że te szacunki są zawyżone, ponieważ żerowanie nicieni nie daje specyficznych symptomów i uszkodzenia roślin spowodowane różnymi czynnikami mogą być przypisywane nicieniom. Ponadto uważa się, że żerowanie pasożytów poniżej progu szkodliwości może być korzystne dla rozwoju rośliny, gdyż reakcją systemu korzeniowego na atak pasożyta jest m. in. wytwarzanie dodatkowych korzeni bocznych, co daje roślinie większą szansę na zasiedlenie jej przez bakterie brodawkowe (Freckman i Virginia 1989), oraz intensywniejsza produkcja wydzielin (Van Gundy i in. 1977, Shane i Barker 1986) sprzyjających rozwojowi bakterii i nicieni bakteriożernych (Sundin i in. 1990, Wright i Coleman 2000). W rezultacie wokół korzeni wzrasta ilość pierwiastków biogennych, które mogą być wykorzystane przez roślinę. Poza tym uszkodzone korzenie łatwiej zasiedlane są przez grzyby mykoryzowe (Freckman i Virginia 1989).

## 3. Rola pierwotniaków i nicieni w procesie rozkładu

### 3.1. Uwalnianie pierwiastków biogennych

Pierwsze doniesienia wskazujące na to, że intensywność procesów rozkładu związków organicznych zależy od obecności pierwotniaków, pojawiły się już w latach trzydziestych dwudziestego wieku (Cutler i Crump 1929, Meiklejohn 1930). Ale dopiero w ciągu ostatnich trzydziestu lat przeprowadzono szereg badań mikrokosmosowych, które jednoznacznie wskazują na to, że obecność zwierząt glebowych określanych jako mikrofauna korzystnie wpływa na procesy rozkładu substancji organicznej (Coleman i in. 1978, Anderson i in. 1981, Ingham i in. 1985, Kuikman i in. 1990a, Setälä i Huhta 1991, De Rooter i in. 1993, Griffiths i in. 1993, Bouwman i Zwart 1994, Griffiths 1994, Chen i Ferris 1999).

Martwa substancja organiczna jest rozkładana przez bakterie i grzyby. W trakcie tych procesów uwalniany jest węgiel, azot i inne pierwiastki biogenne. Znaczne ilości azotu zostają zmagazynowane w komórkach bakteryjnych i grzybach. Są one uwalniane w formie nieorganicznej, a więc dostępnej dla

roślin dopiero wówczas, gdy mikroorganizmy zostaną skonsumowane przez zwierzęta glebowe. Dzięki żerowaniu nicieni i pierwotniaków na bakteriach i grzybach, proces mineralizacji ulega przyspieszeniu. Dzieje się tak dlatego, że stosunek C:N w ciele zwierząt jest wyższy niż w bakteriach. W ciele nicieni na przykład wynosi on 10:1 (Anderson i in. 1983), podczas gdy w bakteriach 5:1 (Woods i in. 1980). Ponadto wydajność asymilacji u nicieni jest dość niska, bo stanowi zaledwie 30–60%. W tej sytuacji żerujące na bakteriach nicienie mają znaczną nadwyżkę azotu, którą wydalają w odchodach zawierających związki organiczne i nieorganiczne (Anderson i in. 1983). Na podstawie danych uzyskanych w eksperymentach szacuje się, że ok. 30% całego mineralizowanego azotu w środowisku glebowym pochodzi od zwierząt glebowych (Hunt i in. 1987, Verhoef i Brussard 1990), a pierwotniaki i nicienie mają w tym ok. 80% udziału (De Ruiter i in. 1993).

Miejscem szczególnie bogatym w substancje organiczne (wydzieliny korzeniowe) jest ryzosfera. W ryzosferze gromadzą się wydzieliny korzeniowe stanowiące aż 30–40% całej puli substancji organicznych znajdujących się w glebie (Smith 1976). W glebie otaczającej korzenie intensywnie przebiegają procesy rozkładu i liczebność mikroorganizmów jest tu wyjątkowo wysoka. Z tego powodu ryzosfera jest chętnie zasiedlana przez mikrofaunę odżywiającą się bakteriami i grzybami. Świadczą o tym wyniki eksperymentu, w którym gleba ryzosfery stanowiła zaledwie 5% gleby znajdującej się w naczyniu doświadczalnym, a zasiedlała ją aż 30–40% osobników całego zespołu nicieni (Ingham i in. 1985). Badania prowadzone na rzepaku wykazały, że w ryzosferze tej rośliny było więcej wydzielin korzeniowych i azotu niż w ryzosferze bez nicieni (Sundin i in. 1990).

Znane są też przypadki, w których obecność nicieni w ryzosferze nie była korzystna dla rośliny. Zaobserwowano na przykład, że nicienie bakteriożerne zjadały bakterie brodawkowe, co doprowadziło do obniżenia wiązania azotu aż o 80–90% (Wall i Moore 1999). Stwierdzono także, że nicienie i pierwotniaki hamowały zasiedlanie korzeni drzew przez grzyby mykoryzowe (Chakraborty i in. 1985). Wykazano ponadto, że jeden z gatunków nicieni grzybożernych w znacznym stopniu niszczył grzybnię grzybów mykoryzowych, doprowadzając do znacznej redukcji jej biomasy (Shafer i in. 1981).

### 3.2. Wpływ pierwotniaków i nicieni na mikroorganizmy

#### 3.2.1. Wpływ bezpośredni

Rozkładająca się substancja organiczna, na której rozwijają się mikroorganizmy, przyciąga nicienie bakteriożerne i grzybożerne.

Przemieszczanie się nicieni w kierunku pokarmu – bakterii było obserwowane przez wielu badaczy (Caylor i in. 1981, Grewal i Wright 1992, Young i in. 1998), a w kierunku grzybów przez Balana i in. (1976) oraz Janssona i Nordbringa-Hertza (1979). Natomiast pierwotniaki nie wykazują takiej aktywności, na co wskazują wyniki niektórych eksperymentów (Griffiths i Caul 1993, Kuikman i in. 1990b).

Obie omawiane grupy zwierząt są selektywne w stosunku do mikroorganizmów i mogą rozwijać się z różną intensywnością na rozmaitych gatunkach bakterii czy grzybów. W przypadku nicieni pewien wpływ na wybór bakterii może mieć szerokość torebki gębowej (Nicolas 1962) lub wydzieliny produkowane przez komórki bakteryjne (Sohlenius 1968). Ponadto wymagania nicieni co do zasobów pokarmowych są bardzo różne (Ilieva-Makulec 2001). Wśród pierwotniaków jedne gatunki są przystosowane do odżywiania się bakteriami przytwierdzonymi do podłoża, inne zaś bakteriami znajdującymi się w zawieszynie (Caron 1987). Konsekwencją wybiórczości pokarmowej pierwotniaków i nicieni mogą być znaczne zmiany w składzie zespołów mikroorganizmów, np. w ściekach pierwotniaki w pierwszym rzędzie eliminują wolno rosnące bakterie (Mallory i in. 1983, Sinclair i Alexander 1988). Z kolei wyniki eksperymentu mikrokosmosowego wskazują na to, że w obecności pierwotniaków zwiększa się udział bakterii gram-dodatnich (Griffiths i in. 1999).

Obfitość pokarmu (bakterii i grzybów) w miejscu rozkładającej się substancji organicznej sprawia, że pierwotniaki i nicienie intensywnie rozmnażają się, wielokrotnie zwiększając swoją liczebność. Obserwowano 100-krotny wzrost liczebności nicieni w miejscu nagromadzenia materii organicznej (Wasilewska i Bieńkowski 1985), a w przypadku pierwotniaków 80-krotny (Griffiths 1994). Wyniki szeregu eksperymentów mikrokosmosowych wskazują na to, że przy wysokiej liczebności pierwotniaków lub nicieni żerowanie na mikroorganizmach jest tak intensywne, że w znacznym stopniu zostaje ograniczona liczebność mikroorganizmów. Stwierdzano to wielokrotnie w przypadku nicieni bakteriożernych (Coleman i in. 1978, Anderson i in. 1981, Bääth i in. 1981, Santos i in. 1981, Elkins i Whitford 1982, Trofymow i Coleman 1982), nicieni grzybożernych (Mankau i Mankau 1963, Wasilewska i in. 1975) i pierwotniaków (Alfei i in. 1996). Konsekwencją obniżenia liczebności mikroorganizmów może być zahamowanie procesu rozkładu, co było odnotowane w wielu eksperymentach (Santos i in. 1981, Trofymow i Coleman 1982). Należy dodać, że ważną rolę w regulacji liczebności mikrofauny pełnią zwierzęta drapieżne zaliczane do mezo- i makrofauny glebowej. Wyniki niektórych badań wskazują, że procesy rozkładu były

intensywniejsze, gdy do układu: martwa materia organiczna–bakterie–grzyby–mikrofauna wprowadzono drapieżne roztocze (Santos i in. 1981, Elkins i Whithord 1982, Mikola i Setälä 1988). Autorzy tych eksperymentów utrzymują, że główną tego przyczyną było obniżenie liczebności bakteriożernych bezkręgowców. W literaturze można znaleźć również prace, w których dowiedziono, że obecność nicieni korzystnie wpływała na liczebność bakterii (Abrams i Mitchell 1980, Trofymow i Coleman 1982, Coleman i in. 1984, Sundin i in. 1990).

Jak widać z powyższego przeglądu, ocena wpływu nicieni na liczebność bakterii czy grzybów nie jest łatwa, skoro wyniki uzyskiwane przez poszczególnych autorów są różne. Spowodowane to jest prawdopodobnie złożonością współzależności pomiędzy właściwościami fizyczno-chemicznymi środowiska glebowego, roślinnością, mikroflorą i mikrofauną.

### 3.2.2. Wpływ pośredni

Powiązania pierwotniaków i nicieni z mikroorganizmami nie sprowadzają się do jednokierunkowej zależności polegającej na tym, że bakterie i grzyby są źródłem pokarmu mikrofauny. Okazuje się, że spośród połkniętych przez nicienia bakterii zaledwie 40% jest trawionych, pozostałe są w całości wydalane (Smerda i in. 1971, Adamo i Gealt 1996). Bakterie znajdujące się w przewodzie pokarmowym nicienia są bardzo aktywne. Świadczą o tym wyniki eksperymentu, w którym wykazano, że w przewodzie pokarmowym nicienia doszło do koniugacyjnego transferu plazmidu między dwiema komórkami *Escherichia coli* (Adamo i Gealt 1996). Autorzy eksperymentu utrzymują, że do przekazania plazmidu mogło łatwo dojść dzięki dużemu nagromadzeniu komórek bakteryjnych w ciele nicienia. Teza jest prawdopodobnie słuszna, jeżeli weźmie się pod uwagę fakt, że niewielki nicien bakteriożerny w ciągu doby może pochłonąć 46 000 komórek bakteryjnych (Chantanao i Jensen 1969). Wykazano również, że zarodniki grzybów mogą przechodzić przez układ pokarmowy nicienia bez żadnych uszkodzeń (Chantanao i Jensen 1969).

Prawdopodobnie bakterie, przechodząc przez przewód pokarmowy, wchłaniają cenne dla każdego żywego organizmu związki, np. hormony czy witaminy. W tym niektórzy badacze upatrują przyczynę intensywniejszego rozmnażania się bakterii w obecności nicieni (Griffiths i in. 1993, Wright i Coleman 2000). Ponadto nicienie są środkiem transportowym dla mikroorganizmów, dzięki któremu te ostatnie są rozprowadzane w środowisku glebowym, co zostało wykazane przez wielu badaczy (Chantanao i Jensen 1969, Wasilewska i in. 1975, Caylor i in. 1981, Gould i in. 1981,

Anderson i Coleman 1982). Skutki rozprowadzania bakterii przez nicienie mogą być różne dla roślin w zależności od tego, czy przenoszone mikroorganizmy są patogenami roślin, czy też nie (Steiner 1933, Jensen 1967). Dodatkową korzyścią dla roślin, wynikającą z przemieszczania się nicieni w środowisku glebowym, jest rozprowadzanie pierwiastków biogennych.

Należy także wspomnieć, że odchody i wydzieliny nicieni składające się z różnych związków organicznych i nieorganicznych są dodatkowym źródłem pokarmu dla mikroorganizmów (Anderson i in. 1983, Marchant i Nicholas 1974). Podobnie substancje wydzielane przez pierwotniaki stymulują rozwój bakterii (Pussard 1991).

#### 4. Zakończenie

Z danych przedstawionych w niniejszym artykule wynika, że rola pierwotniaków i nicieni, najistotniejszych komponentów mikrofauny w ekosystemach lądowych, jest bardzo różnorodna, co wynika ze złożonych współzależności pomiędzy elementami środowiska glebowego. Nasza wiedza dotycząca przebiegu rozmaitych procesów zachodzących w glebie z udziałem fauny z pewnością jest głębsza niż badaczy sprzed siedemdziesięciu lat, którzy pierwsi zauważyli, że pierwotniaki mogą odgrywać istotną rolę w procesach rozkładu. Jednak wiele kwestii wymaga jeszcze wyjaśnienia, które można uzyskać w dobrze zaplanowanych interdyscyplinarnych eksperymentach. Poznanie współzależności pomiędzy roślinami, mikroorganizmami i fauną glebową pozwoli lepiej zrozumieć funkcjonowanie tak złożonego systemu, jakim jest środowisko glebowe. Jest to szczególnie ważne w odniesieniu do gleb użytkowanych rolniczo, gdyż istnieje potrzeba opracowania metod sterowania niektórymi procesami glebowymi tak, aby można było osiągać jak największe plony przy ograniczonej interwencji człowieka.

#### Piśmiennictwo

- Abrams B. I., Mitchell M. J. 1980 – Role of nematode–bacterial interactions in heterotrophic systems with emphasis on sewage sludge decomposition – *Oikos*, 35: 404–410.
- Adamo J., A., Gealt M. A. 1996 – A demonstration of bacterial conjugation within the alimentary canal of *Rhabditis* nematodes – *FEMS Microbiol. Ecol.* 20: 15–22.
- Alphei J., Bonkowski M., Scheu S. 1996 – Protozoa, Nematoda and Lumbricidae in the rhizosphere of *Hordelymus europaeus* (Poaceae): faunal interactions, response of microorganisms and effects on plant growth – *Oecologia (Berl.)*, 106: 111–126.
- Anderson R. V., Coleman D. C. 1982 – Nematode temperature responses: a niche dimension in populations of bacterial-feeding nematodes – *J. Nematol.* 14: 69–76.

- Anderson R., V., Coleman D., C., Cole C. V., Elliot E. T. 1981 – Effect of the nematodes *Acrobeloides* sp. and *Mesodiplogaster lheritieri* on substrate utilization and nitrogen and phosphorus mineralization in soil – *Ecology*, 62: 549–555.
- Anderson R. V., Gould W. D., Woods L. E., Cambardella C., Ingham R. E., Coleman D. C. 1983 – Organic and inorganic nitrogenous losses by microbivorous nematodes in soil – *Oikos*, 40: 5–80.
- Andrássy I. 1984 – Klasse Nematoda – Gustav Fischer, Stuttgart.
- Bääth E., Lohm U., Lundgren B., Roswall T., Söderström B., Sohlenius B. 1981 – Impact of microbial-feeding animals on total soil activity and nitrogen dynamics: A soil microcosmos experiment – *Oikos*, 37: 257–264.
- Balan J., Krizková L., Nemeč P., Koložsvár A. 1976 – A qualitative method for detection of nematode attracting substances and proof of production of three different attractants by the fungus *Monacrosporium rutgeriense* – *Nematologica*, 22: 306–311.
- Baldwin J. G., Nadler S. A., Wall D. H. 2000 – Nematodes: pervading the earth and linking all life (W: Nature and human society. Red. P. H. Raven, T. Williams) – National Academy Press, Washington.
- Barker K. R. 1994 – Plant and soil nematodes – societal impact and focus for the future – *BioScience*, 44: 568–569.
- Bouwman M. A., Zwart K. B. 1994 – The ecology of bacterivorous protozoans and nematodes in arable soil – *Agric. Ecosystems Environ.* 51: 145–160.
- Caron D. A. 1987 – Grazing of attached bacteria by heterotrophic microflagellates – *Microb. Ecol.* 13: 203–218.
- Caylor J. C., Frankowski J. P., Quiles C. 1981 – Recherches sur les possibilités d'utilisation des bactéries inductrices de la fructification – *Bull. Fed. Nat. Synd. Agric. Cultiv. Champignons NS*, 11: 301–312.
- Chakraborty S., Theodorou G., Bowen G. D. 1985 – The reduction of root colonization by mycorrhizal fungi by mycophagous amoebae – *Can. J. Microbiol.* 31: 295–297.
- Chantanao A., Jensen H. 1969 – Saprozoic nematodes as carriers and disseminations of plant pathogenic bacteria – *J. Nematol.* 3: 217–218.
- Chen J., Ferris H. 1999 – The effects of nematode grazing on nitrogen mineralization during fungal decomposition of organic matter – *Soil Biol. Biochem.* 31: 1265–1279.
- Coleman D. C., Cole C. V., Hunt H. W., Klein D. A. 1978 – Trophic interactions in soils as they affect energy and nutrient dynamics – *Microb. Ecol.* 4: 345–349.
- Coleman D. C., Ingham R. E., McClellan J. F., Trofymow J. A. 1984 – Soil nutrient transformations in the rhizosphere via animal–microbial interactions (W: Invertebrate–microbial interactions. Red. J. M. Anderson, A. D. M. Rayner, D. W. H. Walton), – Cambridge University Press, Cambridge, 35–58.
- Corliss J. C. 1991 – Introduction to the protozoa. I (W: Microscopic anatomy of invertebrates. Red. F. W. Harrison, J. O. Corliss) – Wiley, New York, 1–12.
- Couteaux M. M., Darbyshire J. F. 1998 – Functional diversity amongst soil protozoa – *Appl. Soil Ecol.* 10: 229–237.
- Cutler D., Crump L. M. 1929 – Carbon dioxide production in sands and soils in the presence and absence of protozoa – *Ann. Appl. Biol.* 16: 472–482.



- De Ruiter P. C., Moore J. C., Zwart K. B., Bouwman L. A., Hassink J., Bloem J., De Vos J. A., Marinissen J. C. Y., Didden W. A. M., Lebink G., Brussaard L. 1993 – Simulation of nitrogen mineralization in the below-ground food webs of two winter wheat fields – *Ecology*, 30: 95–106.
- Elkins E. T., Whitford W. G. 1982 – The role of microarthropods as nematodes in decomposition in a semiarid ecosystem – *Oecologia (Berl.)*, 55: 303–310.
- Freckman D., Virginia R. A. V. 1989 – Plant-feeding nematodes in deep-rooting desert ecosystems – *Ecology*, 70: 1665–1678.
- Gould W. D., Bryant R. J., Trofymow J. A., Anderson R. V., Elliott E. T., Coleman D. C. 1981 – Chitin decomposition in model soil system – *Soil Biol. Biochem.* 13: 487–492.
- Grewal P. S., Wright D. J. 1992 – Migration of *Caenorhabditis elegans* (Nematoda: Rhabditidae) larvae towards bacteria and the nature of the bacterial stimulus – *Fundament. Appl. Nematol.* 15: 159–166.
- Griffiths B. S. 1994 – Microbial-feeding nematodes and protozoa in soil: Their effects on microbial activity and nitrogen mineralization in decomposition hot spot and the rhizosphere – *Plant Soil*, 164: 23–25.
- Griffiths B. S., Bonkowski M., Dobson G., Caul S. 1999 – Changes in soil microbial community structure in the presence of microbial-feeding nematodes and protozoa – *Pedobiologia*, 43: 297–304.
- Griffiths B. S., Caul S. 1993 – Migration of bacterial-feeding nematodes, but not protozoa, to decomposing grass residues – *Biol. Fertil. Soils*, 15: 201–207.
- Griffiths B. S., Ekelund F., Ronn R., Christensen S. 1993 – Protozoa and nematodes on decomposing barley roots – *Soil Biol. Biochem.* 259: 123–125.
- Hunt H. W., Coleman D. C., Ingham E. R., Ingham R. E., Elliott E. T., Moore J. C., Rose S. L., Reid C. P., Morley C. R. 1987 – The detrital food web in shortgrass prairie – *Biol. Fertil. Soils*, 3: 57–68.
- Ilieva-Makulec K. 2001 – A comparative study of the life strategies of two bacterial-feeding nematodes under laboratory condition. II. Influence of the initial food level on the population dynamics of *Acrobeloides nanus* (de Man 1880) Anderson 1968 and *Dolichorhabditis dolichura* (Schneider 1966) Andrassy 1983 – *Pol. J. Ecol.* 49: 123–125.
- Ingham R. E., Detling J. 1984 – Plant herbivore interactions in a North American mixed-grass prairie. III. Soil nematode populations and root biomass on *Cynomys ludovicianus* colonies and adjacent uncolonized areas – *Oecologia (Berl.)*, 63: 307–313.
- 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. Monogr.* 55: 119–140.
- Jansson H. B., Nordbring-Hertz B. 1979 – Attraction of nematodes to living mycelium of nematophagous fungi – *J. Gen. Microbiol.* 112: 89–94.
- Jensen H. J. 1967 – Do saprozoic nematodes have a significant role in epidemiology of plant diseases? – *Plant Dis. Rep.* 51: 98–102.
- Kuikman P. J., Jansen A. G., van Veen J. A., Zehnd A. J. B. 1990a – Protozoan predation and the turnover of soil organic carbon and nitrogen in the presence of plants – *Biol. Fertil. Soils*, 10: 22–27.

- Kuikman P. J., van Elsas J. D., Jansen A. G., Burgers S. L. G. E., van Veen J. A. 1990b – Population dynamics and activity of bacteria and protozoa in relation to their spatial distribution in soil – *Soil Biol. Biochem.* 22: 1063–1073.
- Mallory L. M., Yuk C. S., Liang L. N., Alexander M. 1983 – Alternative prey: A mechanism for elimination of bacterial species by protozoa – *Appl. Environ. Microbiol.* 46: 1073–1079.
- Mankau R., Mankau S. K. 1963 – The role of mycophagous nematodes in soil. I. The relationship of *Aphelenchus avenae* to phytopathogenic soil fungi (W: *Soil organisms*. Red. J. Loeksen, J. van de der Drift) – North Holland Publishing, Amsterdam, The Netherlands, 271–280.
- Marchant R., Nicholas W. L. 1974 – An energy budget for the free-living nematode *Pelodera* (Rhabditidae) – *Oecologia (Berl.)*, 16: 237–252.
- Meiklejohn J. 1930 – The relation between numbers of a soil bacterium and the ammonia produced by it in peptone solutions, with some reference to the effect of this process on the presence of amoebae – *Ann. Appl. Biol.* 17: 614–637.
- Mikola J., Setälä H. 1988 – No evidence of trophic cascades in an experimental microbial-based soil food web – *Ecology*, 79: 153–164.
- Nicholas W. L. 1962 – A study of a species of *Acrobeloides* (Cephalobidae) in laboratory culture – *Nematologica*, 8: 99–109.
- Pussard M. 1991 – Faune du sol et microflore. II. Saprophagie, prédation et médiation chimique – *Agronomia*, 11: 411–422.
- Santos P. F., Phillips J., Whitford W. G. 1981 – The role of mites and nematodes in early stages of buried litter decomposition in a desert – *Ecology*, 62: 664–669.
- Setälä H., Huhta V. 1991 – Soil fauna increase *Betula pendula* growth with coniferous forest floor – *Ecology*, 72: 665–671.
- Shafer S. R., Rhodes L. H., Riedel R. N. 1981 – *In vitro* parasitism of endomycorrhizal fungi of ericaceous plants by the mycophagous nematode *Aphelenchoides bicaudatus* – *Mycologia*, 73: 141–149.
- Shane W. W., Barker K. R. 1986 – Effects of temperature, plant age, soil, soil texture, and *Meloidoyne incognita* on early growth of soybean – *J. Nematol.* 18: 320–327.
- Sinclair J. L., Alexander M. 1988 – Effect of protozoan predation on relative abundance of fast and slow growing bacteria – *Can. J. Microbiol.* 35: 578–582.
- Smerda S. M., Jensen H. J., Anderson A. W. 1971 – Escape of Salmonellae from chlorination during ingestion by *Pristionchus lheritieri* (Nematoda: Diplogasterinae) – *J. Nematol.* 3: 201–204.
- Smith W. H. 1976 – Character and significance of forest tree root exudates – *Ecology*, 57: 324–331.
- Sohlenius B. 1968 – Influence of microorganisms and temperature upon some rhabditid nematodes – *Pedobiologia*, 8: 137–145.
- Steiner G. 1933 – *Rhabditis lambdiensis*, a nematode possibly acting as a disease agent in mushroom beds – *J. Agric. Res.* 46: 427–438.
- Sundin P., Valeur A., Olsson S., Odham G. 1990 – Interactions between bacteria-feeding nematodes and bacteria in the rape rhizosphere: effects on root exudation and distribution of bacteria – *FEMS Microbiol. Ecol.* 73: 13–22.
- Trofymow J. A., Coleman D. C. 1982 – The role of bacterivorous and fungivorous nematodes in cellulose and chitin decomposition (W: *Nematodes in soil ecosystems*. Red. D. W. Freckman) – University of Texas Press, Austin, Texas, 117–138.

- Van Gundy S. D., Kirkpatrick J. D., Golden J. 1977 – The nature and role of metabolic leakage from root-knot nematode galls and infection by *Rhizoctonia solani* – J. Nematol. 9: 113–121.
- Verhoef H. A., Brussard L. 1990 – Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agroecosystems: The contribution of soil animals – Biogeochemistry, 11: 175–211.
- Wall D., H., Moore J. C. 1999 – Interactions underground. Soil biodiversity, mutualism, and ecosystem processes – BioScience, 49: 109–117.
- Wasilewska L., Bieńkowski P. 1985 – Experimental study on the occurrence and activity of soil nematodes in decomposition of plant material – Pedobiologia, 28: 41–57.
- Wasilewska L., Jakubczyk H., Paplińska E. 1975 – Production of *Aphelenchus avenae* Bastian (Nematoda) and reduction of saprophytic fungi by them – Pol. Ecol. Stud. 1: 61–73.
- Woods L. E., Cole C. V., Elliott E. T., Anderson R. V., Coleman D. C. 1980 – Nitrogen transformations in soil as affected by bacterial–microfauna interactions – Soil Biol. Biochem. 14: 93–98.
- Wright C. J., Coleman D. C. 2000 – Cross-site comparison of soil microbial biomass, soil nutrient status, and nematode trophic groups – Pedobiologia, 44: 3–23.
- Yeates G. W., Bongers T., De Goede R. G. M., Freckman D.W., Georgieva S. S. 1993 – Feeding habits in nematode families and genera – an outline for soil ecologists – J. Nematol. 25: 191–195.
- Young I. M., Griffiths B. S., Robertson W. M., Nicol J. W. 1998 – Nematode (*Caenorhabditis elegans*) movement in sand as affected by particle size, moisture and the presence of bacteria (*Escherichia coli*) – Eur. J. Soil Sci. 49: 237–241.

## Summary

Protozoa (traditionally qualified as an element of animal's kingdom) and nematodes as small organisms are defined as microfauna. They are abundant in soil environment and diverse both in terms of taxa and function. Protozoa are mainly bacteriovorous, some of them graze on fungi or algae, others are omnivores or predators. Nematodes also have different feeding habits. Among them there are plant-, bacterial-, fungal feeders and also omnivores and predators. Functional diversity of protozoa and nematodes results in complex interactions between microfauna, plants and microorganisms.

Attack of high number of some plant-feeding nematodes on roots can seriously damage root system and result in a decrease of primary production – yearly losses caused by nematodes in grasslands were estimated at 6–10%. On the other hand, grazing of a small amount of plant-feeding nematodes, below damage threshold, might stimulate the enlargement of root system and production of root exudates.

Protozoa and nematodes enhance decomposition and nutrient-cycling; dead organic matter is decomposed by bacteria and fungi and some nutrients are released during this process, but majority of them is immobilized in microorganisms and could be released when bacteria and fungi are consumed by soil animals. Because of a high consumption and low assimilation rate microbial grazers release considerable amounts of nutrients and the pool of nutrients available for the root increases. Protozoa and nematodes account for 80–90% of the total N mineralisation contributed by soil fauna.

Both groups of organisms can stimulate bacterial and fungal reproduction by excreted nutrients, hormones, vitamins, but sometimes microorganisms can be overgrazed by protozoa and nematodes to a point where decomposition of organic matter is inhibited. Since protozoa and nematodes select their preys, they could affect the structure of microbial communities. Moreover, nematodes can also disperse bacteria and spores of fungi in soil environment transporting them in alimentary track.

(wpłynęło: 11 III 2002 r.)