

**Anna Kajak**Zakład Ekologii Gleby  
Instytutu Ekologii PAN  
Dziekanów Leśny  
05-092 Łomianki**Drapieżnictwo a procesy glebowe**

Predation and soil processes

**1. Intensywność drapieżnictwa w detrytusowym łańcuchu pokarmowym**

Stosunkowo niewiele jest prac dotyczących drapieżnictwa w glebie. Nieliczne analizy przepływu energii przez detrytusowy łańcuch pokarmowy, w których ocenione zostało oddziaływanie drapieżców, wykazują, że ich konsumpcja wykorzystuje znaczną część produkcji poprzedniego poziomu troficznego. Najczęściej konsumpcja drapieżców żerujących na saprofagach i mikrofitofagach (czyli zwierzętach odżywiających się mikroflorą) stanowi od 16 do 39% produkcji ofiar (tab. I). Podane wartości, zależnie od zastosowanej metody oceny, a także od zagęszczenia drapieżców w środowisku, wahają się w bardzo szerokich granicach: od 2 do 88%.

Znaczenie drapieżców w ograniczaniu i regulowaniu liczebności roślinożerców, głównie tych żerujących na zielonych częściach roślin, można uznać za udowodnione. Jest bardzo znaczna liczba prac wykazujących skuteczne zmniejszanie zagęszczenia szkodników przez drapieżce (np. Huffaker i in. 1971, Potts i Vickerman 1974, Kiritani 1979). Przeprowadzono także wiele praktycznych działań, takich jak walka biologiczna, które zmierzają do ograniczenia szkód powodowanych przez roślinożerne owady poprzez wprowadzanie drapieżców (np. De Bach 1964, Sandner 1971, Murdoch i in. 1985).

Można spodziewać się analogii między rolą drapieżców żerujących na roślinożercach i tych, które żerują na zwierzętach odżywiających się martwą materią.

**2. Wpływ mikrofitofagów na szybkość rozkładu materii organicznej**

Istotniejsze od oceny, ile z zasobów materii produkowanej przez dany poziom troficzny zabierają konsumenci, jest pytanie, jakie to ma konsekwencje dla funkcjonowania ekosystemu.

W ekosystemach zrównoważonych, w których organizmy „spasające” zabierają taką część produkcji poprzedniego poziomu troficznego, jaka może być przez układ zregenerowana, eksploatacja nie narusza zasobów biomasy (Kaczmarek 1969, Chew 1974). Im większa jest więc produkcja w danym poziomie troficznym w

**Tab. I.** Stosunek konsumpcji drapieżców ( $C_n$ ) do produkcji detryto- i mikrofitofagów ( $P_{n-1}$ ) w różnych ekosystemach (w procentach)  
 Fraction of production of detrito- and microphytophages ( $P_{n-1}$ ) going to predatory consumers ( $C_n$ ) in various ecosystems (in percent)

Ekosystem Ekosystem	$C_n/P_{n-1}$	Autor Author
Różne ekosystemy (uogólnienie) Variety of ecosystems (generalized)	~2*	Reichle (1977)
Las bukowy Beech forest	16,4	Schaeffer (1990)
Bór sosnowy Pine forest	38,6	Persson et al. (1980)
Las dębowy z leszczyną Oak-hazel woodland	30,0	Axelsson et al. (1984)
Łąka (uogólnienie) Grassland (generalized)	25,0	Heal & Mac Lean (1975)
Step suchy Short grass steppe	88,0**	Lavenroth & Milchunas (1992)
Łąka (na glebach wapiennych) Limestone grassland	2,9***	Coolson & Whittaker (1978)
Łąka (na madach) Alluvial grassland	5,9***	"
<i>Juncus squarrosus</i> (torfowisko) Peat grassland	9,0***	"
Torfowisko wysokie Blanket bog	15,0***	"
Torfowisko wysokie Blanket bog	12,0	Heal & Dighton (1986)
Pustynia (rozkład korzeni) Desert (decomposition of roots)	83,0	Parker et al. (1984)
Pole pszenicy ozimej (rolnictwo konwencjonalne) Winter wheat field (conventional practice)	27,0****	De Ruiter et al. (1993)
Pole pszenicy ozimej (rolnictwo integrowane) Winter wheat field (integrated practice)	22,0****	"

stosunku do stanu biomasy, tym bardziej intensywna może być jej eksploatacja przez poziom konsumentów następnego rzędu.

Moore i in. (1988) oraz Walter i in. (1988) przytaczają interesujące zestawienie mówiące o tym, jaką część produkcji zjadają konsumenci w różnych grupach organizmów. Są to wyniki badań przeprowadzonych na stepie. Otóż okazuje się, że najbardziej eksploatowana jest mikroflora (30%) i nicienie (10–50%), a w małym stopniu mikrostawonogi (*Collembola*, *Acarina*) (7–11%). Bardziej eksploatowane są więc grupy organizmów charakteryzujące się krótkim okresem rotacji, gdzie ubytki biomasy są szybko regenerowane.

Ocena znaczenia drapieżnictwa w detrytusowym łańcuchu pokarmowym jest trudna do przeprowadzenia, wymaga eksperymentowania, stąd informacji na ten temat jest niewiele. Zresztą także rola konsumentów niższego rzędu, to znaczy zwierząt żywiących się martwą materią organiczną, względnie mikroflorą, jest słabo poznana.

W ciągu ostatnich kilkunastu lat bardzo rozwinął się w różnych ośrodkach na świecie kierunek analizowania rozkładu materii w tzw. eksperymentach mikrokosmosowych. Są to najczęściej hodowle prowadzone w niewielkich pojemnikach (kilkanaście do kilkudziesięciu  $\text{cm}^2$ ) zawierających monolity gleby wzięte z terenu, o zachowanej strukturze, z których usuwa się organizmy żywe po to, żeby następnie wprowadzić tylko kilka gatunków o znanej pozycji troficznej.

Rejestruje się w toku doświadczenia zmiany liczebności i biomasy organizmów, a także zmiany zawartości jonów uwalnianych w wyniku metabolizmu, najczęściej analizowana jest zawartość węgla, azotu i fosforu. Takie badania służą przede wszystkim wyjaśnieniu roli zwierząt żerujących na mikroflorze w mineralizacji ściółki. Z reguły otrzymane wyniki świadczą o tym, że żerowanie mikrofauny (nicienie, pierwotniaki) na bakteriach zmniejsza biomasę tych ostatnich, ale pobudza ich aktywność. Prowadzi to w efekcie do przyspieszenia obiegu materii, do wzmożonego wydzielania do środowiska mineralnych form analizowanych pierwiastków (tab. II).

Eksperymenty dotyczące żerowania nicieni lub mikrostawonogów na grzybach nie dają równie zgodnych wyników (tab. III). Takie żerowanie w różnych doświadczeniach może powodować rozwój lub przeciwnie – zmniejszanie się

\*Wartość zaniżona, gdyż wzięto pod uwagę  $A_n/P_{n-1}$ .

Underestimated,  $A_n/P_{n-1}$  ratio applied.

\*\*Produkcja przeliczana z wartości  $C_{n-1}$  wg Heal & MacLean (1975).

$P_{n-1}$  calculated from  $C_{n-1}$  according to Heal & MacLean (1975).

\*\*\*Potraktowana została łącznie fauna nadziemna i glebowa.

For total above- and belowground fauna.

\*\*\*\*Oparte na danych o mineralizacji N przez bezkręgowce (bez pierwotniaków).

Based on data of N mineralization by invertebrates (without Protozoa).

**Tab. II.** Wpływ żerowania mikrofauny na populacje bakterii i rozkład materii organicznej  
Influence of grazing by microfauna on bacterial populations and organic matter decomposition

Zależność Interrelations	Skutki żerowania Effects of grazing	Autorzy Authors
Bakterie–pierwotniaki i/lub nicienie Bacteria–protozoans and/or nematodes	Zmniejszenie liczebności i biomasy bakterii Decreased bacterial number and biomas  Zwiększenie produkcji bakterii Increased bacterial production  Zwiększenie wydzielania CO <sub>2</sub> Increased CO <sub>2</sub> diffusion  Przyspieszenie mineralizacji N i P Increased N and P mineralisation  Przyspieszony turn-over Accelerated turn-over	Hunt et al. (1977), Coleman et al. (1977, 1984), Abrams & Mitchell (1980) Elliott et al. (1980), Baath et al. (1981), Clarholm (1981), Woods et al. (1982), Anderson et al. 1983, Trofymov et al. (1983), Bamforth (1985), Pussard & Rouelle (1986), Ingham et al. (1985, 1986a, 1986b), Couteaux et al. (1988), Kuikman et al. (1989), Henkinet et al. (1990), Hassink et al. (1993)

**Tab. III.** Wpływ mikrofitofagów (*Nematoda*, *Acarina*, *Collembola*) na biomasę mikroflory (z  
przewagą grzybów) i szybkość rozkładu materii organicznej. Liczba i procent przeanalizowanych prac  
Effect of grazing by microphytophages (*Nematoda*, *Acarina*, *Collembola*) on microbial biomass  
(mainly fungi) and decomposition rate of organic matter. Number and percent of analysed papers

Reakcja Response	Biomasa i oddychanie mikroflory Microbial biomass and respiration	Szybkość ubywania ściółki Litter disappearance rate	Szybkość mineralizacji azotu Mineralization rate of nitrogen
Przyspieszenie Increased	4 (24)	17 (74)	14 (56)
Brak wpływu No response	7 (41)	1 (4)	7 (28)
Hamowanie Decreased	5 (29)	2 (9)	1 (4)
Regulacja Regulation	1 (6)	3 (13)	3 (12)

Według (after): Van der Drift & Jansen (1977), Persson et al. (1980), Santos & Whitford (1981), Parker et al. (1984), Seastedt (1984), Ingham et al. (1986a, 1986b), Setälä (1990), Beare et al. (1992), Wardle & Yeates (1993), Siepel (1994)

biomasy grzybów. Często też nie ma zasadniczego wpływu na tę wielkość. Najczęściej jednak, podobnie jak „spasanie” bakterii, prowadzi do przyspieszenia rozkładu materii organicznej i mineralizacji substratu. Z doświadczeń wynika, że pod wpływem żerowania zostaje nasilona przede wszystkim mineralizacja azotu. Zależnie od warunków doświadczenia oraz liczebności mikroflory i żerujących na niej zwierząt, podane tu reakcje mogą ulegać zmianie. Stwierdzono np., że przy małych liczebnościach mikrostawonogów odżywiających się grzybami następuje zwiększenie wydzielania CO<sub>2</sub>, a więc stymulowana jest aktywność mikroflory. Duże ich liczebności ograniczają to wydzielanie (Hanlon i Anderson 1979, Setälä 1990). Ważnym czynnikiem była też faza eksperymentu. W końcowych etapach kilkuletnich doświadczeń obecność fauny wywierała inny wpływ na procesy rozkładu, niż w początkowych (Seastedt 1984, Setälä 1990).

Mikrokosmosy, to najczęściej układy niezmiernie uproszczone, zawierające z reguły zaledwie kilka gatunków. Ma to duży wpływ na otrzymywane wyniki. Doświadczenia, w których wprowadza się pewien stopień komplikacji zarówno warunków abiotycznych (np. warianty ze stałą lub zmienną temperaturą), jak i układu żywego (jeden lub wiele gatunków na tym samym poziomie troficznym) mogą prowadzić do odmiennych wyników (Setälä 1990, Laakso i in. w druku, Uvarov w druku).

Większość przeprowadzonych doświadczeń wykazuje jednak, że zjadanie mikroflory przez zwierzęta przyspiesza rozkład materii organicznej, ma przy tym specjalnie duże znaczenie w uwalnianiu dopływu mineralnych form azotu.

Jest to zwykle tłumaczone w ten sposób, że przy braku żerowania, dostępny azot i inne składniki mineralne zostają unieruchomione w biomacie mikroflory. Żerowanie zwierząt ułatwia ich uwalnianie i wzmacnia dalszy rozwój i aktywność bakterii i grzybów (Persson i in. 1980).

### **3. Wpływ drapieżnej mikrofauny i mikroflory na procesy rozkładu materii**

Tylko nieliczne badania mikrokosmosowe uwzględniają następny poziom konsumentów, to znaczy organizmy drapieżne, żerujące na saprofagach i mikrofitofagach. Ze względu na małą powierzchnię pojemników stosowanych w doświadczeniach mogą to być jedynie bardzo drobne drapieżce, nie wymagające dużych przestrzeni do życia. Najczęściej są to drapieżne pierwotniaki, nicienie, czasem roztocze.

Można by przypuszczać, że wprowadzenie do doświadczeń drapieżców żerujących na mikrofitofagach spowoduje zmniejszenie liczebności i intensywności oddziaływania tych drugich na mikroflorę. Będzie więc miało przeciwny wpływ na rozkład materii organicznej niż „spasanie” mikroflory. Tymczasem wyniki eksperymentów mikrokosmosowych nie potwierdzają takiego przypuszczenia.

Wprowadzenie drapieżnej mikrofauny, żerującej na bakteriofagach, najczęściej przyspiesza rozkład materii (tab. IV). Wyniki doświadczeń służących analizie roli drapieżnej mikrofauny polującej na nicienie względnie pierwotniaki są zadziwiająco zgodne. Stwierdza się w nich z reguły przyspieszanie rozkładu materii organicznej w seriach zawierających te zoofagi, w porównaniu z seriami ich pozbawionymi. Skutek jest więc taki sam, jak wtedy, gdy wprowadza się bakteriofagi do kultur złożonych z samych bakterii.

Zjawisko tłumaczone jest najczęściej w ten sposób, że tylko umiarkowane żerowanie fauny na mikroflorze powoduje uaktywnienie tej ostatniej. Obecność drapieżców zapewnia właśnie taki sposób żerowania, gdyż nie dopuszcza do nadmiernej eksploatacji mikroflory. Gdy ich brak, mikrofitofagi rozwijają się nadmiernie i w rezultacie zbyt intensywnie wyjadają mikroflorę, hamując rozkład materii.

Tylko w jednym z przytoczonych tu doświadczeń żerowanie na nicieniach prowadziło do okresowego hamowania mineralizacji węgla (tab. IV). Mianowicie w doświadczeniach Bouwmana i in. (1994), gdzie organizmami drapieżnymi były nematofagiczne grzyby, po początkowym okresie przyspieszonej mineralizacji

**Tab. IV.** Wpływ drapieżnictwa na liczebność mikrofitofagów i szybkość rozkładu materii. Liczba przeanalizowanych prac  
Effect of predation on number of microphytophages and decomposition rate. Number of analysed papers

Reakcja Response	Liczebność ofiar Number of prey	Szybkość ubywania ściółki i mineralizacji materii Litter disappearance and matter mineralization rate
Zwiększenie Increased	0	9
Brak wpływu No response	0	0
Zmniejszenie Decreased	5	1
Regulacja Regulation	1	0

Według (after): Santos et al. (1981), Santos & Whitford (1981), Elkins & Whitford (1982), Moore et al. (1988), Walter et al. (1988), Martikainen & Huhta (1990), Setälä (1990), Setälä et al. (1991), De Ruiter et al. (1993), Bouwman et al. (1994)

substancji organicznej następowało hamowanie procesów rozkładu. Mineralizacja azotu była natomiast zawsze większa w obecności drapieżnych grzybów (tab. IV).

#### 4. Wpływ drapieżnej mezo- i makrofauny na procesy rozkładu materii

Doświadczenia nad rolą większych drapieżców bezkręgowych, należących do mezo- i makrofauny (*Acarina*, *Araneae*, *Carabidae*, *Formicidae*), a związanych z detrytusowym łańcuchem pokarmowym, należą do rzadkości.

Przeprowadzono szereg dobrych i interesujących eksperymentów terenowych nad tymi dużymi, polifagicznymi drapieżcami, w tym także nad drapieżcami penetrującymi powierzchnię gleby i ściółkę, oceniano jednak w tych doświadczeniach niemal wyłącznie ich wpływ na liczebność owadów roślinożernych i zdrowotność roślin (Chiverton 1986, Gravesen i Toft 1987, Riechert i Bishop 1990, Thomas i in. 1991, Rodenhouse i in. 1992).

Takie doświadczenia prowadzone są na stosunkowo dużych poletkach, rzędu kilku czy nawet kilkudziesięciu m<sup>2</sup>. Polegają zwykle na stosowaniu barier wokół niektórych poletek, które uniemożliwiają imigrację drapieżców. Jako dodatkowe zabezpieczenie przed nimi stosowane bywa jeszcze wybieranie zwierząt drapieżnych z wnętrza ogrodzonych powierzchni (Riechert i Bishop 1990). Natomiast na poletkach porównawczych wprowadza się warunki sprzyjające dużej liczebności drapieżców, np. grubą warstwę ściółki lub wieloletnią roślinność (Nentwig 1988, Riechert i Bishop 1990). Najbardziej charakterystyczną cechą takich doświadczeń jest to, że stosunkowo nieznacznie naruszają naturalne warunki życia zwierząt.

Inną metodą analizy jest stosowanie biocydów, usuwających określone grupy organizmów (Santos i in. 1981, Parker i in. 1984). Są też doświadczenia podobne do omówionych poprzednio badań mikrokosmosowych, ale prowadzone w nieco większej przestrzeni (kilkaset cm<sup>2</sup>). Nazywane są często – w odróżnieniu od poprzednich – mezo- lub makrokosmosami. Zawierają bardziej złożone układy organizmów i bardziej złożone środowisko niż mikrokosmosy.

Wyniki takich doświadczeń, nastawionych na śledzenie wpływu drapieżców należących do mezo- i makrofauny na liczebność detryto- i mikrofitofagów i na procesy glebowe są znacznie bardziej różnokierunkowe. Najczęściej stwierdza się w nich hamowanie mineralizacji materii w wyniku drapieżnictwa lub brak wpływu drapieżców na szybkość rozkładu (tab. V). Przyspieszenie rozkładu przez obecność tych drapieżców stwierdzone zostało tylko w jednej z przytoczonych prac, ale jedynie w początkowym okresie doświadczeń. W długotrwałych eksperymentach, obejmujących ponad rok, w seriach zawierających bogatą faunę o rozbudowanej strukturze troficznej, i tu następowało hamowanie rozkładu (Setälä 1990).

**Tab. V.** Wpływ drapieżnej mezo- i makrofauny na liczebność ofiar i szybkość rozkładu materii. Liczba przeanalizowanych prac  
Effect of predatory meso- and macrofauna on prey number and decomposition rate of organic matter.  
Number of analysed papers

Reakcja Response	Liczebność ofiar Number of prey	Szybkość rozkładu i uwalniania azotu Decomposition rate and N release
Zwiększenie Increased	0	0
Brak wpływu No response	1	4
Zmniejszenie Decreased	8	6
Regulacja Regulation	2	2

Według (after): Clarke & Grant (1968), Kajak & Jakubczyk (1977), Breymeyer (1978, 1981), Santos & Whitford (1981), Usher (1985), Ingham et al. (1986a), Werner & Dindal (1987), Martikainen & Huhta (1990), Setälä (1990), Kajak et al. (1991), Gunn & Cherrett (1993), Brussard et al. (in press), Laakso et al. (in press)

Na ogół zgodna jest opinia co do tego, że drapieżce w istotny sposób wpływają na zagęszczenie ofiar. Tylko jedna spośród analizowanych prac dowodzi, że drapieżnictwo w glebie jest zjawiskiem bardzo rzadkim i bez znaczenia (Gunn i Cherrett 1993). Jest to praca, w której zastosowano inną metodę oceny liczebności zwierząt i relacji między nimi od powszechnie stosowanych. Mianowicie prowadzono bezpośrednie obserwacje gleby w tzw. rhizotronach, bez pobierania prób. Stosowano jednak podczas analiz optykę o zaledwie 10-krotnym powiększeniu, co z pewnością wykluczyło z badań wszelkie bardzo drobne zwierzęta. W rezultacie musiało to zasadniczo zaważyć na wynikach. Prawdopodobnie poza obserwacjami znalazły się także najmłodsze stadia nawet stosunkowo dużych zwierząt, a zwykle wśród nich występuje największa śmiertelność.

Ponadto większość zwierząt glebowych częściej lub rzadziej wychodzi na powierzchnię, spędzając część życia ponad glebą w warstwie ściółki. Ta warstwa zarówno w ekosystemach leśnych, jak i łąkowych należy do najintensywniej penetrowanych przez drapieżce (Kajak i in. 1971). Możliwe więc, że tam, a nie we wnętrzu gleby dochodzi do najczęstszych spotkań z drapieżcami.

Mogą być różne powody rozbieżności wyników doświadczeń nad większymi drapieżcami. Jednym z nich, który zapewne odgrywa dużą rolę, jest większa



komplikacja zależności, większa złożoność układów, którymi się operuje. Dzięki tej złożoności jednak te doświadczenia są bliższe układom występującym w naturze, niż doświadczenia mikrokosmosowe.

Szereg prac wykazuje doświadczalnie (Kaczmarek 1978, Santos i in. 1981, Usher 1985, Riechert i Bishop 1990, Wardle i Yeates 1993) lub wyraża opinię (Breymeyer 1981, Ingham i in. 1985, Werner i Dindal 1987, Moore i in. 1988), że drapieżce, a przede wszystkim drapieżce polifagiczne, spełniają w ekosystemie rolę regulacyjną i stabilizującą. Przez regulację rozkładu materii rozumiane jest zwykle pewne uniezależnienie przebiegu tego procesu od zmiennych warunków abiotycznych i efektywne wykorzystywanie przez układ biotyczny uwalnianych pierwiastków (Santos i Whitford 1981, Parker i in. 1984, Moore i in. 1988, Setälä 1990). Duże drapieżce ściółki i gleby są najczęściej polifagami. Do najliczniejszych należą niektóre rodziny roztoczy (*Acarina*), pająki (*Araneae*), mrówki (*Formicidae*) i chrząszcze, głównie *Carabidae*.

Efekt stabilizujący zachodzi dzięki temu, że zespół drapieżców polifagicznych jest stosunkowo mało zmienny w czasie. W jego skład wchodzi wiele gatunków kilkuletnich, które są obecne w środowisku w ciągu całego roku, mogą więc reagować natychmiast na zmiany liczebności lub ruchliwości ofiar (Riechert 1974, Kaczmarek 1978, Breymeyer 1981). Drapieżce specyficzne reagują znacznie silniejszym wzrostem liczebności na wzrost zagęszczenia ofiar. Wywołuje to jednak oscylacje liczebności obu gatunków (Riechert i Harp 1987). Natomiast zespół drapieżców wielożernych prowadzi do stanu stałej równowagi w liczebności ofiar (Kaczmarek 1963, Riechert i Harp 1987, Riechert i Bishop 1990).

Rozważania nad stabilnością układów wynikają głównie z relacji między drapieżcami a roślinożercami. Myślę, że można je równie dobrze odnieść do stabilizacji procesów rozkładu materii.

## 5. Wnioski

1. Na podstawie przedstawionych danych literatury można wyciągnąć wniosek, że mikrofauna drapieżna przyczynia się do przyspieszania mineralizacji materii, działa więc najczęściej w tym samym kierunku jak zwierzęta żerujące na mikroflorze.

2. Drapieżce należące do mezo- i makrofauny najczęściej wpływają hamująco na mineralizację materii lub też nie wywierają wpływu na szybkość tego procesu. Jednakże wyniki doświadczeń są tu mniej jednoznaczne, znacznie więcej jest rozbieżności między doświadczeniami różnych autorów.

3. Wielu autorów podkreśla, że o roli zwierząt w procesach rozkładu, a specjalnie o znaczeniu drapieżców wiadomo zbyt mało, choć częsta jest opinia, że może to być

wpływ bardzo ważny, prowadzący do regulacji liczebności organizmów oraz szybkości uwalniania względnie magazynowania pierwiastków.

### Piśmiennictwo

- Abrams B., Mitchell M. J. 1980 – Role of nematode–bacterial interactions in heterotrophic systems with emphasis on sewage sludge decomposition – *Oikos*, 35: 404–410.
- Anderson R. V., Coleman D. C., Cole C. V., Elliott E. T. 1983 – Effect of nematodes *Acrobeloides* sp. and *Mesodiplogaster lheritieri* on substrate utilization and nitrogen and phosphorus mineralization in soil – *Ecology*, 62: 549–555.
- Axelsson B., Lohm U., Persson T. 1984 – Enchytraeids, lumbricids and soil arthropods in a northern deciduous woodland – a quantitative study – *Holarct. Ecol.* 7: 91–103.
- Baath E., Lohm U., Lundgren B., Rosswall T., Soderstrom B., Sohlenius B. 1981 – Impact of microbial-feeding animals on total activity and nitrogen dynamics: a microcosm experiment – *Oikos*, 37: 257–264.
- Bamforth S. S. 1985 – Symposium on protozoan ecology: The role of Protozoa in litters and soils – *J. Protozool.* 32: 404–409.
- Beare M. H., Parmelee R. W., Hendrix P. F., Cheng W. 1992 – Microbial and faunal interactions and effects on litter nitrogen and decomposition in agroecosystems – *Ecol. Monogr.* 62: 569–591.
- Bouwman L. A., Bloem J., van den Boogert P. H. J. F., Brenar F., Hoenderboom G. H. J., De Ruiter P. G. 1994 – Short-term and long-term effects of bacteriovorous nematodes and nematophagous fungi on carbon and nitrogen mineralization in microcosms – *Biol. Fert. Soils*, 17: 249–256.
- Breymeyer A. 1978 – Analysis of the trophic structure of some grassland ecosystems – *Pol. Ecol. Stud.* 4: 55–128.
- Breymeyer A. 1981 – Struktura troficzna ekosystemów trawiastych – studia porównawcze – *Wiad. Ecol.* 27: 117–147.
- Brussard L., Noordhuis R., Geurs M. (w druku) – Nitrogen mineralization in microcosms with or without bacteriovorous nematodes and nematophagous mites – *Acta Zool. Fenn.*
- Chew R. M. 1974 – Consumers as regulators of ecosystems: an alternative to energetics – *Ohio J. Sci.* 74: 359–371.
- Chiverton P. A. 1986 – Predator density manipulation and its effects on populations of *Rhopalosiphum padi* (Hom.: Aphididae) in spring barley – *Ann. Appl. Biol.* 109: 49–60.
- Clarholm M. 1981 – Protozoan grazing of bacteria in soil – impact and importance – *Microb. Ecol.* 7: 343–350.
- Clarke R. D., Grant P. R. 1968 – An experimental study of the role of spiders as predators in a forest litter community. Part 1 – *Ecology*, 49: 1152–1154.
- Coleman D. C., Cole C. V., Anderson R. V., Blaha M., Champion M. C., Clarholm M., Elliot E. T., Hunt H. W., Shaefer B., Sinclair J. 1977 – An analysis of rhizosphere-saprophage interactions in terrestrial ecosystems – *Soil organisms as components of ecosystems* – *Ecol. Bull. (Stockholm)*, 25: 299–309.
- 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 Univ. Press, 35–58.

- Coulson J. C., Whittaker J. B. 1978 – Ecology of moorland animals (W: Production ecology of British moors and montane grasslands. Red. O. W. Heal, D. F. Perkins) – Springer-Verlag, Berlin, 52–93.
- Couteaux M. M., Faurie G., Palka L., Steinberg C. 1988 – Prey-predator relationship (Protozoa-microflora) in soil: Role in population regulation and consequences on the carbon and nitrogen cycles – *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 25: 1–31.
- De Bach P. 1964 (red.) – Biological control of insect pests and weeds – Chapman and Hall, London.
- 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., Lebbink G., Brussard L. 1993 – Stimulation of nitrogen mineralization in the belowground food webs of two winter wheat fields – *J. Appl. Ecol.* 30: 534–545.
- Elkins Z., Whitford W. G. 1982 – The role of microarthropods and nematodes in decomposition in a semi-arid ecosystem – *Oecologia (Berl.)*, 55: 303–310.
- Elliott E. T., Coleman D. C., Anderson R. V., Cole C. V., Hunt H. W., Woods L. E., Gould W. D., McClellan J. F. 1980 – Microbial trophic structure and habitable pore space in soil (W: Microcosms in ecological research. Red. J. P. Giesy) – US Dept. of Energy, Washington D. C., 1050–1070.
- Gravesen E., Toft S. 1987 – Grass fields as reservoirs for polyphagous predators (Arthropoda) of aphids (Homopt., Aphididae) – *J. Appl. Entomol.* 104: 461–472.
- Gunn A., Cherrett J. M. 1993 – The exploitation of food resources by soil meso- and macroinvertebrates – *Pedobiologia*, 37: 303–320.
- Hanlon R. D. G., Anderson J. M. 1979 – The effects of Collembola grazing on microbial activity in decomposing leaf litter – *Oecologia (Berl.)*, 38: 93–99.
- Hassink I., Bouwman L. A., Zwart K. B., Bloem J., Brussard L. 1993 – Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils – *Geoderma*, 57: 105–128.
- Heal O. W., Dighton J. 1986 – Nutrient cycling and decomposition in natural terrestrial ecosystems (W: Microfloral and faunal interactions in natural and agro-ecosystems. Red. M. J. Mitchell, J. P. Nakas) – Junk, Dordrecht, 14–73.
- Heal O. W., MacLean S. F. 1975 – Comparative productivity in ecosystems – secondary productivity (W: Unifying concepts in ecology. Red. W. H. van Dobben, R. H. Lowe-McConnell) – Junk, Hague, Wageningen, 89–108.
- Henkinet R., Couteaux M. M., Billes G., Bottner P., Palka L. 1990 – Acceleration du turnover du carbone et simulation du priming effect par la predation dans un humus forestier – *Soil. Biol. Biochem.* 22: 555–561.
- Huffaker C. B., Messenger P. S., DeBach P. 1971 – The natural enemy component in natural control and the theory of biological control (W: Biological control. Red. C. B. Huffaker) – Plenum Press, New York, 16–67.
- Hunt H. W., Cole C. V., Klein D. A., Coleman D. C. 1977 – A simulation model for the effect of predation on bacteria in continuous culture – *Microb. Ecol.* 3: 259–278.
- Ingham E. R., Trofymow J. A., Ames R. N., Hunt H. W., Morley C. R., Moore J. C., Coleman D. C. 1986a – Trophic interactions and nitrogen cycling in a semi-arid grassland soil. I. Seasonal dynamics of the natural populations, their interactions and effects on nitrogen cycling – *J. Appl. Ecol.* 23: 597–614.
- Ingham E. R., Trofymow J. A., Ames R. N., Hunt H. W., Morley C. R., Moore J. C., Coleman D. C. 1986b – Trophic interactions and nitrogen cycling in a semi-arid grassland soil. II.

- System responses to removal of different groups of soil microbes of fauna – J. Appl. Ecol. 23: 615–623.
- 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.
- Kaczmarek W. 1963 – An analysis of interspecific competition in communities of the soil macrofauna of some habitats in the Kampinos National Park – Ekol. Pol. Ser. A, 11: 423–483.
- Kaczmarek W. 1969 – Liczebność populacji a obfitość pokarmu w zrównoważonych łańcuchach troficznych – Ekol. Pol. Ser. B, 15: 71–76.
- Kaczmarek W. 1978 – Die lokomotorische Aktivität der Bodenfauna als Parameter der trophischen Struktur und der Sukzession von Waldokosystemen – Pedobiologia, 18: 434–441.
- Kajak A., Breymeyer A., Pęta J. 1971 – Productivity investigation of two types of meadows in the Vistula Valley. XI. Predatory arthropods – Ekol. Pol. 17: 223–233.
- Kajak A., Chmielewski K., Kaczmarek M., Rembiałkowska E. 1991 – Experimental studies on the effect of epigeic predators on decomposition processes on managed peat grasslands – Pol. Ecol. Stud. 17: 289–310.
- Kajak A., Jakubczyk H. 1975 – Trophic relationships of epigeic predators – Pol. Ecol. Stud. 2: 219–229.
- Kiritani K. 1979 – Pest management in rice – Annu. Rev. Entomol. 24: 279–312.
- Kuikman P. J., Van Vuuren M. M. I., Van Veen I. A. 1989 – Effect of soil moisture regime on predation by Protozoa on bacterial biomass and the release of bacterial nitrogen – Agric. Ecosyst. Environ. 27: 271–279.
- Laakso J., Salminen J., Setälä H. (w druku) – Effects of abiotic conditions and microarthropod predation on the structure and function of soil animal communities – Acta Zool. Fenn.
- Lauenroth W. K., Milchunas D. G. 1992 – Shortgrass steppe (W: Natural grasslands. Red. R. T. Coupland) – Elsevier, Amsterdam, 183–226.
- Martikainen E., Huhta V. 1990 – Interactions between nematodes and predatory mites in raw humus soil: A microcosm experiment – Rev. Ecol. Biol. Sol, 27: 13–20.
- Moore J. C., Walter D. E., Hunt H. W. 1988 – Arthropod regulation of micro- and mesobiota in below-ground detrital food webs – Annu. Rev. Entomol. 33: 419–440.
- Murdoch W. W., Chesson J., Chesson P. L. 1985 – Biological control in theory and practice – Am. Nat. 125: 344–366.
- Nentwig W. 1988 – Augmentation of beneficial arthropods by strip management. 1. Succession of predacious arthropods and long term changes in the ratio of phytophagous to predacious arthropods in a meadow – Oecologia (Berl.), 76: 597–606.
- Parker L. W., Santos P. F., Phillips J., Whitford W. G. 1984 – Carbon and nitrogen dynamics during the decomposition of litter and roots of a Chihuahuan desert annual, *Lepidium lasiocarpum* – Ecol. Monogr. 54: 339–360.
- Persson T., Baath E., Clarholm M., Lundkvist H., Soderstrom B. E., Sohlenius B. 1980 – Trophic structure, biomass dynamics and carbon metabolism of soil organisms in a scots pine forest – Ecol. Bull. (Stockholm), 32: 419–459.
- Potts G. R., Vickerman G. P. 1971 – Studies on the cereal ecosystem – Adv. Ecol. Res. 8: 108–197.
- Pussard M., Rouelle J. 1986 – Predation of microflora: Effect of Protozoa on bacterial population dynamics – Protistologia, 22: 105–110.
- Reichle D. E. 1977 – The role of soil invertebrates in nutrient cycling – Ecol. Bull. (Stockholm), 25: 125–156.

- Riechert S. E. 1974 – Thoughts on the ecological significance of spiders – *BioScience*, 24: 352–356.
- Riechert S. E., Bishop L. 1990 – Prey control by an assemblage of generalist predators: spiders in garden test systems – *Ecology*, 71: 1441–1450.
- Riechert S. E., Harp J. M. 1987 – Nutritional ecology of spiders (W: Nutritional ecology of insects, mites, spiders and related invertebrates. Red. F. Slansky, J. G. Rodriguez) – A. Wiley, New York, 645–672.
- Rodenhouse N. L., Barrett G. W., Zimmerman D. M., Kemp J. C. 1992 – Effects of uncultivated corridors on arthropod abundances and crop yields in soybean agroecosystems – *Agric. Ecosyst. Environ.* 40: 179–191.
- Sandner H. 1971 – *Biologiczne metody ochrony roślin* – PWRiL, Warszawa.
- Santos P. F., Phillips J., Whitford W. G. 1981 – The role of mites and nematodes in early stages of buried litter decomposition in desert – *Ecology*, 62: 664–669.
- Santos P. F., Whitford W. G. 1981 – The effects of microarthropods on litter decomposition in a Chihuahuan desert ecosystems – *Ecology*, 62: 654–663.
- Schaefer H. 1990 – The soil fauna of a beech forest in limestone: trophic structure and energy budget – *Oecologia (Berl.)*, 82: 128–136.
- Seastedt T. R. 1984 – The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes – *Soil Biol. Biochem.* 33: 112–119.
- Setälä H. 1990 – Effects of soil fauna on decomposition and nutrient dynamics in coniferous forest soil – *Acad. Diss., Univ. of Jyväskylä, Jyväskylä*.
- Setälä H. M., Tynismaa M., Martikainen E., Huhta V. 1991 – Mineralization of C, N and P in relation to decomposer community structure in coniferous forest soil – *Pedobiologia*, 35: 285–296.
- Siepel H. 1994 – Structure and function of soil microarthropod communities – Thesis, Wageningen, Den Haag.
- Thomas M. B., Wratten N. W., Sotherton W. 1991 – Creation of island habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: predator densities and emigration – *J. Appl. Ecol.* 28: 906–917.
- Trofymow J. A., Morley C. R., Coleman D. C., Anderson R. V. 1983 – Mineralization of cellulose in the presence of chitin and assemblages of microflora and fauna in soil – *Oecologia (Berl.)*, 60: 103–110.
- Usher M. B. 1985 – Population and community dynamics in the soil ecosystem (W: Ecological interactions in soil. Red. M. B. Usher) – Elsevier, Amsterdam, 339–354.
- Uvarov A. V. (w druku) – Effects of fluctuating temperature conditions on the process of litter decomposition in laboratory microcosms – *Acta Zool. Fenn.*
- Van der Drift J., Jansen E. 1977 – Grazing on springtails on nuphar mats and its influence on fungal growth and respiration – *Ecol. Bull. (Stockholm)*, 25: 125–156.
- Walter D. E., Hunt H. W., Elliott E. T. 1988 – Guilds or functional groups? An analysis of predatory arthropods from a short grass steppe soil – *Pedobiologia*, 31: 247–260.
- Wardle D. A., Yeates G. W. 1993 – The dual importance of competition and predation as regulatory forces in terrestrial ecosystems: evidence from decomposer food-webs – *Oecologia (Berl.)*, 93: 303–306.
- Werner M. R., Dindal D. L. 1987 – Nutritional ecology of soil arthropods (W: Nutritional ecology of insects, mites, spiders, and related invertebrates. Red. F. Slansky, J. G. Rodriguez) – Wiley, New York, 815–836.

Woods L. E., Cole C. V., Elliott E. T., Anderson R. V., Coleman D. C. 1982 – Nitrogen transformations in soil as affected by bacterial–microfaunal interactions – *Soil Biol. Biochem.* 14: 93–98.

## Summary

This review examines the role of soil dwelling predators in decomposition processes. The number of papers dealing with this problem is limited.

The proportion of energy produced in detritus food chain by detritophages and microphytophages going to zoophages consisted, in most ecosystems analysed, 16–39% (Table I).

The influence of predation on the prey density and organic matter decomposition could be solved only in experiments.

It was found in microcosm experiments, that grazing by microphytophages on bacteria decreases the number of individuals, but increases decomposition rate, CO<sub>2</sub> diffusion and nutrient release from litter (Tables II and III). The effect of predation on microphytophages by predatory protozoans and nematodes is similar. It also increases turn-over rate of organic matter (Table IV).

Results of the experiments on predation by larger animals – meso- and macrofauna (Acarina, Araneae, Carabidae, Formicidae) are less consistent. In most cases retardation of decomposition rate was found (Table V). In some of them however no response of predation on the prey density, or decomposition rate was recorded. Basing on experimental data several authors conclude, that predators are able to regulate prey number and energy flow in soil system.

(wpłynęło: 13 X 1994 r.)