

SKOCZOGONKI *COLLEMBOLA*, *HEXAPODA* I ROZTOCZE *ACARI*, *ARACHNIDA* JAKO WSKAŹNIKI ZDROWOTNOŚCI GLEB LEŚNYCH

Małgorzata Sławska

Abstrakt

Gleba jest fundamentem wszystkich ekosystemów lądowych, gdyż posiadając zdolność podtrzymywania produkcji biologicznej, wspiera wzrost i witalności roślin oraz występowanie zwierząt. Ponadto, gleba jako odbiorca odpadów zarówno naturalnych jak i antropogenicznych ma wpływ na jakość pozostałych komponentów środowiska. Tempo obiegu materii w ekosystemach jest regulowane przez fauną biorącą udział w rozkładzie i transformacji materii organicznej. Wśród stawonogów ściółkowo-glebowych występujących w lasach strefy umiarkowanej skoczogonki i roztocza tworzą zgrupowania najliczniejsze zarówno pod względem liczby gatunków jak i osobników. Na każdym metrze kwadratowym gleby borów sosnowych występuje przeciętnie kilkanaście tysięcy skoczogonków oraz kilkadziesiąt tysięcy roztoczy. Ze względu na powszechność występowania oraz wysoką wrażliwość na zmianę czynników środowiskowych obie grupy są wykorzystywane przy ocenie zdrowotności gleb oraz stopnia i skutków zaburzeń zachodzących w środowisku glebowym. W przypadku skoczogonków i roztoczy udokumentowaną wartość wskaźnikową mają pojedyncze gatunki, różne grupy ekologiczne oraz całe zgrupowania. W pracy przedstawiono przykłady wykorzystania obu grup w bioindykacji ekosystemów leśnych, ze szczególnym uwzględnieniem skutków prowadzonej w lasach gospodarki oraz wpływu zanieczyszczeń powodujących zakwaszenie środowiska.

SPRINGTAILS *COLLEMBOLA*, *HEXAPODA* AND MITES *ACARI*, *ARACHNIDA* AS INDICATORS OF HEALTHY FOREST SOIL

Abstract

The soil is fundamental and essential counterpart of all terrestrial ecosystems. The soil has capacity to sustain biological productivity, determines growth and vitality of plants and supports occurrence of animals. Additionally, soil as a sink of natural and anthropogenic wastes promotes the quality of other environment components. Decomposition rate is regulated by animals taking part in disintegration

and transformation of organic matter. Among litter-soil, arthropods living in the forest of temperate zone, springtails and mites form the most abundant and rich in species communities. On the average, ten to twenty thousands springtails and few tens thousands mites occur in each square meter of forest floor. Both groups, because of their large number in all terrestrial ecosystems and high sensibility to changes of environmental parameters, are used in assessment of soil health or appraisal of results of disturbance undergoing in the soil. In case of springtails and mites, many indices basing on particular species occurrence, ecological groups of species or whole communities can serve as a indicators. The case studies of forest ecosystems evaluation using both groups of arthropods were presented. Special attention is paid to impact of forest management and acid pollution on forest soil health.

Wstęp

Aktywność biologiczna gleb ma podstawowe znaczenie dla obiegu materii w ekosystemach lądowych i w ten sposób decyduje o potencjale produkcyjnym, zdrowotności i trwałości tych ekosystemów. Zdrowotność gleby jest definiowana jako zdolność gleby do pełnienia w ekosystemach takich funkcji jak: podtrzymanie ciągłości produkcji biologicznej, wspieranie wzrostu roślin i zwierząt oraz kształtowanie jakości środowiska (Doran, Parkin, 1994, cyt. za Doube, Schmidt 1997). Termin ten podkreśla holistyczne podejście do gleby jako żywego i dynamicznego układu biologicznego, którego ważnym składnikiem są zamieszkujące glebę organizmy.

Rozwój biologii a zwłaszcza zoologii gleby i w efekcie coraz lepszy stopień poznania gleby wskazuje na znaczne zasoby informacji tkwiące w tym środowisku. Z punktu widzenia bioindykacji ważnym atrybutem gleby jest bogactwo gatunkowe i niezwykle różnorodność zasiedlających ją organizmów. Na jednym metrze kwadratowym gleby można znaleźć do 1000 gatunków zwierząt, w tym 200 gatunków stawonogów. W żadnym innym miejscu w ekosystemach lądowych tak wiele gatunków nie występuje tak licznie (Hagvar 1998 i cytacje zawarte w tej pracy).

Rozpoznanie roli fauny glebowej w funkcjonowaniu ekosystemów lądowych spowodowało, że jednym z intensywnie rozwijających się kierunków oceny jakości i zdrowotności gleb jest bioindykacja wykorzystująca różne grupy bezkręgowców glebowych (przykłady opracowań o charakterze przeglądowym: Van Straalen Kri-volutsky 1996, Van Straalen 1998, Bohac 1999, Pankhurst i in. 1997). Dokonania bioindykacji wykorzystującej bezkręgowce glebowe ujawniają wysoką przydatność tej metody do oceny zmian zachodzących w ekosystemach.

W różnych strefach klimatycznych kluczową rolę w glebowej sieci troficznej odgrywają inne grupy organizmów (Swift i in. 1979). W lasach strefy umiarkowanej największe znaczenie ma mezofauna, do której należą między innymi skoczogonki i roztocza (tab. 1).

Tab. 1. Liczebność (zagęszczenie na 1m²) roztoczy i skoczogonków w glebach różnych typów lasu strefy umiarkowanej (Coleman, Crossley 1996)

Tab. 1. Number (density per 1m²) of mites and springtails in soils of different types in forests in temperate zone (Coleman, Crossley, 1996)

Takson	Las liściasty mieszany	Bór świerkowy	Bór sosnowy
<i>Oribatida</i>	56.000	212.000	425.000
<i>Prostigmata</i>	brak danych	96.000	250.000
<i>Mesostigmata</i>	1.500	14.000	8.600
<i>Collembola</i>	7.500	46.000	60.000

Charakterystyka skoczogonków występujących w glebach leśnych

Skoczogonki występują pospolicie przede wszystkim w ściółce i glebie, ale znajdują się również pod korą, na grzybach, roślinności runa i koronach drzew oraz miejscach nagromadzenia martwej materii organicznej. Rozmiary ciała 0,2-8 mm, kształt wydłużony lub kulisty. Ubarwienie zmienne zależnie od miejsca występowania w profilu glebowym. Gatunki żyjące na powierzchni ściółki i w wierzchnich jej warstwach są silnie pigmentowane, często z wyraźnym wzorem ubarwienia. Gatunki żyjące w głębszych warstwach gleby pozbawione pigmentu są barwy białej lub żółtawej.

Rodzaj pobieranego pokarmu:

- strzępki i zarodniki grzybów,
- odchody innych zwierząt,
- amorficzna materia organiczna,
- drobne organizmy żyjące w glebie.

Skoczogonki to zwierzęta cechujące się szybkim tempem wzrostu i rozwoju, z tego względu zaliczane są do r-strategów, szybko reagujących na zmiany w środowisku.

Charakterystyka roztoczy występujących w glebach leśnych

Roztocze są grupą znacznie bardziej zróżnicowaną niż skoczogonki, z tego względu poszczególne rzędy opisane zostały oddzielnie.

***Oribatida (Cryptostigmata)* – mechowce**

Pospolite w glebie i ściółce, w mchu, porostach, pniach drzew, butwiejącym drewnie, gniazdach ptaków i ssaków. Roztocze o rozmiarach ciała 0,1-2,5 mm i barwie białej, żółtej, brązowej lub czarnej – w zależności od stopnia sklerotyzacji okrywy ciała. Mechowce stanowią 80% wszystkich roztoczy glebowych.

Rodzaj pobieranego pokarmu: strzępki i zarodniki grzybów, rozkładająca się materia organiczna (trawia ściany komórkowe), resztki roślinne przerośnięte grzybną. Mechowce drążą otwory w igłach i gałązkach oraz żerują na ich tkankach

wewnętrznych, a flora jelitowa umożliwia im trawienie drewna. Dodatkowo akumują w swoim ciele węglan wapnia.

Prostigmata

Grupa zróżnicowana morfologicznie i fagicznie, w glebach powszechnie występują kolorowe i ruchliwe gatunki drapieżne, z których większe zjadają stawonogi, ich jaja i larwy, mniejsze gatunki – nicienie. Część gatunków jest grzybożerna.

Mesostigmata

Najliczniejszy w tej grupie podrząd: Gamasina to w większości formy drapieżne, których pożywienie stanowią nicienie, skoczogonki, stadia młodociane i jaja owadów, w tym korników.

Astigmata

Wszystkożerne szkodniki magazynowe i roztocze kurzu domowego, w glebach leśnych występują sporadycznie w miejscach nagromadzenia martwej materii organicznej, która stanowi ich główne źródło pożywienia.

Przy charakterystyce obu grup korzystano z następujących pozycji: Boczek, Błaszak (2005), Coleman, Crossley (1996), Hopkin (1997), Lavelle, Spain (2001), van Straalen (1997).

Znaczenie skoczogonków i roztoczy w funkcjonowaniu ekosystemów leśnych jest ściśle związane z rodzajem pokarmu pobieranego przez poszczególne grupy. Przyjmując duży stopień uogólnienia znaczenie mezofauny w procesach glebowych można ująć następująco:

- pośredni udział w procesie dekompozycji przez odżywanie się grzybnią, odchodami innych zwierząt glebowych, humusem i drobnymi organizmami żyjącymi w glebie,
- bezpośredni udział w dekompozycji przez rozdrabnianie i trawienie martwej materii organicznej (dotyczy tylko roztoczy),
- wpływ na aktywność i biomasę mikroflory glebowej poprzez żerowanie na różnych gatunkach grzybów,
- uwalnianie składników pokarmowych zawartych w strzępkach grzybów a samą grzybnię z fazy zastoju konkurencyjnego,
- rozprzestrzenianie grzybów w glebie przez przenoszenie zarodników i innych propaguli,
- udział w budowie struktury gleby przez składanie odchodów,
- źródło pokarmu dla wielu grup zwierząt glebowych, w tym również drapieżnych chrząszczy takich jak biegaczowate i kusakowate,
- w przypadku roztoczy duże znaczenie w glebowej sieci troficznej mają gatunki drapieżne zjadające stawonogi, ich jaja i larwy, oraz nicienie.

Wskaźnikowa wartość skoczogonków i roztoczy

Takson używany do bioindykacji musi spełniać szereg kryteriów, z których za podstawowe uważa się pospolicność, czyli liczne występowanie w różnych typach środowisk, dobre rozpoznanie wymagań ekologicznych i rozmieszczenia geograficznego przedstawicieli grupy, a także dostateczne opracowanie systematyki pozwalające na prawidłowe oznaczanie gatunków (Hilty, Merenlender 2000). Grupa powinna również pełnić ważną rolę w funkcjonowaniu ekosystemów i jednocześnie wykazywać wrażliwość na zmiany zachodzące w środowisku a reakcje te powinny być mierzalne, proporcjonalne do natężenia czynnika i powtarzalne. Dodatkowo, takson wskaźnikowy musi być łatwy do znalezienia oraz odłowu przy pomocy metod ilościowych, aby uzyskany materiał mógł być analizowany przy zastosowaniu procedur statystycznych.

Zarówno skoczogonki jak i roztocze spełniają wszystkie wymienione kryteria, z tego względu obie grupy są szeroko wykorzystywane do oceny stanu i zmian zachodzących w różnych typach środowisk. W przypadku ekosystemów leśnych skoczogonki i roztocze są wykorzystywane do oceny wpływu szerokiego spektrum stresorów i zaburzeń zarówno naturalnych jak i antropogenicznych (Kopeszki 1997). Używa się ich na przykład do oceny skutków gospodarki leśnej, czyli metod pozyskania, hodowli i ochrony lasu na procesy zachodzące w glebie. Skoczogonki i roztocza, ze względu na wysoką wrażliwość na zmiany właściwości chemicznych gleby, są bardzo dobrymi wskaźnikami ekologicznych skutków presji zewnętrznych wpływających na lasy takich jak zakwaszenie gleb, czy akumulacja metali ciężkich i innych toksycznych związków. W ramach badań nad różnorodnością biologiczną obie grupy używane są do szacowania wartości przyrodniczej różnych obiektów i identyfikacji obszarów o ponadprzeciętnych walorach zarówno w skali lokalnej jak i krajobrazowej (Ponge i in. 2003, Sławska 2005). Poniżej zamieszczono kilka przykładów badań wykazujących wysoką wrażliwość skoczogonków i roztoczy na zmiany struktury i właściwości gleb leśnych.

Przykład 1. Reakcja zgrupowań mechowców *Oribatida*, *Acari* na uproszczenie składu gatunkowego drzewostanu

Eksperyment polegał na usunięciu naturalnej ściółki wielogatunkowego drzewostanu liściastego i zastąpieniu jej ściółką składającą się z jednego gatunku drzew dominujących w tym drzewostanie (dąb, brzoza, klon) oraz ściółką mieszaną z tych trzech gatunków. Zgrupowania roztoczy poszczególnych wariantów ściółki zostały porównane do naturalnej ściółki tego drzewostanu składającej się z siedmiu gatunków drzew i zawierającej dodatkowo drobne gałązki.

Po trzech latach obserwacji odnotowano wyraźny negatywny wpływ uproszczenia składu ściółki na zgrupowania *Oribatida*. Liczba gatunków roztoczy w jednogatunkowych ściółkach spadła o 28%, natomiast w ściółkach mieszanych pozostała bez zmian. Jednocześnie odnotowano drastyczny, bo wynoszący aż 72% spadek liczebności

zgrupowań w wariantach z jednogatunkową ściółką w porównaniu do wariantów zawierających ściółkę mieszaną. Spadek bogactwa gatunkowego i liczebności Oribatida był zbliżony we wszystkich trzech ściółkach jednogatunkowych, mimo że liście dęby, brzozy i klonu różnią się jakością i tempem rozkładu.

W podsumowaniu wyników eksperymentu autor postawił dwa główne wnioski. Po pierwsze, ściółka składająca się z liści różnych gatunków drzew, różniących się jakością i podatnością na rozkład zapewnia przez cały sezon wegetacyjny strukturalnie i jakościowo zróżnicowane środowisko dla fauny glebowej, czyli pokarm i schronienie dla wielogatunkowych zgrupowań. Po drugie, w ściółce mieszanej składniki uwolnione z łatwiej rozkładalnej materii przyspieszają dekompozycję materii odpornej na rozkład. W ten sposób zapewnione są lepsze warunki rozwoju mikrofory na substratach o różnym stopniu zaawansowania rozkładu (Hansen 2000).

Przykład 2. Reakcja zgrupowań skoczogonków (*Collembola*) i roztoczy (*Acari*) na zmiany pH gleby

W celu poznania negatywnego wpływu kwaśnych deszczy na ekosystemy borowe Północnej Europy przeprowadzono szereg eksperymentów ze sztuczną symulacją zakwaszenia gleby przez polewanie jej rozcieńczonym kwasem siarkowym. Badano również możliwości neutralizacji zakwaszenia gleb przez wapnowanie.

Obie badane grupy zwierząt glebowych okazały się być wrażliwe na zmianę pH, przy czym najsilniej zareagowała mezofauna gleb z próchnicą typu mor, czyli z natury bardzo kwaśnych. Ogólna liczebność skoczogonków i roztoczy nie uległa zmianie, nastąpiły natomiast istotne zmiany z strukturze dominacyjnej zgrupowań. Cześć gatunków zareagowała pozytywnie na zakwaszenie, inne negatywnie zaś kilka innych pozostało obojętnych, przy czym jeżeli gatunek zwiększał swoją liczebność w warunkach zakwaszenia na wapnowanie reagował odwrotnie (Hagvar 1984, Hagvar, Abrahamsen 1980, 1984, Hagvar, Kjondal 1981b, Vilkamaa, Huhta 1986).

Wyniki badań zweryfikowały również wiedzę na temat preferencji środowiskowych niektórych gatunków. *Isotoma notabilis* uważany za eurytopowy okazał się być gatunkiem wskaźnikowym gleb o wysokim pH, bardzo wrażliwym na zakwaszenie (Hagvar, Abrahamsen 1980). Kolejne eksperymenty potwierdziły wysoką przydatność mezofauny glebowej do oceny stopnia zakwaszenia środowiska (Vilkamaa, Huhta 1986, Hagvar, 1988). Wykazano też, że pH gleby jest ważnym czynnikiem regulującym zdolności konkurencyjne gatunków i w ten pośredni sposób modyfikującym strukturę zgrupowań (Hagvar 1990).

Obszerne, wieloletnie badania fauny glebowej różnych środowisk przeprowadzone na terenie Francji pozwoliły na wyróżnienie trzech grup gatunków skoczogonków: acidofilnych, calcofilnych i obojętnych względem pH gleby. Dwie pierwsze grupy mają wysoką wartość wskaźnikową przy ocenie stopnia zakwaszenia gleby i mogą być przydatne w monitoringu ekosystemów lądowych (Ponge 2000).

Na podstawie wyników badań eksperymentalnych oraz prac laboratoryjnych dotyczących preferencji skoczogonków i roztoczy względem pH opracowano

indeks kwasowości wykorzystujący te bezkręgowce do oceny ekologicznych skutków zakwaszenia gleby (Van Straalen, Verhoef 1997).

Podsumowując, kwasowość gleby jest jednym z głównych czynników decydujących o składzie i strukturze zgrupowań skoczogonków i roztoczy. W przeprowadzonych eksperymentach wykazano również, że zmiana pH ściółki leśnej powoduje spadek tempa dekompozycji niezależnie od rodzaju gleby i typu próchnicy, mimo że nie zmienia biomasy grzybów występujących w glebie (Hagvar, Abrahamsen 1980).

Przykład 3. Reakcja zgrupowań skoczogonków *Collembola* na zaburzenie struktury gleby przez mieszanie ściółki lub orkę

Wrażliwość skoczogonków na mechaniczne zaburzenie struktury gleby była badana w doświadczeniu przeprowadzonym w lesie bukowym na terenie Niemiec. Eksperyment ten polegał na mieszaniu ściółki z różną częstotliwością. Jednokrotny zabieg spowodował spadek liczby gatunków skoczogonków z 19 do 16. Mieszanie ściółki co 2 miesiące doprowadziło do silnej redukcji bogactwa gatunkowego (z 19 do 9 gatunków). Na powierzchniach gdzie mieszanie powtarzano co 2 tygodnie przetrwało zaledwie 8 gatunków skoczogonków.

W wyniku mieszania ściółki silnej redukcji uległo również zagęszczenie zgrupowań, które stanowiło 57% stanu wyjściowego w przypadku jedнокrotnego mieszania, 33% w zaburzeniu powtarzającym się co 2 miesiące i 13% w wariancie z dwutygodniowym cyklem mieszania ściółki.

W przeprowadzonym eksperymencie wykazano również, że poszczególne gatunki skoczogonków wykazują różną odporność na mechaniczne zaburzenie struktury gleby, co powoduje istotne zmiany w strukturze dominacyjnej zgrupowań. Ranking wrażliwości skoczogonków na mechaniczne zaburzenie struktury ściółki przedstawia się następująco: Folsomia > Hypogastruridae, Neanuridae > Onychiuridae, Isotomidae > Entomobryidae (Maraun i in. 2003)

Liczne badania prowadzone w różnych regionach Europy wykazały, że większość bezkręgowców glebowych wykazuje wysoką wrażliwość na spowodowane orką zaburzenie struktury gleby i innych jej właściwości, przy czym reakcja grupy zależy od rozmiarów ciała jej przedstawicieli (Warde 1995, Kladivko 2001). Większe bezkręgowce takie jak dżdżownice, biegaczowate i pająki reagują drastycznym obniżeniem zarówno liczebności jak i biomasy. Przedstawiciele mezofauny, czyli skoczogonki i roztocza wykazują umiarkowaną negatywną odpowiedź.

Przez porównanie zgrupowań skoczogonków drzewostanów dojrzałych do wyřębu i założonych obok upraw różniących się sposobem przygotowania gleby wykazano, że stopień destrukcji fauny glebowej jest proporcjonalny do nasilenia zabiegu przygotowania gleby. Przygotowanie gleby w talerze bez zniszczenia pokrywy gleby na pozostałej powierzchni zrębu pozwala przetrwać trzykrotnie większej liczbie gatunków niż wyoranie pasów. Co więcej, orka w pasach redukuje liczebność

zgrupowań do kilkunastu procent stanu wyjściowego podczas gdy przygotowanie gleby w talerze pozwala przetrwać ponad połowie osobników (Sławska 2002).

Mechanicznej uprawie gleby towarzyszy zwykle jej ugniatanie, które powoduje dodatkowy, negatywny, proporcjonalny to stopnia odkształcenia gleby wpływ na skoczogonki i roztocza (Schrader, Lingnau 1997, Dittmer, Schrader 2000). Wykazano, że tempo odbudowy liczebności zgrupowań Collembola po łącznym oddziaływaniu obu zaburzeń zależy od głębokości orki i tylko w przypadku orki płytkiej następuje w ciągu tego samego sezonu wegetacyjnego (Schrader, Lingnau 1997).

Podsumowując wyniki przedstawionych badań należy podkreślić, że zgrupowania skoczogonków i roztoczy bardzo wyraźnie reagują na zmiany zachodzące w glebie pod wpływem orki, która modyfikuje takie jej właściwości jak: wilgotność, napowietrzenie, temperatura, stopień zmieszania materii organicznej, rozmiar porów i inne. Natomiast z punktu widzenia bioindykacji obserwowane odkształcenia w składzie i strukturze zgrupowań zwierząt glebowych pozwalają ocenić, w jakim stopniu wykonywane zabiegi zmieniają środowisko glebowe. Ważnym aspektem badań zoindykacyjnych jest również to, że tempo odtwarzania się zgrupowań mezofauny jest doskonałym wskaźnikiem regeneracji ekosystemu glebowego oraz poprawy jego funkcjonowania.

Literatura

- Bohac J. 1999. Staphylinid beetles as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 357–372.
- Boczek J., Błaszak C. 2005. *Roztocze Acari. Znaczenie w życiu i gospodarce człowieka*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 267 pp.
- Coleman D.C., Crossley D.A. 1996. *Fundamentals of soil ecology*. Academic Press, 205 pp.
- Dittmer S., Schrader S. 2000. Long term effects of soil compaction and tillage on Collembola and straw decomposition in arable soil. *Pedobiologia* 44: 527–538.
- Doube M.B., Schmidt O. 1997. Can the abundance or activity of soil macrofauna be used to indicate the biological health of soils. W: C.E. Pankhurst, B.M. Doube, V.V.S.R. Gupta, eds. *Biological indicator of soil health*. CAB International: 265–295.
- Hagvar S. 1984. Effects of liming and artificial acid rain on Collembola and Protura in coniferous forest. *Pedobiologia* 27: 341–354.
- Hagvar S. 1990. Reactions to soil acidification in microrthropods: Is competition a key factor? *Biology and Fertility of Soil* 9: 179–181.
- Hagvar S. 1998. The relevance of the Rio-Convention on biodiversity to conserving the biodiversity of soils. *Applied Soil Ecology* 9: 1–7.
- Hagvar S., Abrahamsen G. 1980. Colonisation by Enchytraeidae, Collembola and Acari in sterile soil samples with adjusted pH levels. *Oikos* 34: 245–258.

- Hagvar S., Abrahamsen G. 1984. Collembola in Norwegian forest soil. III. Relation to soil chemistry. *Pedobiologia* 27: 331–339.
- Hagvar S., Kjondal B.R. 1981. Effects of artificial acid rain on the microarthropod fauna in decomposing birch leaves. *Pedobiologia* 22: 409–422.
- Hilty J., Merenlender A. 2000. Faunal indicator taxa selection for monitoring ecosystem health. *Biological Conservation* 92: 185–197.
- Hopkin S.P. 1997. *Biology of the Springtails Insecta: Collembola*. Oxford University Press, Oxford, New York, Tokyo, 330 pp.
- Maraun M., Salamon J.A., Schneider K., Schaefer M., Scheu S. 2003. Oribated mite and collembolan diversity, density and community structure in a moder beech forest *Fagus sylvatica*: effect of mechanical perturbations. *Soil Biology & Biochemistry* 35: 1387–1394.
- Kladivko E.J. 2001. Tillage systems and soil ecology. *Soil & Tillage Research* 61: 61–76.
- Kopeszki H. 1997. An active bioindication method for the diagnosis of soil propretitis using Collembola. *Pedobiologia* 41: 159–166.
- Hansen R.A. 2000. Diversity in the decomposing landscape. W: D.C. Coleman, P.F. Hendrix, eds. *Invertebrates as webmasters in ecosystems*. CABI Publishing: 203–220.
- Lavelle P., Spain A. V. 2001. *Soil ecology*. Kluwer Academic Publishers, 654 pp.
- Pankhurst C.E., Doube B.M., Gupta V.V.S.R. 1997. *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International, Wallingford, New York, 451 pp.
- Ponge J.F. 2000. Acidophilic Collembola: Living Fossils. *Contr. biol. Lab. Kyoto Univ.* 29: 65–74.
- Ponge J.F., Gillet S., Dubs F., Fedoroff E., Haese L., Sousa J.P., Lavelle P. 2003. Collembolan communities as bioindicator of land use intensification. *Soil Biology & Biochemistry* 35: 813–826.
- Schrader S., Lingnau M. 1997. Influence of soil tillage and soil compaction on microarthropods in agricultural land. *Pedobiologia* 41: 202–209.
- Sławska M. 2002. Wpływ sposobu przygotowania gleby na zgrupowania skoczogonków (Collembola, Apterygota) boru sosnowego. *Sylwan* 11: 63–72.
- Sławska M. 2005. *Propozycja metody waloryzacji ekosystemów leśnych wykorzystującej epigeiczno-glebowe zgrupowania skoczogonków Collembola, Hexapoda*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 208 pp.
- Swift M.J., Heal O.W., Andreson J.M. 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. University of California Press, Berkeley.
- Van Straalen N.M. 1997. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied Soil Ecology* 9 (1–3): 429–437.
- Van Straalen N.M., Krivolutsky D.M. 1996. Bioindicator Systems for Soil pollution. *NATO ASI Series*. Vol. 16. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 268 pp.

- Van Straalen N.M., Verhoef H.A. 1997. The development of a bioindicator system for soil acidity based on arthropod pH preferences. *Journal of Applied Ecology* 34: 217–232.
- Vilkamaa P., Huhta V. 1986. Effect of fertilisation and pH on communities of Collembola in pine forest soil. *Annales Zoologici Fennici* 23: 167–174.
- Wardle D.A. 1995. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. W: M. Begon, A.H. Fitter, eds. *Advances in Ecological Research, Academic Press, New York* 26: 105–185.

Malgorzata Slawska

Katedra Ochrony Lasu i Ekologii SGGW
slawska@poczta.onet.pl