

KAROL ABRAMCZYK, ANNA GAŁĄZKA

Różnorodność mikroorganizmów glebowych obszarów chronionych i o znaczących walorach przyrodniczych*

Diversity of soil microorganisms on areas under protection
or with significant natural values

ABSTRACT

Abramczyk K., Gałązka A. 2017. Różnorodność mikroorganizmów glebowych obszarów chronionych i o znaczących walorach przyrodniczych. Sylwan 161 (6): 496-503.

The article presents problems connected with the biodiversity of soil microorganisms occurring on selected protected areas. Based on the literature, authors attempt to explain the concept of biodiversity, the role of soil in the natural environment and the importance of soil microorganisms. The article also presents selected anthropogenic factors that influence microorganisms found in soils under different forms of protection. The large species diversity of soil microorganisms is closely related to their functions in the soil. Soil microorganisms participate in all processes occurring in the soil. They influence humus formation, increase soil fertility, provide plants with nutrients by decomposing organic matter and fight pathogens. The special attention focused on the broad concept of biological diversity as a form of preservation possibly the greatest richness of life on Earth. Ecological conditions prevailing in the different ecosystems affect the modification of the environment and force adaptation of organisms (including microorganisms) into the habitat. To preserve the diversity of the microorganisms, it is important to protect their habitat – the soil. Intolerance to certain environmental conditions and competition between microorganisms causes abnormal functioning of ecosystems and significant depletion of biodiversity. However, the main cause of the microorganisms biodiversity loss is the human pressure on the natural environment. Human activity causes the extinction of many species of plants and animals and has a negative impact on the soil environment. This in turn affects the functioning, abundance and biodiversity of soil microorganisms. In areas with significant natural values such as forests and protected areas (national parks) biodiversity of microorganisms is maintained at a much higher level than in the case of productive soils. The environmental protection leads to the equilibrium in the natural systems and its biotic and abiotic components, including biodiversity. Therefore, the need to create places of special protection such as national parks, nature reserves, landscape parks, etc. is very much justified.

KEY WORDS

biodiversity, soil microorganisms, protected areas, forests, environment

ADDRESSES

Karol Abramczyk – e-mail: kabramczyk@iung.pulawy.pl
Anna Gałązka

Zakład Mikrobiologii Rolniczej, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB; ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy

*Opracowanie w ramach zadania 1.4. „Ocena i kształtowanie bioróżnorodności środowiska glebowego oraz aktywności mikrobiologicznej gleb z uwzględnieniem różnych warunków siedliskowych i systemów gospodarowania” w Programie Wieloletnim IUNG-PIB na lata 2016-2020.

Wstęp

Mikroorganizmy stanowią integralną część środowiska glebowego i spełniają w nim szereg rozmaitych funkcji. Mają wpływ na funkcjonowanie ekosystemów, zdrowotność roślin oraz strukturę i produktywność gleby [Giller i in. 1997; Nannipieri i in. 2003]. Ochrona różnorodności biologicznej, w tym mikroorganizmów glebowych, jest ważna z punktu widzenia zachowania równowagi przyrodniczej.

Mianem bioróżnorodności określa się zmienność form życiowych na wszystkich poziomach organizacji biologicznej lub ogół genów, gatunków i ekosystemów spotykanych w danym regionie [Sienkiewicz 2010; Gałązka i in. 2016]. W 1992 roku podczas Szczytu Ziemi ONZ w Rio de Janeiro różnorodność zdefiniowano jako „zmiennność żywych organizmów zamieszkujących wszystkie środowiska, łącznie z m.in. lądowymi, morskimi i innymi wodnymi, oraz zmienność systemów ekologicznych, których częścią są te organizmy, przy czym tak ujęta zmienność obejmuje różnorodność wewnątrzgatunkową, międzygatunkową i różnorodność ekosystemów” [Konwencja... 1992]. Bioróżnorodność to zróżnicowanie wszystkich organizmów w obrębie gatunku, pomiędzy gatunkami oraz ekosystemami [Andren i in. 1995; Frąc, Jezierska-Tys 2010]. Obejmuje więc wszelką różnorodność biologiczną – od poziomu genów po całość biosfery. Występowanie organizmu na danym terenie związane jest z tolerancją warunków ekologicznych występujących w danym miejscu, włącznie z modyfikacją środowiska, będącą efektem konkurencji z innymi gatunkami oraz działalności człowieka. Wymieranie gatunków wskutek działalności człowieka prowadzi do zaniku bioróżnorodności i ubożenia zasobów genowych biosfery. To z kolei wpływa ujemnie na funkcjonowanie systemów ekologicznych [Hallam 2006; Weiner 2008]. Naukowcy rozpoznali i opisali około 1,7 miliona gatunków, ale przyjmuje się, że ich liczba może zawierać się w przedziale od 5 do 30 milionów, a nawet przekraczać 80 milionów [Torsvik i in. 1990; Barabasz, Voříšek 2002]. Nie ma bowiem obszarów, które zostałyby opisane w sposób pełny, obejmujący wszystkie występujące na nich organizmy.

Celem artykułu jest przedstawienie informacji dotyczących m.in. różnorodności biologicznej mikroorganizmów glebowych występujących w wybranych środowiskach przyrodniczych oraz na obszarach objętych ochroną prawną. Opracowanie jest także próbą przedstawienia ważnej roli mikroorganizmów glebowych w przyrodzie i konieczności ochrony miejsca ich bytowania.

Znaczenie mikroorganizmów glebowych

Gleba zamieszkiwana jest przez wiele gatunków mikroorganizmów. Ilość mikroflory zależy głównie od żyzności gleby. Szacuje się, że w 1 g żyznej gleby mogą znajdować się setki milionów lub miliardy bakterii [Szember 2001; Łowiński, Dach 2006]. Do chwili obecnej zidentyfikowano około 12% bakterii i 5% grzybów [Dykhuisen 1998; DeLong, Pace 2001; Daniel 2004; Łyszcz, Gałązka 2016]. Drobnoustroje glebowe współuczestniczą we wszystkich procesach zachodzących w glebie [Ilnicki 2002]. To właśnie mikroorganizmy glebowe mają znaczny udział w kształtowaniu żyzności gleby, odgrywają główną rolę w udostępnianiu roślinom składników pokarmowych, zwalczaniu patogenów, powstawaniu humusu glebowego, tworzeniu struktury gruzełkowej gleby oraz w mineralizacji materii organicznej [Bis, Marcinkowska 1998; Badura 2003; Wardle i in. 2004; Czajka, Damszel 2005; Acosta-Martinez i in. 2007].

W ekosystemach lądowych większość organizmów znajduje dogodne warunki do życia, ma w nich także miejsce najintensywniejsze gromadzenie się substancji organicznej warunkującej rozwój mikroflory glebowej [Barabasz, Voříšek 2002]. Duży wpływ na mikrobiologiczną mineralizację substancji organicznej ma rodzaj gleby i proces glebotwórczy. Według Bogacza i in. [2004] intensywna mineralizacja obserwowana w glebach pobagiennych i z rozpoczętym procesem mur-

szenia wpływa w znaczący sposób na rozwój i bioróżnorodność grzybów. Drobnoustroje glebowe są odpowiedzialne za nieustanny obieg substancji odżywczych w środowisku [Giller i in. 1997; Nannipieri i in. 2003]. Bakterie i grzyby glebowe odgrywają znaczną rolę w przebiegu różnych cykli biochemicznych [Wall, Virginia 1999]. Charakteryzują się doskonałymi właściwościami bioregulacyjnymi, zdolnością wytwarzania związków kompleksotwórczych i metabolitów. Są organizmami pionierskimi, biorącymi udział w przygotowaniu środowiska do adaptacji organizmów wyższych [Badura 2004]. Martwa substancja organiczna i produkty jej biochemicznych przemian decydują o korzystnym układzie całego kompleksu właściwości gleby [Gałązka, Gawryjolek 2015]. Drobnoustroje to destruenci rozkładający materię organiczną z wytworzeniem różnych związków chelatotwórczych. Związki te mogą w różny sposób wiązać kationy i wpływać na zwiększenie lub zmniejszenie dostępności pierwiastków biogennych dla wrażliwych organizmów wyższych (np. roślin). W rezultacie tworzą się ściśle współzależności między glebą, mikroorganizmami a roślinami [Badura 2004].

Znaczenie gleby w przyrodzie

Gleba to podstawowy komponent biosfery, będący obok powietrza i wody jednym z najważniejszych elementów składowych środowiska naturalnego. Powstaje ona ze skały macierzystej wskutek procesów glebotwórczych, kształtowanych przez czynniki glebotwórcze dzielone na abiotyczne (ukształtowanie terenu, klimat, czas) oraz biotyczne (wszystkie organizmy żywe – rośliny, zwierzęta, mikroorganizmy oraz człowiek). Gleba stanowi układ trójfazowy, na który składa się faza stała (część organiczna i mineralna), ciekła (roztwór glebowy) oraz gazowa (powietrze glebowe). Faza stała stanowi zazwyczaj około 50%, a kolejne 50% przypada na fazę ciekłą i gazową, których objętość może się zmieniać [Mocek, Owczarzak 2010].

Gleba stanowi powierzchniową warstwę litosfery o miąższości 150-200 cm i jest integralną częścią wszystkich ekosystemów lądowych i płytkowodnych. Warunkuje ona wzrost i rozwój roślin oraz jest nieodzownym komponentem krajobrazu [Mocek, Owczarzak 2010]. Według Prusinkiewicza [1994] gleba spełnia w środowisku szereg innych ważnych funkcji, ponieważ uczestniczy w tworzeniu i magazynowaniu próchnicy, przepływie energii i materii w przyrodzie oraz rozkładzie biomasy, procesach regulacyjnych nadających ekosystemom odporność na czynniki szkodliwe, retencji wodnej, zapewnieniu środowiska życiowego podziemnym organom roślinnym oraz jest środowiskiem biologicznym i rezerwuarem genów.

Obok części mineralnej w skład fazy stałej gleby wchodzi nieznaczną ilość materii organicznej, w której ilościowo dominuje próchnica (humus). Jest ona bezpostaciową substancją organiczną o ciemnej barwie występującą w glebie, powstającą z rozłożenia martwych pozostałości roślinnych i zwierzęcych. Stanowi 70-80% substancji organicznej gleby, a proces jej tworzenia jest długotrwały [Bednarek i in. 2005]. Zasoby próchnicy w poziomie próchnicznym gleb Polski stanowią od 0,6 do 2,0% i wahają się od 40 t/ha dla gleb pływowych i 80 t/ha dla gleb brunatnych do ponad 200 t/ha dla czarnoziemów. W przypadku gleb leśnych zasoby te wynoszą 80-100 t/ha [Bednarek i in. 2005]. W skład próchnicy wchodzi różne związki próchnicowe wyodrębnione na podstawie rozpuszczalności w kwasach i zasadach – są to kwasy huminowe, fulwowe i huminy. Jednym ze wskaźników jakości próchnicy jest stosunek zawartości węgla kwasów huminowych do węgla kwasów fulwowych. Gleby żyźniejsze charakteryzują się większą wartością tego stosunku [Skowrońska 2007].

Próchnica ze względu na unikatowe właściwości fizykochemiczne i swoją strukturę pełni wiele funkcji. Jej koloidalna struktura sprawia, że ma ona bardzo dużą powierzchnię wewnętrzną cząstek zatrzymujących wodę w ilości większej od swojej masy. Próchnica wraz z wydzielinami drobnoustrojów stanowi lepsze strukturotwórcze dla fazy stałej gleby. Jest też rezerwuarem

wszystkich potrzebnych dla roślin składników pokarmowych [Mazur 1995]. Próchnica ma także wpływ na szereg procesów typologicznych kształtujących gleby (inicjalny, darniowy, bielcowania, torfienia i murszenia) [Mocek, Drzymała 2010] oraz wpływa na parametry fizyczne gleby (barwa, porowatość, trwałość struktury agregatowej, zdolności retencyjne, nagrzewanie się) [Rząsa, Owczarzak 2004]. Ponadto próchnica glebowa odgrywa ważną rolę w ograniczaniu koncentracji CO₂ w powietrzu atmosferycznym – nawet do 2,4 g C/m² rocznie w skali globu [Schlesinger 1990]. Istnieją możliwości zwiększania wychwytywania i wiązania CO₂ przez glebę poprzez uprawę niektórych roślin (np. wybrane gatunki zbóż, rośliny z rodziny turzycowatych *Cyperaceae* i wiechlinowatych *Poaceae*) – mogą one wiązać dużą ilość węgla w roślinnych skamieniałościach (fitolitych), które mogą dostawać się do gleby i wiązać węgiel na wiele tysięcy lat [Parr, Sullivan 2007]. Ekologiczne formy gospodarowania w rolnictwie dają w porównaniu z metodami konwencjonalnymi dużo większą możliwość wiązania CO₂ w próchnicy glebowej [Stalenga, Kawalec 2008]. Zasoby próchnicy w glebie podlegają ciągłym, dynamicznym procesom przemian ilościowych i jakościowych. Optymalną sytuacją jest stan równowagi między dopływem do gleby substancji organicznej a stopniem jej mineralizacji. Ciągłość przemian próchnicy jest możliwa pod warunkiem ciągłego dostarczania świeżej materii organicznej i znacznej aktywności biologicznej drobnoustrojów glebowych [Mazur 1995].

Czynniki antropogeniczne wpływające na bioróżnorodność mikroorganizmów glebowych

Największe zagrożenie dla środowiska przyrodniczego, nie tylko w skali kraju, lecz także w ujęciu globalnym, stanowi działalność człowieka. To właśnie człowiek przyczynił się do nadmiernej eksploatacji zasobów naturalnych i wypalania lasów, aby pozyskać tereny pod uprawę roli, a w późniejszym okresie także do tragicznej w skutkach działalności przemysłowej [Mannion 2001]. Szeroko rozumiana antropopresja na środowisko naturalne (intensyfikacja rolnictwa, urbanizacja, zanieczyszczenie środowiska) może istotnie wpływać na różnorodność mikroorganizmów glebowych [Giller i in. 1997; Nannipieri i in. 2003].

Do czynników antropogenicznych mających duży wpływ na drobnoustroje glebowe należy nawożenie mineralne, np. azotem. Przyczynia się ono do wzrostu plonu roślin, ale też może powodować niekorzystne skutki w glebie, jak np. spadek jej produktywności, wymywanie składników pokarmowych oraz pogorszenie właściwości chemicznych. Stosowanie nawozów może znacząco wpływać m.in. na odczyn gleby, obieg składników odżywczych oraz jakość i ilość glebowej substancji organicznej [Lalfakzuala i in. 2008]. Znaczący wpływ na ilość drobnoustrojów glebowych ma forma nawozu azotowego i termin jego stosowania, np. saletra amonowa dobrze działa na rozwój bakterii z rodzaju *Azotobacter* i grzybów [Kucharski i in. 1996]. Jednak na obszarach chronionych stosuje się bardzo ograniczone nawożenie gleb.

Czynnikiem wpływającym w znaczący sposób na liczebność drobnoustrojów jest odczyn gleby [Galus-Barchan, Paśmionka 2014]. Nawozy mogą obniżać pH, co szczególnie wspiera rozwój grzybów z rodzaju *Aspergillus*, *Fusarium* i *Penicillium*, których metabolity mają szkodliwy wpływ na drobnoustroje [Barabaszy, Smyk 1997]. Odczyn jest istotną właściwością gleb, która warunkuje bioróżnorodność i liczebność mikroorganizmów [Kozanecka, Chojnicki 1998].

Różnorodność biologiczna mikroflory glebowej wybranych obszarów prawnie chronionych i o znaczących walorach przyrodniczych

Specjaliści oceniają, że od początku istnienia człowieka zginęło 1,5 miliona gatunków, czyli około 15% współcześnie żyjących gatunków fauny i flory [Graniczny, Mizerski 2007]. Ważne jest zatem,

aby wprowadzać różne sposoby ochrony możliwie największej liczby gatunków i miejsc ich bytowania. Dlatego idea tworzenia różnorodnych form ochrony przyrody jest jak najbardziej słuszna. W definicji Międzynarodowej Unii Ochrony Przyrody za obszar chroniony uznaje się „ściśle zdefiniowaną przestrzeń geograficzną, uznaną (formalnie, przez odpowiednie władze i społeczność lokalną), przeznaczoną (do ochrony) i zarządzaną poprzez środki prawne lub też inne efektywne środki dla osiągnięcia długoterminowych celów w zakresie ochrony przyrody, wraz z występującymi tam usługami (oraz dobrami) ekosystemowymi i walorami kulturowymi” [Dudley 2008].

Prawo parków narodowych i innych obszarów chronionych polega na objęciu obszaru ich działalności nie „zwykłym prawem” (powszechnie obowiązującym), lecz przepisami zgodnymi z założeniami ochrony wszystkich komponentów przyrody, w tym gleby. Dzięki temu na terenie danego obszaru chronionego (np. parku narodowego) środowisko może być zachowane w stanie pierwotnym i w dużym stopniu utrzymywać cechy równowagi przyrodniczej [Martyn, Skwaryło-Bednarz 2005]. Mimo istniejących obostrzeń prawnych i administracyjnych może być w każdym parku narodowym i jego otulinie prowadzona ekstensywna gospodarka rolna, tj. w oparciu o ograniczone mineralne nawożenie gleb, eliminację chemicznej ochrony roślin, ale również utrzymanie zwierząt gospodarczych w sposób przyjazny dla środowiska [Martyn, Skwaryło-Bednarz 2005].

Życie wszystkich organizmów na Ziemi i bogactwo gatunkowe związane jest ze środowiskiem glebowym. Dotyczy to gleb uprawianych rolniczo, leśnych oraz gleb obszarów chronionych. Pojęcie różnorodności biologicznej odnosi się także do mikroorganizmów glebowych, lecz ogół wiedzy dotyczącej różnorodności drobnoustrojów w tym środowisku jest ograniczony. W badaniach gleb Puszczy Niepołomickiej [Galus-Barchan, Paśmionka 2014] stwierdzono, że liczebność drobnoustrojów zmienia się w zależności od temperatury powietrza, a więc sezonu badań. Liczebność bakterii i grzybów była najwyższa w październiku, a najniższa w styczniu i lutym. Różnorodność gatunkowa grzybów w badanych glebach Puszczy Niepołomickiej była stosunkowo wysoka. Na wszystkich stanowiskach objętych badaniami wyizolowano 32 gatunki grzybów, z których 10 należało do rodzaju *Penicillium* [Galus-Barchan, Paśmionka 2014].

W badaniach Tyszkiewicz [2005] dotyczących oceny liczebności grzybów w Narwiańskim Parku Narodowym dowiedziono, że zbiorowiska grzybów występujące w poszczególnych głębokościach profili glebowych były zróżnicowane jakościowo oraz ilościowo. Najbardziej znaczące różnice zaobserwowano w górnych częściach profili glebowych, natomiast wraz z głębokością zmniejszała się zarówno liczebność, jak i liczba gatunków grzybów. Duże różnice pomiędzy zbiorowiskami grzybów dotyczyły składu gatunkowego. W Narwiańskim Parku Narodowym najczęściej izolowane były takie gatunki jak *Penicillium simplicissimum*, *Trichoderma koningii* i *Mucor racemosus* [Tyszkiewicz 2005]. Jak podaje autor, nie stwierdzono grzyba, który wystąpiłby we wszystkich zbiorowiskach i głębokościach profilu glebowego. Porównując grzyby wyizolowane z gleb Puszczy Niepołomickiej i Narwiańskiego Parku Narodowego, można zaobserwować znaczne różnice. Jedynym grzybem obecnym w glebach obydwu miejsc był *Trichoderma koningii*. Różnice te wynikają prawdopodobnie z odmiennych procesów glebotwórczych, ponieważ w Puszczy Niepołomickiej dominują gleby biellicowe, a w Narwiańskim Parku Narodowym torfowo-murszowe [Galus-Barchan, Paśmionka 2014].

Na podstawie badań liczebności mikroflory glebowej w Roztoczańskim Parku Narodowym Martyn i Skwaryło-Bednarz [2005] stwierdzili, że najmniej bakterii i promieniowców zasiedlało glebę o najwyższym sposobie ochrony środowiska (park narodowy), przy najbardziej ekstensywnej gospodarce rolnej. Udział bakterii i promieniowców był w tej glebie najniższy i stanowił tylko 50% analogicznej liczebności grupy drobnoustrojów w glebie z otuliny Parku. Natomiast w od-

niesieniu do pola, na którym prowadzono typową produkcję rolniczą, udział tych grup drobnoustrojów był wyższy nawet o 100% [Martyn, Skweryło-Bednarz 2005]. Największą liczbą grzybów charakteryzowało się środowisko glebowe Roztoczańskiego Parku Narodowego. Liczba kolonii sięgała 255×10^{-3} /g s.m. gleby. Na terenach o zwiększonej intensywności gospodarki rolnej obserwowano spadek ilości grzybów w mikroflorze, ale nie był on tak istotny jak w przypadku bakterii i promieniowców [Martyn, Skweryło-Bednarz 2005].

Bałaży [2004] opisał ważną grupę grzybów entomopatogenicznych (pasożyty stawonogów) występujących na terenach niechronionych i objętych różnymi formami ochrony. Dzięki prowadzeniu badań na terenach o różnym charakterze możliwe było porównanie zgrupowań tych grzybów w konkretnych środowiskach (zadrzewieniach, lasach, użytkach rolnych, łąkach). Stwierdzono, że na obszarach uprawianych rolniczo różnorodność gatunkowa grzybów entomopatogenicznych jest o 50% mniejsza niż w przypadku lasów, terenów o znaczących walorach przyrodniczych oraz obszarów prawnie chronionych [Bałaży 2004]. Liczba grzybów entomopatogenicznych w lasach spoza parków narodowych była w porównaniu z polami rolniczymi dwukrotnie wyższa [Bałaży 2004].

Według Kozdrója [2004] 65% zasobów biologicznych Polski znajduje się w ekosystemach leśnych. W umiarkowanym klimacie Polski dominują lasy sosnowe, ale występują one na mało żyznych glebach polodowcowych. Natomiast lasy sosnowe w północnych strefach klimatu (Finlandia) występują na glebie o większej żyzności [Klimek i in. 2016]. W lasach sosnowych tych dwóch stref klimatycznych (północnej – Finlandia i umiarkowanej – Polska) badano różnorodność i aktywność mikroorganizmów glebowych na podstawie ich profili fizjologicznych (CLPPs – Community Level Physiological Profiles). W poziomie próchnicznym stwierdzono większe zróżnicowanie i aktywność mikroorganizmów w glebie w lasach klimatu umiarkowanego w porównaniu z glebą strefy północnej [Klimek i in. 2016].

Badania dotyczące występowania bakterii izolowanych z terenów gleb leśnych prowadzili także Górská i in. [2004]. Celem ich pracy było m.in. określenie występowania bakterii z rodzaju *Bacillus* bytujących w różnych typach gleb leśnych z terenu Puszczy Białej. Stwierdzono, że na liczebność bakterii znaczący wpływ miał typ gleby i termin pobierania próbek. Aktualnie wiemy, że drobnoustroje zmieniają swój skład gatunkowy, biomasę i aktywność metaboliczną w zależności od czynników stresowych lub/i stymulujących występujących w środowisku. Można zatem stwierdzić, że różnorodność biologiczna drobnoustrojów również może podlegać zmianom [Badura 2004].

Podsumowanie

Znaczenie gleby jako komponentu środowiska i bytujących w niej drobnoustrojów jest bezspornie ogromne. Różnorodność biologiczna, rozwój i liczebność mikroorganizmów w glebie zależą od wielu czynników, ale ogólnie można przyjąć, że są to: struktura, rodzaj, właściwości chemiczne danej gleby, dostępność składników pokarmowych i działalność człowieka [Johansson i in. 1999; Zwoliński 2005]. Przebieg procesów glebowych katalizowanych przez drobnoustroje zależy od dostępnego dla nich źródła azotu i węgla [Natywa i in. 2014]. Istnieje związek między pochodzeniem gleby a różnorodnością i aktywnością mikroorganizmów. Najwyższą aktywnością biologiczną odznaczają się drobnoustroje z terenów produkcyjnych, niższą z otulin obszarów chronionych, a najniższą z terenów samych parków narodowych. Różnorodność gatunkowa mikroorganizmów glebowych jest w przypadku obszarów chronionych znacznie wyższa niż w glebach rolniczych. Świadczy to o małej antropopresji na środowisko glebowe terenów chronionych, co wpływa na zachowanie większej bioróżnorodności.

Literatura

- Acosta-Martinez V., Mikha M. M., Vigil M. F. 2007. Microbial communities and enzyme activities in soils under alternative crop rotations compared to wheat-fallow for the Central Great Plains. *Appl. Soil Ecol.* 37: 41-52.
- Andren O., Bengtsson J., Clarholm M. 1995. Biodiversity and species redundancy among litter decomposers. W: Collins H. P., Robertson G. P., Klug M. J. [red.]. *The Significance and Regulation of Soil Biodiversity*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 141-151.
- Badura L. 2003. Problemy mikrobiologii gleby. *Roczn. Glebozn.* 54 (1/2): 5-11.
- Badura L. 2004. Bioróżnorodność i jej znaczenie w funkcjonowaniu ekosystemów. *Roczn. Glebozn.* 55 (1): 321-335.
- Bałaży S. 2004. Znaczenie obszarów chronionych dla zachowania zasobów grzybów entomopatogenicznych. *Kosmos, Probl. Nauk Biol.* 53 (1): 5-16.
- Barabasz W., Smyk B. 1997. Mikroflora gleb zmęczonych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 452: 37-50.
- Barabasz W., Voříšek K. 2002. Bioróżnorodność mikroorganizmów w środowiskach glebowych. Aktywność drobnoustrojów w różnych środowiskach. Katedra Mikrobiologii AR Kraków. 23-34.
- Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojka U., Prusinkiewicz Z. 2005. *Badania ekologiczno-gleboznawcze*. PWN, Warszawa.
- Bis H., Marcinkowska K. 1998. Występowanie grzybów toksynotwórczych w glebach górskich ekosystemów trawiających. *Zesz. Nauk. Akad. Roln. Wrocław* 332: 55-68.
- Bogacz A., Szulc A., Bober A., Płaskowska E., Matkowski K. 2004. Wpływ stopnia zmuszenia torfu na skład i liczebność grzybów glebowych obiektu Przedmoście. *Roczn. Gleb.* 55 (3): 39-51.
- Czajka W., Damszel M. 2005. Nawożenie mineralne jako czynnik kształtujący zbiorowiska grzybów w środowisku uprawnym ziemniaka. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 507: 81-87.
- Daniel R. 2004. The soil metagenome – a rich resource for the discovery of novel natural products. *Curr. Opin. Microbiol.* 15: 199-204.
- DeLong E. F., Pace N. R. 2001. Environmental diversity of Bacteria & Archaea. *Systematic Biol.* 50: 1-9.
- Dudley N. 2008. *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories*, Gland, IUCN.
- Dykhuizen D. E. 1998. Santa Rosalia revisited: why are there so many species of bacteria? *Anton. van Leeuw. J. Microb.* 73: 25-33.
- Fraç M., Jezierska-Tys S. 2010. Różnorodność mikroorganizmów środowiska glebowego. *Post. Mikrobiol.* 40 (1): 47-58.
- Galus-Barchan A., Paśmionka I. 2014. Występowanie wybranych mikroorganizmów w glebie na obszarze Puszczy Niepołomickiej ze szczególnym uwzględnieniem grzybów pleśniowych. *Polish Journal of Agronomy* 17: 11-17.
- Gałązka A., Gawryjolek K. 2015. Glomalina – glikoproteina produkowana przez grzyby mykoryzy arbuskularnej. *Postępy Mikrobiologii* 54 (3): 331-343.
- Gałązka A., Łyszcz M., Abramczyk B., Furtak K., Grządziel J., Czaban J., Pikulińska A. 2016. Bioróżnorodność środowiska glebowego – przegląd parametrów i metod w analizach różnorodności biologicznej gleby. *Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB* 49.
- Giller K. E., Beare M. H., Lavelle P., Izac A. M. N., Swift M. J. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Appl. Soil Ecol.* 6, *Proceedings of ECOpole 1* (1/2): 227-232.
- Górska E. B., Majewska-Gancarz Z., Chojnicki J., Russel S. 2004. Występowanie bakterii celulolitycznych z rodzaju *Bacillus* w kwaśnych glebach Puszczy Białej. *Roczn. Gleboznaw.* 55 (1): 265-273.
- Graniczny M., Mizerski W. 2007. *Katastrofy przyrodnicze*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Hallam T. 2006. *Ewolucja i zagłada*. Wyd. Prószyński i S-ka, Warszawa.
- Ilnicki P. 2002. *Torfowiska i torf*. Wyd. AR, Poznań.
- Johansson M., Stenberg B., Torstensson L. 1999. Microbiological and chemical changes in two arable soils after long-term sludge amendments. *Biol. Fert. Soils* 30: 160-167.
- Klimek B., Chodak M., Jaźwa M., Niklińska M. 2016. Functional diversity of soil microbial communities in boreal and temperate Scots pine forests. *Eur. J. Forest Res.* 135: 731-742.
- Konwencja o różnorodności biologicznej, sporządzona w Rio de Janeiro dnia 5 czerwca 1992 r. 2002. *Dz. U.* Nr 184, poz. 1532.
- Kozanecka T., Chojnicki J. 1998. Mangan dostępny i rozpuszczalny w 20% HCl w glebie płowej sadu jabłoniowego. *Rocz. Glebozn.* 45: 97-107.
- Kozdrój J. 2004. Współczesna ocena różnorodności mikroorganizmów w glebie. *Acta Agr. Silv., ser. Agraria* 42: 5-28.
- Kucharski J., Panak H., Sienkiewicz S., Niewolak T. 1996. Aktywność mikroorganizmów glebowych w zależności od form, terminów i sposobów stosowania nawozów azotowych. *Acta Acad. Agricult. Tech. Olst.* 514, *Agricultura* 62: 37-47.
- Lalfakzuala R., Kayang H., Dkhar M. S. 2008. The effects of fertilizers on soil microbial components and chemical properties under leguminous cultivation. *Am-Euras. J. Agric. Environ. Sci.* 3: 314-324.
- Łowiński Ł., Dach J. 2006. Termofilne kompostowanie liści kasztanowca z osadami ściekowymi jako metoda unieszkodliwiania zagrożenia szrotówkiem kasztanowcowiaczkiem. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 51 (2): 108-111.

- Łyszcz M., Gałązka A. 2016.** Wybrane metody molekularne wykorzystywane w ocenie bioróżnorodności mikroorganizmów glebowych. *Post. Mikrobiol.* 55 (3): 309-319.
- Mannion A. M. 2001.** Zmiany środowiska ziemi. Historia środowiska przyrodniczego i kulturowego. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Martyn W., Skwaryło-Bednarz B. 2005.** Właściwości biologiczne gleb lekkich występujących w rejonie Roztoczańskiego Parku Narodowego. *Acta Agrophysica* 5 (3): 695-704.
- Mazur T. 1995.** Rolnicze i ekologiczne znaczenie glebowej substancji organicznej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 422: 9-19.
- Mocek A., Drzymała S. 2010.** Geneza, analiza i klasyfikacja gleb. Wyd. UP, Poznań.
- Mocek A., Owczarzak W. 2010.** Gleba jako naturalne środowisko przyrodnicze. *Nauka Przyr. Technol.* 4 (6): 1-12.
- Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M. T., Landi L., Pietramellara G., Renella G. 2003.** Microbial diversity and soil functions. *Eur. J. Soil Sci.* 54: 655-670.
- Natywa M., Selwet M., Maciejewski T. 2014.** Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na liczebność i aktywność drobnoustrojów glebowych. *Fragm. Agron.* 31 (2): 56-63.
- Parr J. F., Sullivan L. A. 2007.** Deposition of plant silica: a long-live soil fraction containing easily quantifiable carbon. *International Symposium on Organic Matter Dynamics in Agro-Ecosystems 16th-19th July, Poitiers France (INRA).*
- Poskrobko B., Poskrobko T., Skiba K. 2007.** Ochrona biosfery. Oficyna Ekonomiczna, Warszawa.
- Prusinkiewicz Z. 1994.** Leksykon ekologiczno-gleboznawczy. PWN, Warszawa.
- Rząsa S., Owczarzak W. 2004.** Struktura gleb mineralnych. Wyd. AR, Poznań.
- Schlesinger W. H. 1990.** Evidence from chronosequence studies for a low carbon storage potential of soils. *Nature* 348: 232-234.
- Sienkiewicz J. 2010.** Koncepcje bioróżnorodności – ich wymiary i miary w świetle literatury. *Ochr. Śr. Zasobów Nat.* 45: 7-29.
- Skowrońska M. 2007.** Wpływ stosowania odpadów na wybrane wskaźniki jakościowe gleby. *Proceedings of ECOpole 1 (1/2): 227-232.*
- Stalenga J., Kawalec A. 2008.** Emission of greenhouse gases and soil organic matter balance in different farming systems. *Int. Agrophysics* 22: 287-290.
- Szember A. 2001.** Zarys mikrobiologii rolniczej. Wyd. AR w Lublinie, Lublin.
- Torsvik V., Goksoyr F., Daae F. L. 1990.** High diversity in DNA of soil bacteria. *Appl. Environm. Microbiol.* 56: 782-787.
- Tyszkiewicz Z. 2005.** Grzyby wybranych gleb torfowych Narwiańskiego Parku Narodowego. *Acta Agrobotica.* 58 (2): 475-484.
- Wall D. H., Virginia R. A. 1999.** Controls on soil biodiversity: insights from extreme environments. *Appl. Soil Ecol.* 13: 137-150.
- Wardle D. A., Bardgett R. D., Klironomos J. N., Setälä H., van der Putten W. H., Wall D. H. 2004.** Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304: 1625-1633.
- Weiner J. 2008.** Życie i ewolucja biosfery. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Zwoliński J. 2005.** Oznaczanie udziału grzybów i bakterii w biomase drobnoustrojów gleb leśnych. *Leś. Pr. Bad.* 4: 7-18.