

ZBIOROWISKA GRZYBÓW MICROMYCETES JAKO WSKAŹNIK ZMIAN WILGOTNOŚCIOWYCH MURSZEJĄCEJ GLEBY Z DOLINY SUPRAŚLI

Zofia Tyszkiewicz¹, Piotr Banaszuk¹

¹ Wydział Budownictwa i Inżynierii środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45a, 15-351 Białystok, e-mail: z.tyszkiewicz@pb.edu.pl

STRESZCZENIE

Badano glebę należącą do podtypu gleb organicznych limno-murszowych. Znajdowała się ona na zmeliorowanych, obecnie nieużytkowanych, łąkach w dolinie Supraśli. Badaniami mikologicznymi objęto mursz poziomu darniowego i poddarniowego oraz podścielającą go warstwę mułu. Celem pracy było określenie zmian w strukturach zbiorowisk grzybów *micromycetes* otrzymanych z murszejacej gleby mułowej w dwu kolejnych latach. Podjęto próbę wyjaśnienia związku między glebą organiczną, która uległa decesji pod wpływem odwodnienia siedliska, a zbiorowiskami zasiedlającymi ją grzybów. Do izolacji grzybów *micromycetes* wybrano metodę płytek glebowych Warcupa w modyfikacji Mańki. Analiza wspólnych cech (podobieństwa) między zbiorowiskami grzybów została przeprowadzona na podstawie współczynnika Jaccarda. W sumie otrzymano 153 kolonie i 31 gatunków grzybów *micromycetes*. Podobieństwo między zbiorowiskami grzybów zasiedlających glebę w kolejnych, dwu latach badań układało się na zróżnicowanym poziomie. Najwięcej wspólnych cech – podobieństwo wynoszące 50% – wykazały zbiorowiska grzybów zasiedlające poziom poddarniowy. Natomiast zbiorowisko zasiedlające w 2013 roku niezmienną procesem glebotwórczym warstwę mułu nie wykazało obecności ani jednego wspólnego gatunku ze zbiorowiskami grzybów zasiedlającymi utwory organiczne pobrane w 2012 roku. Stwierdzono, że analizowane zespoły grzybów *micromycetes* są niestabilne w swej strukturze jakościowej. Świadczy to o tym, że nawet niewielkie zmiany siedliskowe przyczyniają się do powstawania zbiorowisk o odmiennych cechach jakościowych (składzie gatunkowym) i ilościowych. Wpływa to jednocześnie na niskie podobieństwo (niewiele cech wspólnych) między zbiorowiskami grzybów zasiedlającymi zmieniające się w profilu glebowym utwory organiczne analizowanej gleby, zarówno w danym roku badawczym, jak i w kolejnych latach.

Słowa kluczowe: grzyby glebowe, gleby organiczne murszowe.

FUNGAL COMMUNITIES MICROMYCETES AS AN INDICATOR OF HUMIDITY CHANGES IN ORGANIC MUCK SOIL FROM SUPRASL VALLEY

ABSTRACT

The analysis included soil that represented the type of organic muck soils. The study involved the levels created by the muck and the organic layer formed by a mule track. The aim of the study was to determine changes in the structures of fungal communities *micromycetes*, which were received from organic muck soil in two subsequent years. The authors have attempted to clarify the relationship between soil organic, which was the process of humification and mineralization of organic matter, and communities of fungi colonizing that organic soil. The method for the isolation of fungi *micromycetes* selected Warcup soil tiles, which was modified by Mańka. The similarity between the communities of fungi determined using Jaccard coefficient. In total 153 colonies and 31 species of fungi *micromycetes* were obtained. The similarity between the communities of fungi in the soil in the subsequent two years of research, was of a different level. The highest similarity, amounting to 50%, showed a fungal communities colonizing the organic layer formed by a mule track. In 2013 community inhabiting unchanged layer of silt did not have in common with any of the communities of fungi present in organic soil that was sampled in 2012. The results allow to conclude that the analyzed fungi *micromycetes* are unstable in its qualitative structure. Even small changes in habitat contribute to the formation of communities with different quality characteristics (species composition) are also quantitative – turnout rates of the individual species and all communities. This affects low similarity between communities of fungi inhabiting different organic soils in a research year as well as in subsequent years.

Keywords: soil fungi, organic-muck soils.

WPROWADZENIE

Gleby należące do rzędu organicznych tworzą się w warunkach wysokiej wilgotności siedliska. Jednak po obniżeniu zwierciadła wody gruntowej wierzchnie poziomy tych gleb zostają natlenione i dochodzi do osiadania (zagęszczenia i zaniku) masy organicznej oraz zmniejszenia pojemności wodnej [Ilnicki 2002, Okruszko 2000, Piaśnik, Gotkiewicz 2004]. Odwodnienie gleb organicznych występujących w dolinach rzecznych na obszarze Polski jest zjawiskiem powszechnym. Przyczyn takiego stanu rzeczy należy szukać w intensyfikacji rolnictwa, której celem było przystosowanie znacznych powierzchni torfowisk do funkcji produkcyjnych. Dlatego też w przeszłości większość prac melioracyjnych zmierzało do osuszenia terenów bagiennych i umożliwienia rolniczego wykorzystania łąk na torfowiskach [Ilnicki 2002, Turbiak, Miatkowski 2010]. Prace melioracyjne polegające na odwodnieniu gleb bagiennych przyczyniły się do ich przemian i rozpoczęły proces decesji. W ten sposób został zainicjowany proces murszenia, który skutkuje powstaniem warstwy murszu oraz ewolucją gleb i tworzeniem się gleb zaliczanych do typu organicznych murszowych [Systematyka gleb Polski 2011, Marcinek, Komisarek 2015]. Odwodnienie torfowiska, a co za tym idzie napowietrzenie wierzchniej warstwy utworów organicznych, powoduje mineralizację masy organicznej i zmiany jej fizycznych i chemicznych właściwości [Ilnicki 2002, Okruszko 2000, Piaśnik, Gotkiewicz 2004]. Pociąga to za sobą także zmiany w zbiorowiskach roślinnych [Kiryluk 2007, 2014, Fudali 2009] oraz w składzie jakościowym i ilościowym zespołów mikroorganizmów zasiedlających te gleby [Badura 2003, Gonet, Markiewicz 2007]. Grzyby, jako reducenty i symbionty, są stałym składnikiem gleb i jedną z głównych grup uczestniczących w ich tworzeniu i przekształcaniu. Dokonują one mineralizacji podłoża, na którym rosną. Stanowią ważny składnik ekologiczny określający typ biologicznego rozkładu substancji organicznej oraz produkcji biomasy. Ponadto są dodatkowym elementem w określeniu i wyróżnianiu zbiorowisk roślinnych a struktury zespołów grzybów zależą od całości warunków ekologicznych fitocenozy. Dlatego wydaje się, że grzyby *micromycetes* mogą być wskaźnikiem zmian zachodzących zarówno w zbiorowiskach roślinnych, jak i glebach [Mułenko 2008].

Zasiedlenie przez grzyby mikroskopowe murszejących utworów mułowych jest interesującym zagadnieniem poznawczym. Wynika to z faktu, że z jednej strony – mułowiska (a także gleby wytworzone z mułów), w porównaniu z innymi siedliskami gleb organicznych, należą do słabo rozpoznanych. Przyczyną jest niewielka liczba tego typu obiektów w naszym kraju [Banaszuk 2000, Roj-Rojewski 2006]. Ponadto geneza utworów mułowych jest efektem złożonych procesów, co skutkuje brakiem jednorodności ich utworów macierzystych [Roj-Rojewski 2009, Systematyka gleb Polski 2011]. Stąd też badania mikologiczne przyczynią się do zwiększenia wiedzy na temat gleb mułowych. Z drugiej zaś strony – grzyby są organizmami o kluczowym znaczeniu w kształtowaniu się wielu ekosystemów. Wyniki specjalistycznych badań w zakresie oddziaływań międzyosobniczych oraz populacyjnych wyraźnie wykazują, że funkcjonowanie i bioróżnorodność ekosystemów lądowych pozostają w bardzo bliskich związkach z funkcjonalną i taksonomiczną różnorodnością grzybów [Mułenko 2008]. Stąd też interesująca wydaje się możliwość wykorzystania grzybów jako organizmów wskaźnikowych – pozwalających na wnioskowanie o charakterze i tempie zmian zachodzących w glebach organicznych pod wpływem odwodnienia siedliska.

Z tych też powodów podjęto pracę, której celem było określenie zmian w strukturach zbiorowisk grzybów *micromycetes* otrzymanych z murszejącej gleby mułowej w dwu kolejnych latach. Tym samym podjęto próbę wyjaśnienia związku między glebą organiczną, będącą w fazie decesji a zbiorowiskami zasiedlającymi ją grzybów. Realizując podjęte zadanie określano i porównano zbiorowiska grzybów *micromycetes* zasiedlające różne poziomy genetyczne murszejącej gleby organicznej wytworzonej z utworów mułowych w dolinie Supraśli.

TEREN I OBIEKT BADAŃ

Badania prowadzono w dolinie Supraśli tuż przy północnej granicy Białegostoku, na terenie gminy Wasilków. Dolina ta, w ciągu ostatnich 30 lat, została zmeliorowana, uregulowana i obwałowana. Sytuacja ta przyczyniła się do wzrostu powierzchni gleb objętych murszeniem [Kiryluk 2007, 2014, Roj-Rojewski 2012].

Powierzchnię badawczą zlokalizowano w odległości 100 m na południe od koryta rzeki na

zmeliorowanych, obecnie nieużytkowanych łąkach. Dolina Supraśli otoczona jest wysoczyzną morenową wytworzoną z utworów zwałowych tworzących morenę denną, na której spotyka się kemy zbudowane z warstwowanych utworów piaszczystych [Banaszuk H., Banaszuk P. 2010]. Natomiast sama dolina wypełniona jest holoceniowymi utworami aluwialnymi i organicznymi. Ostatnie z wymienionych reprezentowane są przez torfy, muły i mursze. Utwory murszowe powstały na skutek odwodnienia siedlisk bagiennych [Kiryłuk 2007, 2014, Banaszuk H., Banaszuk P. 2010]. Teren wokół doliny Supraśli podlega intensywnym procesom urbanizacyjnym. Pozwala to sądzić, że gleby organiczne analizowanego obiektu będą ulegały dalszym procesom przemian, degradacji i zaniku, co z kolei będzie miało wpływ na charakter (zmiany ilościowo-jakościowe struktur) zasiedlających je zbiorowisk grzybów mikroskopowych. Wynika to z obecności złożonych interakcji między składem zespołów tych organizmów a cechami siedliska, pod wpływem którego one pozostają (Pullin 2004).

Badaniom mikologicznym poddano glebę, którą po analizie cech morfologicznych zakwalifikowano do rzędu gleb organicznych, typu gleb organicznych murszowych, podtypu gleb organicznych limno-murszowych [Systematyka gleb Polski, 2011, Marcinek, Komisarek, 2015].

Poziom darniowy analizowanej gleby miał miąższość 16 cm i był tworzony przez poprzerastany korzeniami roślin, gruboziarnisty mursz o barwie czarnej. Był on zamulony i mazisty. Poniżej, do głębokości 33 cm, występował – również zamulony i mazisty poziom poddarniowy budowany przez mursz drobnoagregatowy. Barwa tego poziomu była czarna. Poniżej występowała warstwa mułu z domieszką torfu. W poziomie tym, o miąższości około 40 cm, zaobserwowano – wśród dominującej shumifikowanej, amorficznej substancji organicznej – fragmenty roślin torfotwórczych. Muł miał barwę brunatnoczarną i cechował się plastycznością. Jednak pod naciskiem rozpadał się na kawałki, co świadczy o rozpoczęciu procesu mineralizacji (murszeniu) tego utworu organicznego. Poniżej, tj. od głębokości 72 cm, zalegał muł z dodatkiem piasku. Barwa tej części profilu glebowego była ciemnoszara. Niżej występował szary, zamulony utwór piaszczysty, poniżej którego (od głębokości 92 cm) znajdował się jasnożółty piasek luźny. Posiadał on cechy świadczące o oglejeniu. Woda gruntowa, w czasie prowadzenia badań w

2012 roku występowała na głębokości 52 cm a w 2013 – 45 cm. Stan uwilgotnienia utworów do poziomu wody gruntowej określono jako świeży. Niżej leżące utwory były mokre.

METODY BADAŃ

Próby do badań mikologicznych były pobierane w lipcu 2012 i 2013 roku. Pochodziły z utworów organicznych znajdujących się na różnych głębokościach profilu glebowego – tym samym reprezentowały różne poziomy genetyczne. Pobrano je z głębokości 10–15 cm (mursz tworzący poziom darniowy – M1), 20–30 cm (mursz tworzący poziom poddarniowy – M2) i 35–45 cm (warstwa mułu – Lc).

Do izolacji grzybów *micromycetes* wybrano metodę płytek glebowych Warcupa [Warcupa 1950] w modyfikacji Mańki [Johnson, Mańka 1961, Mańka 1964, Mańka i Salmanowicz 1987]. Natomiast podobieństwo między zbiorowiskami grzybów (wspólne cechy zbiorowisk wyrażone w %) określono przy pomocy współczynnika Jaccarda:

$$J = \frac{j}{a + b - j}$$

gdzie: j – liczba gatunków wspólnych dla obu zbiorowisk,

a – liczba gatunków występujących wyłącznie w jednym z analizowanych zbiorowisk,

b – liczba gatunków występujących wyłącznie w drugim z porównywanych zbiorowisk [Zak, Willig 2004].

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Ogółem otrzymano 153 kolonie grzybów glebowych *micromycetes* i 31 różnych ich gatunków. Tworzyły one 6 zbiorowisk, po trzy z każdego sezonu (roku) badawczego. Uzyskane zbiorowiska reprezentowały trzy poziomy genetyczne wyodrębnione w analizowanej glebie, tj. poziomy: darniowy – M1 i poddarniowy – M2 (oba tworzone przez mursz) oraz warstwę mułu – Lc (tab. 1).

W 2012 roku z analizowanej gleby otrzymano 86 kolonii i 15 gatunków grzybów. Natomiast w roku 2013 – 67 kolonii i 22 gatunki. Największym zróżnicowaniem cechowało się zbiorowisko zasiedlające w 2012 roku przypowierzchniowy po-

ziom darniowy. Składało się ono z 65 izolatów i 13 gatunków grzybów. W murszu poziomym odnotowano 16 izolatów i 4 gatunki a w warstwie mułu jedynie 5 kolonii i 3 gatunki grzybów. Zaobserwowano, że w miarę zwiększania się głębokości zmniejszała się zarówno frekwencja występujących kolonii, jak również liczba gatunków. W kolejnym roku prowadzonych badań odnotowano podobną tendencję. Mursz poziomy darniowego zasiedlało 13 różnych gatunków, z murszu poziomu poddarniowego otrzymano ich 11, a z mułu – 4. Jednak zbiorowiska w tym sezonie badawczym charakteryzowały się zdecydowanie wyraźniej (w porównaniu z 2012 rokiem) wyrównanym składem ilościowym, tzn. z poziomu darniowego otrzymano 26 izolatów, z poziomu poddarniowego – 21 i z warstwy mułu 20 kolonii. Jak z tego wynika w poszczególnych poziomach genetycznych była podobna liczba izolatów. Kolejna różnica w otrzymanych wynikach z dwu sezonów badawczych polegała na tym, że w 2013 roku otrzymano mniej kolonii. Najwyraźniej było to widoczne w liczebności grzybów zasiedlających poziom darniowy. W 2012 było ich 65, a w 2013 roku – 26. Z kolei liczba gatunków grzybów w 2013 była zdecydowanie wyższa w porównaniu z poprzednim okresem badawczym. W tym przypadku największe różnice odnotowano w zbiorowiskach zasiedlających mursz poziomy poddarniowego. W 2012 roku otrzymano 4 gatunki grzybów, a w 2013 roku – 11 gatunków. Jak z tego wynika zbiorowiska grzybów zasiedlające utwory organiczne analizowanej gleby w 2013 roku mimo uboższego składu ilościowego (głównie w poziomie darniowym) cechowały się bogatszą strukturą jakościową. Ponadto na podkreślenie zasługuje fakt, że liczebność zbiorowiska zasiedlającego warstwę mułu w 2013 była

dość wysoka (20 izolatów) i nie odbiegała od liczebności zbiorowisk występujących w wyżej leżących warstwach murszu (tab. 1).

Analiza wyników wskazuje, że najbardziej zróżnicowane zbiorowiska grzybów (w obu sezonach badawczych) otrzymano z przypowierzchniowej warstwy murszu. Jest to związane z natlenieniem i intensywnością przemian utworów organicznych w górnej części profilu glebowego. Natlenienie, i towarzyszące mu zmniejszenie wilgotności, przyczyniają się do intensywnego rozwoju mikroorganizmów [Cieśliński i in. 1998, Bogacz i in. 2004]. W obu analizowanych latach, wraz z głębokością w profilu glebowym zróżnicowanie zbiorowisk grzybów ulegało zmniejszeniu (tab. 1). Jest to niewątpliwie efekt wzrostu uwilgotnienia substratu organicznego i zmniejszenia się ilości powietrza [Piaścik, Gotkiewicz 2004]. Jednak, mimo podobnych tendencji, analizowane zbiorowiska grzybów charakteryzują się też wyraźnymi różnicami. Stąd też, na podstawie prezentowanych badań, nie można przypisać im znaczenia bioindykacyjnego.

Mikroorganizmy biorą udział w rozkładzie (dekompozycji) złożonych związków organicznych budujących martwą materię organiczną pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Produkty rozkładu są następnie wykorzystywane przez rośliny do produkcji biomasy w procesie fotosyntezy. Część pierwiastków, uwalnianych w procesie mineralizacji, jest wbudowywana w biomasę mikroorganizmów, część z kolei zostaje włączona w trudno rozkładalną pulę glebowej materii organicznej [Niklińska, Stefanowicz 2015]. Innymi słowy mikroorganizmy glebowe – w tym grzyby *micromycetes* – rozkładają resztki roślinne i część masy organicznej przetwarzają w humus. Tym samym wpływają na przebieg procesu murszenia,

Tabela 1. Liczba gatunków i izolatów (frekwencja) grzybów w analizowanej glebie

Table 1. The number of fungi species and isolates (frequency) in the soil studied

Termin badań	Poziom genetyczny	Frekwencja	
		Liczba gatunków	Liczba izolatów
Lipiec 2012	Poziom darniowy – M1	13	65
	Poziom poddarniowy – M2	4	16
	Warstwa mułu – Lc	3	5
	Razem	15	86
Lipiec 2013	Poziom darniowy – M1	13	26
	Poziom poddarniowy – M2	11	21
	warstwa mułu – Lc	4	20
	Razem	22	67
	Razem	31	153

przyspieszając go [Cieśliński i in. 1998, Barabasz, Voříšek 2002, Bogacz i in. 2004]. Jak z tego wynika proces murszenia wiąże się ze wzmożonym rozwojem mikroorganizmów glebowych. Co obserwuje się między innymi jako wyższą liczebność izolatów i gatunków grzybów w przypowierzchniowych poziomach murszu w porównaniu z niżej leżącą warstwą mułu.

Ponadto wielu autorów [Błaszczuk 2007, Frączak 2010, Traczewska 2011] zauważa, że omawiane organizmy to składnik biocenozy najszybciej reagujący na zmiany parametrów środowiska. Dlatego też mogą być wykorzystywane jako wskaźnik zmian środowiskowych [Traczewska 2007]. Każda zmiana podłoża, substratu będącego źródłem pożywienia dla grzybów *micromycetes*, ma wpływ na zmiany struktur ich zbiorowisk oraz na stosunki biotyczne panujące między mikroorganizmami [Paul, Clark 2000, Barabasz, Voříšek 2002, Bogacz i in. 2004].

Podobieństwo między zbiorowiskami grzybów – określone przede wszystkim na podstawie liczby jednakowych gatunków grzybów w porównywanych zbiorowiskach [Zak, Willig 2004] – było zróżnicowane. Najwyższe podobieństwo, wynoszące 50%, wykazały zbiorowiska grzybów zasiedlające poziom poddarniowy w obu sezonach badawczych (w lipcu 2012 i 2013 roku). Stosunkowo wysokie podobieństwo odnotowano również między zbiorowiskiem grzybów, które w 2013 roku zasiedlały poziom darniowy i warstwę torfu w 2012 roku. Wiele wspólnych cech (podobieństwo na poziomie 29%) posiadały również zbiorowiska grzybów zasiedlające mursz darniowy pobrany zarówno w 2012, jak i w 2013 roku oraz mursz poddarniowy w 2013 roku i podścielającą go warstwę mułu w 2012 roku. Natomiast zbiorowisko grzybów otrzymane z niezmienionego procesem glebotwórczym utworu organicznego (mułu) w 2013 roku nie wykazało wspólnych cech z żadnym zbiorowiskiem zasiedlającym różne utwory organiczne analizowanej gleby w 2012 roku. Podobieństwo wynosiło 0% (tab. 2).

Uzyskane wyniki pozwalają sądzić, że odwodnienie gleby organicznej limnowo-murszowej i towarzysząca temu mineralizacja utworów organicznych zmienia struktury zasiedlających je zespołów grzybów *micromycetes*. Stąd też zróżnicowane, i na ogół niewysokie, podobieństwo między zbiorowiskami grzybów zasiedlającymi substancję organiczną na różnych głębokościach gleby w kolejnych latach badań. Natomiast brak wspólnych cech między zbiorowiskami otrzymana-

Tabela 2. Podobieństwo wyrażone w procentach między zbiorowiskami grzybów zasiedlającymi analizowaną glebę

Table 2. Similarity percentages between communities of soil fungi in the soil studied

Podobieństwo [%]		Lipiec 2012		
		M1	M2	Lc
Lipiec 2013	M1	29	18	43
	M2	11	50	25
	Lc	0	0	0

M1 – poziom darniowy tworzony przez mursz.

M2 – poziomu poddarniowy tworzony przez mursz.

Lc – poziom limniczny tworzony przez muł (warstwa mułu).

nymi w 2013 z warstwy mułu a zbiorowiskami otrzymanymi w 2012 roku z różnych poziomów genetycznych (zmienionych odwodnieniem siedliska, jak i niezmienionych) pozwala sądzić, że zbiorowiska grzybów *micromycetes* murszującej gleby mułowej są bardzo niestabilne i pod wpływem zmieniających się warunków siedliska ulegają szybkim zmianom jakościowym. Na aktualnym etapie badań trudno wskazać prawidłowości tych przemian, a dokładniej prawidłowości dotyczące sposobu kształtowania się składu gatunkowego zbiorowisk grzybów odwadnianej gleby limnowo-murszowej. Innymi słowy charakter struktur gatunkowych i ilościowych zbiorowisk grzybów analizowanej gleby jest dynamiczny i mało stabilny.

WNIOSKI

1. Zbiorowiska grzybów analizowanej gleby w dwu sezonach badawczych (lipiec 2012 i 2013 roku) mimo pewnych podobieństw, cechowały się różnicami w strukturze ilościowej i jakościowej. Zbiorowiska otrzymane w 2013 roku posiadały uboższy skład ilościowy (głównie w poziomie darniowym) i bogatszą strukturę jakościową.
2. Poziomy zbudowane z murszu cechowały się bogatszym składem gatunkowym grzybów w porównaniu z niżej leżącą warstwą mułu. Wskazuje to na związek między zbiorowiskami grzybów *micromycetes* a procesem murszenia – proces murszenia gleb organicznych wytworzonych z utworów mułowych przyczynia się do wzbogacenia struktur jakościowych zbiorowisk zasiedlających je grzybów.

3. Zbiorowiska grzybów *micromycetes* zasiedlające analizowaną glebę były niestabilne w swej strukturze ilościowej i jakościowej. Nawet niewielkie zmiany siedliskowe skutkowały powstawaniem zbiorowisk o odmiennych cechach (ilościowych i jakościowych).
4. Na podstawie prowadzonych badań zbiorowiskom grzybów zasiedlającym analizowane gleby nie można przypisać znaczenia bioindykacyjnego.

Podziękowania

Praca finansowana w ramach projektu Nr S/WBiŚ/1/14.

LITERATURA

1. Badura L. 2003. Problemy mikrobiologii gleby. *Rocz. Glebozn.*, 54 (1/2), 5–11.
2. Banaszuk H. 2000. Rozmieszczenie i budowa profilowa madi gleb mułowych w dolinie Narwi i Biebrzy wykształconych na obszarze Kotliny Biebrzańskiej na tle geomorfologii terenu. *Biuletyn Naukowy*, 9. Wyd. UWM w Olsztynie, Olsztyn, 181–193.
3. Banaszuk H., Banaszuk P. 2010. Zagadnienia morfogenezy Niziny Północnopodlaskiej. *Rozprawy Nauk.* 198, Oficyna Wydaw. Politechniki Białostockiej, Białystok.
4. Barabasz W., Voříšek K. 2002. Bioróżnorodność mikroorganizmów w środowisku glebowym. [W:] W. Barabasz (red.), *Aktywność drobnoustrojów w różnych środowiskach*. Wyd. Katedra Mikrobiologii AR, Kraków, 23–34.
5. Błaszczak M.K. 2007. *Mikroorganizmy w ochronie środowiska*. PWN. Warszawa.
6. Bogacz A., Szulc A., Bober A., Płaskowska E., Matkowski K. 2004. Wpływ stopnia zmruszenia torfu na skład i liczebność grzybów glebowych obiektu Przedmoście. *Rocz. Glebozn.*, 55 (3), 39–51.
7. Cieśliński Z., Miatkowski Z., Turbiak J. 1998. Zmiany aktywności biologicznej w glebach mineralno-murszowych i torfowo-murszowych płytkich po wykonaniu orki agromelioracyjnej w warunkach braku wód gruntowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 460, 177–189.
8. Ilnicki P. 2002. *Torfowiska i torf*. Wyd. AR w Poznaniu, Poznań.
9. Johnson L.F., Mańka K. 1961. A modification of Warcup's soil-plate method for isolating soil fungi. *Soil Sci.*, 92, 79–84.
10. Fudali E. 2009. Antropogeniczne zmiany w ekosystemach. *Transformacje roślinności*. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego, Wrocław.
11. Frączek K. 2010. Skład mikrobiocenotyczny drobnoustrojów biorących udział w procesach przemian azotu w glebie w otoczeniu składowiska odpadów komunalnych. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 10, 2 (30), 61–71.
12. Gonet S., Markiewicz M. 2007. *Rola materii organicznej w środowisku*. PTSH, Wrocław.
13. Kiryłuk A. 2007. Zmiany siedlisk pobagiennych i fitocenoz w dolinie Supraśli. *Rozp. Nauk. i Monografie*, 20, Wyd. IMUZ, Falenty.
14. Kiryłuk A. 2014. Wpływ odwodnienia na fizyko-wodne właściwości gleb pobagiennych na obiekcie łągarskim w dolinie rzeki Supraśl. *Inż. Ekol.* 38, 26–34.
15. Mańka K. 1964. Próby dalszego udoskonalenia zmodyfikowanej metody Warcupa izolowania grzybów z gleby. *Prace Kom. Nauk Roln. i Kom. Nauk Leśn., PTPN*, 17, 29–45.
16. Mańka K., Salmanowicz B. 1987. Udoskonalenie niektórych technik zmodyfikowanej metody płytek glebowych do izolowania grzybów z gleby z punktu widzenia mikologii fitopatologicznej. *Rocz. Nauk Roln.*, E (17), 35–46.
17. Marcinek J., Komisarek J. 2015. *Systematyka gleb Polski*. [W:] Mocek A. (red.). *Gleboznawstwo*. PWN, Warszawa: 281–364.
18. Mułenko W. 2008. *Mykologiczne badania terenowe. Przewodnik metodyczny*. Wyd. UMCS. Lublin.
19. Niklińska M., Stefanowicz A. M. 2015. *Bakterie, glony, grzyby, porosty terenów metalonośnych*. [W:] M. Wierzbicka (red.). *Ekotoksykologia. Rośliny, gleby, metale*. Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 207–225.
20. Okruszko H.: *Degradation of peat soils and differentiation of habitat conditions of hydrogenic areas*. *Acta Agroph.*, 26, 2000, 7–15.
21. Paul E. A., Clark F. E. 2000. *Mikrobiologia i biochemia gleb*. Wyd. UMCS, Lublin.
22. Piaścik H., Gotkiewicz J. 2004. Przeobrażenia odwodnionych gleb torfowych jako przyczyna ich degradacji. *Rocz. Glebozn.*, 55(2), 331–338.
23. Pullin A. S. 2004. *Biologiczne podstawy ochrony przyrody*. PWN. Warszawa.
24. Roj-Rojewski S. 2006. Budowa profilowa i właściwości chemiczno-fizyczne gleb mułowych w Kotlinie Biebrzy Dolnej w aspekcie ochrony mułowisk. *Zesz. Nauk. Politechniki Białostockiej. Inż. Środ.*, 17, 25–40.
25. Roj-Rojewski S. 2009. Mud habitats as interesting fluviogenic wetlands. [W:] A. Łachacz (red.). *Wetlands – their functions and protection. Contemporary problem of management and environmental protection*. University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Olsztyn, 29–46.
26. Roj-Rojewski S., Korol A., Zienkiewicz A. 2012.

- Wpływ warunków wodnych na właściwości fizyczne i pokrywę roślinną gleb murszowych położonych na odwodnionych siedliskach mułowych. *Inż. Ekol.* 29, 141–152.
27. Systematyka gleb Polski. 2011. *Rocz. Glebozn.* 62 (3), Wyd. Wieś Jutra, Warszawa.
28. Traczewska T.M. 2011. Biologiczne metody oceny skażenia środowiska. Oficyna Wydaw. Politechniki Wrocławskiej. Wrocław.
29. Turbiak J., Miatkowski Z. 2010. Emisja CO₂ z gleb pobagiennych w zależności od warunków wodnych siedlisk. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 19 (29), Falenty, 201–210.
30. Warcup J.H. 1950. The soil plate method for isolation of fungi from soil. *Nature*, 166, 117–118.
31. Zak J.C., Willig M.R. 2004. Fungal biodiversity patterns. [W:] G.M. Mueller, G.F. Bills, M.S. Foster (red.). *Biodiversity of Fungi. Inventory and Monitoring Methods*, Elsevier Academic Press, Amsterdam-Boston-Heidelberg-London-New York-Oxford-Paris-San Diego-San Francisco-Singapore-Sydney-Tokyo, 59–75.