

Porównanie mikrobiologicznej i chemicznej charakterystyki gleb po ponad 100 latach uprawy roślin zbożowych

¹Grzegorz Siebielec, ²Sylvia Siebielec, ³Grażyna Podolska

¹Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów, ²Zakład Mikrobiologii Rolniczej, ³Zakład Uprawy Roślin Zbożowych
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach
ul. Czarotoryskich 8, 24-100 Puławy, Polska

Abstrakt. Naturalna charakterystyka biologiczna i chemiczna gleby jest modyfikowana poprzez sposób użytkowania gruntu (grunt orny, użytek zielony, nieużytek, użytkowanie miejskie, obszary chronione), a w przypadku użytkowania jako grunt orny przez intensywność produkcji, sposób uprawy, zmianowanie. Celem niniejszej pracy było: (1) porównanie liczebności i różnorodności mikroorganizmów oraz aktywności enzymów glebowych w różnych typach gleb pod wieloletnim wpływem uprawy roślin zbożowych; (2) określenie zróżnicowania właściwości chemicznych różnych typów gleb i ich wpływu na charakterystykę mikrobiologiczną gleby. Próbkę glebową pobrano latem 2015 r. z poletek wieloletniego doświadczenia prowadzonego na terenie IUNG-PIB w Puławach. Poletka, reprezentujące różne typy, klasy oraz kompleksy przydatności rolniczej gleb, zostały założone ponad 100 lat temu, z zachowaniem naturalnego układu poziomów w profilu gleb. Poletka reprezentowały następujące typy gleb: brunatna dystroficzna, rędzina brunatna, mada brunatna, płowa, czarna ziemia, rdzawa, brunatna eutroficzna. W próbkach glebowych oznaczono aktywność enzymatyczną gleb oraz liczebność bakterii i promieniowców, grzybów oraz bakterii z rodzaju *Azotobacter*, a także odczyn, zawartość próchnicy, zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu. Pomimo wieloletniej uprawy tych samych roślin na wszystkich poletkach charakterystyka mikrobiologiczna (aktywność, liczebność drobnoustrojów) gleb w dużym stopniu była zróżnicowana pomiędzy typami gleby i zachowała pewną specyfikę. Analiza skupień wykazała, że gleby brunatne i rdzawe posiadały zbliżony profil mikrobiologiczny, od którego najbardziej różniły się profile czarnej ziemi i rędziny. Spośród właściwości chemicznych w największym stopniu na charakterystykę mikrobiologiczną gleb wpływały odczyn i zawartość węgla organicznego.

słowa kluczowe: aktywność enzymatyczna, liczebność mikroorganizmów, typ gleby, odczyn gleby

WSTĘP

Gleba jest naturalnym środowiskiem życia różnych drobnoustrojów (Badura, 1985; Barabasz, Smyk, 1997). Jedną z głównych funkcji jaką pełni, jest zaopatrywanie roślin w wodę i składniki pokarmowe. Inne funkcje gleby dotyczą zachowania bioróżnorodności i tworzenia siedliska dla mikrobiologicznych procesów krążenia materii w przyrodzie. W głównej mierze mikroorganizmy odpowiedzialne są za przekształcanie stosunkowo dużych ilości substancji zarówno organicznych, jak również mineralnych, mają wpływ na wzbogacenie gleb uprawnych w pierwiastki biogenne, substancje wzrostowe czy antybiotyczne, jak również pozostałe biologicznie czynne substancje (Marcinowska, 2002; Myśków, 1981; Nannipieri i in., 2003; Paul, Clark, 2000; Strzelczyk, 2001). Ponadto każdy typ gleby charakteryzuje się określonym układem poziomów genetycznych oraz właściwościami chemicznymi, zależnymi od warunków, w jakich się tworzy (Ocoś, 2007).

W procesie glebotwórczym czynny udział biorą mikroorganizmy glebowe, które wraz z szatą roślinną określają zarówno kierunek, jak i charakter przemian biochemicznych. Drobnoustroje przyczyniają się do zachowania równowagi w środowisku glebowym. Według danych literaturowych, aż ponad 80% wszystkich procesów glebowych jest ściśle powiązanych z aktywnością mikroorganizmów (Doran, Parkin, 1994; Doran i in., 1996; Marinari i in., 2006; Smith, Paul, 1990). Należy zatem zakładać, że typ gleby charakteryzuje się określoną specyfiką różnorodności i aktywności mikroorganizmów glebowych.

W związku z intensyfikacją rolnictwa, upraszczaniem zmianowania i zmianami w sposobach nawożenia gleby wzrasta zainteresowanie oceną wpływu rolnictwa na różnorodność i aktywność mikroorganizmów glebowych, określaną też czasem terminem „zdrowie gleby”. Prawidłowy rozwój populacji mikroorganizmów w glebie zależy przede wszystkim od właściwości fizycznych,

Autor do kontaktu:

Grzegorz Siebielec
e-mail: gs@iung.pulawy.pl
tel. +48 81 4786 910

Praca wpłynęła do redakcji 17 grudnia 2015 r.

biologicznych i chemicznych oraz prowadzonych zabiegów agrotechnicznych. Istotnym czynnikiem są również swoiste warunki panujące w danym regionie, w tym strefy klimatyczne (Badura, 2006; Doran, Parkin, 1994; Marinari i in., 2006; Masto i in. 2006; Myśków, 1981; Smith, Paul, 1990). Zarówno cechy mikrobiologiczne, jak i biochemiczne gleb są w dość dużym stopniu zależne od warunków środowiska, w tym stosowanego systemu uprawy (Acosta-Martinez i in., 2008; Gajda, Martyniuk, 2005; Gajda, 2008). Istotnym zagadnieniem jest, w jakim stopniu i w jakim kierunku rolnictwo modyfikuje specyfikę mikrobiologiczną i chemiczną typów gleb i czy zaciera różnice biologiczne pomiędzy różnymi typami gleb.

Celem niniejszej pracy było: (1) porównanie liczebności i różnorodności mikroorganizmów oraz aktywności enzymów glebowych w różnych typach gleb pod wieloletnim wpływem uprawy roślin zbożowych; (2) określenie zróżnicowania właściwości chemicznych różnych typów gleb i ich wpływu na charakterystykę mikrobiologiczną gleby.

MATERIAŁ I METODY

Obiekt doświadczalny i pobranie próbek glebowych

Próbki glebowe pobrano latem 2015 r. z poletek wieloletniego doświadczenia prowadzonego na terenie IUNG-PIB w Puławach. Poletka zostały założone ponad 130 lat temu, reprezentując różne typy, klasy oraz kompleksy przydatności rolniczej gleb, z zachowaniem poziomów genetycznych w profilu gleby charakterystycznych dla danego typu. Od momentu założenia doświadczenia wszystkie poletka były w identyczny sposób uprawiane, a plon główny stanowiły rośliny zbożowe. Poletka doświadczalne reprezentowały następujące typy gleb: brunatna dystroficzna, rędzina brunatna, mada brunatna, płowa, czarna ziemia, rdzawa, brunatna eutroficzna. Gleby były zakwalifikowane do różnych klas i kompleksów przydatności rolniczej. Poszczególne gleby różniły się istotnie składem granulometrycznym i reprezentowały grupy granulometryczne od piasku słabogliniastego do gliny piaszczystej (tab. 1).

Próbki glebowe pobierano z warstwy 0–15 cm w 3 powtórzeniach z każdego poletka. Pobrane próbki zhomogenizowano, a następnie podzielono na 2 porcje. Część przeznaczoną do analiz mikrobiologicznych w stanie wilgotnym przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm, a następnie przechowywano w zamkniętych woreczkach foliowych w temperaturze 4°C. Pozostałą część próbki wysuszono i po przesianiu przez sito o średnicy oczek 2 mm przekazano do analiz fizyczno-chemicznych gleb. W roku pobrania próbek glebowych na poletkach uprawiano pszenżyto ozime.

Badania mikrobiologiczne i biochemiczne gleb

W wilgotnych próbkach glebowych oznaczono parametry charakteryzujące profil mikrobiologiczny gleb,

w tym aktywność enzymatyczną gleb oraz liczebność mikroorganizmów: ogólną liczebność bakterii i promieniowców, grzybów, a także bakterii wiążących azot z rodzaju *Azotobacter*, stosując metody posiewowe na podłożach agarowych. Badanie aktywności enzymatycznej gleby obejmowało oznaczenia aktywności dehydrogenaz oraz fosfatazy kwaśnej i zasadowej. Oznaczenie dehydrogenaz wykonano według Casidy i in. (1964) metodą kolorymetryczną, z zastosowaniem jako substratu 3-procentowego TTC (chlorku trójfenylotetrazolu), po 24-godzinnej inkubacji w temperaturze 37°C, przy długości fali 485 nm, natomiast pomiar aktywności fosfatazy zasadowej i kwaśnej wykonano metodą kolorymetryczną przy długości fali 410 nm, z zastosowaniem PNP (p-nitrofenylofosforan sodu), po 1-godzinnej inkubacji w temperaturze 37°C (Tabatabai, Bremner, 1969). Ogólną liczebność bakterii właściwych i promieniowców oznaczono według metody Wallace'a i Lochheada (1950), bakterii amonifikacyjnych według metody Rodiny (1968), bakterii z rodzaju *Azotobacter* metodą Fenglerowej (1965), natomiast ogólną liczebność grzybów metodą Martina (1950). Wszystkie oznaczenia liczebności drobnoustrojów glebowych były oparte na metodzie rozcieńczeń płytkowych. Płytki inkubowano według wyżej wymienionych metodyk w temperaturze od 24°C do 28°C, a rosnące kolonie drobnoustrojów hodowanych na poszczególnych pożywkach liczono przy użyciu licznika kolonii po 3–5 dniach.

Badania fizykochemiczne i chemiczne gleb

W powietrznie suchych próbkach glebowych oznaczono odczyn w zawiesinie wodnej oraz w 1 M KCl metodą potencjometryczną przy stosunku gleby do roztworu 10 g : 40 cm³, zawartość próchnicy zmodyfikowaną metodą Tiurina (Ostrowska i in., 1991), zawartość fosforu i potasu przyswajalnego metodą Egnera-Riehma oraz magnezu przyswajalnego metodą Schachtschabela (Lityński i in., 1976). Zawartość węglanów przeanalizowano metodą Scheiblera (Lityński i in., 1976). Wyniki badań właściwości fizykochemicznych i chemicznych gleb porównano z danymi historycznymi z 1994 roku, które oznaczono wówczas identycznymi metodami. Skład granulometryczny gleby oznaczono metodą Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego (Lityński i in., 1976), a grupy granulometryczne wierzchniej warstwy określono wg normy BN-78/9180-11 oraz klasyfikacji Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego z 2008 roku.

WYNIKI I DYSKUSJA

Właściwości fizykochemiczne i chemiczne gleb

Badania przeprowadzone w 2015 roku wykazały duże zróżnicowanie fizykochemicznych właściwości gleb. Najwyższe wartości pH_{H₂O} gleby występowały w rędzinie, madzie brunatnej oraz czarnej ziemi (pH>7) (tab. 1). Najniższe wartości pH stwierdzono w przypad-

Tabela 1. Charakterystyka typologiczna, bonitacyjna i chemiczna gleb pochodzących z wieloletniego doświadczenia poletkowego
Table 1. Systematic and chemical characteristics of soils in the long term plot experiment.

Nr. poletka Plot no.	Typ gleby Soil	Klasa bonitacyjna Bonitation class	Kompleks rolniczej przydatności Agricultural suitability complex	Grupa granulometryczna Granulometric group	pH _{H₂O} pH _{KCl}	Węgiel organiczny Organic carbon [g·kg ⁻¹]
1	brunatna dystroficzna Haplic Cambisol (Dystric)	V	6	pgl ¹ pg ²	5,45 4,40	5,27
2	rędzina brunatna Cambic Leptosol	IVa	3	pgmp gp	7,58 7,17	11,0
3	mąda brunatna Fluvic Cambisol	II	2	gsp gp	7,66 7,22	8,20
4	płowa Haplic Luvisol	IIIa	5	płg gp	5,52 4,66	6,87
5	czarna ziemia Gleyic Chernozem	I	1	płg gp	7,58 7,12	21,30
6	rdzawa Brunic Arenosol (Dystric)	VI	7	ps ps	4,43 3,33	4,57
7	brunatna eutroficzna Haplic Cambisol (Eutric)	IIIb	4	gpp gp	5,56 4,79	7,67
8	rdzawa Brunic Arenosol (Dystric)	VI	7	pgl pg	4,69 3,79	7,53

¹ wg klasyfikacji BN-78/9180-11; according to BN-78/9180-11 classification

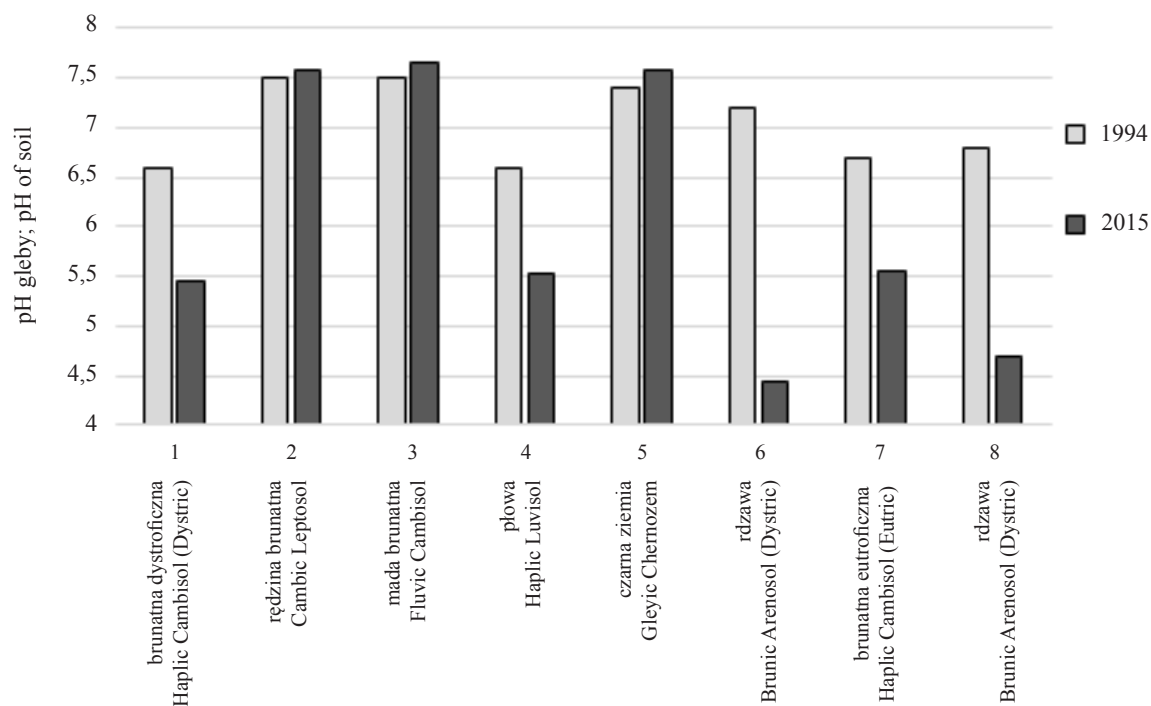
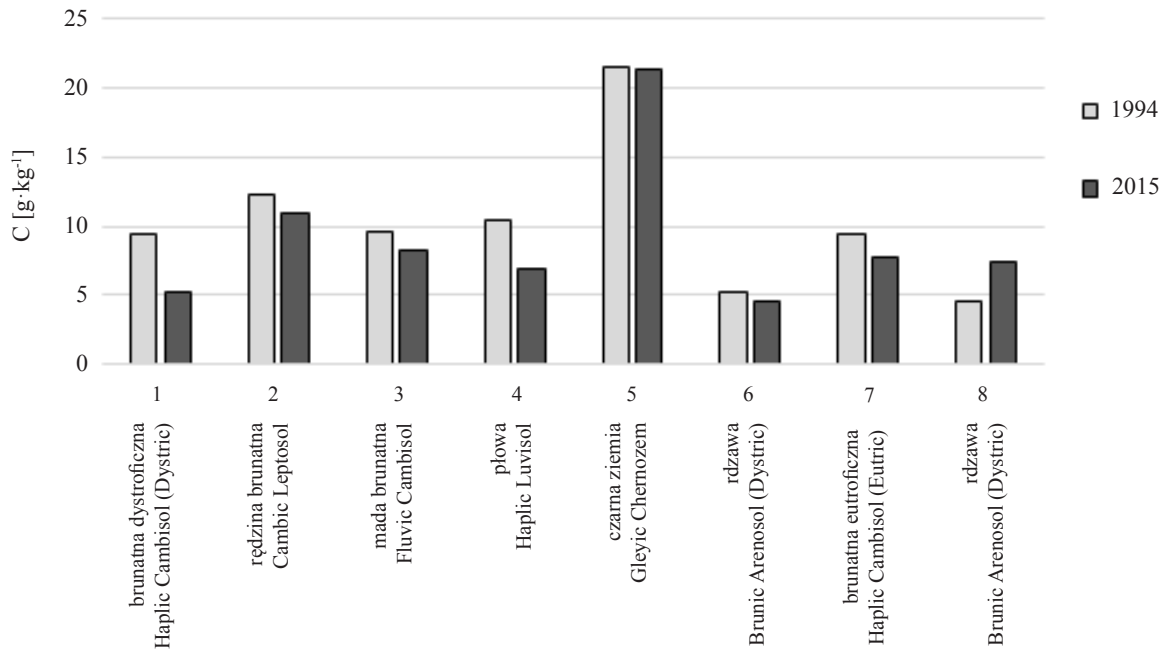
² wg klasyfikacji PTG 2008; according to PTG 2008 classification

ku gleb rdzawych (pH<4,7), kwaśne były również gleby brunatne i gleba płowa. Dodatkowym aspektem przeanalizowanym w doświadczeniu było porównanie odczynu gleby z badań przeprowadzonych w latach 1994 i 2015 (rys. 1). W trzech spośród ośmiu badanych gleb (rędzina brunatna, mąda brunatna, czarna ziemia) wartości te po ponad 20 latach utrzymywały się na zbliżonym poziomie, co wynika z własności buforowych tych gleb związanych z obecnością węglanu wapnia. W przypadku pozostałych gleb zanotowano znaczny spadek pH gleby, którego stosunkowo wysoka wartość w roku 1994 wynikała z zastosowania wapnowania. Największe różnice w odczynie gleby zauważono w glebie rdzawej z poletka 6 (rys. 1). Odczyn mierzony w 1 M KCl potwierdzał pomiary w H₂O. W przypadku gleb rdzawych i gleby brunatnej dystroficznej w roku 2015 stwierdzono odczyn bardzo kwaśny (<4,5), niekorzystny zarówno dla rozwoju roślin, jak i większości mikroorganizmów.

Jedynie w przypadku czarnej ziemi zawartość węgla organicznego (Corg) w 2015 roku była wysoka (21,30 g·kg⁻¹) i wyraźnie przewyższała przeciętną zawartość węgla w glebach ornych Polski. Zasobność rędziny w Corg była stosunkowo niska dla tego typu gleby i była zbliżona do przeciętnej krajowej wartości (średnia 11,40, mediana 9,90 g·kg⁻¹) (Siebielec i in., 2012). Porównanie wyników w latach 1994 i 2015 wykazało, że zawartość Corg utrzymała się na zbliżonym poziomie w czarnej ziemi, rędzinie i mądzie brunatnej (rys. 2). Znaczny spadek za-

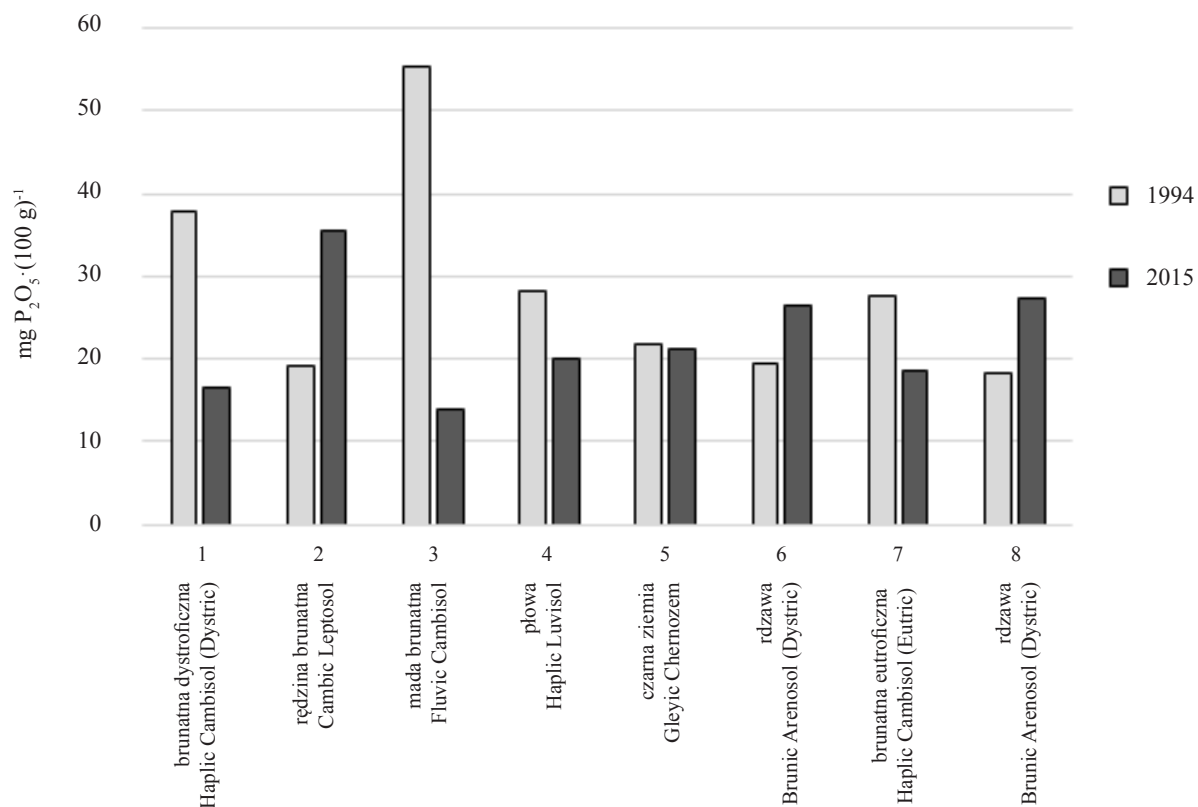
wartości Corg wykazano natomiast dla gleby brunatnej dystroficznej i gleby płowej wytworzonej z lessu, które charakteryzowała dość wysoka zawartość w 1994 roku. Z kolei wzrost zawartości Corg stwierdzono w glebie rdzawej (poletko 8) o bardzo niskiej zasobności w poprzednim okresie. Wyniki te potwierdzają obserwacje z badań porównawczych profili glebowych w województwie dolnośląskim, w których kierunek zmian zawartości węgla organicznego w dużym stopniu zależał od jego zawartości początkowej. W glebach o niskiej zawartości Corg notowano z reguły jego akumulację pomimo zmiany struktury upraw w badanych regionie w kierunku większego udziału roślin zbożowych (Kaczyński i in., 2013). Należy jednak stwierdzić, że w pełni wiarygodna ocena kierunków zmian zawartości C w glebach różnych typów powinna być oparta na badaniach o większej częstotliwości pomiarów, z uwagi na potencjalny błąd pobrania próbki i pomiaru zawartości węgla w próbce.

Najwyższą zawartość fosforu przyswajalnego wykazano w 2015 r. w rędzinie (>30 mg P₂O₅·(100 g)⁻¹), pomimo obecności węglanu wapnia, który z reguły ogranicza przyswajalność fosforu (rys. 3). Również w pozostałych glebach zasobność w fosfor przyswajalny kształtowała się na co najmniej średnim poziomie (mąda brunatna), a w większości przypadków na poziomie wysokim i bardzo wysokim. Także w 1994 r. zasobność gleb była wysoka i bardzo wysoka, niezależnie od typu gleby, co świadczy o dość wysokim nawożeniu fosforem w trakcie trwania doświadczenia.

Rys. 1. Porównanie odczynu gleby ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) w latach 1994 i 2015Fig. 1. Comparison of soil $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ between 1994 and 2015.

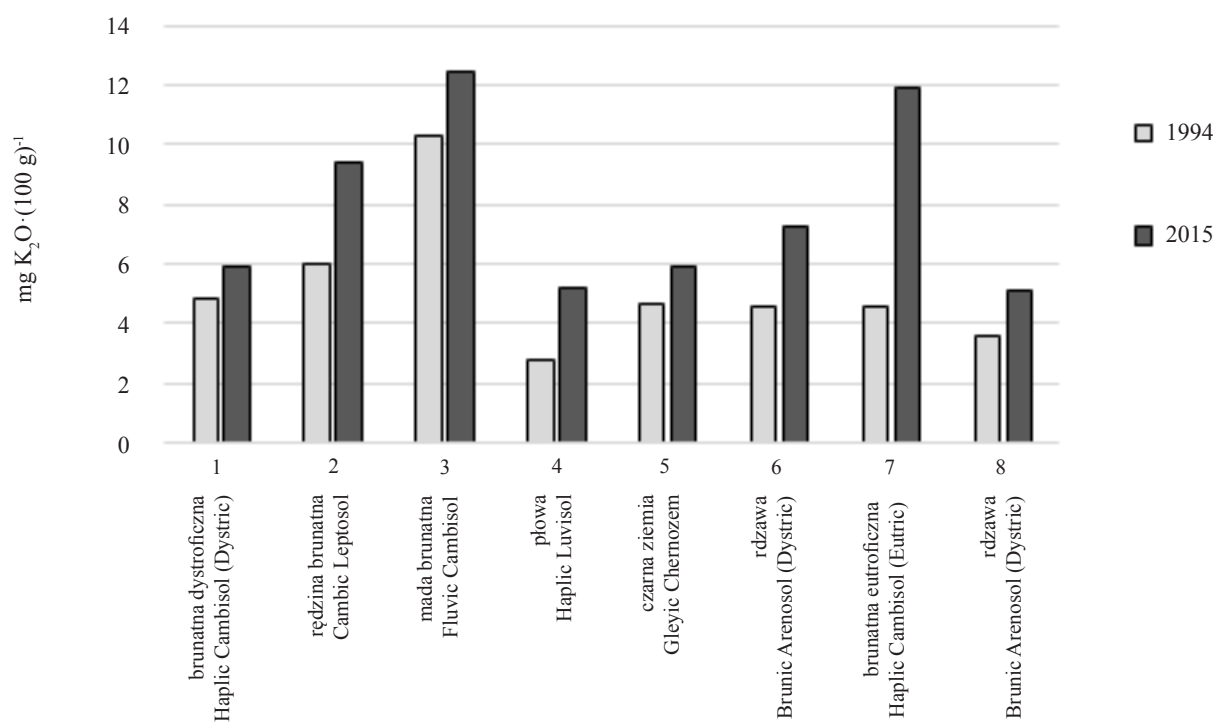
Rys. 2. Porównanie zawartości węgla w glebie w latach 1994 i 2015

Fig. 2. Comparison of soil C content between 1994 and 2015.



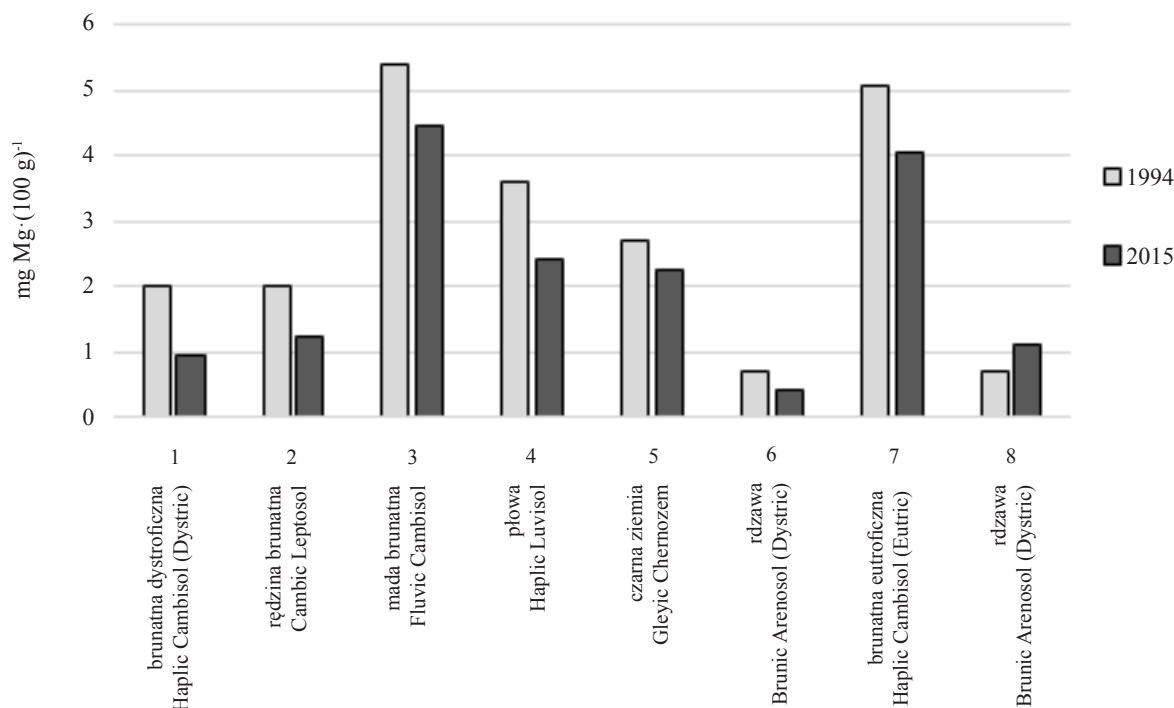
Rys. 3. Porównanie zawartości fosforu przyswajalnego w glebie w latach 1994 i 2015

Fig. 3. Comparison of soil available phosphorus content between 1994 and 2015.



Rys. 4. Porównanie zawartości potasu przyswajalnego w glebie w latach 1994 i 2015

Fig. 4. Comparison of soil available potassium content between 1994 and 2015.



Rys. 5. Porównanie zawartości magnezu przyswajalnego w glebie w latach 1994 i 2015

Fig. 5. Comparison of soil available magnesium content between 1994 and 2015.

Zawartość potasu przyswajalnego we wszystkich glebach kształtowała się na poziomie niższym od średniej krajowej – $15,4 \text{ mg K}_2\text{O} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ (Siebielec i in., 2012). Najbardziej zasobne w potas były w 2015 r. mada brunatna i gleba brunatna eutroficzna ($>10 \text{ mg K}_2\text{O} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$) (rys. 4). Parametr ten w 2015 r. we wszystkich przypadkach przyjmował nieco wyższe wartości niż w 1994 r., jednak w dużym stopniu odzwierciedlał zmienność historycznej zasobności gleb w potas. Fakt ten świadczy o zachowaniu naturalnej specyfiki zasobności badanych gleb w potas, związanej w dużym stopniu z ich składem granulometrycznym, w przeciwieństwie do fosforu przyswajalnego, którego zawartość była kształtowana przez interakcje pomiędzy poziomem nawożenia, wyniesieniem z plonem oraz obecnością węglanów i glinu, wpływających na procesy wytrącania nierozpuszczalnych fosforanów.

Wszystkie badane gleby były mało zasobne w magnez przyswajalny, którego zawartości zarówno w 1994, jak i w 2015 r. były niższe od obecnej średniej zawartości dla gleb gruntów ornych Polski – $8,97 \text{ mg Mg} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$ (Siebielec i in., 2012) (rys. 5). Szczególnie ubogie w magnez przyswajalny były gleby rdzawe i gleba brunatna dystroficzna, z których magnez jest wymywany w warunkach kwaśnego odczynu, oraz rędzina z powodu niskiej zawartości i przyswajalności magnezu w glebie wytworzonej z wapniowej skały węglanowej. Wyniki uzyskane dla ma-

gnezu przyswajalnego w 2015 r. były silnie skorelowane z wartościami zmierzonymi w 1994 roku, ponieważ w dużym stopniu odzwierciedlały naturalną zmienność zasobności poszczególnych typów gleb w magnez, podobnie jak w przypadku potasu przyswajalnego.

Właściwości mikrobiologiczne i biochemiczne gleb

Bakterie i promieniowce występowały najliczniej w glebie płowej, czarnej ziemi i madzie (tab. 2). Na uwagę zasługują bardzo duże różnice ogólnej liczebności bakterii i promieniowców pomiędzy poszczególnymi typami gleb. Czterdziestokrotnie niższe liczebności, w porównaniu do gleby płowej, występowały w glebach rdzawych, o najniższych wartościach pH i niewielkim udziale iłu koloidalnego. Równie małym udziałem iłu koloidalnego charakteryzowała się gleba brunatna dystroficzna, jednak w tym przypadku mniejsze zakwaszenie gleby (pH 5,45) skutkowało znaczną liczebnością bakterii i promieniowców (tab. 1, 2).

Stosunkowo niską liczebność bakterii i promieniowców wykazano dla rędziny ($7,7 \cdot 10^7$), której właściwości (alkaliczny odczyn, wysoka zawartość węglanu wapnia – $63,2 \text{ g kg}^{-1}$) warunkują specyficzną strukturę gatunkową bakterii, o nieco mniejszej różnorodności gatunków.

Bakterie z rodzaju *Azotobacter* są zdolne do wiązania azotu atmosferycznego, który po obumarciu ich

Tabela 2. Liczebność mikroorganizmów w zależności od typu gleby
Table 2. Number of microorganisms as dependent on soil type.

Nr. poletka Plot no.	Typ i rodzaj Soil	Liczebność bakterii z rodzaju <i>Azotobacter</i> Number of <i>Azotobacter</i> $\times 10$	Liczebność grzybów Number of fungi $\times 10^4$	Liczebność bakterii i promieniowców Number of bacteria and <i>Actinomycetes</i> $\times 10^7$
1	brunatna dystroficzna Haplic Cambisol (Dystric)	brak lack	13,49	26,00
2	rędzina brunatna Cambic Leptosol	4,05	9,93	7,72
3	mąda brunatna Fluvic Cambisol	1,48	7,43	31,19
4	płowa Haplic Luvisol	brak lack	17,53	60,61
5	czarna ziemia Gleyic Chernozem	1,50	7,50	40,15
6	rdzawa Brunic Arenosol (Dystric)	brak lack	37,19	1,75
7	brunatna eutroficzna Haplic Cambisol (Eutric)	6,58	9,51	13,90
8	rdzawa Brunic Arenosol (Dystric)	brak lack	29,20	1,42

komórek przechodzi do gleby (Martyniuk, 2008). Maksymalna ilość azotu wiązanego rocznie przez *Azotobacter* z reguły sięga kilkunastu $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Nannipieri i in., 2007). Bakterie te są dość wrażliwe na właściwości gleby, w tym szczególnie na jej odczyn, z reguły nie występując w glebach o pH poniżej 6,0 (Martyniuk, Martyniuk, 2003).

Bakterie z rodzaju *Azotobacter* wyizolowano zaledwie z kilku poletek, ich brak stwierdzono przy $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ poniżej 5,56. Ich największą liczebność stwierdzono w glebie brunatnej eutroficznej i rędzinie brunatnej, a występowały one również w czarnej ziemi i mądzie brunatnej (tab. 2).

Najwyższą ogólną liczebność grzybów stwierdzono w glebach rdzawych (poletko 6, 8), które charakteryzowały się najbardziej kwaśnym odczynem (pH w H_2O <4,7). Czynnikiem w największym stopniu wpływającym na liczebność grzybów był zatem odczyn gleby (rys. 6).

Dehydrogenazy są enzymami katalizującymi procesy oksydoredukcyjne, wykorzystywane są zatem jako wskaźniki intensywności metabolizmu mikroorganizmów glebowych. Dehydrogenazy działają tylko wewnątrz żywych komórek, dlatego ich aktywność jest dobrym wskaźnikiem stanu całej populacji mikroorganizmów glebowych (Mocek-Płóćniak, 2010).

Fosfatazy kwasna i zasadowa są odpowiedzialne za rozkład organicznych związków fosforu, mają więc istotne znaczenie dla dostępności fosforu dla roślin (Mocek-Płóćniak, 2010).

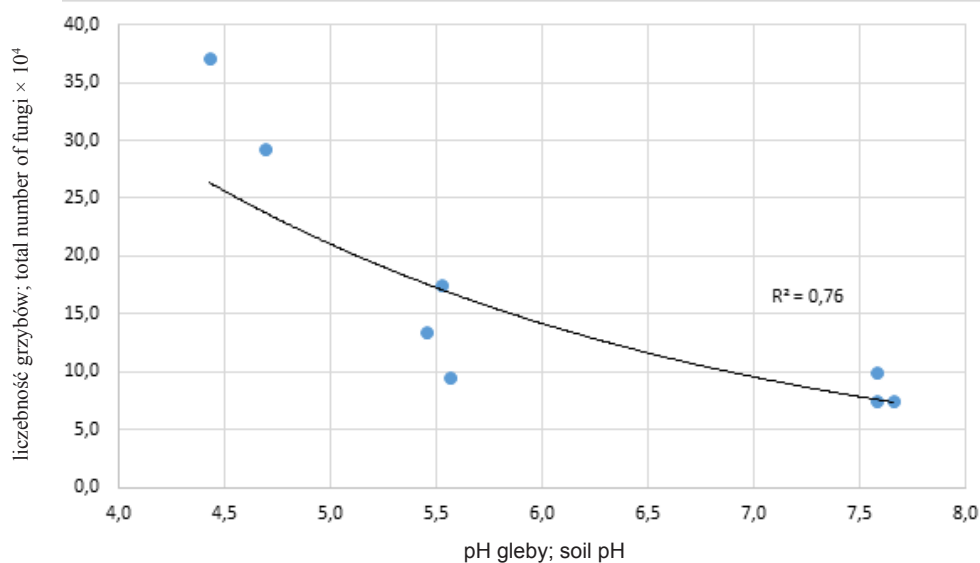
W analizowanym doświadczeniu w przypadkach wszystkich oznaczanych enzymów glebowych (fosfatazy

kwasna i zasadowa oraz dehydrogenazy), najniższą aktywność stwierdzono dla gleby rdzawej o składzie piasku słabogliniastego (rys. 7-9). Fosfataza zasadowa i dehydrogenazy były też mało aktywne w drugiej z gleb rdzawych i w glebie brunatnej dystroficznej. Z kolei najbardziej aktywne były te enzymy w czarnej ziemi i rędzinie brunatnej (rys. 7, 8).

Czynnikiem, który w największym stopniu modyfikował aktywność enzymatyczną gleb był odczyn. Wykazano ścisłą zależność pomiędzy wartością pH zmierzoną w H_2O a aktywnością dehydrogenazy ($R^2 = 0,78$) (rys. 10). Jeszcze silniej odczyn gleby wpływał na aktywność fosfatazy zasadowej ($R^2 = 0,96$), która w glebach zróżnicowanych pod względem właściwości jest zwykle silnie zależna od pH gleby (Bielińska, 2005).

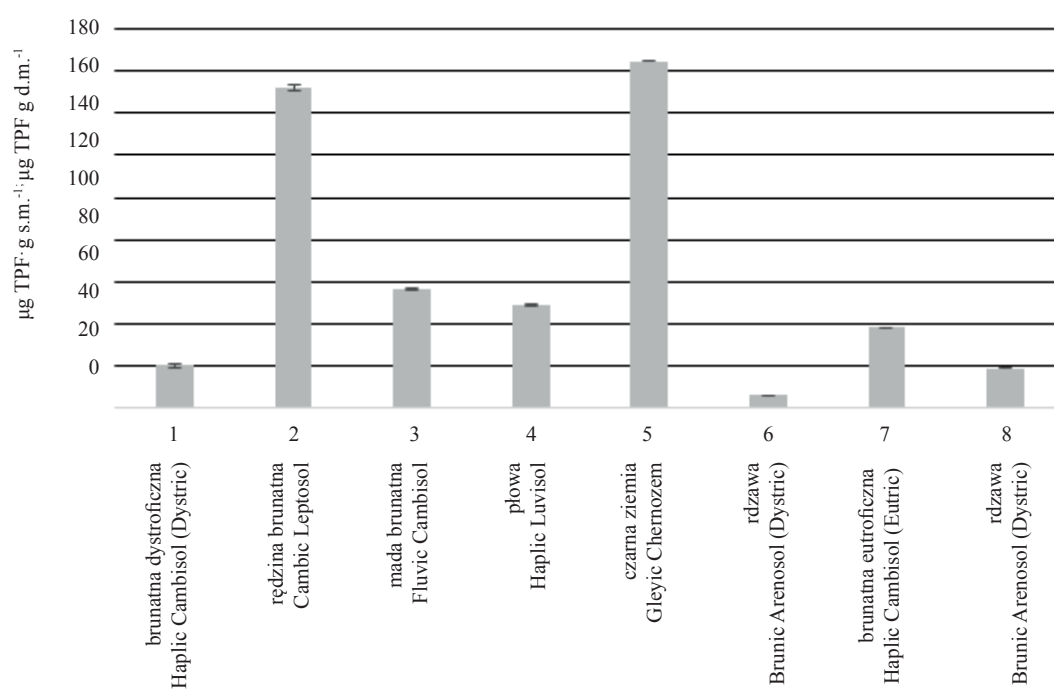
Nieco niższe współczynniki determinacji uzyskano dla zależności pomiędzy zawartością węgla organicznego a aktywnością enzymów: fosfatazy zasadowej ($R^2 = 0,55$) (rys. 11) oraz dehydrogenaz ($R^2 = 0,59$) (rys. 12). Były to jednak również zależności istotne statystycznie, podobnie jak w przypadku relacji pomiędzy zawartością potasu przyswajalnego a ogólną liczebnością bakterii z rodzaju *Azotobacter* ($R^2 = 0,51$).

Analiza skupień jest narzędziem statystycznym służącym do grupowania obiektów (tworzenia skupień) z zachowaniem zasady maksymalnego podobieństwa obiektów w obrębie grupy (skupienia) względem określonych parametrów i maksymalnych różnic pomiędzy grupami. Na rysunku 13 przedstawiono diagram drzewa wykonany tzw. metodą Warda z zastosowaniem progra-



Rys. 6. Zależność pomiędzy odczynem gleby a ogólną liczebnością grzybów

Fig. 6. Relationship between topsoil pH and total number of fungi.



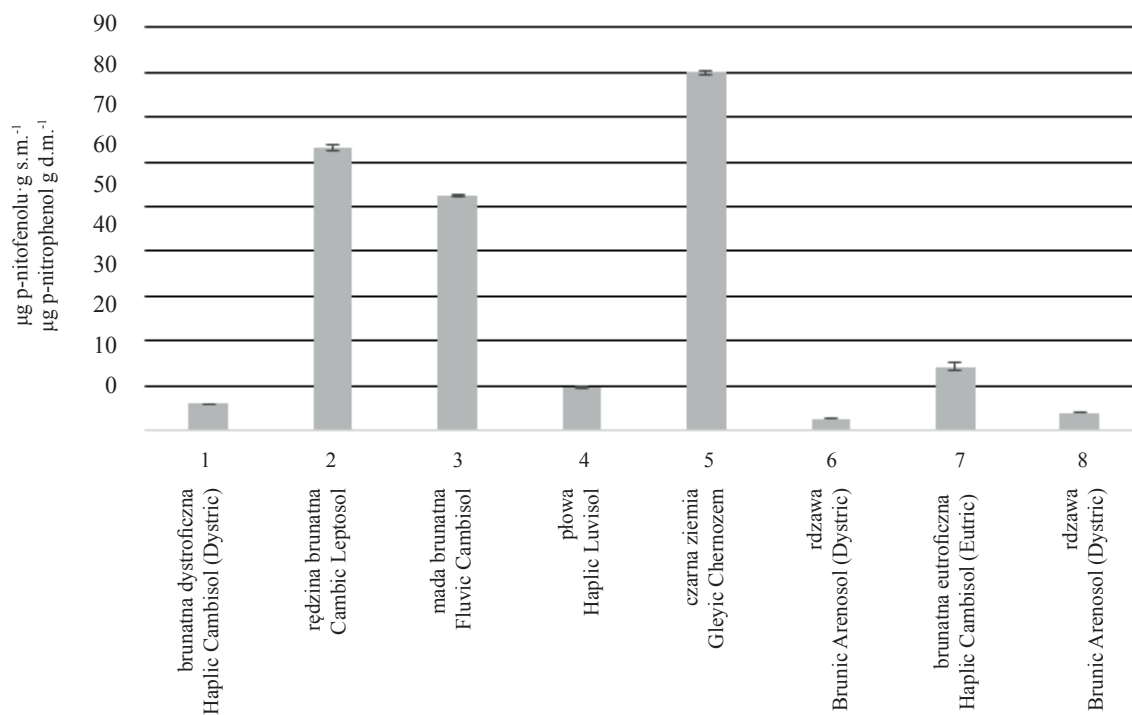
TPF – trifenyloformazan; triphenylformazan

Rys. 7. Aktywność dehydrogenaz w wierzchniej warstwie gleby (wartości średnie i odchylenia standardowe)

Fig. 7. Dehydrogenases activity in topsoil. The means and standard deviations are presented.

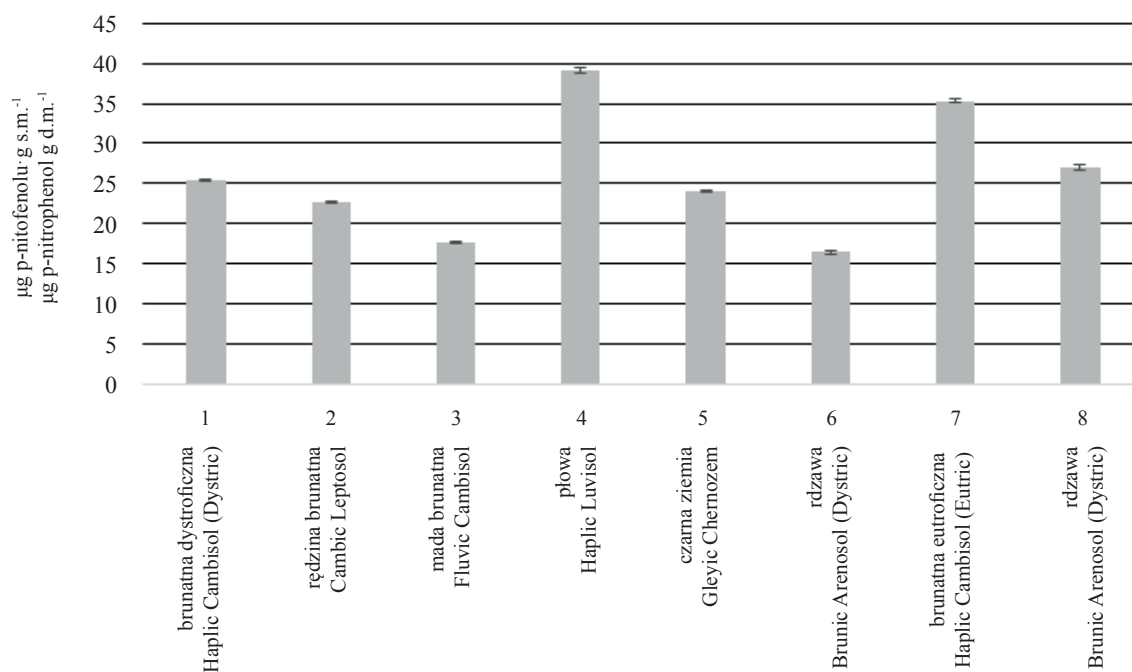
mu Statistica 8.0 (StatSoft). Analizę wykorzystano dla określenia podobieństwa gleb pod względem cech mikrobiologicznych na podstawie wszystkich oznaczeń charakteryzujących liczebność mikroorganizmów i aktywność enzymatyczną gleb. Dane wsadowe do analizy stanowiły

zatem wyniki oznaczeń ogólnej liczebności bakterii i promieniowców, grzybów, a także bakterii wiążących azot z rodzaju *Azotobacter*, aktywności dehydrogenaz oraz aktywności fosfatazy kwaśnej i zasadowej.



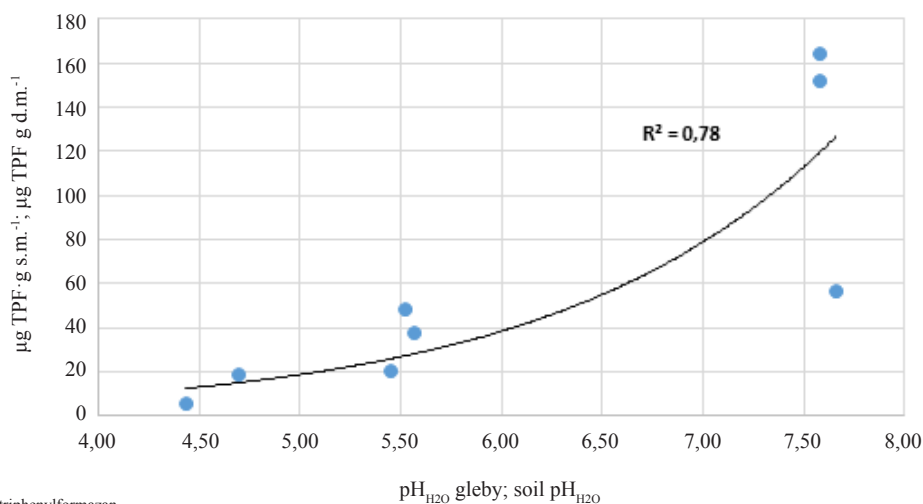
Rys. 8. Aktywność fosfatazy zasadowej w wierzchniej warstwie gleby (wartości średnie i odchylenia standardowe)

Fig. 8. Alkaline phosphatase activity in topsoil as dependent. The means and standard deviations are presented.



Rys. 9. Aktywność fosfatazy kwaśnej w wierzchniej warstwie gleby (wartości średnie i odchylenia standardowe)

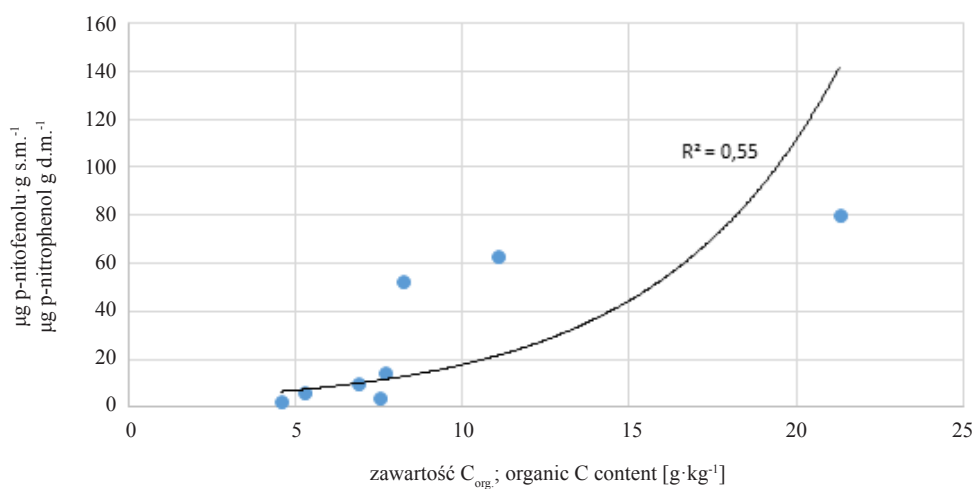
Fig. 9. Acidic phosphatase activity in topsoil. The means and standard deviations are presented.



TPF – trifenyloformazan; triphenylformazan

Rys. 10. Zależność między odczynem gleby a aktywnością dehydrogenaz

Fig. 10. Relationship between topsoil pH and dehydrogenase activity.



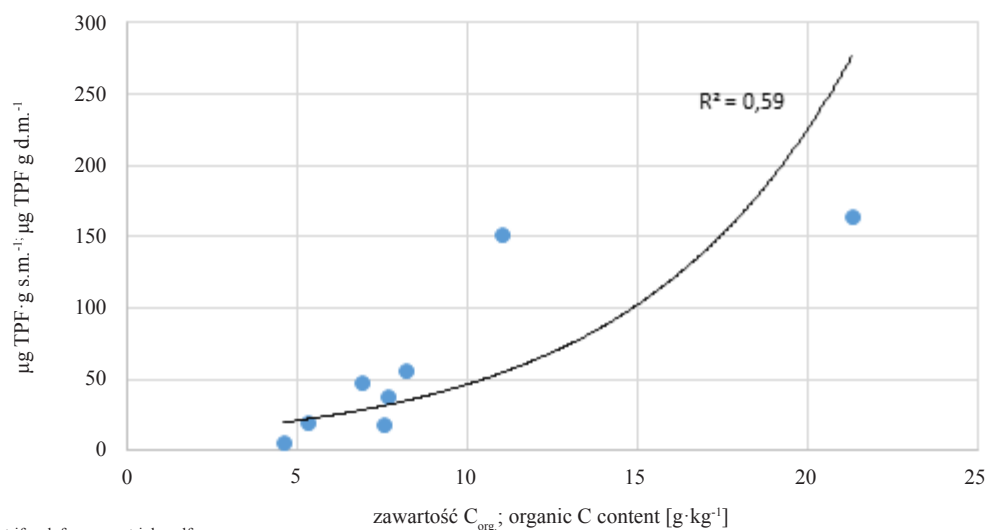
Rys. 11. Zależność między zawartością węgla organicznego w glebie a aktywnością fosfatazy zasadowej

Fig. 11. Relationship between organic carbon content in soil and alkaline phosphatase activity.

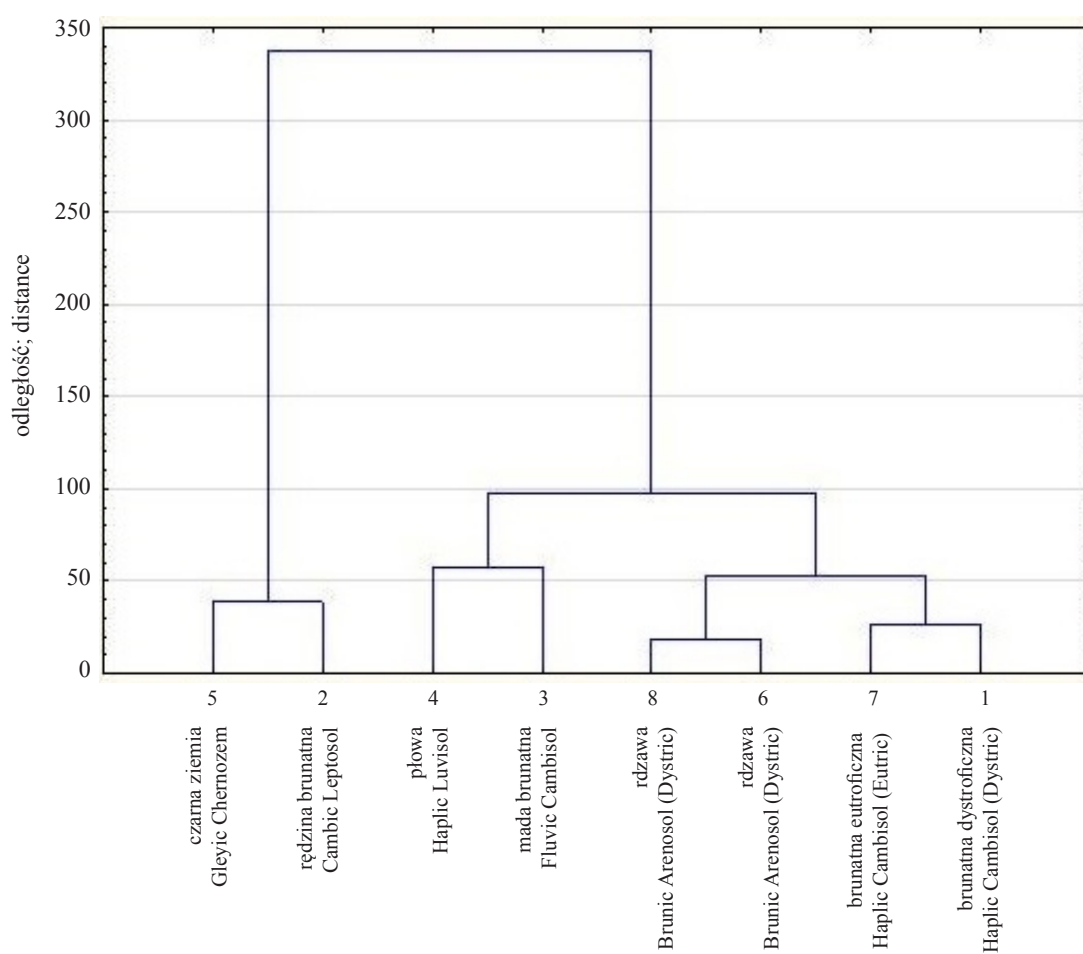
Analiza wykazała, że gleby brunatne i rdzawe miały zbliżony profil mikrobiologiczny, przy czym najbardziej podobne do siebie były gleby rdzawe o najbardziej kwaśnym odczynie. Gleba płowa była zbliżona swoim profilem mikrobiologicznym do mady brunatnej (rys. 13). Dwie pozostałe gleby, czarna ziemia i rędzina brunatna były dość podobne do siebie, a z kolei różniły się zdecydowanie charakterystyką mikrobiologiczną od innych gleb. Analiza skupień wskazuje zatem, że specyfika mikrobiologiczna (struktura populacji mikroorganizmów i ich aktywność)

poszczególnych typów gleb została w dużym stopniu zachowana, pomimo wieloletniej uprawy roślin zbożowych. Fakt ten został zaobserwowany, pomimo że nie dla wszystkich gleb warunki, w jakich są zlokalizowane poletka, odpowiadają ich naturalnym warunkom pod względem oddziaływania wód gruntowych.

W przeprowadzonych badaniach wykonano również analizy korelacji pomiędzy plonem pszenżyta a badanymi parametrami mikrobiologicznymi i fizykochemicznymi gleby. Nie stwierdzono jednak istotnych korelacji pomię-



Rys. 12. Zależność między zawartością węgla organicznego w glebie a aktywnością dehydrogenaz
Fig. 12. Relationship between organic carbon content in soil and dehydrogenase activity.



Rys. 13. Skupienia gleb o zbliżonych właściwościach mikrobiologicznych
Fig. 13. Clusters of soils with similar microbiological properties.

dzy tymi parametrami a plonem ziarna i słomy uzyskanym z poletek doświadczalnych w roku 2015. Wydaje się, że w największym stopniu na plon pszenżyta w roku 2015 wpływały warunki wodne na poszczególnych poletkach.

PODSUMOWANIE

Pomimo wieloletniej uprawy tych samych roślin na wszystkich poletkach charakterystyka mikrobiologiczna (aktywność, liczebność) różnych typów gleb była zróżnicowana i należy przypuszczać, że w dużym stopniu odzwierciedlała ich naturalną specyfikę. Największą aktywność enzymatyczną wykazały: czarna ziemia, mada brunatna i rędzina brunatna. Silny wpływ na aktywność enzymatyczną gleb i strukturę populacji mikroorganizmów miał odczyn gleby. Poniżej wartości pH_{H_2O} 5,56 stwierdzono brak bakterii z rodzaju *Azotobacter*, co potwierdziło doniesienia o silnej zależności występowania tych bakterii od poziomu zakwaszenia gleb. Analiza skupień wykazała, że gleby brunatne i rdzawe posiadały zbliżony profil mikrobiologiczny, od którego najbardziej różniły się profile czarnej ziemi i rędziny brunatnej. Spośród parametrów fizykochemicznych i chemicznych gleby na aktywność enzymatyczną w największym stopniu wpływały odczyn gleb oraz zawartość węgla organicznego. Nie stwierdzono istotnych korelacji pomiędzy badanymi parametrami mikrobiologicznymi i fizykochemicznymi a plonami ziarna i słomy pszenżyta w roku 2015, które najprawdopodobniej w dużym stopniu zależały od warunków wilgotnościowych w glebie.

PIŚMIENNICTWO

- Acosta-Martinez V., Acosta-Mercado D., Sotomayor-Ramirez D., Cruz-Rodriguez L., 2008.** Microbial communities and enzymatic activities under different management in semiarid soils. *Applied Soil Ecology*, 38: 249-260.
- Badura L., 1985.** Mikroorganizmy w ekopodsystemach glebowych – ich występowanie i funkcje. *Postępy Mikrobiologii*, 24(3): 153-173.
- Badura L., 2006.** Rozważania nad rolą mikroorganizmów w glebie. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*, 89, 546: 13-23.
- Barabasz W., Smyk B., 1997.** Mikroflora gleb zmęczonych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 452: 37-50.
- Bielińska E.J., 2005.** Oznaczanie aktywności fosfataz. *Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie*, 2005(3): 63-74.
- Casida L., Klein D., Santoro T., 1964.** Soil Dehydrogenase Activity. *Soil Science*, 98: 371-376.
- Doran J.W., Parkin T.B., 1994.** Defining and assessing soil quality. ss. 3-21. W: *Defining soil quality for a sustainable environment*; Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.E., Stewart B.A. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Doran J.W., Sarrantonio M., Liebig M.A., 1996.** Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*, 56: 1-54.
- Fenglerowa W., 1965.** Simple method for counting *Azotobacter* in soil samples. *Acta Microbiologica Polonica*, 14(2): 203-206.
- Gajda A.M., 2008.** Effect of different tillage systems on some microbiological properties of soils under winter wheat. *International Agrophysics*, 22: 201-208.
- Gajda A.M., Martyniuk S., 2005.** Microbial biomass C and N and activity of enzymes in soil under winter wheat grown in different crop management systems. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14(2): 159-163.
- Kaczyński R., Siebielec G., Gałazka R., Niedźwiecki J., Polakova S., 2013.** Assessment of soil organic carbon status and changes in soils of Polish-Czech republic borderland. UKZUZ, Brno.
- Lityński T., Jurkowska H., Gorlach E., 1976.** Analiza chemiczno-rolnicza. Gleba i Nawozy. Wydawnictwo PWN, Warszawa.
- Marcinowska K., 2002.** Charakterystyka, występowanie i znaczenie promieniowców w przyrodzie. ss. 121-130. W: *Aktywność drobnoustrojów w różnych środowiskach*; Barabasz W. (red.), AR Kraków.
- Marinari S., Mancinelli R., Campiglia E., Grego S., 2006.** Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Italy. *Ecological Indicators*, 6: 701-711.
- Martin J.P., 1950.** Use of acid, rose bengal and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. *Soil Science*, 69: 215-232.
- Martyniuk S., Martyniuk M., 2003.** Occurrence of *Azotobacter* spp. in some Polish soils. *Polish Journal of Environmental Studies*, 3: 371-374.
- Martyniuk S., 2008.** Znaczenie procesu biologicznego wiązania azotu atmosferycznego w rolnictwie ekologicznym. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 54: 9-14.
- Masto R.E., Chhonkar P.K., Singh D., Patra A.K., 2006.** Changes in soil biological and biochemical characteristics in long-term field trial on a sub-tropical inceptisol. *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 1577-1584.
- Mocek-Plóćiniak A., 2010.** Wykorzystanie aktywności enzymatycznej do oceny wpływu antropogenicznych zmian wywołanych przez metale ciężkie w środowisku glebowym. *Nauka Przyroda Technologie*, 4, 6, #86.
- Myśków W., 1981.** Próba wykorzystania wskaźników aktywności mikrobiologicznej do oceny żyzności gleby. *Postępy Mikrobiologii*, 20: 173-192.
- Nannipieri P., Ascher J. Ceccherini M.T., Landi L., Pietramellara G., Renella G., 2003.** Microbial diversity and soil function. *European Journal of Soil Science*, 54: 655-670.
- Nannipieri P., Aschner J., Ceccherini M.T., Landi L., Pietramellara G., Renella G., Valori F., 2007.** Microbial diversity and microbial activity in the rhizosphere. *Cienc Suelo*, 25: 89-97.
- Oczo Z., 2007.** Formowanie się profilu gleby. ss. 18-21. W: *Wademekum klasyfikatora gleb*; Woch F. (red.), Wyd. IUNG-PIB.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubialka Z., 1991.** Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Wydawnictwo IOŚ, Warszawa.
- Paul E.A., Clark F.E., 2000.** Mikrobiologia i biochemia gleb. Wydawnictwa UMCS, Lublin.
- Rodina A., 1968.** Mikrobiologiczne metody badania wód. Wydawnictwo PWRiL, Warszawa.
- Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B., Terelak H., Koza P., Łysiak M., Gałazka R., Pecio M., Suszek B., Miturski T., Hryńczuk B.,**

2012. Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2010-2012. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Smith J.L., Paul E.A., 1990. The significance of soil microbial biomass estimations. ss. 357-396. W: Soil biochemistry; Bollag J., Stotzky G., Dekker, New York.

Strzelczyk E., 2001. Endofity. ss. 97-107. W: Drobnoustroje środowiska glebowego; Dahm H., Pokojńska-Burdziej A., Toruń: Wyd. A. Marszałek.

Tabatabai M.A., Bremner J.M., 1969. Use of p-nitrophenylphosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biology and Biochemistry, 1: 301-307.

Wallace R., Lochhead A., 1950. Qualitative studies of soil microorganisms IX. Amino acid requirements of rhizosphere bacteria. Canadian Journal of Research, Sect. C Bot. Sci. 28: 1-6.

G. Siebielec, S. Siebielec, G. Podolska

COMPARISON OF MICROBIAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOIL TYPES AFTER OVER 100 YEARS OF CEREAL PRODUCTION

Summary

Natural biological and chemical characteristics of soil are modified by land use (arable, grassland, bare land, urban use, protected areas) and in the case of agricultural use by intensity of production, tillage, and crop rotation. The aims of this study were (1) to compare number and diversity of microorganism and soil enzyme activities in various soil types under long term cereal production; (2) to evaluate variability of chemical status of the soil types and its effect on microbial characteristics of soil. Soil samples were collected in summer of 2015 from plots of a long-term experiment located at Institute of Soil Science and Plant Cultivation – State Research Institute in Puławy, Poland. The plots were established over 100 years earlier representing different soil types, classes and soil suitability complexes with reconstructed natural soil profiles. The plots represented the following soil types: Haplic Cambisol (Dystric), Cambic Leptosol, Fluvic Cambisol, Haplic Luvisol, Gleyic Chernozem, Brunic Arenosol, Haplic Cambisol (Eutric). Soil samples were analyzed for enzymatic activity, number of bacteria and *Actinomycetes*, fungi and *Azotobacter*, as well as pH, carbon, content of available phosphorus, potassium and magnesium. Despite long term production of cereals on all plots, soils retained their natural microbial specificity. Cluster analysis revealed similar microbial profile of Arenosols and Haplic Cambisols whereas Gleyic Chernozem and Cambic Leptosol most significantly differed from the other soils.

key words: enzymatic activity, number of microorganisms, soil type, soil pH