

## WPŁYW SYSTEMU UPRAWY NA AKTYWNOŚĆ ENZYMATYCZNĄ GLEBY

ELŻBIETA JOLANTA BIELIŃSKA<sup>1\*</sup>, AGNIESZKA MOCEK-PŁÓCINIĄK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Instytut Gleboznawstwa i Kształtowania Środowiska  
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin, Polska

<sup>2</sup> Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Mikrobiologii Ogólnej i Środowiskowej  
ul. Szydlowska 50, 60-656 Poznań

\*Adres e-mail do korespondencji: elzbieta.bielinska@up.lublin.pl

**Słowa kluczowe:** Gleba, system uprawy, aktywność enzymatyczna.

**Streszczenie:** Celem pracy było określenie wpływu systemów uprawy na aktywność enzymatyczną gleb. Analizowano dwa systemy uprawy roli: tradycyjny (płużny) i uproszczony (bezorkowy) na glebach pływowych i arenosolach. W próbkach glebowych analizowano aktywność pięciu enzymów: dehydrogenazy, kwaśnej i alkalicznej fosfatazy, ureazy oraz proteazy. Testy enzymatyczne okazały się dobrymi wskaźnikami różnicującymi badane obiekty glebowe w zależności od systemu uprawy roli. Stosowanie uprawy uproszczonej stymulowało istotnie aktywność analizowanych enzymów, niezależnie od typów gleby. Szczególnie szeroki zakres aktywności uzyskano dla dehydrogenaz, co wskazuje na przydatność tej grupy enzymów do oceny zmian zachodzących w środowisku glebowym pod wpływem systemu uprawy roli. Ponadto w powierzchniowych warstwach stymulacji aktywności badanych enzymów towarzyszyły korzystne zmiany właściwości chemicznych gleb.

### WSTĘP

Systemy uprawy gleby, poczynając od tradycyjnych (płużnych), a na skrajnie uproszczonych kończąc oddziałują na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleb [1, 5, 15]. Wybór odpowiedniego systemu uprawy uzależniony jest głównie od lokalnych warunków glebowych, klimatycznych i gatunku uprawianej rośliny [8]. Procesy biologiczne kształtujące żyzność i produktywność gleb związane są głównie z drobnoustrojami i wydzielanymi przez nie enzymami [18, 19, 25]. Monitoring pedosfery z wykorzystaniem metod opartych na testach enzymatycznych pozwala na kompleksową ocenę zmian, jakie zachodzą w środowisku glebowym pod wpływem systemu uprawy [1, 2, 5, 11, 23]. Zmiany aktywności enzymów glebowych odzwierciedlają zaburzenia środowiska oddziałujące zarówno na glebę, jak i rośliny [4, 16]. Podstawowe zalety biologicznych metod oceny stanu środowiska glebowego, opartych na oznaczeniach enzymatycznych, to nie tylko możliwość wykonywania seryjnych analiz, ale przede wszystkim zdolność sumarycznego wyrażenia wpływu licznych czynników oraz dokonywania ocen

parametrów niemożliwych do określenia w inny sposób, np. elementów metabolizmu komórkowego [4]. Celem podjętych badań było określenie wpływu systemu uprawy roli na aktywność enzymatyczną gleb zróżnicowanych typologicznie.

Badania te zaplanowano jako kontynuację wcześniej wykonanych prac badawczych [5]. Niniejsza praca może być podstawą do prognozowania trendów zmian stosunków siedliskowych zachodzących pod wpływem systemu uprawy gleb [3].

## MATERIAŁ I METODY

Badania zlokalizowano w zachodniej Polsce w obrębie regionu Wielkopolska, na terenie Gospodarstwa Rolnego Karolew, zajmującego powierzchnię około 2500 hektarów, gdzie od ponad 10 lat stosowany jest uproszczony system uprawy roli oraz na przyległych polach uprawnych o powierzchni 3–4 hektarów (prywatne gospodarstwa indywidualne), na których produkcja roślinna prowadzona jest w systemie tradycyjnym. Gospodarstwo Karolew, które jest własnością Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, położone jest w gminie Borek Wielkopolski, powiat Gostyń (51° 55' N; 17° 15' E). Według podziału regionalnego Europy, obszar ten zaliczany jest do Wysoczyzny Kaliskiej (318,12) [13].

Region ten, będący poza zasięgiem zlodowacenia bałtyckiego, zbudowany jest z glin zwałowych od powierzchni spiaszczonych i piasków gliniastych pochodzenia zwałowego. Miejscami pojawiają się również piaski słabo gliniaste zalegające na piaskach luźnych pochodzenia lodowcowego lub aluwialnego. Pod względem typologicznym są to gleby płowe i arenosole.

Klimat regionu jest kształtowany przez ścierające się masy powietrza znad Oceanu Atlantyckiego oraz znad wschodniej Europy i Azji, modyfikowanych silnymi wpływami arktycznymi lub śródziemnomorskimi. Powoduje to dużą zmienność warunków pogodowych. Przewaga wiatrów z kierunków zachodnich wskazuje na większy wpływ elementów klimatu oceanicznego, który przejawia się łagodniejszymi zimami, a chłodniejszymi latami niż w Polsce centralnej i wschodniej. Średnie temperatury z okresów wieloletnich dla stycznia na obszarze regionu kształtują się w granicach od -2,8 do -1,5°C, dla lipca od 17,6 do 18,0°C, dla całego roku od 7,5 do 8,4°C. Region Wielkopolski położony jest w strefie najniższych w Polsce opadów, których średnie wieloletnie kształtują się w granicach 500–600 mm [6]. Rozkład opadów w czasie jest niezbyt korzystny dla rolnictwa, gdyż w sezonie wiosennym występują często okresy suszy – głównie w maju i czerwcu. Podobnie niskie opady w miesiącach zimowych – od października do lutego – często nie wyrównują deficytów wodnych, powodowanych ewapotranspiracją wyższą zazwyczaj w sezonie wegetacyjnym od opadu.

Badania porównawcze aktywności enzymatycznej, uwzględniające dwa systemy uprawy: tradycyjny (płużny) i uproszczony (bezorkowy), prowadzono na glebach zróżnicowanych typologicznie, rodzajowo i gatunkowo: płowych i arenosolach. Obiektami badań było 8 profilów gleb o podobnych lub identycznych cechach i zbliżonej budowie morfologicznej zarówno w obrębie uprawy tradycyjnej (CL, gospodarstwa prywatne – 4 profile), jak i uproszczonej (SI, Gospodarstwo Rolne Karolew – 4 profile).

W obydwu systemach uprawy stosowany jest płodozmian. Dawki nawozów mineralnych są dostosowywane do wymagań roślin i właściwości gleby.

Próbki glebowe pobrano w październiku 2009 roku w następujących profilach: gleby płowe – 1 CL i 2SI, 5 CL i 6SI, 7 CL i 8 SI; arenosole – 3 CL i 4 SI, z warstw: 0–10, 10–20 i 20–30 cm. Badaniami objęto pola obsiane pszenicą ozimą. W próbkach glebowych oznaczono aktywność pięciu enzymów: dehydrogenaz [24], kwaśnej i alkalicznej fosfatazy [22], ureazy [26] oraz proteazy [14]. Ponadto oznaczono podstawowe właściwości chemiczne badanych gleb: pH w 1 mol KCl·dm<sup>-3</sup> (ISO 10390), zawartość: węgla organicznego (ISO 14235C), azotu całkowitego (ISO 13878), przyswajalnych form potasu i fosforu [9].

Analizę statystyczną wykonano przy wykorzystaniu programu Statistica 6.0 PL.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Gleby uprawiane tradycyjnie (obiekty: 1 CL, 3 CL, 5 CL, 7 CL) cechowały się odczynem od lekko kwaśnego do obojętnego, a gleby w uproszczonym systemie uprawy (obiekty: 2 SI, 4 SI, 6 SI, 8 SI) – od kwaśnego do lekko kwaśnego (Tab. 1).

Tabela 1. Wybrane właściwości chemiczne gleb

| Profil<br>Nr        | Warstwa<br>(cm) | pH  | OC   | TN   | OC:TN | P                      | K     |
|---------------------|-----------------|-----|------|------|-------|------------------------|-------|
|                     |                 | KCl | (% ) |      |       | (mg·kg <sup>-1</sup> ) |       |
| 1 CL                | 0-10            | 6,6 | 0,82 | 0,09 | 9,1   | 162,8                  | 95,3  |
|                     | 10-20           | 6,7 | 0,79 | 0,08 | 9,8   | 159,2                  | 55,9  |
|                     | 20-30           | 6,4 | 0,41 | 0,04 | 10,2  | 158,3                  | 25,1  |
| 2 SI                | 0-10            | 5,3 | 1,55 | 0,14 | 11,0  | 395,1                  | 467,5 |
|                     | 10-20           | 6,1 | 0,99 | 0,10 | 9,9   | 229,6                  | 200,4 |
|                     | 20-30           | 6,2 | 0,78 | 0,08 | 9,7   | 202,7                  | 138,3 |
| 3 CL                | 0-10            | 6,4 | 0,86 | 0,09 | 9,5   | 260,4                  | 192,8 |
|                     | 10-20           | 6,8 | 0,78 | 0,08 | 9,7   | 249,2                  | 179,1 |
|                     | 20-30           | 6,5 | 0,39 | 0,04 | 9,7   | 263,5                  | 112,9 |
| 4 SI                | 0-10            | 5,2 | 1,19 | 0,11 | 10,8  | 423,9                  | 312,7 |
|                     | 10-20           | 5,8 | 0,95 | 0,09 | 10,5  | 359,1                  | 202,3 |
|                     | 20-30           | 6,1 | 0,62 | 0,06 | 10,3  | 296,5                  | 179,2 |
| 5 CL                | 0-10            | 5,9 | 1,21 | 0,12 | 10,0  | 169,6                  | 190,4 |
|                     | 10-20           | 6,2 | 1,02 | 0,10 | 10,2  | 153,2                  | 150,8 |
|                     | 20-30           | 5,8 | 0,74 | 0,07 | 10,5  | 137,0                  | 116,1 |
| 6 SI                | 0-10            | 5,1 | 1,65 | 0,15 | 11,0  | 288,5                  | 279,4 |
|                     | 10-20           | 5,4 | 1,44 | 0,13 | 11,0  | 160,9                  | 211,0 |
|                     | 20-30           | 5,5 | 1,36 | 0,12 | 11,3  | 117,3                  | 153,2 |
| 7 CL                | 0-10            | 6,0 | 1,19 | 0,12 | 9,9   | 166,1                  | 204,6 |
|                     | 10-20           | 6,2 | 0,98 | 0,10 | 9,8   | 121,2                  | 111,9 |
|                     | 20-30           | 6,1 | 0,79 | 0,08 | 9,8   | 104,2                  | 92,3  |
| 8 SI                | 0-10            | 5,5 | 1,65 | 0,16 | 10,3  | 231,5                  | 269,4 |
|                     | 10-20           | 6,1 | 1,24 | 0,12 | 10,3  | 168,9                  | 129,7 |
|                     | 20-30           | 6,2 | 1,10 | 0,10 | 11,0  | 110,8                  | 99,2  |
| LSD <sub>0,05</sub> |                 |     | 0,22 | 0,02 | 0,8   | 55,8                   | 36,2  |

Objaśnienia: CL – system tradycyjny; SI – system uproszczony; OC – węgiel organiczny; TN – azot całkowity; P i K – przyswajalne formy fosforu i potasu

Wzrost zakwaszenia gleb uprawianych systemem uproszczonym wiązał się z istotnym nasileniem procesów biochemicznych w środowisku glebowym (Tab. 2). Produkty transformacji materii organicznej (m.in. CO<sub>2</sub> i niskocząsteczkowe kwasy organiczne), których ilość związana jest z aktywnością metaboliczną drobnoustrojów i wydzielanymi przez nie enzymami ma znaczący udział w zakwaszeniu gleb [12]. Na większości badanych obiektów wartości pH<sub>KCl</sub> wierzchniej warstwy gleb (0–10 cm) były mniejsze niż w warstwach głębszych (10–20 i 20–30 cm).

Tabela 2. Aktywność enzymatyczna gleb (Dh – dehydrogenazy w cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>, Pac – kwasna fosfataza i Pal – alkaliczna fosfataza w mmol PNP·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, Ur – ureaza w mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>, Pr – proteaza w mg tyrozyny·g<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>)

| Profile No.         | Layer (cm) | Dh  | Pac   | Pal   | Ur   | Pr   |
|---------------------|------------|-----|-------|-------|------|------|
| 1 CL                | 0-10       | 3,9 | 78,3  | 92,9  | 26,3 | 14,3 |
|                     | 10-20      | 3,5 | 69,2  | 84,7  | 24,5 | 11,2 |
|                     | 20-30      | 2,4 | 47,9  | 52,8  | 9,8  | 7,6  |
| 2 SI                | 0-10       | 8,5 | 126,7 | 174,5 | 46,5 | 21,8 |
|                     | 10-20      | 7,7 | 82,1  | 115,6 | 27,1 | 15,4 |
|                     | 20-30      | 2,8 | 70,4  | 61,4  | 8,5  | 7,2  |
| 3 CL                | 0-10       | 2,2 | 69,8  | 52,3  | 11,4 | 10,4 |
|                     | 10-20      | 1,4 | 59,5  | 36,4  | 7,6  | 9,2  |
|                     | 20-30      | 0,9 | 35,9  | 26,1  | 4,3  | 6,5  |
| 4 SI                | 0-10       | 6,6 | 101,3 | 72,6  | 18,8 | 15,3 |
|                     | 10-20      | 5,1 | 76,6  | 61,7  | 10,1 | 11,2 |
|                     | 20-30      | 1,1 | 58,4  | 42,8  | 5,2  | 6,9  |
| 5 CL                | 0-10       | 4,2 | 112,5 | 81,2  | 24,3 | 16,1 |
|                     | 10-20      | 3,8 | 110,3 | 66,3  | 10,6 | 13,2 |
|                     | 20-30      | 2,6 | 75,0  | 48,5  | 4,3  | 8,6  |
| 6 SI                | 0-10       | 9,3 | 154,1 | 156,1 | 39,4 | 21,2 |
|                     | 10-20      | 8,5 | 127,9 | 123,7 | 13,2 | 15,3 |
|                     | 20-30      | 3,1 | 96,2  | 61,6  | 5,1  | 9,1  |
| 7 CL                | 0-10       | 4,3 | 126,4 | 62,9  | 22,4 | 15,9 |
|                     | 10-20      | 3,9 | 120,9 | 41,5  | 10,7 | 14,1 |
|                     | 20-30      | 2,6 | 109,1 | 38,4  | 4,9  | 8,7  |
| 8 SI                | 0-10       | 9,8 | 174,5 | 116,9 | 36,5 | 20,4 |
|                     | 10-20      | 9,1 | 140,2 | 90,3  | 12,9 | 15,8 |
|                     | 20-30      | 3,0 | 131,3 | 51,2  | 5,4  | 9,2  |
| LSD <sub>0,05</sub> |            | 0,6 | 23,9  | 17,5  | 2,8  | 4,3  |

Objaśnienia: CL – system tradycyjny; SI – system uproszczony

Zawartość węgla organicznego i azotu całkowitego w glebach uprawianych systemem uproszczonym była wyraźnie większa niż w glebach uprawianych klasycznie. Statystycznie istotne

różnice zanotowano wyłącznie w przypadku gleby płowej (obiekty: 1–2, 5–6, 7–8), głównie w ich powierzchniowej (0–10 cm) warstwie (Tab. 1). Ilości węgla organicznego i azotu ogółem w warstwach 0–10 i 10–20 cm badanych gleb były istotnie większe niż w warstwie 20–30 cm (Tab. 1). W powierzchniowej (0–10 cm) warstwie badanych gleb wartości stosunku C:N były istotnie większe w warunkach stosowania uprawy uproszczonej niż w uprawie tradycyjnej (Tab. 1).

W badanych glebach zawartość przyswajalnego fosforu kształtowała się w zakresie zawartości bardzo wysokich: 104,2–263,5 mg·kg<sup>-1</sup> na obiektach z uprawą tradycyjną i 110,8–423,9 mg·kg<sup>-1</sup> w przypadku uprawy uproszczonej. Statystycznie istotny przyrost tej formy fosforu pod wpływem stosowania ograniczonej uprawy roli zanotowano przede wszystkim w powierzchniowej (0–10 cm) warstwie gleb (Tab. 1). Pionowe rozmieszczenie fosforu, który jest składnikiem mało ruchliwym, uzależnione było wyraźnie od systemu uprawy roli. W systemie klasycznym, z typową uprawą płuźną i corocznym przemieszczaniem gleby w czasie uprawy, zawartość przyswajalnych form fosforu w analizowanych warstwach gleby (0–10, 10–20 i 20–30 cm) była podobna. W uprawie uproszczonej zawartość tego składnika w warstwach powierzchniowych (0–10 cm) była kilkakrotnie większa niż w warstwach 20–30 cm (Tab. 1).

Zawartość potasu przyswajalnego w powierzchniowej warstwie gleb uprawianych systemem uproszczonym wahała się w zakresie wartości wysokich (269,4–467,5 mg·kg<sup>-1</sup>), a w pozostałych glebach w zakresie wartości niskich i średnich (25,1–211,0 mg·kg<sup>-1</sup>), (Tab. 1). Podobnie jak w przypadku przyswajalnego fosforu statystycznie istotny przyrost tej formy potasu w warunkach stosowania ograniczonej uprawy roli zanotowano głównie w powierzchniowej warstwie gleb. Na wszystkich obiektach badawczych ilość potasu przyswajalnego w glebach malała istotnie wraz ze wzrostem głębokości (Tab. 1). Przyswajalne formy tego pierwiastka, z powodu swej rozpuszczalności są narażone na wymywanie.

Aktywność wszystkich badanych enzymów była wyraźnie niższa w glebach uprawianych tradycyjnie niż w glebach uprawianych systemem uproszczonym (Tab. 2). Tradycyjna uprawa roli zmieniając pionowe rozmieszczenie, skład chemiczny i wielkość cząstek substancji organicznej, a także warunki wodno-powietrzne w środowisku glebowym oddziałuje zarówno na aktywność enzymatyczną, jak i biomasę drobnoustrojów [5, 7, 21]. Badania Schultena i in. [21] wykazały, że zwiększeniu wielkości cząstek i złożoności wiązań materii organicznej w glebie uprawianej systemem klasycznym (uprawa płuźna) towarzyszyło istotne zmniejszenie (w granicach 60–80%) aktywności enzymów biorących udział w cyklu przemian C, N i P.

Stwierdzono statystycznie istotny wpływ uproszczonej uprawy roli na wzrost aktywności dehydrogenaz i fosfatazy alkalicznej w warstwach 0–10 i 10–20 cm, a fosfatazy kwaśnej, ureazy oraz proteazy wyłącznie w warstwie 0–10 cm. Z ekologicznego punktu widzenia istotne jest, iż obserwowana w niniejszych badaniach wysoka aktywność enzymatyczna w powierzchniowej warstwie gleb uprawianych systemem uproszczonym wystąpiła w okresie trzech kolejnych lat [5], co świadczyłoby o utrwaleniu się tego stanu gleby. Liczne dane z literatury przedmiotu [7, 20, 21] potwierdzają, że korzystny wpływ uproszczonej uprawy roli na aktywność enzymów zaznacza się przede wszystkim w powierzchniowej warstwie gleb.

W warunkach uprawy uproszczonej aktywność badanych enzymów w powierzchniowych warstwach gleb była większa około: dehydrogenaz o 50–70%, fosfatazy kwaśnej i fosfatazy

alkalicznej o 30–50%, ureazy o 40%, a proteazy o 20–30% niż w glebie uprawianej tradycyjnie. Szczególnie szeroki zakres aktywności uzyskany dla dehydrogenaz wskazuje na przydatność tej grupy enzymów do oceny zmian w środowisku glebowym pod wpływem systemu uprawy roli. Obserwowanej stymulacji aktywności badanych enzymów towarzyszyła wyraźnie większa niż w przypadku uprawy tradycyjnej zawartość  $C_{org.}$  i  $N_{og.}$  w powierzchniowych warstwach gleb (Tab. 1). W niniejszych badaniach wykazano, że aktywność analizowanych enzymów była dodatnio skorelowana z zawartością  $C_{org.}$ :  $r = 0,88-0,91$ , przy  $p \leq 0,001$ . Wyniki te jeszcze raz potwierdzają, że poziom aktywności enzymów glebowych jest determinowany głównie zawartością materii organicznej. Związane jest to z dynamicznym rozwojem mikroorganizmów spowodowanej obfitością łatwo dostępnej substancji energetycznej.

Generalnie, gleby płowe (obiekty: 1–2, 5–6, 7–8) cechowały się wyższą aktywnością enzymatyczną niż arenosole (obiekty 3–4), (Tab. 2). Każdy typ gleby cechuje charakterystyczny skład specyficznych enzymów i właściwy sobie poziom aktywności enzymatycznej. Różnice w kształtowaniu się aktywności enzymatycznej w różnych typach gleb spowodowano są głównie tym, że każdy typ gleby zależnie od jej pochodzenia i warunków rozwojowych jest odmienny pod względem zawartości materii organicznej, składu granulometrycznego i aktywności mikroorganizmów [10].

## WNIOSKI

1. Testy enzymatyczne okazały się dobrymi wskaźnikami różnicującymi badane obiekty glebowe w zależności od systemu uprawy roli.
2. Stosowanie uprawy uproszczonej stymulowało istotnie aktywność analizowanych enzymów, niezależnie od typu gleby, co z praktycznego punktu widzenia ma duże znaczenie w aspekcie rozpoznania procesów uwalniających zmagazynowane składniki pokarmowe roślin.
3. Szczególnie szeroki zakres aktywności uzyskano dla dehydrogenaz, co wskazuje na przydatność tej grupy enzymów do oceny zmian w środowisku glebowym pod wpływem systemu uprawy roli.
4. W powierzchniowych warstwach stymulacji aktywności badanych enzymów towarzyszyły korzystne zmiany właściwości chemicznych gleby. Świadczy to, że ograniczenia w uprawie roli wywołują korzystne zmiany podstawowych elementów żyzności tych gleb.

## LITERATURA

- [1] Bandick A.K., R.P. Dick: *Field management effects on soil enzyme activities*, Soil Biol. Biochem., **31**, 1471–1479, (1999).
- [2] Bielińska E.J., A. Mocek-Płóćiniak: *Field management effects on soil enzyme activities*, Archives of Environmental Protection, **35**, 3, 101–107, (2009).
- [3] Bielińska E.J., J. Pranagal: *Enzymatic activity as an indicator of degradation of agriculturally used silty soils* (in Polish with English summary), Roczn. Glebozn., **57**, 1/2, 41–49, (2006).
- [4] Bielińska E.J., J. Pranagal: *Enzymatic activity of soil contaminated with triazine herbicides*, Polish J. of Environ. Stud., **16**, 2, 295–300, (2007).
- [5] Bielińska E.J., A. Mocek, M. Paul-Lis: *Impact of the tillage system on the enzymatic activity of typologically diverse soils*, Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, **53** (3), 10–13, (2008).

- [6] CSO (Central Statistical Office): *Environment 2009. Statistical information and elaborations* (in Polish with English summary), Statistical Publishing Establishment, Warsaw, pp. 540, (2009).
- [7] Curci M., M.D.R. Pizzigallo, C. Crecchio, R. Mininni, P. Ruggiero: *Effect of conventional tillage on biochemical properties of soils*, Biol. Fert. Soils, **25**, 1, 1–6, (1997).
- [8] Domżał H., A. Słowińska-Jurkiewicz: *The effect of different tillage systems for winter wheat cultivation on morphological structure of soil arable layer* (in Polish with English summary), Fragmenta Agronomica, **4**, 18–33, (1995).
- [9] Egner H., H. Riehm, W.R. Domingo: *Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden: II Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung*, Kungl. Lantbrukshögskolans Annaler, **25**, 204–209, (1960).
- [10] Gianfreda L., J.M. Bollag: *Influence of natural and anthropogenic factors on enzyme activity in soil*, Soil Biochemistry. G. Stotzky, J.M. Bollag (red.) Marcel Dekker, New York, **9**, 123–135, (1996).
- [11] Haynes R.J., K.L. Knight: *Comparison of chemical properties, enzyme activities, levels of biomass N and aggregate stability in the soil profile under conventional and no-tillage in Canterbury, New Zealand*, Soil and Tillage Research, **14**, 3, 197–208, (1989).
- [12] Kelly E.F., O.A. Chadwick, T.E. Hiliński: *The effect of plants on mineral weathering*, Biogeochemistry, **42**, 21–53, (1998).
- [13] Kondracki J.: *Regional geography of Poland* (in Polish), Wydawnictwo Naukowe PWN, Warsaw, pp. 440, (2000).
- [14] Ladd N., J.H.A. Butler: *Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates*, Soil Biol. Biochem., **4**, 19–30, (1972).
- [15] Lipiec J., J. Kuś, A. Słowińska-Jurkiewicz, A. Nosalewicz: *Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods*, Soil & Tillage Research, **89**, 210–220, (2006).
- [16] Margesin R., A. Zimmerbauer, F. Schinner: *Monitoring of bioremediation by soil biological activities*, Chemosphere, **40**, 339–346, (2000).
- [17] Maurel M., J. Ricard: *The evolution of catalytic function*, Phys. Life Rev., **3**, 56–64, (2006).
- [18] Niewiadomska A., H. Sulewska, A. Wolna-Maruwka, J. Klama: *Effect of organic fertilization on development of proteolytic bacteria and activity of proteases in the soil for cultivation of maize (Zea mays L.)*, Archives of Environmental Protection, **36**, 2, 47–56, (2010).
- [19] Nortcliff S.: *Standardisation of soil quality attributes*, Agricult. Ecos. Environ., **88**, 161–168, (2002).
- [20] Samuel A., S. Kiss, M. Sandor: *Phosphatase activities in a brown luvisol soil*, Studia Universitatis Babeş Bolyai, Biologia, **45**, 1, 91–99, (2000).
- [21] Schulten H.R., C.M. Montreal, M. Schnitzer (1995): *Effect of long-term cultivation on the chemical structure of soil organic matter*, Naturwissenschaften, **81**, 1, 42–44, (1995).
- [22] Tabatabai M.A., J.M. Bremner: *Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity*, Soil Biol. Biochem., **1**, 301–307, (1969).
- [23] Taylor J.P., B. Wilson, M.S. Mills, R.G. Burns: *Comparison of microbial number and enzymatic activities in surface soils and subsoil using various techniques*, Soil Biol. Biochem., **34**(3), 387–401, (2002).
- [24] Thalmann A.: *Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenaseaktivität in Bodenmittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC)*, Landwirtsch. Forsch., **21**, 249–258, (1968).
- [25] Tian Y., X. Zhang, J. Liu, Q. Chen, L. Gao: *Microbial properties of rhizosphere soils as affected by rotation, grafting, and soil sterilization in intensive vegetable production systems*, Scient. Horticult., **123**, 139–147 (2009).
- [26] Zantua M.I., J.M. Bremner: *Comparison of methods of assaying urease activity in soils*, Soil Biol. Biochem., **7**, 291–295, (1975).