

Praca przeglądowa

WPLYW ŚRODKÓW OCHRONY ROŚLIN NA AKTYWNOŚĆ MIKROBIOLOGICZNĄ GLEBY

**Małgorzata Baćmaga, Jan Kucharski,
Jadwiga Wyszowska**

**Katedra Mikrobiologii
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie**

Abstrakt

Środki ochrony roślin należą do substancji toksycznych, które ze względu na powszechność stosowania występują we wszystkich ekosystemach środowiska. Występowanie biocydów w glebie jest związane z nieprawidłową działalnością człowieka. Obecność tych ksenobiotyków w glebie jest niebezpieczna dla zasiedlających ją organizmów, głównie mikroorganizmów glebowych. Długotrwałe zaleganie biocydów w glebie oraz ich kumulacja są często przyczyną zmian aktywności mikrobiologicznej gleby, najczęściej w składzie ilościowym mikroflory glebowej i aktywności enzymatycznej. Liczebność drobnoustrojów glebowych i aktywność enzymatyczna należą do wskaźników umożliwiających ocenę zmian zachodzących w zanieczyszczonej glebie oraz zdolności do biodegradacji zanieczyszczeń.

Sł o w a k l u c z o w e: środki ochrony roślin, mikroorganizmy glebowe, aktywność enzymatyczna.

INFLUENCE OF PLANT PROTECTION PRODUCTS ON THE MICROBIOLOGICAL ACTIVITY OF SOIL

Abstract

Plant protection products belong to toxic substances which, due to their widespread application, are found in all environmental ecosystems. The presence of biocides in soil is associated with human error. Presence of xenobiotics in soil poses a threat to organisms which live in it, mainly to soil microorganisms. Long-term presence and accumulation of biocides in soil is

prof. dr hab. Jadwiga Wyszowska, Katedra Mikrobiologii, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, pl. Łódzki 3, 10–727 Olsztyn, e-mail: jadwiga.wyszowska@uwm.edu.pl

often the cause of modifications of the microbiological activity of soil. Most often these substances induce changes to quantities of soil microflora and enzymatic activity. The number of soil microorganisms and enzymatic activity belong to indicators which allow us to estimate changes in polluted soil and biodegradation ability of soil.

Key words: plant protection products, soil microorganisms, enzymatic activity.

WSTĘP

Gleba to powierzchniowa warstwa skorupy ziemskiej, która zbudowana jest ze związków mineralnych i substancji organicznych. Powstaje ona w wyniku skomplikowanych procesów glebotwórczych, które zachodzą pod wpływem działania czynników biotycznych i abiotycznych. Gleba należy do najważniejszych elementów ekosystemów lądowych, decydując w dużej mierze o utrzymaniu życia na ziemi. Ze względu na właściwości chemiczne i fizyczne jest ona siedliskiem olbrzymiej ilości żywych organizmów, głównie drobnoustrojów glebowych. Dzięki mikroorganizmom uczestniczy w procesie mineralizacji, który decyduje o jej żyzności (KOBUS 1995, RUSSEL 2005).

Gleba stanowi element środowiska przyrodniczego, który jest najbardziej narażony na działanie zanieczyszczeń występujących w środowisku, w tym również środków ochrony roślin. Biocydy należą do grupy związków chemicznych pochodzenia naturalnego i syntetycznego, które najczęściej są wykorzystywane do niszczenia organizmów szkodliwych (SÁNCHEZ i in. 2004, MENON i in. 2005). Używane są również do zwalczania chorób roślin oraz regulacji ich wzrostu i rozwoju. Dzięki chemicznej ochronie roślin uzyskuje się wysokie plony roślin oraz pożądane cechy jakościowe (WYSZKOWSKI, WYSZKOWSKA 2004ab). Stosowanie przez wiele lat w praktyce rolniczej środków ochrony roślin doprowadziło do ich nagromadzenia się w glebie, co powoduje wiele ubocznych skutków (WĘGOREK 1994, JOHNSEN i in. 2001, WŁOCH i in. 2005). Nieumiejętne stosowanie tych preparatów jest często przyczyną zaburzenia wielu procesów, jakie zachodzą w środowisku glebowym (ANDERSON i in. 1994, KASZUBIAK i in. 1994, KLIMACH, WIECZOREK 1998, MICHEL 1999, WYSZKOWSKA 2002abc). Środki ochrony roślin pod wpływem czynników chemicznych, biologicznych i fizycznych ulegają przemianom, w wyniku których powstają produkty rozpadu, często bardziej toksyczne niż produkty wyjściowe (KOTRIKLA i in. 1999, GRIFFITHS i in. 2001, WALKER i in. 2001). Biocydy to substancje o dużej aktywności biologicznej, które nie wpływają obojętnie na liczebność drobnoustrojów i aktywność enzymatyczną gleby (PRZYBULEWSKA i in. 2004). Zalegające w glebie środki ochrony roślin mogą stanowić niebezpieczeństwo dla organizmów bytujących w tym środowisku. Toksyczność tych preparatów przejawia się najczęściej zmniejszeniem ich liczebności oraz zmianami aktywności enzymatycznej. Zachwianie równowagi biologicznej gleby jest widoczne w ilości

dostępnych dla roślin pierwiastków w roztworze glebowym, co wiąże się w dużym stopniu z kształtowaniem ilości i jakości płodów rolnych (WYSZKOWSKI, WYSZKOWSKA 2004ab) .

LICZEBNOŚĆ DROBNOUSTROJÓW GLEBOWYCH

Drobnoustroje odgrywają istotną rolę w środowisku ze względu na ich udział w przemianach związków i obiegu materii w przyrodzie. Dzięki tym organizmom następuje proces mineralizacji związków organicznych, które zawarte są w obumarłych szczątkach roślinnych i zwierzęcych. Mikroorganizmy mają duży udział w rozkładzie substancji toksycznych, do których należą również biocydy (WIELGOSZ i in. 2004). Szczególną rolę w degradacji tych ksenobiotyków odgrywają grzyby glebowe, ze względu na ich wysoką odporność na niesprzyjające warunki środowiska. Mniejszą aktywność niż grzyby w degradacji biocydów przejawiają bakterie i promieniowce (BANASZKIEWICZ 2003). Środki ochrony roślin zalegające w środowisku glebowym mogą negatywnie wpływać na organizmy glebowe, powodując modyfikacje w ich składzie ilościowym i jakościowym (NOWAK i in. 1999, MEGHARAJ i in. 2000, DAS i in. 2003). Właściwości mikrobiologiczne i biochemiczne gleby zależą w dużym stopniu od szybkości rozkładu biocydów zalegających w glebie (BERGER 1998, JOHNSEN i in. 2001, SØRENSEN i in. 2003). Liczebność drobnoustrojów glebowych jest jednym z parametrów świadczących o aktywności mikrobiologicznej gleby (KOBUS 1995, NOWAK 1996, PRZYBULEWSKA 2004). Zależy ona od wielu czynników, przede wszystkim typu gleby i systemu jej uprawy (MYŚKÓW 1981, DĄBEK-SZRENIEWSKA i in. 2004) oraz zawartości substancji organicznej, pH, wilgotności i temperatury (KOBUS 1995, SWĘDRZYŃSKA 2004, MICHALCEWICZ 2004, GÓRSKA, RUSSEL 2004). Stopień toksyczności i szybkość rozkładu biocydów zależą przede wszystkim od ich dawki oraz budowy substancji aktywnej (AWASTHI i in. 2000). Substancja aktywna, będąca podstawowym składnikiem środków ochrony roślin, może być przyczyną zahamowania wzrostu i rozwoju drobnoustrojów. Oddziaływanie tych ksenobiotyków na rozwój drobnoustrojów przejawia się często zaburzeniami w metabolizmie komórki, który związany jest z przenikaniem ich do jej wnętrza (BALICKA 1983, WYSZKOWSKA 2004). Środki ochrony roślin stosowane zgodnie z zaleceniami producenta w dawkach optymalnych przyczyniają się do niewielkich zmian w liczebności żywych mikroorganizmów. Zaaplikowanie ich do gleby w nadmiarze powoduje zmiany liczebności poszczególnych grup drobnoustrojów (ANDERSON i in. 1994, KASZUBIAK i in. 1994). Liczebność mikroorganizmów jest jednym z najczęściej stosowanych wskaźników biologicznych związanych z żyznością i produktywnością gleby (FURCZAK, TURSKA 2006). W glebach żyznych, zawierających znaczne ilości materii organicznej, liczebność drobnoustrojów jest zazwyczaj większa niż w glebach ubogich.

MYŚKÓW i in. (1998) donoszą, iż największa liczba bakterii i promieniowców występuje w glebach lessowych, średnia w madach i piasku gliniastym, natomiast najniższa w piasku luźnym. Twierdzą oni również, że rozwój mikroorganizmów glebowych jest ściśle związany z aktywnością niektórych enzymów, głównie dehydrogenaz i fosfatazy alkalicznej. Rozwój mikroorganizmów w glebach organicznych jest również uzależniony od stosunków powietrzno-wodnych. Obniżenie poziomu wód powoduje intensywny rozwój bakterii amonifikacyjnych i grzybów oraz promieniowców (DĄBEK-SZRENIAWSKA i in. 2004).

MICHALCEWICZ (1995) badając próbki glebowe zanieczyszczone biocydami zaobserwowała, że dawka 10-krotnie wyższa od optymalnej powoduje wzrost liczebności bakterii w glebie, natomiast przekroczenie dawki 100-krotnie większej od dawki zalecanej w praktyce rolniczej przyczynia się do zmniejszenia ich liczebności. Zmiany, jakie zachodziły pod wpływem stosowanych preparatów, były niewielkie i zazwyczaj krótkotrwałe. Biocydy użyte w doświadczeniu to herbicydy, fungicydy i insektycydy. Stosowano je do chemicznej ochrony sadu jabłoniowego, bobiku, pszenicy ozimej oraz ziemniaków.

WĘGOREK i in. (1994) badali wpływ środków ochrony roślin na liczebność bakterii eutroficznych, oligotroficznych i *Azotobacter* spp., a także liczebność promieniowców w glebie biellicowej wytworzonej z piasku gliniastego mocnego. Liczebność badanych mikroorganizmów w glebie zanieczyszczonej, w porównaniu z glebą kontrolną, uległa niewielkim zmianom. W przypadku *Azotobacter* spp. widoczny był zarówno wzrost, jak i spadek liczebności pod wpływem stosowanych preparatów, w zależności od uprawianej rośliny i terminu analizy. W badaniach wykazano, że podczas długotrwałego stosowania biocydów zmiany w liczebności drobnoustrojów były niewielkie. Często występowały tylko przez część okresu wegetacyjnego lub zanikały w następnym sezonie.

Środki ochrony roślin nie tylko modyfikują liczebność bakterii i promieniowców, ale również mają wpływ na rozwój grzybów. Negatywny wpływ fungicydów na rozwój grzyba *Trichoderma viride* odnotowali KLIMACH i WIECZOREK (1998). Fungicydy stosowane w dawce od 10 do 800 mg·kg⁻¹ hamowały rozwój ww. grzyba nawet 2-krotnie.

Według WYSZKOWSKIEJ (2004), znaczne zmiany w życiu biologicznym gleby powodują herbicydy. Autorka badała wpływ herbicydu Triflurotox 250 EC na drobnoustroje glebowe, stosując następujące dawki: 0, 1,5, 3, 4,5, 6, 9 i 12 mm³·kg⁻¹. Zaaplikowanie do gleby wysokich dawek herbicydu powodowało zmniejszenie średniej liczebności bakterii oligotroficznych, oligotroficznych przetrwalnikujących, koptotroficznych przetrwalnikujących, amonifikacyjnych, immobilizujących azot, celulolitycznych oraz promieniowców i grzybów. Najbardziej wrażliwe okazały się bakterie z rodzaju *Azotobacter*.

WYSZKOWSKA (2002b) badała także zmiany liczebności drobnoustrojów glebowych pod wpływem zanieczyszczenia gleby herbicydem Treflen 480 EC. Autorka zastosowała takie same dawki preparatu jak w poprzednim doświadczeniu. Zanieczyszczenie gleby badanym herbicydem przyczyniło się do zachwiania jej równowagi mikrobiologicznej. Spośród wszystkich badanych grup drobnoustrojów, *Azotobacter* spp. był najbardziej wrażliwy na działanie Treflenu 480 EC, podobnie jak w doświadczeniu z Triflurotoxem 250 EC. Na bakterie koptroficzne i oligotroficzne testowany preparat nie miał dużego wpływu – liczebność ich uległa niewielkim zmianom.

WYSZKOWSKA i KUCHARSKI (2004b) badając wpływ herbicydu Chwastox Trio 540 SL na różne grupy mikroorganizmów dowiedli, że zastosowanie dawki optymalnej może powodować zmiany w aktywności drobnoustrojów glebowych. Najniższa dawka powodowała wzrost liczebności bakterii koptroficznych i promieniowców oraz zmniejszenie liczby grzybów. Dawki wyższe od optymalnej (5- i 10-krotnie) wpływały negatywnie na bakterie z rodzaju *Azotobacter*, bakterie celulolityczne, oligotroficzne, koptroficzne przetrwalnikujące oraz grzyby.

Środki ochrony roślin nie wpływają wyłącznie negatywnie na drobnoustroje glebowe. Nowoczesne preparaty zazwyczaj stwarzają mniejsze zagrożenie dla środowiska i organizmów żywych. NOWAK i in. (1999) wskazują, że nowoczesne herbicydy działały mniej negatywnie niż herbicydy starszej generacji. Dodane do gleby herbicydy pirydynowe wpływały modyfikująco na liczebność poszczególnych grup drobnoustrojów. Najczęściej zmniejszała się liczba bakterii i grzybów, a zwiększała liczba promieniowców. Nowoczesne herbicydy działały zdecydowanie mniej negatywnie niż starszej generacji. Istotny wpływ na liczebność drobnoustrojów miał rodzaj gleby użytej w doświadczeniu. Ograniczenie liczebności mikroorganizmów było bardziej widoczne w glebie lekkiej, a stymulacja w glebie ciężkiej. Badania te wykazały, że nowoczesne preparaty są mniej toksyczne i nie stwarzają zagrożenia dla życia biologicznego gleby.

Zdaniem KASZUBIAKA i DURSKEJ (2000), biocydy nie działają wyłącznie toksycznie na mikroorganizmy glebowe, mogą one wpływać odżywczo na drobnoustroje dostarczając im substancji organicznych. Autorzy badali wpływ fungicydu Oxafun T na liczebność bakterii koptroficznych, oligotroficznych, asymilujących alkohol metylowy oraz bakterii z rodzaju *Pseudomonas*. Zastosowany w badaniach preparat nie działał negatywnie na bakterie, wręcz przeciwnie – powodował wzrost ich liczebności. W czasie trwania doświadczenia liczebność bakterii oligotroficznych wzrosła o ok. 54%, natomiast bakterii koptroficznych i bakterii asymilujących alkohol metylowy była nieco niższa i wynosiła odpowiednio 35 i 30%. Autorzy obserwowali, że podczas trwania eksperymentu najwięcej namnożyło się bakterii z rodzaju *Pseudomonas*, których liczebność wzrosła średnio 5-krotnie.

PIOTROWSKI i ŚLIZAK (1992) badali zmiany liczebności drobnoustrojów amylopolitycznych i proteolitycznych pod wpływem działania fungicydów Dithane M-45 i Oxafun T. Reakcja tych mikroorganizmów – w zależności od rodzaju nawożenia – była pozytywna lub negatywna. Bakterie te najliczniej występowały w glebie nienawożonej. Zastosowanie do gleby badanych fungicydów przyczyniło się do zmniejszenia liczebności bakterii amylopolitycznych 2-krotnie w stosunku do prób kontrolnych, niezależnie od stosowanego nawożenia. Po zaaplikowaniu do gleby preparatów wyraźny spadek liczebności bakterii proteolitycznych zaobserwowano w glebie nawożonej NPK i obornikiem.

PRZYBULEWSKA i in. (2004) również badali wpływ środków ochrony roślin na liczebność bakterii lipolitycznych, amylopolitycznych i proteolitycznych. W doświadczeniu zaaplikowano trzy preparaty: Roundup 360 SL, Mospilan 20 SP i Miedzian 50 WP, stosując następujące dawki: 1, 10, 100 i 1000 mg·dm⁻³. Autorzy stwierdzili, że istotny wpływ na rozwój badanych mikroorganizmów ma m.in. temperatura, wilgotność oraz dostęp substancji odżywczej. Największy wpływ na działanie biocydów miała temperatura. Zastosowane w doświadczeniu preparaty wywierały większy wpływ na liczebność badanych bakterii w temp. 25°C niż w temp. 37°C. Największe różnice pod wpływem zmian temperatury widoczne były po zastosowaniu fungicydu i insektycydu.

Zdaniem JASTRZĘBSKIEJ i KUCHARSKIEGO (2005), fungicydy mogą przyczynić się do zachwiania równowagi mikrobiologicznej gleby. Autorzy badali wpływ dwóch fungicydów Unix 75 WG i Swing Top 183 SC na liczebność następujących drobnoustrojów glebowych: bakterii oligotroficznych, kopiotroficznych, celulozowych, bakterii z rodzaju *Azotobacter* i *Pseudomo-*

Tabela 1
Table 1

Zmiany liczebności drobnoustrojów pod wpływem herbicydów w %
(wartości dodatnie – przyrost, ujemne – zmniejszenie)
Changes in counts of microorganisms under the effect of herbicides expressed
in % (positive values – increase, negative – decrease)
(wg WYSZKOWSKA 2002a,b, WYSZKOWSKA 2004, WYSZKOWSKA, KUCHARSKI 2004b)

Herbicyd Herbicide	Olig	Cop	Oligp	Copp	Az	Cel	Act	Fun
Triflurotox 250 EC	-30.24	-9.97	-34.01	-34.84	-55.88	-39.19	-43.39	-52.90
Treflan 480 EC	-40.13	-10.91	-9.19	-30.37	-100.0- 0	-19.43	-41.84	-63.62
Chwastox Trio 540 SL	-17.44	12.56	-34.85	-20.46	-43.41	-24.01	1.06	-38.34

Olig – bakterie oligotroficzne – oligotrophic bacteria, Cop – bakterie kopiotroficzne – copiotrophic bacteria, Oligp – bakterie oligotroficzne przetrwalnikujące – oligotrophic sporulating bacteria, Copp – bakterie kopiotroficzne przetrwalnikujące – copiotrophic sporulating bacteria, Az – *Azotobacter* spp., Cel – bakterie celulozowe – cellulolytic bacteria, Act – promieniowce – actinomycetes, Fun – grzyby – fungi

nas oraz grzybów i promieniowców. Oddziaływanie stosowanych preparatów na drobnoustroje zależało od dawki, czasu zalegania w glebie i sposobu użytkowania gleby. Zastosowanie dawki zalecanej przez producenta wpływało pozytywnie na liczebność bakterii koptroficznych. Fungicyd Swing Top 183 SC zwiększył ich liczebność o 20% w glebie obsianej i o 17% w nieobsianej, natomiast Unix 75 WG zwiększył ich liczebność odpowiednio o 48 i 20%. Zaaplikowanie do gleby dawki wyższej od optymalnej (10- i 100-krotnie) hamowało namnażanie się bakterii oligotroficznych, bakterii z rodzaju *Azotobacter* i *Pseudomonas* oraz promieniowców.

Środki ochrony roślin mogą powodować wiele niepożądanych zmian w środowisku glebowym, powodując zachwianie jej równowagi. Parametrem, który pozwala na ocenę działania tych preparatów na środowisko, jest liczebność drobnoustrojów (tab. 1).

AKTYWNOŚĆ ENZYMATYCZNA GLEBY

Środki ochrony roślin to substancje chemiczne, które w wyniku świadomej i przemyślanej działalności człowieka gromadzą się w glebie, powodując wiele ubocznych efektów. Biocydy są używane na całym świecie głównie do ochrony roślin, co polega na kontrolowaniu lub niszczeniu chwastów, owadów, grzybów i innych szkodników. Zarówno akumulacja w glebie, jak i rozproszenie w środowisku tych ksenobiotyków wpływa negatywnie na wszystkie jego elementy, prowadząc do ich degradacji (McDONALD i in. 1999, SRNCHEZ i in. 2004). Środki ochrony roślin ze względu na wysoką aktywność biologiczną są często przyczyną niszczenia organizmów pożytecznych, nie będących celem ich zwalczania (GYLDANKAERNE, JORGENSEN 2000). Negatywny wpływ tych ksenobiotyków na środowisko glebowe zależy przede wszystkim od właściwości fizykochemicznych gleby, rodzaju preparatu oraz czasu ich zalegania w glebie (AWASTHI i in. 2000, DURSKA 2004, SRNCHEZ i in. 2004, WYSZKOWSKA, KUCHARSKI 2004b). Występowanie biocydów w glebie zależy także od rodzaju i truktury chemicznej substancji aktywnej, która decyduje o tempie jego degradacji w środowisku. Ich nadmiar wywiera negatywny wpływ na aktywność biologiczną gleby, której wyznacznikiem jest aktywność enzymatyczna. Aktywność enzymatyczna jest jednym z wielu podstawowych procesów, podtrzymujących i regenerujących urodzajność gleb. Organizmy glebowe poprzez swoją aktywność odgrywają decydującą rolę w kształtowaniu środowiska glebowego i produktywności agroekosystemów (KIELISZEWSKA-ROKICKA 2001, GAJDA i in. 2004). Aktywność enzymatyczna, obok liczebności drobnoustrojów, jest wskaźnikiem biologicznej aktywności gleby (DĄBEK-SZRENIAWSKA i in. 2004). Enzymy glebowe odgrywają bardzo ważną rolę w środowisku. Uczestniczą w obiegu substancji odżywczych i są odbiciem działalności mikroorganizmów,

jako wskaźnika zmian zachodzących w glebie (DICK i in. 2000). Wielu autorów twierdzi, iż aktywność enzymatyczna jest ściśle związana z ogólną liczebnością drobnoustrojów, która jest miernikiem aktywności mikrobiologicznej gleby (MYŚKÓW i in. 1996, GAJDA i in. 2004). Enzymami decydującymi o jakości i żyzności gleby są dehydrogenazy (TRASAR-CAPEDA i in. 2000, WYSZKOWSKA, KUCHARSKI 2004), ureaza oraz fosfataza kwaśna i alkaliczna (WYSZKOWSKA, KUCHARSKI 2004), a także katalaza (SHIYIN i in. 2004) i arylofosfataza (KUCHARSKI 1997). Aktywność enzymatyczna pozwala na obserwację kierunku przemian metabolicznych w glebie, dokonujących się pod wpływem środków ochrony roślin. Głównym źródłem enzymów glebowych są zarówno drobnoustroje, jak i organizmy wyższe, czyli rośliny i zwierzęta (KUCHARSKI 1997). W zależności od rodzaju flory i fauny zasiedlających glebę, enzymy różnią się często wieloma właściwościami: profilem, pH, podatnością na działanie inhibitorów oraz odpornością na proteolizę (GOŁĘBIEWSKA, GRZYB-MIKLEWSKA 1991, KOPER, PIOTROWSKA 1996). Aktywność enzymatyczna gleby jest uwarunkowana zawartością substancji organicznej, która nie zawsze jest odzwierciedleniem ilości dostępnych dla roślin form mineralnych w glebie. Enzymy wskutek wiązania z koloidami mineralnymi i organicznymi stają się bardziej trwałe i odporne na denaturację i proteolizę (GOŁĘBIEWSKA, GRZYB-MIKLEWSKA 1991). Aktywność enzymatyczna, podobnie jak liczebność drobnoustrojów, jest uzależniona od czynników środowiska, do których należą: rodzaj gleby, system uprawy, nawożenie, wilgotność oraz gatunek uprawianej rośliny (DĄBEK-SZRENIEWSKA i in. 2004, KUCHARSKI i in. 2004). Bardzo istotny wpływ na enzymy glebowe wywiera odczyn gleby. Spośród wszystkich enzymów do najbardziej wrażliwych na pH gleby należą fosfataza kwaśna i fosfataza alkaliczna (TRASAR-CAPEDA i in. 2000, DICK i in. 2000). KOBUS (1995) twierdzi, że zahamowanie aktywności proteaz w glebie świadczy o zaniku mikroorganizmów biorących udział w rozkładzie białek.

Z danych literaturowych (FURCZAK i in. 1997, BIELIŃSKA i in. 2000, DĄBEK-SZRENIEWSKA 2004) wynika, że aktywność enzymów zależy od rodzaju gleby i zawartości substancji organicznej. Autorzy twierdzą, że gleby organiczne charakteryzują się wyższą aktywnością dehydrogenaz niż gleby mineralne, ponieważ zawierają więcej węgla organicznego, który ma zarówno pośredni, jak i bezpośredni wpływ na aktywność enzymów glebowych. Dostarczenie do gleby substancji organicznej sprzyja rozwojowi mikroorganizmów, co wiąże się ze zwiększeniem aktywności enzymów, głównie dehydrogenaz (GLIŃSKI i in. 1983).

KUCHARSKI (1997) uważa, że zwiększenie aktywności enzymów można również osiągnąć przez nawożenie mineralne, chociaż większy wzrost aktywności drobnoustrojów obserwuje się w przypadku nawożenia organicznego. ANDRZEJEWSKI (1993) donosi, iż nawożenie organiczne często niweluje niekorzystne działanie czynników środowiska na aktywność mikroorganizmów glebowych.

Czynnikami mającymi ogromny wpływ na aktywność biologiczną gleby są temperatura i jej wilgotność (KOPER, PIOTROWSKA 1996). Badania NOWAKA i KAKLEWSKIEGO (2003) dowiodły, iż najbardziej wrażliwe na zmiany wilgotności gleby okazały się dehydrogenazy, reduktaza azotanowa i fosfataza zasadowa, natomiast aktywność fosfatazy kwaśnej nie uległa zmianie. KALISZEWSKA-ROKICKA (2001) również podaje, że obniżenie poziomu wody w glebie przyczynia się do zmian jej aktywności enzymatycznej.

Według KOPERA i PIOTROWSKIEJ (1996), poziom aktywności enzymatycznej gleby zmienia się również w zależności od systemu uprawy, terminu poboru próbek oraz rodzaju uprawianych roślin. Z literatury (GLIŃSKI i in. 1983, KOPER, PIOTROWSKA 1996) wynika, iż gleba nie uprawiana odznacza się znacznie wyższą aktywnością niż gleba uprawiana. Podobne wyniki odnotowali DICK i in. (1994), którzy badali wpływ uprawy na aktywność trzech enzymów: fosfatazy, β -glukozydazy i amidazy.

Aktywność enzymatyczna gleby może być determinowana zanieczyszczeniami, jakie dostają się do gleby, w tym biocydami. Środki te kumulują się w glebie i mogą wpływać na zmianę aktywności enzymatycznej gleby – hamować lub stymulować (STRZELEC 1986, NOWAK 1995, KUCHARSKI 1997). Stan aktywności biologicznej gleby odzwierciedlają dehydrogenazy, gdyż są one najbardziej wrażliwe na działanie biocydów (DICK i in. 2000, MANON i in. 2005).

Według WYSZKOWSKIEJ i KUCHARSKIEGO (2004a), znaczne modyfikacje w aktywności biologicznej gleby powodują herbicydy. Autorzy badali wpływ działania Triflurotoxu 250 EC na aktywność enzymatyczną gleby w następujących dawkach: 0, 1,5, 3, 4,5, 6, 9 i 12 $\text{mm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. Zastosowany w badaniach herbicyd wywierał szkodliwy wpływ na działalność dehydrogenaz, fosfatazy kwaśnej i alkalicznej w dawkach od 1,5 do 12 $\text{mm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. Toksyczne działanie Triflurotoxu 250 EC zależało od jego koncentracji oraz gatunku uprawianej rośliny. Spośród wszystkich badanych enzymów – dehydrogenazy okazały się najbardziej wrażliwe na działanie środka chwastobójczego. W czasie trwania doświadczenia wegetacyjnego zaobserwowano spadek ich aktywności w zakresie 28,7–72,5%.

W badaniach WYSZKOWSKIEJ (2002c) zanieczyszczenie gleby herbicydem Treflen 480 EC powodowało negatywny wpływ na aktywność dehydrogenaz, ureazy, fosfatazy kwaśnej i alkalicznej. Zastosowanie najwyższej dawki (12 $\text{mm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) zmniejszyło aktywność enzymów od 59,6 do 83,9% w stosunku do prób kontrolnych, które nie zostały potraktowane badanym środkiem chwastobójczym. W glebie analizowanej 7 dni po założeniu doświadczenia aktywność enzymatyczna była wyższa niż po zbiorze roślin, niezależnie od ilości Treflenu 480 EC wprowadzonego do gleby.

Badania WYSZKOWSKIEJ i KUCHARSKIEGO (2004b) dowiodły, że nawet dawka optymalna może powodować zmiany w aktywności enzymatycznej gleby. Herbicyd zastosowano w dawce optymalnej zalecanej przez producenta oraz 5-i 10-krotnie wyższej. Testowany preparat nie powodował zahamo-

wania aktywności wszystkich badanych enzymów. Aktywność enzymów glebowych była mniejsza w obiektach, w których zastosowano wysokie dawki Chwastoxu Trio 540 SL, w stosunku do próbek kontrolnych. Zaaplikowanie do gleby badanego herbicydu zwiększało aktywność dehydrogenazy i ureazy, natomiast hamowało aktywność fosfatazy kwaśnej i alkalicznej.

KUCHARSKI i in. (2004) badając wpływ herbicydu Starane 250 EC na aktywność biologiczną gleby zaobserwowali wyraźny wpływ preparatu na jej aktywność enzymatyczną. Spośród wszystkich przebadanych przez autorów enzymów, najbardziej wrażliwe okazały się dehydrogenazy, których aktywność po zastosowaniu dawki $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ zmniejszyła się o połowę. Czułym enzymem na badany herbicyd okazała się również ureaza. Po zakończeniu doświadczenia aktywność jej obniżyła się 3-krotnie. Starane 250 EC nie wywierał istotnego wpływu na działanie fosfatazy kwaśnej i fosfatazy alkalicznej.

YAO in. (2006) badali wpływ biocydu acetamipiridu na aktywność enzymatyczną i oddychanie gleby, stosując następujące dawki w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$: 0,5 (optymalna), 5, 50. Negatywne skutki działania zaaplikowanego do gleby preparatu były widoczne już po zastosowaniu dawki optymalnej. Zanieczyszczenie gleby acetamidem w początkowym okresie trwania doświadczenia nie powodowało istotnych zmian w aktywności badanych enzymów. Najbardziej wrażliwymi enzymami okazały się fosfatazy i dehydrogenazy, gdyż już w 2. tygodniu doświadczenia odnotowano wyraźny spadek ich aktywności. Aktywność ureazy i katalazy utrzymywała się na stałym poziomie, niezależnie od dawki preparatu.

Tabela 2
Table 2

Zmiany aktywności enzymów glebowych w % (wartości dodatnie – stymulacja, ujemne – hamowanie)

Changes in the activity of soil enzymes in %
(positive values – stimulation, negative – inhibition)

(wg WYSZKOWSKA 2002c, WYSZKOWSKA, KUCHARSKI 2004a, WYSZKOWSKA, KUCHARSKI 2004b)

Herbicyd Herbicide	Dehydroge- nazy Dehydroge- nases	Uraza Urease	Fosfataza Phosphatases		Potencjalny biochemiczny wskaźnik żyźności gleby Biochemical index of potential soil fertility
Triflurotox 250 EC	-44.03	-13.48	-15.09	-11.11	-26.47
Treflan 480 EC	-49.25	-18.18	-25.47	-16.67	-23.04
Chwastox Trio 540 SL	1.61	2.81	-9.45	-15.71	-5.70

SUKUL (2006) przeprowadził badania nad wpływem metalaxylu o różnym stężeniu na biochemiczne właściwości gleby. Aktywność enzymatyczna była monitorowana w 10., 30. i 60. dniu po zaaplikowaniu preparatu do gleby. W tym doświadczeniu aktywność dehydrogenaz, fosfatazy, arylosulfatazy i β -glukozydazy początkowo zwiększała się, natomiast w 30. dniu badań odnotowano zmniejszenie ich aktywności wraz ze wzrostem dawek. Najbardziej wrażliwa okazała się ureaza, której spadek aktywności zaobserwowano od 10. do 60. dnia trwania doświadczenia. Autorzy odnotowali także spadek działalności ureazy wraz ze wzrostem koncentracji metalaxylu w glebie.

Biocydy z powodu nieprawidłowego stosowania i wysokiej koncentracji w środowisku mogą modyfikować aktywność biologiczną gleby, prowadząc do zahamowania lub stymulacji enzymów glebowych (tab. 2).

PODSUMOWANIE

Gleba stanowi element środowiska przyrodniczego, w którym gromadzi się przeważająca część zanieczyszczeń, będąca wynikiem działalności człowieka. Znaczący wpływ na środowisko glebowe wywiera rozwój rolnictwa, którego głównym celem przez dziesiątki lat było uzyskanie maksymalnych plonów. Postępująca antropogenizacja środowiska przyczyniła się do zanieczyszczenia gleby substancjami toksycznymi, w tym środkami ochrony roślin. Biocydy mogą zalegać w glebie nawet kilkanaście lat, a ich nadmiar wpływa negatywnie na aktywność biologiczną gleby, co w rezultacie powoduje spadek jej żyzności i urodzajności, a zatem zmniejszenie plonów. Drobnoustroje są sprzymierzeńcami w produkcji rolnej, gdyż biorą udział w różnych procesach biologicznych związanych z gospodarką rolną. Mikroorganizmy glebowe stanowią część składową ekosystemów ziemskich, gdyż biorą czynny udział w utrzymywaniu odpowiedniej jakości gleby, zwiększając jej urodzajność. Mikroorganizmy przyczyniają się do rozkładu materii organicznej i ponownie wprowadzają w obieg składniki pokarmowe, które są niezbędne dla wzrostu i rozwoju roślin. Przetwarzanie i mineralizacja resztek roślinnych oraz zwierzęcych zachodzą głównie w glebie, i dlatego procesy te mają duże znaczenie w rolnictwie. Dbłość o zachowanie warunków dogodnych dla mikroorganizmów sprawia, że gleba staje się żyzna, bogata w próchnicę i składniki pokarmowe dostępne dla roślin. Drobnoustroje zasiedlające glebę mają też duże znaczenie dla zdrowotności upraw roślinnych. Obecnie zmiany aktywności glebowej wykorzystuje się jako miarę ubocznego wpływu biocydów na środowisko. Stosowanie tych ksenobiotyków na glebę bardzo często stwarza problemy związane z toksycznymi pozostałościami tych związków w produktach rolnych, co prowadzi do zmniejszenia wartości technologicznej surowców. Niepożąda-

ne efekty stosowania biocydów w rolnictwie są ważne ze względu na aspekty ekologiczne. Jeszcze kilkadziesiąt lat temu stosowanie chemicznych środków ochrony roślin wiązało się z niebezpieczeństwem negatywnego oddziaływania na środowisko i organizmy żywe. Obecnie nowoczesne pestycydy stosowane z zachowaniem środków bezpieczeństwa nie powodują tak negatywnych skutków jak dawniej. Ważną cechą nowoczesnych środków jest wysoka skuteczność zwalczania w przypadku zastosowania minimalnej dawki. Racjonalne użytkowanie gleby, do którego możemy zaliczyć prawidłowe stosowanie biocydów, mających wpływ na jakość i ilość mikroorganizmów glebowych, może w dużym stopniu przyczynić się do poprawy jakości i ochrony środowiska przyrodniczego. Gleba, jak każdy układ biologiczny, dąży do zachowania równowagi. Uprawiając glebę, należy zwracać szczególną uwagę, aby zachwianie jej równowagi było jak najmniejsze. Uprawa nastawiona wyłącznie na efekty ekonomiczne często prowadzi do degradacji środowiska glebowego, dlatego obecnie odchodzi się od rolnictwa tradycyjnego na rzecz zintegrowanego lub ekologicznego.

PIŚMIENNICTWO

- ANDERSON T. A., KRUGER E. L., COATS J. R. 1994. *Enhanced degradation of mixture of three herbicides in rizosphere of a herbicide – tolerant plant*. Chemosphere, 28(8): 1551-1557.
- ANDRZEJEWSKI M. 1993. *Znaczenie próchnicy dla żyzności gleb*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 411: 11-21.
- AWASTHI N., AHUJA R., KUMAR A. 2000. *Factors influencing the degradation of soil-applied enosulfan isomers*. Soil Biol. Biochem., 32: 1697-1705.
- BALICKA N. 1983. *Różne formy wzajemnego oddziaływania drobnoustrojów z herbicydami*. Post. Mikrobiol., 22(3/4): 291-299.
- BANASZKIEWICZ T. 2003. *Chemiczne środki ochrony roślin – zagadnienia ogólne*. Wyd. UWM, Olsztyn, 114 ss.
- BERGER B. M. 1998. *Parameters influencing biotransformation rates of phenylurea herbicides by soil microorganisms*. Pestic. Biochem. Physiol., 60: 71-82.
- BIELIŃSKA E. J., BARAN S., DOMŻAŁ H. 2000. *Zastosowanie wskaźników enzymatycznych do oceny wpływu różnych zabiegów agrotechnicznych na poprawę właściwości gleby lekkiej*. Fol. Univ. Agric. Stetin. 211 Agric., 84: 35-40.
- DĄBEK-SZRENIAWSKA M. 2004. *Zastosowanie modelu FOR w badaniach liczebności bakterii glebowych*. Acta Agr. Silv. ser. Agr., 42: 59-66.
- DĄBEK-SZRENIAWSKA M., KOZAK M. A., PUDŁO A. A. 2004. *Liczebność bakterii i aktywność biochemiczna gleby torfowej i murszowej*. Ann. UMCS, Ser., 59(4): 2023-2032.
- DAS A. C., DEBNATH A., MUKHERJEE D. 2003. *Effect of the herbicides oxadiazon and oxyfluorfen on phosphates solubilizing microorganisms and their persistence in rice fields*. Chemosphere, 53: 217-221.
- DICK A. C., SANDOR J. A., EASH N. S. 1994. *Soil enzyme activities after 1500 years of terrace agriculture in the Cocha Valley, Peru*. Agr. Ecosys. Environ., 50: 123-131.
- DICK W. A., CHENG L., WANG P. 2000. *Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators*. Soil Biol. Biochem., 32: 1915-1919.
- DURSKA G. 2004. *Wpływ zaprawy nasiennej Baytan Uniwersal na występowanie drobnoustrojów w glebie pod uprawą pszenicy ozimej*. Acta Agr. Silv. ser. Agr., 42: 75-85.

- FURCZAK J., KOŚCIELSKA D. 1997. *Ocena ubocznego oddziaływania fungicydu tetrakonazolu na grzyby saprofityczne oraz aktywność biochemiczna gleby piaszczystej i gliniastej*. Roczn. Glebozn., 48(1/2): 49-58.
- FURCZAK J., TURSKA B. 2006. *Wpływ różnych systemów uprawy na rozwój mikroorganizmów i zawartość fenoli w glebie płowej*. Acta Agr. Silv. ser. Agr., 8(1): 59-68.
- GAJDA A., STACHYRA A., MARTYNIUK S. 2004. *Aktywność mikrobiologiczna i biochemiczna gleb w doświadczeniu mikropoletkowym*. Acta Agr. Silv. ser. Agr., 42: 127-134.
- GLIŃSKI J., STĘPNIEWSKA Z., KASIAK A. 1983. *Zmiany aktywności enzymatycznej gleb w warunkach zróżnicowanej zawartości tlenu i wilgotności*. Roczn. Glebozn., 34(1-2): 53-59.
- GOŁĘBIEWSKA D., GRZYB-MIKLEWSKA J. 1991. *Kompleks humus-enzym*. Post. Nauk Rol., 4(5/6): 105-115.
- GÓRSKA E. B., RUSSEL S. 2004. *Występowanie tlenowych, przetrwalnikujących bakterii celulolitycznych w glebach leśnych*. Acta Agr. Silv. ser. Agr., 42: 177-186.
- GRIFFITHS B. S., RITZ K., WHEATLEY R., KUAN H. L., BOAG B., CHRISTENSEN S., EKEKUND F., SØRENSEN S. 2001. *Response of sorption process of MCPA to the amount and origin of organic matter in a long-term experiment*. Europ. J. Soil Sci., 52: 279-286.
- GYLDANKAERNE S., JØRGENSEN S. E. 2000. *Modelling the bioavailability of pesticides to soil-dwelling organisms*. Ecol. Model., 132: 203-230.
- JASTRZĘBSKA E., KUCHARSKI J. 2005. *Liczebność drobnoustrojów w glebie zanieczyszczonej fungicydami*. Mat. 39 Konf. Mikrobiologii Gleby. Kobyła Góra - Wrocław, 5-8 września, 67-68.
- JOHNSON K., JACOBSEN C. S., TORSVIK V., SØRENSEN J. 2001. *Pesticide effects on bacterial diversity in agricultural – a review*. Biol. Fertil. Soil., 33: 443-453.
- KASZUBIAK H., DURSKA G. 2000. *Effect of Oxafun T seed dressing on bacteria in rhizosphere and non-rhizosphere soil*. Pol. J. Environ. Stud., 9(5): 397-401.
- KASZUBIAK H., MUSZYŃSKA M., DURSKA G. 1994. *Evaluation of microbial response to herbicides using various methods*. Pol. J. Soil Sci., 27(2): 131-136.
- KIELISZEWSKA-ROKICKA B. 2001. *Enzymy glebowe i ich znaczenie w badaniach aktywności mikrobiologicznej gleby*. Red. H. DAHM, A. POKOJSKA-BURDZIEJ. UMK Toruń, ss. 37-47.
- KLIMACH A., WIECZOREK W. 1998. *Ocena wpływu kilku środków ochrony roślin na wybrane organizmy glebowe*. Post. Ochr. Rośl., 38(2): 587-589.
- KOBUS J. 1995. *Biologiczne procesy a kształtowanie żyzności gleby*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 421a: 209-219.
- KOPER J., PIOTROWSKA A. 1996. *Aktywność enzymatyczna gleby płowej w zależności od uprawy roślin w zmianowaniu i monokulturze*. Roczn. Glebozn., 42 (3/4): 89-99.
- KORTIKLA A., GATIDOU G., LEKKAS T. D. 1999. *Toxic effects of atriazine, deethyl-atrazine, deisopropyl-atrazine and metolachlor on Chlorella Fusca Var-Fusca*. Global Nest. Int. J., 1(1): 39-45.
- KUCHARSKI J. 1997. *Relacje między aktywnością enzymów a żyznością gleby. Drobnoustroje w środowisku - występowanie, aktywność i znaczenie*. Red. W. BARABASZ. AR Kraków, ss. 327-347.
- KUCHARSKI J., KARUZO-WANKIEWICZ L., KUCZYŃSKA L. 2004. *Wpływ zanieczyszczenia gleby Starane 250 EC na jej mikrobiologiczne właściwości*. Acta Agr. Silv. ser. Agr., 42: 257-263.
- MCDONALD L., JEBELRIE S., JMADRAMOOTOO C. A., DOODS G. T. 1999. *Pesticide mobility on a hillside soil in St. Lucia*. Agr. Ecosyst. Environ., 72: 181-188.
- MEGHARAJ M., KANTACHOTE D., SINGLETON I., NAIDU R. 2000. *Effect of long-term contamination of DDT on soil microflora with special reference to soil algae and algae transformation DDT*. Environ. Pollut., 109: 35-42.

- MENON P., GOPOL M., PARSAD R. 2005. *Effects of chlorpyrifos and quinalpos on dehydrogenase activities and reduction of Fe³⁺ in the soils of two semi-arid fields of tropical India*. Agric. Ecosyst. Environ., 108: 73-83.
- MICHALCEWICZ W. 1995. *Wpływ pestycydów stosowanych w chemicznej ochronie roślin uprawnych na niektóre właściwości biologiczne gleby*. Roczn. Glebozn., 46(1/2): 53-64.
- MICHALCEWICZ W. 2004. *Wpływ temperatury i wilgotności na oddziaływanie niektórych herbicydów na biomasa drobnoustrojów w glebie*. Acta Agr. Silv. ser. Agr., 42: 317-325.
- MICHEL M. 1999. *Wykrywanie pozostałości środków ochrony roślin w glebie techniką HPLC*. Progr. Plant Protect., 39(1): 253-257.
- MYSKÓW W. 1981. *Próby wykorzystania wskaźników aktywności mikrobiologicznej do oceny żyzności gleby*. Post. Mikrobiol., 20(3/4): 173-192.
- MYSKÓW W., STACHYRA A., ZIĘBA S., MASIĄK D. 1996. *Aktywność biologiczna gleby jako wskaźnik jej żyzności i urodzajności*. Roczn. Glebozn., 47(1/2): 89-99.
- NOWAK A., KĄKLEWSKI K. 2003. *Wpływ różnych warunków przechowywania gleby na zmiany aktywności wybranych enzymów*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 492: 225-232.
- NOWAK A., MICHALCEWICZ W., PAWLAK B. 1995. *Wpływ nawożenia organicznego na drobnoustroje glebowe. Cz. I Porównanie liczby i aktywności drobnoustrojów biorących udział w przemianach azotu w glebie nawożonej biohumusem, obornikiem oraz słomą*. Zesz. Nauk. AR w Szczecinie, Rol., 167 (60): 59-64.
- NOWAK A., ZBIEĆ I., GAWIŃSKA H., HREBIEŃ T. 1999. *Wpływ niektórych herbicydów pirydynowych na liczebność drobnoustrojów oraz zawartość biomasy żywych mikroorganizmów w glebie*. Fol. Univ. Agric. Stetin., Agric., 201 (78): 243-252.
- NOWAK J. 1996. *Interakcje między biodegradacją tetrachlorwinfosu i chlorfenwinfosu a ilością biomasy żywych mikroorganizmów w różnych warunkach temperatury i wilgotności gleby*. Zesz. Nauk. AR Szczec., Rol., 173 (63): 191-199.
- PIOTROWSKI W., ŚLIZAK W. 1992. *Wpływ wybranych antybiotyków i fungicydów na rozwój mikroorganizmów glebowych na tle zróżnicowanego nawożenia III. Rozwój bakterii czynnych w przemianach C i N (doświadczenia in vitro)*. Zesz. Nauk. ATR w Bydgoszczy, Rol., 178 (31): 33-44.
- PRZYBULEWSKA K., NOWAK A., HOPPEN B. 2004. *Wpływ temperatury na działanie pestycydów na przykładzie aktywności enzymatycznej wybranych bakterii glebowych*. Fol. Univ. Agric. Stetin., Agr., 234 (93): 333-340.
- RUSSEL S. 2005. *Znaczenie badań enzymów w środowisku glebowym*. Acta Agroph. Rozpr. i Monogr., 3: 5-6.
- SÁNCHEZ M. E., ESTRADA I. B., MARTINEZ O., MARTIN-VILLACORTA J., ALLER A., MORÁN A. 2004. *Influence of the application of sewage sludge on the degradation of pesticides in the soil*. Chemosphere, 57: 673-679.
- SHIYIN L., LIXIAO N., PANYING P., CHENG S., LIANSHENG W. 2004. *Effects of pesticides and their hydrolysis products on catalase activity in soil*. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 72: 600-606.
- SØRENSEN S. R., DING G. D., JACOBSEN C. S., WALKER A., AAMAND J. 2003. *Microbial degradation of isoproturon and related phenylurea herbicides in and below agricultural fields*. FEMS Microbiol. Ecol., 45: 1-11.
- STRZELEC A. 1986. *Wpływ właściwości gleb na reakcje ich mikroflory na herbicydy*. Roczn. Glebozn., 37(1): 129-138.
- SUKUL P. 2006. *Enzymatic activities and microbial biomass in soil as influenced by metaxyl residues*. Soil Biol. Biochem., 38: 320-326.
- SWĘDRZYŃSKA D. 2004. *Wpływ karboksyny i tiuramu na aktywność nitrogenazy i rozwój wybranych grup drobnoustrojów glebowych ze szczególnym uwzględnieniem bakterii z rodzaju Azospirillum*. Acta Agr. Silv. ser. Agr., 42: 437-449.

- TRASAR-CAPEDA C., LEIRÓS M. C., SEOANE S., GILSOTRES F. 2000. *Limitats of soil enzymes as indicators of soil pollution*. Soil Biol. Biochem., 32: 1867-1875.
- WALKER A., JURADO-EXPOSITO M., BENDING G. D., SMITH V. J. R. 2001. *Spatial variability in the degradation rate of isoproturon in soil*. Environ. Pollut., 111: 407-415.
- WĘGOREK W. 1994. *Badanie wpływu pestycydów na środowisko rolnicze*. Post. Nauk Rol., 2: 59-64.
- WG T. J., FLEET G. H., HEARD G. M. 2005. *Pesticides a source of microbial contamination of salad vegetables*. J. Food Microbiol., 1001: 237-250.
- WIELGOSZ E., SZEMBER A., SKWAREK J. 2004. *Wpływ wybranych roślin na liczebność i aktywność bakterii biorących udział w przemianach azotu*. Ann. UMCS, Sect. Agricult., 59(4): 1689-1696.
- WYSZKOWSKA J. 2002a. *Microbiological properties of soil contaminated with the herbicide Treflan 480 EC*. Pol. J. Environ. Stud., 10(1): 58-70.
- WYSZKOWSKA J. 2002b. *Number of cellulolytic, ammonifying, nitrogen immobilizing and Azotobacter sp. bacteria in soil contaminated with Treflan 480 EC*. Pol. J. Natur. Sci., 10(1): 71-83.
- WYSZKOWSKA J. 2002c. *Effect of soil contamination with Treflan 480 EC on biochemical properties of soil*. Pol. J. Environ. Stud., 11(1): 71-77.
- WYSZKOWSKA J. 2004. *Właściwości mikrobiologiczne gleby zanieczyszczonej herbicydem Triflurotox 250 EC*. Acta Agr. Silv. ser. Agr., 42: 463-473.
- WYSZKOWSKA J., KUCHARSKI J. 2004a. *Biochemical and physicochemical properties of soil contaminated with herbicide Triflurotox 250 EC*. Pol. J. Environ. Stud., 11(1): 71-77.
- WYSZKOWSKA J., KUCHARSKI J. 2004b. *Biologiczne właściwości gleby zanieczyszczonej Chwastoxem Trio 540 SL*. Roczn. Glebozn., 50: 311-319.
- WYSZKOWSKI M., WYSZKOWSKA J. 2004a. *Skład chemiczny rzepaku jarego i gorczyca białej a aktywność enzymatyczna gleby zanieczyszczonej Treflenem 480 EC*. Ann. UMCS, Sect. Agricult., 54(4): 1631-1638.
- WYSZKOWSKI M., WYSZKOWSKA J. 2004b. *Współzależność między zawartością makroelementów w jęczmieniu jarym a aktywnością enzymatyczną gleby zanieczyszczonej Chwastoxem Trio 540 SL i Granstarem 75 WG*. Ann. UMCS, Sect. Agricult., 54(4): 1639-1649.
- YAO X., MIN H., LI Z., YUAN H. 2006. *Influence of acetamiprid on soil enzymatic activities and respiration*. Eur. J. Soil Biol., 42: 120-126.