

Analiza wariancji w układzie powtarzanych pomiarów do określenia efektów czynników wpływających na pozostałości linuronu w glebie

¹Andrzej Gregorczyk, ²Maria Swarczewicz

¹Katedra Agronomii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Pawła VI 3, 71-459 Szczecin, Polska

²Zakład Syntezy Organicznej i Technologii Leków, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Al. Piastów 42, 71-065 Szczecin, Polska

Abstrakt. Celem pracy było zbadanie dynamiki rozkładu herbicydu w glebie oraz ocena możliwości wykorzystania metody analizy wariancji w układzie powtarzanych pomiarów do opracowania wyników. Badano wpływ rodzaju gleby (lekka i średnia) oraz obecności mieszaniny fungicydu i insektycydu na zawartość pozostałości linuronu w glebie, w warunkach kontrolowanych. Czynnikiem powtarzanych pomiarów był czas oznaczenia stężenia herbicydu (siedem poziomów). Herbicydy zawierające linuron należą do często stosowanych w polskim rolnictwie. Oddziaływanie linuronu na rośliny i glebę nie jest jednak dokładnie poznane. Do badań użyto gleb pochodzących z rejonu północno-zachodniej Polski. Koncentrację linuronu w roztworze glebowym oznaczano metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej. Przeprowadzona analiza statystyczna wyników pozwoliła na określenie efektów głównych i interakcji czynników wpływających na koncentrację linuronu w glebie. Ogólnie koncentracja linuronu była większa w glebie średniej niż lekkiej. Niezależnie od rodzaju gleby, linuron w mieszaninie rozkłada się znacznie wolniej niż sam herbicyd. Najszybciej degradacja linuronu następuje w kombinacji: sam herbicyd i gleba lekka.

słowa kluczowe: gleba, herbicyd, linuron, powtarzane pomiary

WSTĘP

Stosowanie herbicydów w możliwie małych dawkach pożądane jest nie tylko ze względów ekologicznych, ale i ekonomicznych. Częste są przypadki pojedynczego używania różnych środków ochrony roślin (insektycydów, herbicydów, fungicydów) na tę samą roślinę uprawną w krótkich odstępach czasu. Prace Kucharskiego (2003, 2007), Kucharskiego i Sadowskiego (2009a,b), Swarczewicz i in. (2007) oraz Swarczewicz i Gregorczyk (2012)

wykazały, że mieszaniny środków ochrony roślin mogą mieć znaczny wpływ na szybkość zanikania substancji aktywnej herbicydu. Zanikanie to jest procesem złożonych przemian fizykochemicznych i biologicznych, w wyniku których zawartość aktywnej substancji maleje z czasem, często zgodnie z funkcją wykładniczą (FOCUS, 2006; Kah i in., 2007; Shaner i in., 2007).

W ostatnich latach, wśród środków ochrony roślin, grupa herbicydów fenylomocznikowych zwraca szczególną uwagę ze względu na swoje toksyczne i kancerogenne właściwości. Ponadto te substancje wymagają dłuższego czasu (nawet do kilku miesięcy), aby zaniknąć w środowisku.

Często używanym w polskim rolnictwie herbicydem fenylomocznikowym jest linuron, którego oddziaływanie na rośliny i glebę jest nadal przedmiotem badań (Anyszka, Dobrzański, 2006; Anyszka, Elkner, 2007; Kucharski, Urbanowicz, 2008; Sowiński i in., 2010). Linuron [3-(3,4-dichlorofenyl)-1-metoksy-1-metylomocznik] jest selektywną pochodną *N*-metoksy-*N*-metylofenylomocznika. Wiadomo, że stosowanie herbicydu z wybranymi ksenobiotykami może silnie modyfikować przebieg degradacji substancji aktywnej w zależności od rodzaju gleby (Kucharski, Sadowski 2009a; Swarczewicz, Gregorczyk, 2012). Interesującym zagadnieniem okazuje się współdziałanie linuronu w ciekłej mieszaninie z innymi środkami ochrony roślin, np. insektycydami czy fungicydami (Fogg i in., 2003).

Insektycyd tiametoksam (3-((2-chloro-5-tiazolilo)metylo)tetrahydro-5-metylo-*N*-nitro-4H-1,3,5-oksadiazyno-4-imina) jest zaliczany do neonikotynoidów i wykazuje działanie kontaktowe, żołądkowe i systemiczne. Gupta i in. (2008) wykazali trwałość tego insektycydu w glebie w warunkach laboratoryjnych, gdzie czas półtrwania wynosił 91–94 dni. Fungicyd mankozeb jest kompleksem cynku z polimerycznym etylenobis(ditiokarbaminianem) manganawym. Mankozeb w glebie ulega przemianom do etylenotiomocznika (ETU), etylenomocznika (EU)

Autor do kontaktu:

Andrzej Gregorczyk
e-mail: andrzej.gregorczyk@zut.edu.pl
tel. +48 91 449 6292, + 48 501 125 216

Praca wpłynęła do redakcji 6 września 2012 r.

i siarczku etylenobisizotocyjanianu (EBIS). Stwierdzono, że w glebie utrzymuje się do 165 dni (Hanumantharaju, Awasthi, 2004).

Celem pracy była ocena przydatności metody analizy wariancji w układzie powtarzanych pomiarów do określenia efektów głównych i interakcji czynników wpływających na pozostałości linuronu w glebie. Badano wpływ rodzaju gleby (lekka i średnia) i obecności mieszaniny środków ochrony roślin (tiametoksamu i mankozebu) na koncentrację pozostałości herbicydu w glebie w warunkach kontrolowanych.

MATERIAŁ I METODY

Substancją czynną w laboratoryjnym doświadczeniu był linuron (Linurex 500 S.C., Makhteshim Agan Industries Ltd), a także jego mieszanina z insektycydem tiametoksamem (Actara 25 WG, Syngenta Crop Protection AG) i fungicydem mankozebem zawierającym 20% manganu i 2,5% cynku (Indofil 80 WP, Arysta LifeSciences). Do badań użyto gleby lekkiej i średniej. Gleba lekka zawierała 72% piasku, 16% pyłu, 12% części spławialnych, 1,7% materii organicznej, pH wynosiło 6,4. Gleba średnia, o pH = 6,3, zawierała 40% piasku, 34% pyłu, 26% części spławialnych. Te dwa rodzaje gleby są często użytkowane rolniczo, a wymienione cechy charakteryzują poziom 0–10 cm.

Do 450 g gleby dodano 2,0 mg·kg⁻¹ linuronu i próbę wymieszano. W drugim wariancie oprócz linuronu do gleby dodano 10,0 mg·kg⁻¹ tiametoksamu i 2,1 mg·kg⁻¹ mankozebu. Próbkę przechowywano w szklanych słojach w stałych warunkach wilgotności 60% mpw gleby i temperatury 22 ±2°C, które kontrolowano raz w tygodniu. Trzy 50 g próbki gleby z każdej kombinacji były brane do analizy. Pomiary stężenia linuronu w glebie wykonano w dniu roz-

poczęcia doświadczenia i po 10, 20, 30, 40, 70, 90 dniach po aplikacji, w trzech powtórzeniach. Przedziały czasowe zastosowane w doświadczeniu ustalono biorąc pod uwagę, że proces zanikania herbicydu może być dwufazowy. Z tego powodu najpierw kontrolowano poziom stężenia linuronu w glebie co 10 dni, a następnie co 20–30 dni. Substancję aktywną oznaczano metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC), używając chromatografu Waters 600E z detektorem PDA (UV) i kolumną Waters Nova Pack C18. Prowadzono elucję izokratyczną w układzie odwróconych faz. Jako fazę ruchomą zastosowano mieszaninę metanolu i wody (80:20). Pomiary prowadzono dla długości fali 249 nm. Akwizycję i obróbkę danych przeprowadzono z użyciem programu HP Waters Millennium Software. Granica oznaczalności metody wynosiła 0,012 mg·kg⁻¹, odzysk metody wynosił 82,2 ± 8% (±RSD), a granica wykrywalności 0,005 mg·kg⁻¹.

Wyniki badań opracowano statystycznie, wykorzystując metodę dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) w układzie powtarzanych pomiarów. Pierwszy międzygrupowy czynnik doświadczalny to gleba z dwoma poziomami: lekka i średnia. Drugi międzygrupowy czynnik to wariant substancji aktywnej z dwoma poziomami: sam linuron i jego mieszanina z tiametoksamem i mankozebem. Czynnikiem powtarzanych pomiarów był czas (siedem pomiarów od 1. dnia do 90. dnia eksperymentu). Zmienne niezależne to gleba i wariant mieszaniny pestycydów, a zmienną zależną była koncentracja linuronu w glebie. Powyższe czynniki doświadczalne i ich poziomy tworzyły układ 2 x 2 x 7. Do weryfikacji hipotezy zerowej użyto testu F, a procedurę porównań wielokrotnych – uwzględniającą statystyczną istotność zmiennej zależnej – oparto na teście Tukeya, na poziomie istotności 0,05. Wszystkie obliczenia wykonano za pomocą pakietu Statistica 9.0.

Tabela 1. Analiza wariancji w układzie z powtarzanymi pomiarami
Table 1. Analysis of variance in repeated measures design.

Efekt Effect	Suma kwadratów Sum of squares SS	Liczba stopni swobody Degrees of freedom df	Średni kwadrat Mean square MS	Statystyka F F statistics	Poziom p P-level
Gleba; Soil	0,0637	1	0,0637	34,37	0,00038
Wariant; Variant [#]	0,8514	1	0,8514	459,5	< 0,0001
Gleba x Wariant Soil x Variant	0,0009	1	0,0009	0,49	0,5055
Błąd; Error	0,0148	8	0,0019		
Czas; Time	16,879	6	2,8132	3638	< 0,001
Czas x Gleba Time x Soil	0,0443	6	0,0074	9,54	< 0,001
Czas x Wariant Time x Variant	0,3415	6	0,0569	73,61	< 0,001
Czas x Gleba x Wariant Time x Soil x Variant	0,0752	6	0,0125	16,21	< 0,001
Błąd; Error	0,0371	48	0,0008		

[#] wariant – sposób użycia linuronu (sam linuron lub linuron + mieszanina tiametoksamu i mankozebu; variant – the way of linuron addition (linuron alone or linuron + mixture of tiametoxam and mancozeb)

Tabela 2. Wyniki dostosowania jednowymiarowego testu istotności z uwzględnieniem poprawki Huynha-Feldta
Table 2. Results of adapted one-dimensional significance test taking into account the Huynh-Feldt correction adjustment.

Efekt Effect	Liczba stopni swobody Degree of freedom df	Statystyka F F statistics	Poziom p P-level	Współczynnik Coefficient ϵ	Poprawione wartości Adapted values		
					df 1	df 2	p
Czas; Time	6	3638	< 0,001	0,948	5,69	45,53	< 0,001
Czas x Gleba Time x Soil	6	9,54	< 0,001	0,948	5,69	45,53	< 0,001
Czas x Wariant# Time x Variant	6	73,61	< 0,001	0,948	5,69	45,53	< 0,001
Czas x Gleba x Wariant Time x Soil x Variant	6	16,21	< 0,001	0,948	5,69	45,53	< 0,001
Błąd; Error	48						

patrz tab. 1; see Table 1

WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki jednowymiarowej analizy wariancji zawiera tabela 1. Stwierdzono wysoce istotne różnice w poziomach efektów głównych (rodzaje gleby i warianty substancji aktywnej). Efekt czasu także okazał się wysoce istotny. Udowodniono również istotne różnice koncentracji linuronu w wyniku interakcji typów gleby i czasu, wariantu substancji aktywnej i czasu oraz potrójnego efektu czas x gleba x wariant. Podwójna interakcja gleba x wariant okazała się nieistotna.

Warunkiem koniecznym i wystarczającym poprawności użycia testu F w jednowymiarowej ANOVA jest spełnienie założenia o sferyczności (sphericity), czyli równość wariancji różnic wśród wszystkich par doświadczalnych. Odpowiednim testem do weryfikacji hipotezy zerowej jest test W Mauchly'ego. W badaniach własnych nie zostało spełnione założenie o sferyczności (prawdopodobieństwo testowe $p < 0,01$).

Ze względu na znaczne naruszenie założenia o sferyczności, wprowadzono czynniki korygujące ϵ (tab. 2), tj.

poprawkę Huynha-Feldta. Czynniki korygujące uwzględniają odstępstwo macierzy kowariancji od symetrii połączonej i służą do modyfikacji stopni swobody, związanych z testem F (Stanisz, 2007).

Dostosowane liczby stopni swobody nie zmieniły wartości testu F (tab. 2), co pozwoliło na dalsze analizy statystyczne, tym bardziej że wartości poprawki korygującej ϵ są bliskie jedności i nie zmieniają w sposób zasadniczy dotychczasowych wyników. Podejście wielowymiarowe (test Λ Wilksa) także nie dyskwalifikuje zastosowanej, prostszej, jednowymiarowej metody ANOVA.

Efekt główny rodzaju gleby okazał się wysoce istotny (tab. 3). Przeciętnie koncentracja linuronu w glebie średniej była większa o $0,06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ od wartości w glebie lekkiej.

Efekt główny wariantu stosowania herbicydu w mieszaniu był wysoce istotny (tab. 3). Średnio koncentracja linuronu w obiekcie z mieszaniną była o $0,20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ większa od wartości dla samego herbicydu.

Interakcja (współdziałanie) gleba x wariant była statystycznie nieistotna ($p > 0,05$). Interakcje podwójne czas x gleba (rys. 1) i czas x wariant (rys. 2, tab. 4) okazały się

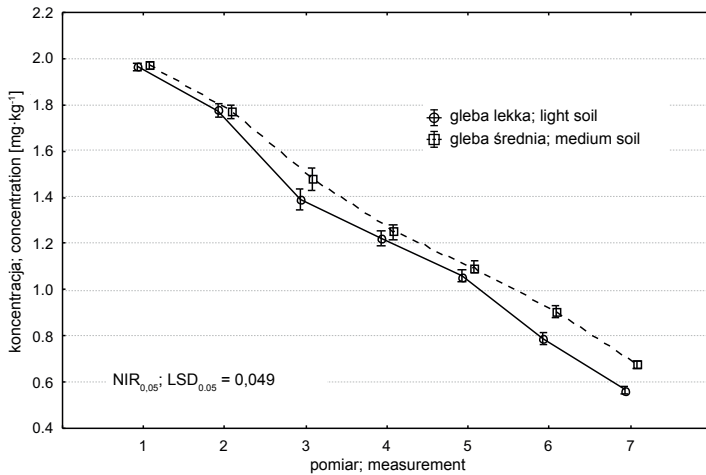
Tabela 3. Porównanie średnich wartości koncentracji herbicydu [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$] dla efektów głównych
Table 3. Comparison of mean values of herbicide concentration [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$] for main effects.

Czynnik Factor	Poziom czynnika Level factor	Koncen- tracja Concen- tration	NIR _{0,05} LSD _{0,05}
Rodzaj gleby Soil type	lekka; light średnia; medium	1,25 1,31	0,022
Wariant pestycydu Variant of pesticide	linuron mieszanina mixture	1,18 1,38	0,022

Tabela 4. Wartości koncentracji linuronu [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$] w siedmiu czasach pomiaru
Table 4. Concentration values of herbicide [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$] for seven measurement time.

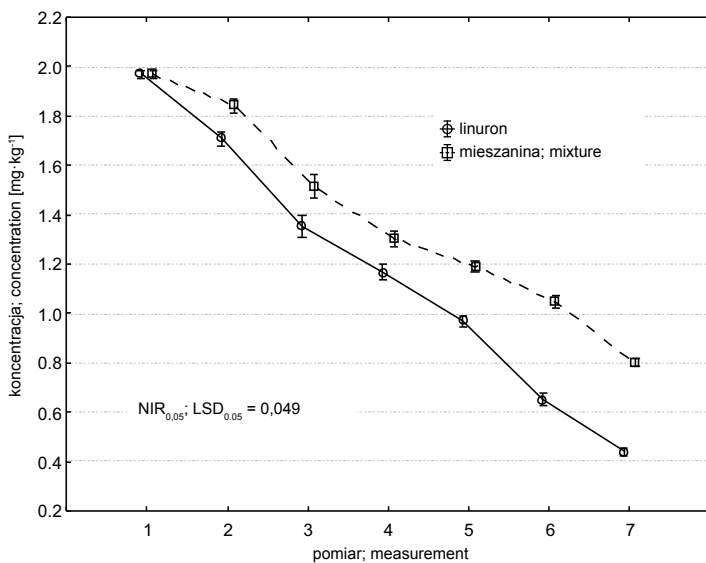
Wariant Variant	Czas [dni]; Time [days]						
	1	10	20	30	40	70	90
Mieszanina Mixture	1,97	1,84	1,51	1,30	1,19	1,05	0,80
Linuron	1,96	1,71	1,35	1,17	0,97	0,65	0,44

NIR_{0,05} dla interakcji; LSD_{0,05} for interaction:
wariant × czas; variant × time – 0,032
czas × wariant; time × variant – 0,049



Symbole przedstawiają średnie z trzech replikacji. Pionowe słupki reprezentują 95% przedziały ufności; Symbols represent averages of three replications. Vertical bars represent 95% confidence intervals.

Rys. 1. Rozpad linuronu w glebie lekkiej i średniej
Fig. 1. Linuron degradation in light soil and in medium-heavy soil.



Symbole przedstawiają średnie z trzech replikacji. Pionowe słupki reprezentują 95% przedziały ufności. Symbols are averages of three replications. Vertical bars represent 95% confidence intervals.

Rys. 2. Rozpad linuronu samego i w mieszaninie w glebie
Fig. 2. Degradation of linuron alone and in mixture in soils.

istotne, co oznacza, że koncentracja herbicydu zmienia się w czasie niejednakowo w zależności od rodzaju gleby, a także w zależności od wariantu substancji aktywnej.

Zastosowanie procedury Tukeya wskazało, że dopiero od 70. dnia (6. pomiar) rodzaj gleby ma wpływ na stężenie linuronu,

natomiast wariant użycia substancji aktywnej ma wpływ na stężenie linuronu już od 10. dnia doświadczenia.

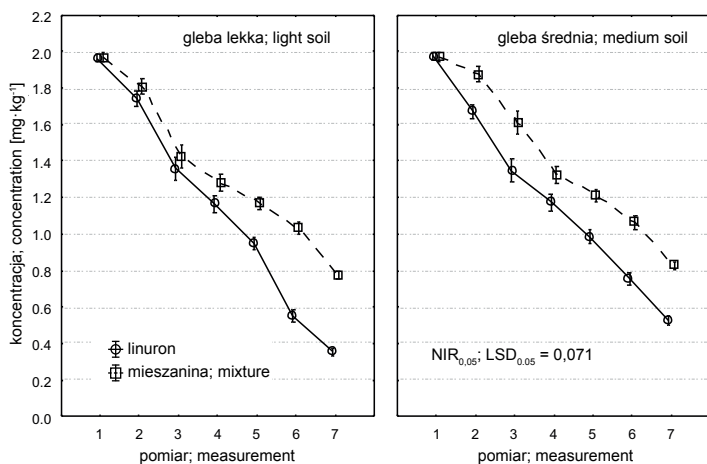
Interakcja potrójna czas x gleba x wariant była istotna. Istotność różnic między średnimi, wynikających z efektu interakcji, odpowiada nierównoległemu przebiegowi krzywych degradacji (rys. 3). W glebie lekkiej różnice między wariantami udowodniono od 30. dnia (4. pomiar); w glebie średniej natomiast już od początku eksperymentu (2. pomiar, 10. dzień).

Wcześniejsze prace Wybieralskiego i in. (2000) oraz Swarczewicz i in. (2003) udowodniły, że mankozeb i jego mieszanina z insektycydami bromfenwinfosom, diazinonem i metrybuzyną modyfikowały procesy respiracji i nityfikacji w glebie lekkiej. Z kolei mieszanina pendimetliny, tiametoksamu i mankozebu istotnie hamowała szybkość rozpadu herbicydu (Swarzewicz, Gregorczyk, 2012). Sugeruje to wpływ fungicydów na biodegradację innych pestycydów w glebie oraz dominującą rolę czynnika mikrobiologicznego w rozpadzie herbicydu w mieszaninie pestycydów w kompleksie glebowym. To stwierdzenie jest także potwierdzeniem wniosków z prac Hance (1973) oraz Sniegowskiego i in. (2011). Ze wstępnych badań wynika, iż gwałtowny spadek szybkości rozpadu głównego herbicydu nie jest spowodowany dodatkami do niego innych herbicydów (Beulke i in., 2000). Wyjaśnienie tego zjawiska wymaga jednak prowadzenia bardziej zaawansowanych doświadczeń w tym zakresie. Niekiedy wyniki eksperymentów laboratoryjnych z degradacją wybranych herbicydów w glebie są wykorzystywane do symulacji komputerowych (Beulke i in., 2000; Walker, Zimdahl, 1981).

Dalsze prace nad trwałością środków ochrony roślin w różnych wariantach ich stosowania powinny przyczynić się do poznania mechanizmów degradacji herbicydów w glebie i stworzyć praktyczne wzorce stosowania pestycydów w rolnictwie. Elementem tych badań są doświadczenia z wybranymi rodzajami gleby w warunkach laboratoryjnych.

Przedstawiony w pracy układ analizy wariancji jest spotykany w eksperymentach medycznych (Kabat-Zinn i in., 1992; Kuehl, 2000) czy psychologicznych (Brzeziński, Stachowski, 1984), gdzie często zachodzi potrzeba wykonania tego samego badania – u tych samych osób – po upływie określonego czasu.

We własnym eksperymencie laboratoryjnym stosowano to samo oznaczenie analityczne wielokrotnie w stosunku do tych samych obiektów, dlatego w pracy wykorzystano, stosunkowo rzad-



Symbole przedstawiają średnie z trzech replikacji. Pionowe słupki reprezentują 95% przedziały ufności; Symbols are averages of three replications. Vertical bars represent 95% confidence intervals.

Rys. 3. Rozpad linuronu samego i w mieszaninie z fungicydem i insektycydem w glebie lekkiej i średniej.

Fig. 3. Degradation of linuron alone and in mixture with fungicide and insecticide in light soil and medium soil.

ko używaną w badaniach rolniczych, metodę analizy wariancji w układzie powtarzanych pomiarów.

W metodzie ANOVA, w układzie powtarzanych pomiarów łatwiej odrzucić hipotezę zerową ze względu na mniejszy składnik błędny i przyjąć hipotezę alternatywną. Ewentualne udowodnienie interakcji czynników doświadczalnych jest cenną praktyczną przesłanką do określenia najkorzystniejszej kombinacji w eksperymencie. Natomiast wadą tego układu jest przyjęcie dodatkowych założeń, a zwłaszcza założenia o sferyczności, którego naruszenie może prowadzić do błędnych wniosków.

WNIOSKI

1. Stwierdzono przydatność metody analizy wariancji w układzie powtarzanych pomiarów do oceny dynamiki rozkładu linuronu w glebie.
2. Przeciętnie koncentracja linuronu jest większa w glebie średniej niż lekkiej.
3. Średnio koncentracja linuronu jest większa w wariancie mieszaniny z tiametoksamem i mankozebem. Zróznicowanie jest istotne statystycznie już od początku eksperymentu.
4. Degradacja linuronu następuje najszybciej w kombinacji: sam herbicyd i gleba lekka.

PIŚMIENNICTWO

Anyszka Z., Dobrzański A., 2006. Dzielone dawki linuronu jako element integrowanej ochrony przed chwastami pora z rozsady. Post. Ochr. Rośl., 46(2): 158-161.

Anyszka Z., Elkner K., 2007. Wpływ niektórych herbicydów na plon i chemiczne cechy jakościowe marchwi typu baby carrots. Roczn. AR Poznań, CCCLXXXIII, Ogrodnictwo, 41: 417-420.

Beulke S., Dubus I.G., Brown C.D., Gottesburen B., 2000. Simulation of pesticide persistence in the field on the basis of laboratory data. A review. J. Environ. Qual., 29: 1371-1379.

Brzeziński J., Stachowski R., 1984. Zastosowanie analizy wariancji w eksperymentalnych badaniach psychologicznych. PWN, Warszawa.

FOCUS. 2006. Guidance document on estimating persistence and degradation kinetics from environmental fate studies on pesticides in EU registration. Report of the FOCUS Work Group on Degradation Kinetics, EC Document Reference Sanco/10058/2005, Version 1.0. European Commission, Brussels.

Fogg P., Boxall A.B.A., Walker A., 2003. Degradation of pesticides in biobeds: the effect of concentration and pesticide mixtures. J. Agric. Food Chem., 51: 5344-5349.

Gupta S., Gajbhiye V.T., Gupta R.K., 2008. Soil dissipation and leaching behavior of a neonicotinoid insecticide thiamethoxam. Bull. Environ. Contam. Toxic., 80(5): 431-437.

Hance R.J., 1973. The effect of nutrients on the decomposition of the herbicides atrazine and linuron incubated in soil. Pest. Sci., 4: 817-822.

Hanumantharaju T.H., Awasthi M.D., 2004. Persistence and degradation of metalaxyl, mancozeb fungicides and its metabolite ethylenethiourea in soils. Indian J. Environ. Health, 46: 312-231.

Kabat-Zinn J., Massion A.O., Kristeller J., Peterson L.G., Fletcher K.E., Pbert L., Lenderking W.R., Santorelli S.F., 1992. Effectiveness of a mediation-based stress reduction program in the treatment of anxiety disorders. Am. J. Psych., 149: 936-943.

Kah M., Beulke S., Brown C.D., 2007. Factors influencing degradation of pesticide in soil. J. Agric. Food Chem., 55(1): 4487-4492.

Kucharski M., 2003. Influence of herbicide and adjuvant application on residues in soil and plant of sugar beet. J. Plant Protect. Res., 43(3): 225-232.

Kucharski M., 2007. Impact of adjuvants on phenmedipham, desmedipham and ethofumesate residues in soil and plant. Pestycydy/Pesticides, 3-4: 53-59.

Kucharski M., Sadowski J., 2009a. Degradation of ethofumesate in soil under laboratory conditions. Pol. J. Environ. Stud., 18(2): 243-247.

Kucharski M., Sadowski J., 2009b. Influence of adjuvants on behavior of phenmedipham in plant and soil. Polish J. Agron., 1: 32-36.

Kucharski M., Urbanowicz J., 2008. Badanie pozostałości linuronu i MCPA w glebie i roślinach ziemniaka. Biul. IHAR, 248: 61-66.

Kuehl R.O., 2000. Design of experiments: Statistical principles of research design and analysis. Duxbury Pre, Pacific Grove.

Shaner D.L., Henry W.B., Krutz L.J., Hanson B., 2007. Rapid assay for detecting enhanced atrazine degradation in soil. Weed Sci., 55: 528-535.

- Sniegowski K., Bers K., Ryckeboer J., Jaeken P., Spnoghe P., Springael D., 2011.** Robust linuron degradation in on-farm biopurification systems exposed to sequential environmental changes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 77(18): 6614-6621.
- Stanisz A., 2007.** *Przystępny kurs statystyki, t. II. StatSoft. Kraków.*
- Sowiński J., Szyszkowska A., Bodarski R., 2010.** Fitotoksyczność linuronu w uprawie współrzędnej kukurydzy z soją pastewną. *Post. Ochr. Rośl.*, 50(1): 317-321.
- Swarcewicz M., Gregorczyk A., 2012.** The effects of pesticide mixtures on degradation of pendimethalin in soils. *Environ. Monit. Assess.*, 184(5): 3077-3084.
- Swarcewicz M., Jurgiel-Malecka G., Włodarczyk M., 2003.** Influence of some fungicides on respiration and nitrification in the soil. *Post. Ochr. Rośl.*, 43(2): 181-184.
- Swarcewicz M., Skórska E., Paździuch W., 2007.** Effect of Atpolan 80 EC on atrazine residues in soil. *Pol. J. Chem. Technol.*, 9(3): 5-8.
- Walker A., Zimdahl R.L., 1981.** Simulation of the persistence of atrazine, linuron and metolachlor in soil at different sites in the USA. *Weed Res.*, 21: 255-265.
- Wybieralski J., Swarcewicz M., Osumek R., 2000.** Side effects of pesticides on respiration and nitrification processes in soil. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 472: 725-730.

A. Gregorczyk, M. Swarcewicz

REPEATED MEASURES ANOVA TO DETERMINE
THE EFFECTS OF FACTORS AFFECTING
HERBICIDE RESIDUES IN SOIL

Summary

The aim of this study was to test a rarely used statistical approach, the repeated measures ANOVA, to analyze the results of an agricultural experiment. The effect of soil type (light vs. medium), and of pesticides used in association with linuron on the level of the herbicide residues under controlled conditions was studied. Timing of herbicide concentration assay was used as the repeated measures factor (seven levels). Linuron-containing herbicides are often used in Polish agriculture. The impact of linuron on plants and soil, however, is not fully understood. Soil from the area of the north-western Poland was used in the study. Linuron concentration in soil solution was determined by liquid chromatography. Statistical analysis of the results allowed us to determine the main effects and interactions of factors, affecting the concentration of linuron in the soil. Overall, linuron concentration was higher in the medium than light soil. Regardless of the type of soil, linuron in mixtures is decomposed at a much slower rate than the herbicide alone. The fastest linuron degradation occurs in combination: the herbicide alone and light soil.

key words: herbicide, linuron, repeated measures, soil