

Wpłynęło 02.11.2016 r.
Zrecenzowano 01.03.2017 r.
Zaakceptowano 28.03.2017 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

WPŁYW PREPARATÓW ROUNDUP 360 SL I ROUNDUP 360 PLUS NA AKTYWNOŚĆ WYBRANYCH FOSFATAZ W GLINIE PIASZCZYSTO-ILASTEJ

Maciej PŁATKOWSKI^{ABDEF} Arkadiusz TELESIŃSKI^{ABCEF}

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Katedra Fizjologii Roślin i Biochemii

Streszczenie

Celem podjętych badań było oznaczenie wpływu dwóch preparatów herbicydowych zawierających glifosat – Roundup 360 SL (zawartość glifosatu w postaci soli izopropylaminowej – $360 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$) i Roundup 360 Plus (zawartość glifosatu w postaci soli potasowej – $360 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$) na aktywność: fosfomonoesterazy kwaśnej i alkalicznej, pirofosfatazy nieorganicznej oraz fosfotriesterazy w glebie. Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych na glebie typu czarne ziemie o składzie granulometrycznym gliny piaszczysto-ilastej i zawartości Corg $33,81 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, pobranej z Równiny Pyrzyckiej. Wprowadzone do gleby dawki preparatów przeliczono tak, aby ilość dodanej substancji aktywnej wynosiła 1, 10, 100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Punktem odniesienia była gleba bez dodatku herbicydów. Pomiar aktywności enzymów przeprowadzono w 1., 7., 14., 28., 56. dniu od założenia doświadczenia. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że aplikacja preparatów zawierających glifosat w formie soli izopropylaminowej (Roundup 360 SL) i soli potasowej (Roundup 360 Plus) spowodowała istotne zmiany aktywności fosfataz glebowych. Spośród oznaczanych fosfataz najbardziej wrażliwa na obecność w glebie preparatów zawierających glifosat okazała się pirofosfataza nieorganiczna. Ponadto przeprowadzona analiza wariancji η^2 wykazała, że rodzaj preparatu Roundup miał największy wpływ jedynie na aktywność fosfotriesterazy, podczas gdy aktywność pozostałych fosfataz kształtowana była głównie przez czas trwania doświadczenia.

Słowa kluczowe: fosfomonoesterazy, fosfotriesteraza, gleba, glifosat, pirofosfataza nieorganiczna

Do cytowania For citation: Płatkowski M., Telesiński A. 2017. Wpływ preparatów Roundup 360 SL i Roundup 360 Plus na aktywność wybranych fosfataz w glinie piaszczysto-ilastej. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 17. Z. 2 (58) s. 149–156.

WSTĘP

Najczęściej stosowanymi herbicydami są obecnie preparaty zawierające glifosat [MYERS i in. 2016]. Wśród używanych substancji aktywnych udział tego związku kształtuje się na poziomie 3,8% [COUPE, CAPEL 2015]. Jak podają NEWMAN i in. [2016], jego roczne zużycie przekracza 1,35 milionów ton. Światowa Organizacja Zdrowia w 2015 r. uznała glifosat za substancję prawdopodobnie kancerogenną [MESNAGE i in. 2015]. W związku z tym oraz powszechnością stosowania konieczne stało się zintensyfikowanie badań epidemiologicznych, monitorinowych i ekotoksykologicznych dotyczących tego związku [BENBROOK 2016].

Pod względem chemicznym glifosat jest N-fosfonometyloglicyną – pochodną kwasu fosfonowego, w której jeden z atomów wodoru grupy metylowej bezpośrednio połączonej z fosforem został zastąpiony przez glicynę [PIENIAŻEK i in. 2003]. Głównym mechanizmem działania glifosatu jest hamowanie aktywności syntazy 5-enolpirogrotonianoszikimo-3-fosforanu (EPSP), który jest kluczowym enzymem szlaku szikimowego, występującego we wszystkich mikroorganizmach, grzybach i roślinach [MARTINI i in. 2012]. W celu zwiększenia skuteczności działania glifosatu stosuje się różne modyfikacje jego cząsteczki. Występuje on w postaci kwasu, soli amonowej, sodowej, potasowej, izopropylaminowej oraz soli trimetylosiarczanu [KWIATKOWSKA i in. 2013].

Przeprowadzone wcześniej badania wykazały, że glifosat oraz jego preparaty modyfikują aktywność różnych fosfataz zarówno w piasku gliniastym [PŁATKOWSKI, TELESIŃSKI 2015], jak i w glinie lekkiej [PŁATKOWSKI, TELESIŃSKI 2016a, b]. Dlatego też celem podjętych badań było określenie oddziaływania dwóch preparatów – Roundup 360 SL i Roundup 360 Plus, zawierających odpowiednio sól izopropylaminową i sól potasową potasu, na aktywność wybranych fosfataz w glinie piaszczysto-ilastej.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Doświadczenie przeprowadzono w trzech powtórzeniach na próbkach glebowych pobranych z poziomu akumulacyjno-próchniczego czarnych ziem Równiny Pryzyckiej (województwo zachodniopomorskie). Gleba ta ma skład granulometryczny gliny piaszczysto-ilastej, pH w 1 M KCl 7,13 oraz zawartość węgla organicznego $33,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Pobrąną glebę przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm i podzielono na naważki o masie 0,5 kg. Następnie wprowadzono wodne roztwory preparatów – Roundup 360 SL (zawartość glifosatu w postaci soli izopropylaminowej – $360 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$) i Roundup 360 Plus (zawartość glifosatu w postaci soli potasowej – $360 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$). Ilość wprowadzonego glifosatu wynosiła 0 (kontrola) i w postaci obu preparatów 1, 10 lub $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Wilgotność próbek doprowadzono do 60% maksymalnej pojemności wodnej i inkubowano w temperaturze 20°C .

W 1., 7., 14., 28. oraz 56. dniu doświadczenia oznaczono spektrofotometrycznie aktywność fosfomonoesterazy kwaśnej (EC 3.1.3.2) oraz fosfomonoesterazy zasadowej (EC 3.1.3.1) metodą TABATABAI i BREMNERA [1969], fosfotriesterazy (EC 3.1.8.1) metodą EIVAZI i TABATABAI [1977], a także pirofosfatazy nieorganicznej (EC 3.1.6.1) metodą DICKA i TABATABAI [1978]. Wszystkie analizy wykonano w trzech powtórzeniach.

Na podstawie uzyskanych wyników obliczono średnie wskaźniki oporności (RS) oznaczanych fosfatyz, zgodnie ze wzorem podanym przez ORWINA i WARDLE'A [2004]:

$$RS = 1 - \frac{2|D|}{C + |D|} \quad (1)$$

gdzie:

- RS = wskaźnik oporności,
- C = aktywność enzymu w glebie kontrolnej,
- D = różnica pomiędzy aktywnością enzymu w glebie kontrolnej i w glebie z dodatkiem preparatu zawierającego glifosat.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie za pomocą dwuczynnikowej analizy wariancji ANOVA oraz komplementarnie porównano testem post-hoc Tukeya HSD, wykorzystując oprogramowanie Statistica 12.5. Przyjęty poziom istotności wynosił $p < 0,05$. Obliczenia wykonano niezależnie dla każdego preparatu w kolejnym terminie pomiaru. Ponadto na podstawie analizy wariancji η^2 wykazano procentowy udział poszczególnych czynników na zmiany aktywności oznaczanych fosfatyz.

WYNIKI I DYSKUSJA

Wprowadzenie do gleby obu preparatów zawierających glifosat – Roundup 360 SL i Roundup 360 Plus spowodowało głównie istotne zmiany aktywności wszystkich fosfatyz (tab. 1), a najczęściej obserwowanym efektem było zmniejszenie aktywności tych enzymów. Stwierdzony efekt wielokrotnie nie pokrywał się z zastosowaną dawką preparatów. Jest to potwierdzeniem prowadzonych wcześniej badań nad oddziaływaniem różnych preparatów zawierających glifosat na aktywność fosfatyzową piasku gliniastego [PŁATKOWSKI, TELESIŃSKI 2015] oraz gliny lekkiej [PŁATKOWSKI, TELESIŃSKI 2016a, b]. Analizując występujące zmiany, wykazano, że w przypadku Roundupu 360 SL największą istotną statystycznie inhibicję aktywności fosfomonoesterazy kwaśnej oraz pirofosfatazy nieorganicznej stwierdzono po aplikacji dawki odpowiadającej ilości glifosatu $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ w 1. dniu doświadczenia (odpowiednio o 19,02% i 28,65%), a fosfomonoesterazy zasadowej i fosfotriesterazy po dodaniu dawki odpowiadającej ilości glifosatu $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, odpowiednio w 56. (14,00%) i 7. dniu doświadczenia (17,70%). Natomiast po wprowadzeniu Roundupu 360 Plus istotne statystycznie zmniejszenie aktywności fosfomonoesterazy kwaśnej (7. dzień doświadczenia), fosfomonoesterazy zasado-

Tabela 1. Aktywność wybranych enzymów przemian związków fosforu w glebie po zastosowaniu preparatów Roundup 360 SL i Roundup 360 Plus**Table 1.** Activity of chosen enzymes in phosphorus transformation in soil treated with formulations Roundup 360 SL and Roundup 360 Plus

Enzym Enzyme	Rodzaj preparatu Type of formulation	Dawka glifosatu Glyphosate dosage mg·kg ⁻¹	Dzień doświadczenia Day of experiment				
			1	7	14	28	56
ACP	0 (kontrola)	control)	279,98 ^a	318,98 ^a	335,01 ^e	264,13 ^b	259,91 ^b
	Roundup 360 SL	1	265,25 ^b	320,67 ^a	333,89 ^e	241,35 ^c	245,00 ^c
		10	259,07 ^{bc}	303,79 ^b	344,58 ^d	241,63 ^c	268,07 ^b
	Roundup 360 Plus	100	226,72 ^c	258,72 ^d	358,36 ^c	291,98 ^a	263,00 ^b
		1	286,07 ^a	258,50 ^d	372,52 ^a	301,26 ^a	240,50 ^c
		10	242,19 ^d	268,80 ^d	311,95 ^f	253,16 ^{bc}	318,70 ^a
	100	253,44 ^c	276,79 ^e	366,24 ^b	258,50 ^b	265,54 ^b	
ALP	0 (kontrola)	control)	625,02 ^e	737,54 ^c	646,96 ^a	579,45 ^b	618,55 ^a
	Roundup 360 SL	1	656,81 ^{cd}	752,73 ^b	613,77 ^b	576,08 ^b	588,17 ^b
		10	661,03 ^c	772,42 ^a	593,80 ^c	532,48 ^d	531,92 ^e
	Roundup 360 Plus	100	646,96 ^d	734,72 ^c	606,46 ^{bc}	516,45 ^e	569,05 ^c
		1	705,19 ^a	737,26 ^c	610,40 ^b	522,91 ^e	511,66 ^f
		10	686,06 ^b	709,97 ^d	640,21 ^a	600,83 ^a	551,61 ^d
	100	704,91 ^a	775,51 ^a	601,96 ^{bc}	561,17 ^c	594,92 ^b	
PT	0 (kontrola)	control)	17,12 ^d	20,22 ^a	19,49 ^{bc}	20,26 ^a	22,34 ^a
	Roundup 360 SL	1	18,87 ^{bc}	18,77 ^{bc}	18,87 ^{cd}	19,20 ^b	19,63 ^c
		10	17,43 ^d	16,64 ^d	18,09 ^{de}	20,51 ^a	22,17 ^a
	Roundup 360 Plus	100	20,34 ^a	18,65 ^{bc}	20,06 ^b	20,28 ^a	20,44 ^b
		1	17,67 ^{cd}	16,38 ^d	21,41 ^a	18,00 ^c	16,80 ^d
		10	19,25 ^{ab}	19,55 ^{ab}	16,11 ^f	18,74 ^b	19,24 ^c
	100	17,99 ^{bcd}	18,20 ^c	17,42 ^e	16,95 ^d	15,65 ^e	
IPP	0 (kontrola)	control)	186,38 ^a	188,86 ^a	200,23 ^a	220,99 ^d	153,26 ^b
	Roundup 360 SL	1	161,66 ^b	167,60 ^b	173,53 ^{de}	258,56 ^c	125,08 ^c
		10	136,64 ^d	152,77 ^b	188,24 ^{bc}	292,18 ^b	215,55 ^a
	Roundup 360 Plus	100	132,99 ^d	169,57 ^b	168,21 ^{de}	232,36 ^d	154,25 ^b
		1	148,81 ^c	115,19 ^c	163,89 ^e	273,89 ^c	70,20 ^e
		10	156,23 ^{bc}	127,06 ^c	178,60 ^{cd}	292,18 ^b	149,80 ^b
	100	98,38 ^e	110,74 ^c	192,32 ^b	312,45 ^a	101,35 ^d	

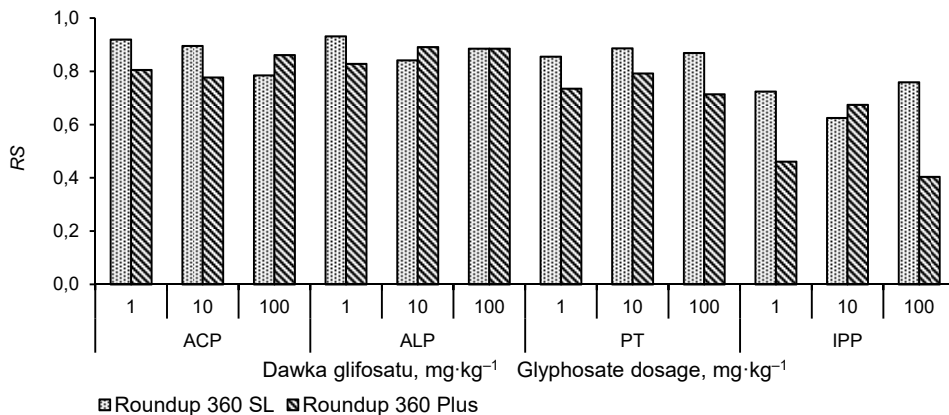
Objaśnienia: ACP = fosfomonoesteraza kwaśna, mg p-NP·kg⁻¹ s.m·h⁻¹; ALP = fosfomonoesteraza zasadowa, mg p-NP·kg⁻¹ s.m·h⁻¹; PT = fosfotriesteraza, mg p-NP·kg⁻¹ s.m·h⁻¹; IPP = pirofosfataza nieorganiczna, mg P-PO₄³⁻·kg⁻¹ s.m·h⁻¹; wartości średnie zaznaczone takimi samymi literami w obrębie kolumn dla enzymu nie różnią się istotnie statystycznie.

Explanations: ACP = acid phosphomonoesterase, mg p-NP·kg⁻¹ d.m·h⁻¹; ALP = alkaline phosphomonoesterase, mg p-NP·kg⁻¹ d.m·h⁻¹; PT = phosphotriesterase, mg p-NP·kg⁻¹ d.m·h⁻¹; IPP = inorganic pyrophosphatase, mg P-PO₄³⁻·kg⁻¹ d.m·h⁻¹, mean values denoted by the same letters within a column for enzyme do not differ statistically.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

wej (56. dzień doświadczenia) oraz pirofosfatazy nieorganicznej (56. dzień doświadczenia) było największe w odniesieniu do dawki preparatu równoważnej ilości glifosatu $1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (odpowiednio 18,96%, 17,28% i 54,19), a w przypadku fosfotriesterazy – $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ w 56. dniu doświadczenia (29,95%). Wielokrotnie odnotowano także stymulację aktywności oznaczanych enzymów, jednakże występowała ona rzadziej niż inhibicja (tab. 1). W literaturze przedmiotu można znaleźć doniesienia o braku zmian aktywności fosfataz glebowych pod wpływem glifosatu [CHERNI i in. 2015; NAKATANI i in. 2014], jak i stymulacji [FLOCH i in. 2011; YING i in. 2011] oraz inhibicji aktywności tych enzymów [SANNINO, GIANFREDA 2001]. Według SPEIRA i ROSSA [1978] zahamowanie aktywności fosfataz jest spowodowane obecnością grupy fosfonowej w cząsteczce glifosatu. Ponadto zmienność oddziaływania w czasie analizowanych preparatów wynika prawdopodobnie z rozkładu glifosatu i powstawania jego metabolitów. Podstawowym metabolitem powstającym podczas rozkładu glifosatu jest kwas aminometylofosfonowy (AMPA), który może mieć większy wpływ na procesy biochemiczne w organizmach niż substancja wyjściowa [DING i in. 2011].

Analizując obliczone średnie wartości współczynników oporności (*RS*), stwierdzono, że najbardziej wrażliwa na obecność preparatów Roundup w glebie okazała się pirofosfataza nieorganiczna (rys. 1). Ponadto stwierdzono, że wprowadzenie preparatu Roundup 360 Plus w dawce odpowiadającej ilości glifosatu 1 i $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ spowodowało większe zmiany aktywności tego enzymu (wartości *RS* wynosiły odpowiedni 0,46 i 0,40) niż po zastosowaniu dawki odpowiadającej 10



Rys. 1. Średnie wartości wskaźników oporności (*RS*) fosfataz glebowych po wprowadzeniu preparatów Roundup 360 SL i Roundup 360 Plus; ACP = fosfomonoesteraza kwaśna, ALP = fosfomonoesteraza zasadowa, PT = fosfotriesteraza, IPP = pirofosfataza nieorganiczna; źródło: wyniki własne

Fig. 1. Mean values of resistance index (*RS*) of soil phosphatase after application of formulations Roundup 360 SL and Roundup 360 Plus; ACP = acid phosphomonoesterase, ALP = alkaline phosphomonoesterase, PT = phosphotriesterase, IPP = inorganic pyrophosphatase; source: own study

mg·kg⁻¹. W wyniku zastosowania tej dawki mniejsze wartości *RS* odnotowano po aplikacji herbicydu Roundup 360 SL (*RS* = 0,67). W przypadku pozostałych enzymów obliczone średnie wartości *RS* nie były mniejsze niż 0,7. Wartości *RS* poszczególnych enzymów zmniejszyły się najbardziej po wprowadzeniu preparatu Roundup 360 Plus, jednakże w przypadku fosfomonoesterazy kwaśnej taką sytuację odnotowano po zastosowaniu dawki odpowiadającej ilości glifosatu 10 mg·kg⁻¹ (*RS* = 0,78), w przypadku fosfomonoesterazy zasadowej – 1 mg·kg⁻¹ (*RS* = 0,83), a fosfotriesterazy – 100 mg·kg⁻¹ (*RS* = 0,71) (rys. 1). Według GRIFFITHSA i PHILIPPOTA [2013], a także ORWINA i WARDLE'A [2004] wartości *RS* bardzo dobrze obrazują wrażliwość ekosystemu na określone zanieczyszczenie. Ponadto dostarczają one informacji na temat jakości gleby zanieczyszczonej substancjami organicznymi, w tym pestycydami [PŁATKOWSKI, TELESIŃSKI 2016a].

Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji η^2 stwierdzono, że jedynie na kształtowanie aktywności fosfotriesterazy największy wpływ miał rodzaj preparatu Roundup (36,69%). W przypadku pozostałych enzymów największy udział wśród czynników doświadczalnych miał termin pomiaru, który w odniesieniu do fosfomonoesterazy kwaśnej, fosfomonoesterazy zasadowej i pirofosfatazy nieorganicznej wynosił odpowiednio 82,99, 89,93 i 75,00% (tab. 2).

Tabela 2. Udział czynników doświadczalnych w kształtowaniu aktywności fosfataz glebowych

Table 2. Percentage participation of variable factors in the formation of soil phosphatase activities

Czynnik Factor	Udział, % Percentage participation			
	ACP	ALP	PT	IPP
Preparat (P) Formulation (P)	0,36	1,47	36,69	4,91
Dawka (D) Dosage (D)	2,03	0,83	14,74	6,56
Dzień (T) Day (T)	82,99	89,93	10,86	75,00
P × D	0,96	2,74	11,91	0,87
P × T	2,80	1,28	7,97	5,47
D × T	6,19	2,46	12,19	5,63
P × D × T	4,58	1,38	5,37	1,50
Błąd Error	0,08	0,02	0,27	0,06

Objaśnienia: ACP, ALP, PT, IPP jak na rys. 1. Explanations: ACP, ALP, PT, IPP as in Fig. 1.

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

WNIOSKI

1. Wprowadzenie preparatów zawierających glifosat w formie soli izopropylaminowej (Roundup 360 SL) oraz soli potasowej (Roundup 360 Plus) spowodowało istotne zmiany aktywności fosfataz glebowych.

2. Spośród oznaczanych fosfataz w glinie piaszczysto-ilastej najbardziej wrażliwa na obecność w glebie preparatów zawierających glifosat okazała się pirofosfataza nieorganiczna.

3. Przeprowadzona analiza wariancji η^2 wykazała, że rodzaj preparatu Roundup miał największy wpływ jedynie na aktywność fosfotriesterazy, podczas gdy aktywność pozostałych fosfataz kształtowana była głównie przez termin pomiaru.

BIBLIOGRAFIA

- BENBROOK M.C. 2016. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe*. Vol. 28 s. 3–17.
- CHERNI A.E., TRABELSI D., CHEBIL S., BARCHOUMI F., RODRIGUEZ-LLORENTE I.D., ZRIBI K. 2015. Effect of glyphosate on enzymatic activities, *Rhizobiaceae* and total bacteria; communities in an agricultural Tunisian soil. *Water, Air and Soil Pollution*. Vol. 226 s. 145–155.
- COUPE R.H., CAPEL P.D. 2015. Trends in pesticide use on soybean, corn and cotton since the introduction of major genetically modified crops in the United States. *Pest Management Science*. Vol. 72(5) s. 1013–1022.
- DICK W.A., TABATABAI M.A. 1978. Inorganic pyrophosphatase activity of soils. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 10 s. 59–65.
- DING W., REDDY K.N., ZABLOTOWIC R.M., BELLALOU M., BRUNS H.A. 2011. Physiological response of glyphosate resistant and glyphosate sensitive soybean to aminomethyphosphonic acid, a metabolite of glyphosate. *Chemosphere*. Vol. 83 s. 593–598.
- EIVAZ F., TABATABAI M.A. 1977. Phosphatases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 9 s. 167–172.
- FLOCH C., CHEVREMONT A.C., JOANICO K., CAPOWICZ Y., CRIQUET S. 2011. Indicators of pesticide contamination: Soil enzyme compared to functional diversity of bacterial communities via biology ecoplates. *European Journal of Soil Biology*. Vol. 47(4) s. 256–263.
- GRIFFITHS B.S., PHILIPPOT L. 2013. Insights into the resistance and resilience of the soil microbial community. *FEMS Microbiology Reviews*. Vol. 37(2) s. 112–129.
- KWIATKOWSKA M., JAROSIEWICZ P., BUKOWSKA B. 2013. Glifosat i jego preparaty – toksyczność, narażenie zawodowe i środowiskowe [Glyphosate and its formulations – toxicity, occupational and environmental exposure]. *Medycyna Pracy*. Nr 64(5) s. 717–729.
- MARTINI C.N., GABRIELLI M., DEL VILA M.C. 2012. A commercial formulation of glyphosate inhibits proliferation and differentiation to adipocytes and induces apoptosis in 3T3-L1 fibroblasts. *Toxicology in Vitro*. Vol. 26 s. 1007–1013.
- MESNAGE R., DEFARGE N., SPIROUX DE VENDOMOIS J., SERALINI G.E. 2015. Potential toxic effects and its commercial formulations below regulatory limits. *Food and Chemical Toxicology*. Vol. 84 s. 133–153.
- MYERS J.P., ANTONIOU M.N., BLUMBERG B., CARROLL L., COLBORN T., EVERETT L.G., HANSEN M., LANDRIGAN P.J., LANPHEAR B.P., MESNAGE R., VANDENBERG L.N., VOM SAAL F.S., WELSHONS W.V., BENBROOK M.C. 2016. Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures: A consensus statement. *Environmental Health*. Vol. 15 s. 19–31.
- NAKATANI A.S., FERNANDES M.F., DE SOUZA R.A., DA SILVA A.P., DOS RIS-JUNIOR F.-B., MENDES I.C., HUNGRIA M. 2014. Effects of the glyphosate-resistance gene and of herbicides applied to the soybean crop on soil microbial biomass and enzymes. *Field Crops Research*. Vol. 62 s. 20–29.
- NEWMAN M.M., HOILETT N., LORENZ N., DICK R.P., LILES M.R., RAMSIER C., KLOEPPER J.W. 2016. Glyphosate effects on soil rhizosphere-associated bacterial communities. *Science of the Total Environment*. Vol. 543 s. 155–160.
- ORWIN K.H., WARDLE D.A. 2004. New indices for quantifying the resistance and resilience of soil biota to exogenous disturbance. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 36 s. 1907–1912.
- PIENIAŻEK D., BUKOWSKA B., DUDA W. 2003. Glifosat – nietoksyczny pestycyd? [Glyphosate – a non-toxic pesticide?]. *Medycyna Pracy*. Nr 54(6) s. 579–583.

- PLATKOWSKI M., TELESIŃSKI A. 2015. Ocena oddziaływania glifosatu na aktywność wybranych enzymów biorących udział w przemianach związków fosforu w glebie lekkiej [The assessment of glyphosate effect on activity of some enzymes involved in phosphorus transformations in loamy sand]. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 1(49) s. 79–89.
- PLATKOWSKI M., TELESIŃSKI A. 2016a. Response of soil phosphatases to glyphosate and its formulations – Roundup (laboratory conditions). Plant, Soil and Environment. Vol. 62(6) s. 286–292.
- PLATKOWSKI M., TELESIŃSKI A. 2016b. Porównanie oddziaływania glifosatu i preparatów Roundup na aktywność pirofosfatazy nieorganicznej i zawartość fosforu przyswajalnego w glinie lekkiej [Comparison of glyphosate and roundup preparations influence on inorganic pyrophosphatase activity and available phosphorus content in sandy loam]. Nauka. Przyroda. Technologie. Nr 10(1) #13.
- SANNINO F., GIANFREDA L. 2001. Pesticide influence on soil enzymatic activities. Chemosphere. Vol. 45 s. 417–425.
- SPEIR T.W., ROSS D.F. 1978. Soil phosphatase and sulphatase. W: Soil enzymes. Red. R.G. Burns. Londyn. Wydaw. Academic Press. s. 197–250.
- TABATABAI M.A., BREMNER J.M. 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay soil phosphatase activity. Soil Biology and Biochemistry. Vol. 1(4) s. 307–310.
- YING Y., HAIJUN Z., QIXING Z. 2011. Using soil available P and activities of soil dehydrogenase and phosphatase as indicators for biodegradation of organophosphorus pesticide methamidophos and glyphosate. Soil and Sediment Contamination. Vol. 20 s. 688–701.

Maciej PLATKOWSKI, Arkadiusz TELESIŃSKI

EFFECT OF ROUNDUP 360 SL AND ROUNDUP 360 PLUS ON ACTIVITY OF SOME PHOSPHATASES IN SANDY CLAY LOAM

Key words: *glyphosate, inorganic pyrophosphatase, phosphomonoesterases, phosphotriesterase, soil*

S u m m a r y

The aim of study was to assess effect of two formulations containing glyphosate: Roundup 360 SL (content of isopropylamine glyphosate salt – $360 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$) and Roundup 360 Plus (content of potassium glyphosate salt – $360 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$) on activity of acid phosphomonoesterase, alkaline phosphomonoesterase, phosphotriesterase and inorganic pyrophosphatase in soil. The experiment was carried out in laboratory in samples collected from Pырzycka Plain (sandy loamy clay, Corg $33.81 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Doses of formulations Roundup, applied to the soil, were calculated so the amounts of glyphosate were: 1, 10, $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Soil without herbicides was reference. On days: 1, 7, 14, 28 and 56 the activities of phosphatases were determined spectrophotometrically. The obtained results showed that application of formulations containing isopropylamine glyphosate salt (Roundup 360 SL) and potassium glyphosate salt (Roundup 360 Plus) caused significant changes in phosphatase activities. Among phosphatases, measured in experiment, inorganic pyrophosphatase was the most vulnerable to the presence on glyphosate formulations. Furthermore, the analysis of variance η^2 showed that the type of formulation Roundup had the greatest effect only on the phosphotriesterase activity, while remaining phosphatase activity was changed mainly by the duration of the experiment.

Adres do korespondencji: dr hab. inż. Arkadiusz Telesiński, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Fizjologii Roślin i Biochemii, ul. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin; tel. +48 91 449-62-84; e-mail: arkadiusz.telesiński@zut.edu.pl