

WPŁYW ZRÓŻNICOWANEGO NAWOŻENIA PRZEDPŁONU POTASEM NA AKTYWNOŚĆ ENZYMATYCZNĄ GLEBY W UPRAWIE JĘCZMIENIA JAREGO*

Barbara Symanowicz, Stanisław Kalembasa, Martyna Toczko, Korneliusz Skwarek

Zakład Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Instytut Agronomii, Wydział Przyrodniczy
Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce
e-mail: barbara.symanowicz@uph.edu.pl

Streszczenie. Celem badań było określenie zmian aktywności enzymatycznej gleby w czasie wegetacji jęczmienia jarego pod wpływem zróżnicowanego nawożenia przedplonu potasem. Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2011 i 2013 w układzie całkowicie losowym w czterech powtórzeniach na polkach doświadczalnych Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach. Przedplonem był groch siewny (*Pisum sativum* L.), pod który stosowano nawożenie: NK₀, NK₁, NK₂, NK₃, NK₄, NK₅ (N-20; K₁-41,5; K₂-83; K₃-124; K₄-166; K₅-207,5 kg ha⁻¹). W uprawie jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) uwzględniono nawożenie: N₁,K₀ N₁K₁, N₁K₁, N₁K₁, N₁K₁, N₁K₁ (N₁-50, K₁-41,5 kg ha⁻¹). Aktywność enzymów glebowych oznaczano czterokrotnie w czasie wegetacji, w próbkach pobranych z poziomu Ap (0-30 cm). Analizowana gleba charakteryzowała się bardzo wysoką aktywnością ureazy (średnio 365,5 mg N-NH₄ h⁻¹·kg⁻¹ gleby). Największą aktywność dehydrogenaz oznaczono w glebie pobranej w czerwcu z obiektu nawozowego N₁K₁ (NK₃ przedplon). Aktywność fosfatazy alkalicznej była dwukrotnie większa w porównaniu z aktywnością fosfatazy kwaśnej. Istotnie największą aktywnością fosfatazy alkalicznej (0,46-0,64 mmola PNP·h⁻¹·kg⁻¹ gleby) i kwaśnej (0,26-0,31 mmola PNP·h⁻¹·kg⁻¹ gleby) charakteryzowała się gleba pobrana z obiektu nawozowego N₁K₁ (jęczmień jary) NK₁ (przedplon-groch siewny).

Słowa kluczowe: nawożenie K, aktywność enzymatyczna, przedplon, jęczmień jary

WSTĘP

Enzymy występujące w glebie są podobne do enzymów występujących w innych systemach w przyrodzie (Singh i Kumar 2008). Mogą one być używane jako indykatory jakości gleby w zróżnicowanych systemach rolnictwa (Adetunji i in. 2017) i czułe wskaźniki przemian zachodzących w glebie (Koper i in. 2008).

* Wyniki badań, zrealizowane w ramach tematu badawczego nr 315/12/S, zostały sfinansowane z dotacji na naukę, przyznanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Garbuz i in. (2016) wskazują na zróżnicowanie aktywności enzymatycznej gleb w zależności od stanu fizycznego gleby (gleba wilgotna świeża i gleba powietrznie sucha) i wielkości agregatów glebowych (>1 mm i 1-2 mm). Na brak możliwości porównywania wyników aktywności enzymatycznej z doświadczeń polowych i laboratoryjnych wskazują Cheng i Zhiping (2007) oraz Iovieno i in. (2009). Rodzaj nawożenia mineralnego, naturalnego i organicznego wpływa na zmiany aktywności enzymatycznej w glebie oraz na wzrost i rozwój roślin (Chu i in. 2007, Symanowicz i in. 2014, 2018, Tabatabai 1994). Według Kopra i Lemanowicz (2008), Yanga i in. (2008), Zhao i in. (2009) aktywność ureazy, dehydrogenazy i fosfatazy zależy od ilości zastosowanego nawożenia organicznego i mineralnego, pH gleby, czasu pobierania próbek i gatunku uprawianych roślin. Badania Symanowicz i in. (2018) wykazały, że nawożenie grochu siewnego azotem w dawce $20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ i potasem $166 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ wpłynęło na zwiększenie aktywności ureazy i dehydrogenaz w glebie. Zmianowanie wzbogacające glebę w substancję organiczną (obornik), nawożenie azotowe $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, fosforowe $55 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ i potasowe $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ wpłynęło na wzrost aktywności dehydrogenaz (Lemanowicz i in. 2009). Na zwiększenie aktywności fosfatazy kwaśnej i alkalicznej wpływa nie tylko optymalny odczyn gleby (Kalembasa i Symanowicz 2012, Lemanowicz 2013), ale również zagęszczanie i mulczowanie gleby (Siczek i Frąc 2012). Według Swędrzyńskiej i in. (2013) oraz Swędrzyńskiej i Grzesia (2015) także stosowany system uprawy roli ma istotny wpływ na poziom aktywności fosfatazy kwaśnej i dehydrogenaz. Badania tych autorów wskazują na zwiększenie aktywności fosfatazy kwaśnej i dehydrogenaz przy zastosowaniu bezorkowego systemu uprawy roli. Zwiększoną aktywność fosfatazy alkalicznej i ureazy stwierdzono także w glebach stepowych w północno-zachodnich Chinach, wyłączonych przez 10 lat z wypasu owiec (Qin i in. 2015). Termin pobierania próbek glebowych miał istotny wpływ na aktywność fosfatazy alkalicznej i kwaśnej w badaniach przeprowadzonych przez Piotrowską-Długosz i Wilczewskiego (2014), w których rośliną testową był jęczmień jary i zróżnicowane sposoby stosowania nawozów zielonych.

Celem badań było określenie wpływu zróżnicowanego nawożenia przedplonu potasem na aktywność enzymatyczną gleby w czasie wegetacji jęczmienia jarego. Przyjęto hipotezę badawczą, że zwiększone dawki potasu zastosowane pod przedplon mogą wpłynąć na zmianę składu kompleksu sorpcyjnego gleby, pH gleby i w konsekwencji na aktywność enzymatyczną. Hipoteza badawcza zakładała również zmiany aktywności enzymatycznej w czasie wegetacji wynikające ze zróżnicowania temperatury i wilgotności gleby.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe było przeprowadzone w latach 2011 i 2013 metodą całkowicie losową, w czterech powtórzeniach na poletkach doświadczalnych Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach (52°17'N, 22°28'E). Przedplonem w 2010 i 2012 był groch siewny (*Pisum sativum* L.), pod który stosowano NK₀, NK₁, NK₂, NK₃, NK₄, NK₅ (N-20, K₁-41,5, K₂-83, K₃-124, K₄-166, K₅-207,5 kg·ha⁻¹). W 2011 i 2013 roku uprawiano jęczmień jary (*Hordeum vulgare* L.) i stosowano nawożenie N₁K₀, N₁K₁, N₁K₁, N₁K₁, N₁K₁, N₁K₁ (N₁-50, K₁-41,5 kg·ha⁻¹). Azot aplikowano w formie saletry amonowej (34% N), a potas w formie soli potasowej (50% K). Powierzchnia poletka wynosiła 3 m².

Gleba o składzie granulometrycznym piasku gliniastego (piasek – 79%, pył – 13%, il – 8%), na której uprawiano jęczmień jary charakteryzowała się odczynem obojętnym. Zasobność gleby w przyswajalne formy fosforu oznaczona metodą Egnera-Riehma (DL) i magnezu oznaczona metodą Schachtschabela określono jako bardzo wysoką, a w przyswajalny potas jako niską (tab. 1).

Tabela 1. Chemiczna charakterystyka badanej gleby

Table 1. Chemical characteristic of experimental soil

pH _{KCl}	pH _{CaCl2}	$\frac{N_{tot}}{g \cdot kg^{-1}}$	$\frac{C_{org}}{g \cdot kg^{-1}}$	N-NH ₄ *	N-NO ₃ *	P*	K*	Mg*
				mg·kg ⁻¹				
6,7	6,3	1,6	23,4	36	240	180	53	67

*formy przyswajalne / available forms

Aktywność enzymatyczną gleby oznaczano w powietrznie suchych próbkach gleby pobieranych w 2013 roku. Glebę pozyskiwano z przykorzeniowej strefy poziomu próchnicznego Ap (piasek gliniasty) w czasie wegetacji jęczmienia jarego (w drugiej dekadzie kwietnia, maja, czerwca i lipca). Podczas analiz chemicznych wszystkie próbki gleby doprowadzono do jednolitej, stałej wilgotności.

Aktywność ureazy oznaczono kolorymetrycznie po inkubacji gleby z mocznikiem (roztwór wodny) i dodaniu buforu cytrynianowego według modyfikowanej metody Alef i Nannipieri (1998). Aktywność dehydrogenaz w glebie oznaczono kolorymetrycznie, stosując TTC (2,3,5-trifenyloctetrazoliowy chlorek) jako substrat, który podczas inkubacji redukuje się do TPF (trifenyloformazan) według metody Casida i in. (1964) i Wolińskiej i in. (2016). W oznaczeniu aktywności fosfatazy kwaśnej i alkalicznej w glebie zastosowano metodę Page (1982), w której wykorzystano dwusodowy fosforan 4-nitrofenylu jako substrat w zmodyfikowanym uniwersalnym buforze (MUB), przy pH 6,5 dla fosfatazy kwaśnej i przy pH 11 dla fosfatazy alkalicznej. Następnie mierzono spektrofotometrycznie intensywność barwy, ze względu na uwalniany p-nitrofenol.

Uzyskane wyniki analiz opracowano statystycznie dla każdego terminu pobierania próbek, korzystając z analizy wariancji jednoczynnikowej w układzie całkowicie losowym. Dla udowodnionych efektów czynnika doświadczalnego testowano różnice między średnimi obiektami za pomocą testu HSD *post-hoc* Tukey'a na poziomie istotności $p \leq 0,05$. Stopień zależności pomiędzy badanymi cechami gleby określono metodą analizy korelacji prostej ($p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$). Analizy statystyczne danych dotyczących aktywności poszczególnych enzymów wykonano w programie Statistica Pl 12.0, Statsoft, 2016.

WYNIKI I DYSKUSJA

Obliczenia statystyczne wykazały istotny wpływ zróżnicowanego nawożenia potasowego, zastosowanego pod przedplon, na aktywność ureazy w glebie pobranej w czterech terminach (tab. 2). Wykonane analizy wykazały, że zastosowane nawożenie potasowe pod przedplon (groch siewny) w dawce $124 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ istotnie obniżyło średnią aktywność ureazy w glebie pobranej w kwietniu, maju i lipcu w odniesieniu do aktywności oznaczonej w glebie pobranej z obiektu kontrolnego. Aktywność enzymatyczna ureazy w glebie pobranej w kwietniu i maju była istotnie największa na obiektach, gdzie stosowano nawożenie potasem pod przedplon w ilości $166 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Tabela 2. Aktywność ureazy (Ure) w $\text{mg N-NH}_4^+ \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby

Table 2. Activity of urease (Ure) in $\text{mg N-NH}_4^+ \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m. of soil

Nawożenie Fertilisation	Terminy pobierania próbek / Date of sampling				Średnia / Mean
	Kwiecień / April	Maj / May	Czerwiec / June	Lipiec / July	
NK ₀ (N ₁ K ₀) ¹	305,5	308,3	312,5	316,4	310,7
NK ₁ (N ₁ K ₁)	330,6	345,6	330,6	346,5*	338,3
NK ₂ (N ₁ K ₁)	336,4	303,4	314,6	334,4	322,2
NK ₃ (N ₁ K ₁)	240,2*	245,7*	282,9	245,4*	253,5*
NK ₄ (N ₁ K ₁)	351,6*	349,3*	332,1	320,2	338,3
NK ₅ (N ₁ K ₁)	311,1	341,5	365,2*	340,2*	339,5*
Średnia / Mean	312,6	315,6	323,0	317,2	317,1
NIR _{0,05} / HSD _{0,05}	41,6	32,3	35,4	23,8	33,3

¹ – nawożenie mineralne zastosowane pod przedplon, groch / mineral fertilisation applied for the forecrop, pea: N-20, K₁-41.5, K₂-83, K₃-124, K₄-166, K₅-207,5 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, nawożenie mineralne zastosowane pod jęczmień jary / mineral fertilisation applied for spring barley (N₁-50, K₁-41.5 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), * – istotne zwiększenie (zmniejszenie) aktywności ureazy (dehydrogenaz, fosfataz) w odniesieniu do obiektu kontrolnego / significant increase (decrease) of urease activity (dehydrogenases, phosphatases) in relation to the control treatment

Istotnie największą aktywnością ureazy ($365,2 \text{ N-NH}_4^+ \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby) charakteryzowała się gleba, której próbki pobrano w czerwcu. Nawożenie potasowe zastosowane pod przedplon wynosiło $207,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Gleba pobrana w lipcu

z poletek nawożonych potasem pod przedplon (groch siewny) i roślinę testową (jęczmień jary) w dawce $41,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ charakteryzowała się istotnie największą aktywnością ureazy. Średnia aktywność ureazy w analizowanych próbkach gleby kształtowała się na zbliżonym poziomie ($312,6 - 323,0 \text{ mg N-NH}_4^+ \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby). Uzyskane wyniki badań własnych stanowią potwierdzenie wcześniejszych badań Sołek-Powiki i Ciarkowskiej (2008), Symanowicz i in. (2014, 2018). Duża aktywność ureazy glebowej w badaniach własnych świadczy o intensywnej mineralizacji organicznych związków azotowych i jest związana z wysoką zawartością C_{org} , N_{tot} , N-NH_4^+ i NO_3^- (tab. 1). Zastosowane nawożenie mineralne w badaniach Yanga i in. (2008) oraz Zhao i in. (2009) istotnie wpłynęło na zmiany aktywności ureazy w glebie, co znajduje potwierdzenie w badaniach własnych.

Zastosowane nawożenie potasowe pod przedplon w dawkach $41,5$; 83 ; 124 ; 166 i $207,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ istotnie różnicowało aktywność dehydrogenaz w glebie (tab. 3). Istotnie największą aktywnością enzymatyczną charakteryzowała się gleba pobrana w kwietniu, maju i w lipcu, która była nawożona potasem pod przedplon w ilości $166 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Pomimo, że oznaczona aktywność dehydrogenaz kształtowała się na wysokim poziomie ($23,7 - 31,5 \text{ cm}^3 \cdot \text{H}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby) w analizowanych próbkach gleby, to była dwukrotnie mniejsza od wyników uzyskanych w badaniach z grochem siewnym (Symanowicz i in. 2018).

Tabela 3. Aktywność dehydrogenaz (Deh) w $\text{cm}^3 \text{ H}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby

Table 3. Activity of dehydrogenases (Deh) in $\text{cm}^3 \text{ H}_2 \text{ h}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ d.m. of soil

Nawożenie Fertilisation	Terminy pobierania próbek / Date of sampling				Średnia / Mean
	Kwiecień / April	Maj / May	Czerwiec / June	Lipiec / July	
$\text{NK}_0 (\text{N}_1\text{K}_0)^1$	6,2	6,6	10,1	7,4	7,6
$\text{NK}_1 (\text{N}_1\text{K}_1)$	21,6*	17,5*	11,3	22,5*	18,2*
$\text{NK}_2 (\text{N}_1\text{K}_1)$	14,3	16,2*	17,4	16,7*	16,1*
$\text{NK}_3 (\text{N}_1\text{K}_1)$	17,8*	27,0*	31,5*	22,2*	24,6*
$\text{NK}_4 (\text{N}_1\text{K}_1)$	24,5*	30,1*	22,0*	23,7*	25,1*
$\text{NK}_5 (\text{N}_1\text{K}_1)$	15,3*	24,2*	21,7*	14,5*	18,9*
Średnia / Mean	16,6	20,3	19,0	17,8	18,4
$\text{NIR}_{0,05} / \text{HSD}_{0,05}$	8,7	7,2	8,1	6,1	7,5

* – objaśnienia pod tabelą 2 / explanations as below Table 2

Zastosowane nawożenie potasem w dawce $41,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ pod przedplon istotnie wpłynęło na zwiększenie aktywności fosfatazy kwaśnej w glebie pobranej w kwietniu, maju, czerwcu i lipcu w odniesieniu do gleby pobranej z obiektu kontrolnego (tab. 4). Oznaczona aktywność fosfatazy kwaśnej w glebie pobranej z tego obiektu nawozowego osiągnęła największe wartości ($0,24-0,29 \text{ mmol PNP} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby) w kolejnych terminach pobierania próbek gleby. Zastosowane nawożenie potasowe w zwiększonych dawkach wpłynęło niejednoznacznie na zwiększenie aktywności fosfatazy kwaśnej w analizowanych próbkach gleby. Zwiększenie średniej aktywności fosfatazy kwaśnej w glebie, w czerwcu i lipcu mogło być

związane z wyższą temperaturą gleby. W badaniach Lemanowicz (2013) nawożenie KMgCaS i PKMgCa zastosowane na glebę o pH 5,2-5,9 wpłynęło na 2-krotne zwiększenie poziomu aktywności fosfatazy kwaśnej w porównaniu z aktywnością oznaczoną w glebie, na którą nie stosowano potasu (PMgCaS). Średnia aktywność fosfatazy kwaśnej uzyskana w prezentowanych badaniach była 2-krotnie mniejsza od rezultatów uzyskanych w doświadczeniu z grochem siewnym (Symanowicz i in. 2018). Na uzyskanie wyżej opisanych wyników badań mógł mieć również wpływ obojętny odczyn gleby (pH 6,7). Według Bielińskiej (2005) oraz Kopra i Lemanowicz (2008) pH gleby dla optymalnej aktywności fosfatazy kwaśnej wynosi 4,0-6,5. W badaniach Kopra i Lemanowicz (2008) oraz Radulova i in. (2011) największą aktywność fosfatazy kwaśnej (1,53 mmol PNP·h⁻¹·kg⁻¹ s.m. gleby) oznaczono w glebie o pH_{KCl} 5,3-5,5 nawożonej azotem w dawce 120 kg·ha⁻¹.

Tabela 4. Aktywność fosfatazy kwaśnej (AcP) w mmol PNP·h⁻¹·kg⁻¹ s.m. gleby
Table 4. Activity of acid phosphatase (AcP) in mmol PNP·h⁻¹·kg⁻¹ d.m. of soil

Nawożenie Fertilisation	Terminy pobierania próbek / Date of sampling				Średnia / Mean
	Kwiecień / April	Maj / May	Czerwiec / June	Lipiec / July	
NK ₀ (N ₁ K ₀) ¹	0,10	0,11	0,15	0,20	0,14
NK ₁ (N ₁ K ₁)	0,25*	0,29*	0,25*	0,24*	0,26*
NK ₂ (N ₁ K ₁)	0,20*	0,10	0,25*	0,20	0,19
NK ₃ (N ₁ K ₁)	0,15	0,12	0,14	0,12*	0,13
NK ₄ (N ₁ K ₁)	0,14	0,25*	0,20	0,15*	0,18
NK ₅ (N ₁ K ₁)	0,13	0,14	0,09	0,20	0,14
Średnia / Mean	0,16	0,17	0,18	0,18	0,17
NIR _{0,05} / HSD _{0,05}	0,07	0,06	0,10	0,04	0,07

* – objaśnienia pod tabelą 2 / explanations as below Table 2

Nawożenie potasowe zastosowane pod przedplon (groch siewny) w dawce 41,5 kg·ha⁻¹ istotnie wpłynęło na oznaczenie największej aktywności fosfatazy alkalicznej (tab. 5). Zwiększone nawożenie potasem zastosowane pod przedplon wpłynęło na nieistotne zwiększenie aktywności fosfatazy alkalicznej w glebie pobranej w kwietniu oraz istotne zwiększenie aktywności tego enzymu w glebie pobranej w maju w odniesieniu do aktywności fosfatazy alkalicznej oznaczonej w glebie pochodzącej z obiektu kontrolnego. Aktywność fosfatazy alkalicznej oznaczona w glebie pobranej w czerwcu i lipcu zmniejszyła się po zastosowaniu potasu w dawkach 83, 124, 166 i 207,5 kg·ha⁻¹. Oznaczona aktywność fosfatazy alkalicznej w 2013 roku kształtowała się na takim samym poziomie (0,43 mmol PNP·h⁻¹·kg⁻¹ s.m. gleby), jaki stwierdzono w 2012 roku (Symanowicz i in. 2018) podczas wegetacji grochu siewnego. Obojętny odczyn gleby (pH 6,9-6,7) miał wpływ na zmiany aktywności fosfatazy alkalicznej w latach badań (2012-2013).

Tabela 5. Aktywność fosfatazy alkalicznej (AIP) w mmol PNP·h⁻¹·kg⁻¹ s.m. gleby
Table 5. Activity of alkaline phosphatase (AIP) phosphatase in mmol PNP h⁻¹kg⁻¹ d.m. of soil

Nawożenie Fertilisation	Terminy pobierania próbek / Date of sampling				Średnia / Mean
	Kwiecień / April	Maj / May	Czerwiec / June	Lipiec / July	
NK ₀ (N ₁ K ₀) ¹	0,32	0,36	0,42	0,47	0,39
NK ₁ (N ₁ K ₁)	0,60*	0,60*	0,44	0,58*	0,55*
NK ₂ (N ₁ K ₁)	0,48	0,50*	0,47	0,40*	0,46
NK ₃ (N ₁ K ₁)	0,40	0,40	0,31*	0,41*	0,38
NK ₄ (N ₁ K ₁)	0,40	0,45*	0,35	0,45	0,41
NK ₅ (N ₁ K ₁)	0,42	0,46*	0,30*	0,40*	0,39
Średnia / Mean	0,44	0,46	0,38	0,45	0,43
NIR _{0,05} / HSD _{0,05}	0,18	0,09	0,10	0,05	0,10

* – objaśnienia pod tabelą 2 / explanations as below Table 2

Tabela 6. Współczynniki korelacji pomiędzy poziomem analizowanych enzymów glebowych
Table 6. Coefficients of correlation between the level of analyzed soil enzymes

Enzymy Enzymes	Ureaza Urease	Dehydrogenazy Dehydrogenases	Fosfataza kwaśna Acid phosphatase	Fosfataza alkaliczna Alkaline phosphatase
Terminy pobierania próbek / Date of sampling				
Kwiecień / April				
Ure ¹	1,00	–	–	–
Deh	0,26	1,00	–	–
AcP	0,28	0,49**	1,00	–
AIP	0,32	0,53**	0,97*	1,00
Maj / May				
Ure	1,00	–	–	–
Deh	0,02	1,00	–	–
AcP	0,64**	0,32	1,00	–
AIP	0,50**	0,09	0,66**	1,00
Czerwiec / June				
Ure	1,00	–	–	–
Deh	-0,29	1,00	–	–
AcP	-0,20	-0,42	1,00	–
AIP	-0,16	-0,76**	0,81*	1,00
Lipiec / July				
Ure	1,00	–	–	–
Deh	-0,21	1,00	–	–
AcP	0,85*	-0,34	1,00	–
AIP	0,36	0,21	0,58**	1,00
Średnia / Mean				
Ure	1,00	–	–	–
Deh	-0,18	1,00	–	–
AcP	0,53**	0,04	1,00	–
AIP	0,44**	-0,06	0,98*	1,00

* – p ≤ 0,05; ** – p ≤ 0,01; ¹ – Ure – Ureaza / Urease; Deh – Dehydrogenazy / Dehydrogenases; AcP – Fosfataza kwaśna / Acid phosphatase; AIP – Fosfataza alkaliczna / Alkaline phosphatase

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono istotne zależności pomiędzy aktywnością fosfatazy kwaśnej i alkalicznej dla wszystkich terminów pobierania próbek glebowych przy $p \leq 0,05$ i $p \leq 0,01$ (tab. 6). Analiza statystyczna wykazała również istotne zależności pomiędzy poziomem ureazy i fosfatazy kwaśnej w maju. W badaniach odnotowano także zależność pomiędzy poziomem dehydrogenaz i fosfataz w glebie pobranej w kwietniu i czerwcu. Średnia aktywność fosfatazy kwaśnej w analizowanej glebie była skorelowana z aktywnością fosfatazy alkalicznej ($AIP = 0,20 + 1,31 \text{ AcP}$; $r = 0,98$). Dodatnią korelację pomiędzy aktywnością fosfatazy kwaśnej i alkalicznej wykazano w glebie pobranej w kwietniu ($AIP = 0,16 + 1,70 \text{ AcP}$; $r = 0,97$) i w czerwcu ($AIP = 0,22 + 0,90 \text{ AcP}$; $r = 0,81$). Analiza statystyczna wykazała ujemną zależność pomiędzy aktywnością ureazy i fosfatazy kwaśnej w próbkach gleby pobranych w lipcu ($\text{AcP} = -0,13 + 0,001 \text{ Ure}$).

Ujemne wartości współczynników korelacji dla poziomu dehydrogenaz i fosfataz oraz ureazy i dehydrogenaz, a także ureazy i fosfataz mogą wynikać z obniżenia aktywności enzymów w czerwcu. Obniżenie aktywności enzymatycznej można łączyć ze zwiększeniem temperatury gleby w okresie pobierania próbek i obniżeniem wilgotności gleby.

WNIOSKI

1. Analizowana gleba charakteryzowała się wysoką aktywnością ureazy i dehydrogenaz oraz niską aktywnością fosfataz.
2. Zróżnicowane nawożenie przedplonu potasem, wysoka zasobność gleby w przyswajalny fosfor i obojętny odczyn gleby sprzyjało mineralizacji materii organicznej w glebie i obniżeniu aktywności ureazy.
3. Zastosowanie potasu w dawce $166 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ pod przedplon spowodowało największą aktywność dehydrogenaz w glebie.
4. Największą aktywnością fosfataz charakteryzowała się gleba po zastosowaniu $41,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ potasu pod przedplon.
5. Przeprowadzone badania wskazują, że dla utrzymania optymalnej aktywności enzymatycznej należy stosować nawożenie zrównoważone azotem i potasem pod przedplon oraz roślinę następczą przy bardzo wysokiej zasobności gleby w przyswajalny fosfor.

PIŚMIENNICTWO

- Adetunji A.T., Lewu F.B., Mulidzi R., Ncube B., 2017. The biological activities of β -glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 17(3), 794-807, doi:10.4067/S0718-95162017000300018
- Alef K., Nannipieri P., 1998. *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*. Eds. Alef K., Nannipieri P. Academic Press, Harcourt Brace & Company. Publisher London.

- Bielińska E.J., 2005. Oznaczanie aktywności fosfataz. *Acta Agroph. Rozprawy i monografie*, 3, 63-74.
- Casida L.E.Jr., Klein D.D.A., Santoro T., 1964. Soil dehydrogenase activity. *Soil Sci.*, 98(6), 371-376, doi:10.1097/00010694-196412000-00004
- Cheng H., Zhiping C., 2007. Size and activity of the soil microbial biomass and soil enzyme activity in long-term field experiments. *Word J. Agricult. Scie.*, 3(1), 63-70.
- Chu H.Y., Lin X.G., Takeshi F., Morimoto S., 2007. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 2971-2976, doi:10.1016/j.soilbio.2007.05.031
- Garbuz S.A., Yaroslavtseva N.V., Kholodov V.A., 2016. Enzymatic activity inside and outside of water-stable aggregates in soil under different land use. *Eurasian Soil Sci.*, 49(3), 367-375, doi:10.1134/S1064229316030030
- Iovieno P., Morra L., Leone A., Pagano L., Alfani A., 2009. Effect of organic and mineral fertilizers on soil respiration and enzyme activities of two Mediterranean horticultural soils. *Biol. Fer. Soils*, 45(5), 555-561, doi: 10.1007/s00374-009-0365-z
- Kalembasa S., Symanowicz B., 2012. Enzymatic activity of soil after applying various waste organic materials, ash, and mineral fertilizers. *Pol. J. Environ. Stud.*, 21(6), 1635-1641.
- Koper J., Lemanowicz J., 2008. Effect of varied mineral nitrogen fertilization on changes in the content of phosphorus in soil and in plant and the activity of soil phosphatases. *Ecol. Chem. Eng.*, 15(5), 465-471.
- Koper J., Piotrowska A., Siwik-Ziomek A., 2008. Activity of dehydrogenases, invertase and rhodanase in forest rusty soil in the vicinity of "Anwil" nitrogen plant in Włocławek. *Ecol. Chem. Eng., A*, 15(3), 237-243.
- Lemanowicz J., 2013. Mineral fertilization as a factor determining selected sorption properties of soil against the activity of phosphatases. *Plant Soil Environ.*, 59, 439-445, doi:10.17221/767/2012-PSE
- Lemanowicz J., Koper J., Igras J., 2009. Zależność między nawożeniem obornikiem i azotem mineralnym a aktywnością wybranych enzymów oksydoredukcyjnych w ryzosferze pszenicy ozimej. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 537, 235-241.
- Page A.L., 1982. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* Madison, WL,USA: American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America. Inc Publisher.
- Burns R.G. *Soil enzymes.* Academic Press New York.
- Piotrowska-Długosz A., Wilczewski E., 2014. Soil phosphatase activity and phosphorus content as influenced by catch crops cultivated as green manure. *Pol. J. Environ. Stud.*, 23(1), 157-165.
- Qin Y., Niu D., Kang J., Zhou Y., Li X., 2015. Effects of livestock exclusion on soil physical and biochemical properties of a desert rangeland. *Pol. J. Environ. Stud.*, 24(6), 2587-2595, doi:10.15244/pjoes/43499
- Radulov I., Berbecea A., Sala F., Crista F., Lato A., 2011. Mineral fertilization influence on soil pH, cationic exchange capacity and nutrient content. *Res. J. Agric. Sci.*, 43, 160-165.
- Siczek A., Frąc M., 2012. Soil microbial activity as influenced by compaction and straw mulching. *Int. Agrophys.*, 26, 65-69, doi: 10.2478/v10247-012-0010-1 <https://doi.org/10.2478/v10247-012-0010-1>
- Singh D.K., Kumar S., 2008. Nitrate reductase, arginine deaminase, urease and dehydrogenase activities in natural soil (ridges with forest) and in cotton soil after acetamiprid treatments. *Chemosphere*, 71, 412-418, doi:10.1016/j.chemosphere.2007.11.005
- Sołek-Podwika K., Ciarkowska K., 2008. Aktywność ureazy w glebach antropogenicznych wzbogaconych w związki siarki. *Rocz. Glebozn.*, 59(3/4), 297-301.
- Swędrzyńska D., Małecka I., Blecharczyk A., Swędrzyński A., Starzyk J., 2013. Effects of various long-term tillage systems on some chemical and biological properties of soil. *Pol. J. Environ. Stud.*, 22(6), 1835-1844.

- Swędryńska D., Grześ S., 2015. Microbiological parameters of soil under sugar beet as a response to the long-term application of different tillage systems. *Pol. J. Environ. Stud.*, 24(1), 285-294, doi:10.15244/pjoes/25102
- Symanowicz B., Kalembasa S., Skorupka W., Niedbała M., 2014. The changes of enzymatic activity of soil under eastern galega (*Galega orientalis* Lam.) after NPKCa Fertilization. *Plant Soil Environ.*, 60(3), 123-128, doi:10.17221/905/2013-PSE
- Symanowicz B., Kalembasa S., Niedbała M., 2018. Fertilisation of pea (*Pisum sativum* L.) with nitrogen and potassium and its effect on soil enzymatic activity. *J. Elem.*, 23(1), 57-67, doi: 10.5610/jelem.2017.22.1.1395
- Tabatabai M.A., 1994. Soil enzymes. *American Socie. Agron.*, 14, 77-83.
- Wolińska A., Zapasek M., Stępniewska Z., 2016. The optimal TTC dose and its chemical reduction level during soil dehydrogenase activity assay. *Acta Agroph.*, 23(2), 303-314.
- Yang L., Li T., Li F., Lemcoff J. H., Cohen S., 2008. Fertilization regulates soil enzymatic activity and fertility dynamics in cucumber field. *Scientia Horticult.*, 116(1), 21-26, doi: 10.1016/j.scienta.2007.11.001
- Zhao Y., Wang P., Li J., Chen Y., Ying X., Liu S., 2009. The effect of two organic manures on soil properties and crop yields on a temperate calcareous soil under a wheat-maize cropping system. *European J. Agron.*, 31(1), 36-42, doi: 10.1016/j.eja.2009.03.002

THE EFFECT OF DIFFERENT POTASSIUM FERTILIZATION OF FORECROP ON THE ENZYMATIC ACTIVITY OF SOIL IN SPRING BARLEY CULTIVATION

Barbara Symanowicz, Stanisław Kalembasa, Martyna Toczko, Korneliusz Skwarek

Department of Soil Science and Agricultural Chemistry, Institute of Agronomy, Faculty of Science
Siedlce University of Natural Sciences and Humanities, Prusa 14, 08-110 Siedlce, Poland
e-mail: barbara.symanowicz@uph.edu.pl

Abstract. The aim of the study was to determine changes of enzymatic activity of soil during spring barley vegetation. The field experiment was carried out in 2011 and 2013 with a completely randomised method, in four replicates, on the experimental plots of the Siedlce University of Natural Sciences and Humanities. The forecrop was pea (*Pisum sativum* L.), for which the following fertilisation was applied: NK₀, NK₁, NK₂, NK₃, NK₄, NK₅ (N-20; K₁-41.5; K₂-83; K₃-124; K₄-166; K₅-207,5 kg ha⁻¹). In spring barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivation, six levels of fertilisation were applied: N₁K₀, N₁K₁, N₁K₁, N₁K₁, N₁K₁, N₁K₁ (N₁-50, K₁-41.5 kg ha⁻¹). The activity of the enzymes was determined four times during vegetation, in soil samples taken from the Ap horizon (0-30 cm layer). The soil was characterised by very high urease activity (average 365.5 mg N-NH₄ h⁻¹ kg⁻¹ dm of soil.) The highest activity of dehydrogenases was determined in the soil sampled in June from the N₁K₁ fertiliser treatment (NK₃ forecrop). Alkaline phosphatase activity was twice as high as that of acid phosphatase. The highest activity of alkaline phosphatase (0.46-0.64 mmol PNP h⁻¹ kg⁻¹ dm of soil) and acidic (0.26-0.31 mmol PNP h⁻¹ kg⁻¹ dm of soil) was characterized by soil taken from the fertiliser treatment N₁K₁ (spring barley) NK₁ (forecrop-pea).

Key words: potassium fertilisation, enzymatic activity, forecrop, spring barley