

WPŁYW WAPNOWANIA I MATERIAŁÓW ORGANICZNYCH NA AKTYWNOŚĆ UREAZY I DEHYDROGENAZ W GLEBIE ZANIECZYSZCZONEJ NIKLEM

Dorota Kalembasa¹, Beata Kuziemska², Stanisław Kalembasa¹

¹ Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce, e-mail: kalembas@uph.edu.pl

² Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce, e-mail: bak.kuz@interia.pl

STRESZCZENIE

W glebie pobranej po dwuletnim doświadczeniu wazonowym oznaczono aktywność ureazy, dehydrogenazy i zawartość azotu. W doświadczeniu uwzględniono trzy czynniki: 1 – ilość Ni w glebie (0, 75, 150 i 225 mg · kg⁻¹ gleby); 2 – wapnowanie (0 i Ca wg 1 Hh); 3 – materiały organiczne (słoma żytnia i węgiel brunatny). Rośliną testową była kupkówka pospolita, której w każdym sezonie wegetacyjnym zebrano po 4 pokosy. Analizowano glebę po każdym pokosie trawy, w obu latach doświadczenia. Stwierdzono, że Ni w dawce 75 mg · kg⁻¹ gleby aktywuje badane enzymy, natomiast dawki większe powodują ich wyraźną dezaktywację. Zarówno wapnowanie jak i materiały organiczne ograniczały negatywny wpływ większych dawek niklu na aktywność dehydrogenaz i ureazy. Jednocześnie słoma i węgiel brunatny powodowały niewielkie zwiększenie zawartości azotu w glebie.

Słowa kluczowe: ureaza, dehydrogenazy, nikiel, wapnowanie, odpadowe materiały organiczne.

INFLUENCE OF LIMING AND WASTE ORGANIC MATERIALS ON THE ACTIVITY OF UREASE AND DEHYDROGENASE IN SOIL CONTAMINATED WITH NICKEL

ABSTRACT

In soil sampled after a two-year pot experiment, the activity of urease and dehydrogenase and content of nitrogen have been determined. The experiment included three factors: 1. the amount of nickel added to the soil (0, 75, 150 and 225 mg · kg⁻¹ of soil), 2. liming (0 and Ca according to 1 Hh hydrolytic acidity), 3. organic materials (straw of rye and brown coal). Test plant was cocksfoot, which four cuts were collected in each growing season. It was found that nickel added to the soil in dose of 75 mg · kg⁻¹ activates enzymes studied, whereas higher doses cause them explicit deactivation. Both liming and waste organic materials limited the negative effect of higher doses of nickel on the activity of dehydrogenase and urease. Simultaneously, both straw and brown coal caused a slight increase in the amount of nitrogen in the soil.

Keywords: urease, dehydrogenase, nickel, liming, organic materials.

WSTĘP

Żyzność gleb i produktywność ekosystemów zależą w dużym stopniu od procesów biochemicznych zachodzących w glebie, które są katalizowane przez enzymy w niej występujące [Smejkalova i in. 2003; Koper i in. 2008; Krzywy-Gawrońska i in. 2008]. Enzymy glebowe odgrywają podstawową rolę między innymi w przebiegu reakcji prowadzących do rozkładu materii organicznej [Tabatabai 1994]. Są one bardzo często określane jako wskaźnik biochemicznej i mikrobiologicznej aktywności gleb. Ogólna aktywność enzymów jest uzależniona od parametrów fizykochemicznych środowiska takich jak: pH, temperatura, zawartość substancji organicznej oraz zawartość katalizatorów i inhibitorów [Januszek i in. 2006]. Jako katalizatory i jednocześnie inhibitory działania enzymów wielu badaczy [Wyszowska i in. 2006; Kalembasa, Kuziemska 2008] wymienia metale ciężkie, których wpływ zależy nie tylko od właściwości fizykochemicznych samego metalu, ale również od jego zawartości ogólnej oraz form w jakich występuje w glebie. Jednym z metali mogących mieć dwojaki wpływ na aktywność enzymów glebowych jest nikiel, który jak wykazały liczne badania [Wyszowska i in. 2006; Kalembasa, Kuziemska 2008; 2009; 2011] w niewielkich dawkach działa stymulująco, natomiast w nadmiernych ilościach może powodować znaczne obniżenie aktywności enzymatycznej gleby. Toksyczność tego metalu można ograniczyć stosując zabieg wapnowania lub zwiększając zawartość materii organicznej w glebie [Kwiatkowska-Malina, Maciejewska 2009].

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu wapnowania i stosowania wybranych materiałów organicznych: słomy i węgla brunatnego na aktywność ureazy i dehydrogenaz oraz ogólną zawartość azotu w glebie zanieczyszczonej różnymi dawkami niklu.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Dwuletnie doświadczenie wazonowe, przeprowadzono w obiekcie doświadczalnym Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, w latach 2009–2010, w czterech powtórzeniach. Uwzględniono w nim następujące czynniki:

- zanieczyszczenie gleby niklem: 0, 75, 150 i 225 mg Ni · kg⁻¹ gleby; dobór takich dawek niklu wynikał z rezultatów uzyskanych we wcześniej prowadzonych badaniach [Kalembasa, Kuziemska 2008; 2009; 2011; Kuziemska 2012],
- wapnowanie: 0 Ca (bez wapnowania) i Ca wg 1 Hh (wapnowanie w dawce wyliczonej według 1 kwasowości hydrolitycznej gleby),
- nawożenie organiczne: bez stosowania materiałów organicznych (0); słoma żytnia – w dawce 4 t · ha⁻¹, czyli 1,33 g · kg⁻¹ gleby; węgiel brunatny (pochodzący z kopalni węgla w Turowie) – w dawce 40 t · ha⁻¹, czyli 13,3 g · kg⁻¹ gleby. Skład chemiczny obu stosowanych materiałów organicznych podano w tabeli 1.

Tabela 1. Skład chemiczny materiałów organicznych zastosowanych w doświadczeniu
Table 1. Chemical composition of organic materials used in pot experiment

Składnik	Zawartość	Słoma	Węgiel brunatny
Sucha masa	$g \cdot kg^{-1}$	850	850
C	$g \cdot kg^{-1}$ s.m.	432	541
N		4,22	4,0
P		0,64	0,11
K		2,00	0,84
Ca		2,16	5,18
Mg		0,94	2,33
Ni		$mg \cdot kg^{-1}$ s.m.	3,84

Glebę do badań, o składzie granulometrycznym piasku gliniastego, pobrano z poziomu próchnicznego (0–20 cm) gleby płowej typowej. Cechowała się ona następującymi właściwościami: pH w 1 mol KCl $\cdot dm^{-3}$ – 5,5, zawartość azotu ogólnego $0,98 g \cdot kg^{-1}$, węgla w związkach organicznych $7,9 g \cdot kg^{-1}$, fosforu przyswajalnego $69 mg \cdot kg^{-1}$ gleby, potasu przyswajalnego $75 mg \cdot kg^{-1}$ gleby, niklu ogólnego $5,67 mg Ni \cdot kg^{-1}$ gleby.

Wapnowanie (w formie $CaCO_3$), dodatek materiału organicznego (węgiel brunatny i słomę żytnią pociętą na sieczkę) oraz dawki niklu (w formie wodnego roztworu $NiSO_4 \cdot 7H_2O$) wprowadzono do gleby w listopadzie 2008 roku. Wraz ze słomą wprowadzono $0,0048 g N \cdot kg^{-1}$ gleby i $0,0043 mg Ni \cdot kg^{-1}$ gleby, a z węglem brunatnym $0,0452 g N \cdot kg^{-1}$ gleby oraz $0,0677 mg Ni \cdot kg^{-1}$ gleby. W tak przygotowanych wazonach o pojemności $15 dm^3$, mieszczących 10 kg gleby, wiosną 2009 roku wysiano roślinę testową – kupkówkę pospolitą (*Dactylis glomerata* L.). W okresie wegetacji w obu latach badań zebrano po cztery odrosty (pokosy) co 30 dni. W analizie gleby i materiałów organicznych stosowano metody powszechnie stosowane w chemii rolnej: zawartość przyswajalnych form fosforu i potasu w glebie oznaczono metodą Egnera-Riehma, pH gleby – metodą potencjometryczną, zawartość C organicznego – metodą oksydacyjno-miareczkową, zawartość N ogólnego – metodą Kjeldahla, zawartość wybranych makroelementów i niklu – metodą spektrometrii emisyjnej z plazmą indukcyjnie wzbudzoną, po wcześniejszej mineralizacji materiałów „na sucho” w piecu muflowym w temperaturze $450^\circ C$ i rozтворzeniu popiołu w 10% roztworze HCl. W okresie wegetacyjnym, w wazonach, utrzymano wilgotność gleby na poziomie 60% PPW. W glebie pobranej po każdym pokosie trawy, w I i II roku uprawy, oznaczono ponadto:

- aktywność ureazy, metodą Hoffmanna i Teichera [1961], opartą na kolorymetrycznym oznaczeniu amoniaku, powstałego po enzymatycznej hydrolizie mocznika,
- aktywność dehydrogenaz, metodą Casida i in. [1964], z wykorzystaniem TTC.

Wyniki badań opracowano statystycznie poddając je analizie wariancji z wykorzystaniem rozkładu F-Fishera-Snedecora, wg programu F.R.Anal.var 4.4, a wartość $NIR_{(p<0,05)}$ wyliczono wg testu Tukey'a. Obliczono też współczynnik korelacji Pearsona określający poziom zależności liniowej między zmiennymi losowymi przy $n = 24$.

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Aktywność ureazy w analizowanej glebie (tabele 2 i 3) była zróżnicowana nie tylko pod wpływem czynników badanych w doświadczeniu, ale również w latach badań.

Gleba pobrana po I roku eksperymentu miała średnio o 8,1% mniejszą aktywność ureazy w stosunku do gleby pobranej po drugim roku badań. W obu latach badań po zbiorze pokosów największą średnią aktywność ureazy stwierdzono w glebie

Tabela 2. Aktywność ureazy w glebie [$\text{mg N-NH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$] – I rok doświadczenia

Table 2. Urease activity in soil [$\text{mg N-NH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$] – I year of experiment

Nawożenie	Pokos	0 Ca					Wapnowanie wg 1 Hh gleby					Średnia
		Dawka niklu [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby]										
		0	75	150	225	średnia	0	75	150	225	średnia	
0	I	10,80	14,20	9,30	7,50	10,45	9,35	11,50	9,50	8,40	9,69	10,07
	II	12,20	11,50	10,00	9,00	10,68	12,00	11,20	10,10	9,00	10,58	10,63
	III	9,90	10,70	9,05	9,00	9,66	9,50	10,10	9,40	8,70	9,43	9,55
	IV	8,40	8,10	6,35	6,15	7,25	8,60	8,40	7,30	7,20	7,88	7,56
Średnia		10,33	11,13	8,68	7,91	9,51	9,86	10,30	9,08	8,33	9,40	9,45
Słoma	I	11,50	13,50	10,30	8,95	11,06	9,50	11,50	9,80	9,10	9,98	10,52
	II	13,90	14,00	12,20	10,50	12,65	12,50	12,00	11,00	10,10	11,40	12,02
	III	12,00	11,40	9,30	9,00	10,43	10,10	10,80	9,60	9,40	9,98	10,20
	IV	9,35	8,80	8,50	8,20	8,71	9,35	9,20	8,00	8,30	8,71	8,71
Średnia		11,69	11,93	10,08	9,16	10,71	10,36	10,88	9,60	9,23	10,02	10,36
Węgiel brunatny	I	11,40	12,50	9,80	8,30	10,50	9,40	11,40	10,80	9,10	10,18	10,34
	II	12,60	13,20	12,00	11,50	12,33	12,40	12,70	12,30	10,40	11,95	12,14
	III	12,70	11,50	10,50	9,80	11,13	11,70	12,30	9,20	9,30	10,63	10,88
	IV	9,10	9,30	8,30	7,70	8,60	9,10	10,10	9,20	8,40	9,20	8,90
Średnia		11,45	11,63	10,13	9,33	10,64	10,65	11,63	10,38	9,30	10,41	10,56
Średnia z pokosów	I	11,23	13,40	9,80	8,25	10,67	9,42	11,47	10,03	8,87	9,95	10,31
	II	12,90	12,90	11,40	10,33	11,89	12,30	11,97	11,12	9,83	11,31	11,60
	III	11,53	11,20	9,62	9,27	10,41	10,43	11,07	9,40	9,13	10,01	10,22
	IV	8,95	8,73	7,72	7,35	8,19	9,02	9,23	8,17	7,97	8,60	8,39
Średnia z obiektów		11,15	11,56	9,63	8,80	10,28	10,29	10,94	9,68	8,95	9,97	10,12
Pokos												
NIR _{0,05} dla:		I		II		III		IV				
dawek niklu		1,402		1,086		1,081		0,830				
wapnowania		n.i.		0,575		n.i.		n.i.				
materiałów organicznych		n.i.		0,852		0,832		0,651				

Tabela 3. Aktywność ureazy w glebie [$\text{mg N-NH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$] – II rok doświadczenia
Table 3. Urease activity in soil [$\text{mg N-NH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$] – II year of experiment

Nawożenie	Pokos	0 Ca					Wapnowanie wg 1 Hh gleby					Średnia
		Dawka niklu [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby]										
		0	75	150	225	średnia	0	75	150	225	średnia	
0	I	10,90	15,60	9,65	8,70	11,21	10,50	14,90	10,25	9,30	11,24	11,22
	II	12,70	11,80	10,40	8,40	10,83	11,75	12,30	10,75	9,90	11,18	11,00
	III	10,20	10,70	9,85	8,49	9,81	10,40	10,50	10,08	9,05	10,01	9,91
	IV	9,18	9,39	7,45	6,50	8,13	9,49	8,90	7,70	7,29	8,35	8,24
Średnia		10,75	11,87	9,34	8,02	10,00	10,54	11,65	9,70	8,89	10,19	10,09
Słoma	I	12,10	15,80	10,55	10,50	12,24	11,30	14,30	10,20	10,50	11,58	11,91
	II	13,60	14,30	12,30	11,25	12,86	13,40	14,20	12,90	11,15	12,91	12,89
	III	12,10	13,30	11,05	9,97	11,61	11,80	12,80	10,50	10,25	11,34	11,47
	IV	10,90	10,60	9,00	8,87	9,84	10,60	10,80	9,40	8,66	9,87	9,86
Średnia		12,18	13,50	10,73	10,15	11,64	11,78	13,03	10,75	10,14	11,42	11,53
Węgiel brunatny	I	12,10	16,40	10,90	9,94	12,34	11,20	13,90	11,80	10,30	11,80	12,07
	II	13,45	15,90	11,90	10,90	13,04	13,70	15,00	11,95	11,05	12,93	12,99
	III	13,30	13,10	10,70	10,15	11,81	12,60	12,90	10,75	10,65	11,73	11,77
	IV	11,00	11,20	10,40	8,96	10,39	10,60	11,30	10,61	9,08	10,40	10,40
Średnia		12,45	14,15	10,98	9,99	11,90	12,03	13,28	11,28	10,27	11,72	11,81
Średnia z pokosów	I	11,70	15,93	10,37	9,71	11,93	11,00	14,37	10,75	10,03	11,54	11,73
	II	13,25	14,00	11,53	10,18	12,24	12,95	13,83	11,53	10,70	12,34	12,29
	III	11,87	12,37	10,53	9,54	10,08	11,60	12,07	10,44	9,98	11,03	10,56
	IV	10,36	10,40	8,97	8,11	9,46	10,23	10,33	9,24	8,34	9,54	9,50
Średnia z obiektów		11,80	13,17	10,35	9,38	10,93	11,44	12,65	10,49	9,76	11,11	11,02
		Pokos / Cut										
NIR _{0,05} dla:		I		II		III		IV				
dawkę niklu		0,444		n.i. / n.s.		n.i. / n.s.		0,582				
wapnowania		0,235		0,384		0,458		n.i. / n.s.				
materiałów organicznych		0,348		0,490		0,584		0,456				

pobranej po II pokosie kupkówki pospolitej, odpowiednio 11,60 i 12,29 $\text{mg N-NH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, a najmniejszą w glebie po pokosie IV, odpowiednio 8,39 i 9,50 $\text{mg N-NH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. W pierwszym roku doświadczenia, niezależnie od terminu poboru próbek, aktywność tego enzymu zależała istotnie od poziomu niklu w glebie i była największa w glebie tych obiektów, w których wprowadzono 75 $\text{mg Ni} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby, a najmniejsza w glebie, do której wprowadzono 225 $\text{mg Ni} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby (tabela 2). Podobną tendencję stwierdzono w drugim roku badań (tabela 3), ale istotność różnic wykazano tylko w przypadku próbek gleby pobranych po pierwszym i ostatnim pokosie trawy.

Wpływ wapnowania na omawianą cechę był niejednoznaczny. W pierwszym roku eksperymentu wapnowanie stymulowało aktywność ureazy w glebie po II pokosie, a w drugim roku po II i III pokosie. Jednocześnie, w drugim roku doświadczenia (tabela 3) stwierdzono inhibicję aktywności tego enzymu w glebie pobranej po pierwszym pokosie, pod wpływem wapnowania. Niezależnie od terminu poboru próbek do anali-

zy, gleba, do której wprowadzono materiały organiczne, wykazywała istotnie większą aktywność ureazy niż gleba obiektów kontrolnych. Prawidłowości tej nie wykazano tylko w przypadku próbek pobranych po pierwszym pokosie, w I roku eksperymentu, co można wiązać ze składem chemicznym i tempem mineralizacji słomy i węgla brunatnego w glebie. Wyniki te są zgodne z wcześniejszymi badaniami [Kalembasa, Kuziemska 2011] oraz uzyskanymi przez Iovieno i in. [2009]. Inne rezultaty uzyskali Jezierska-Tys i in. [2004], którzy badali wpływ osadów ściekowych na aktywność enzymatyczną gleby brunatnej i wykazali zahamowanie aktywności ureazy pod ich wpływem. Te rozbieżności należy tłumaczyć zróżnicowanym składem zastosowanych w badaniach własnych materiałów organicznych a składem osadów ściekowych stosowanych przez Jezierską-Tys i in. [2004], a szczególnie stosunkiem C:N w tych materiałach.

W tabelach 4 i 5 przedstawiono aktywność dehydrogenaz w analizowanej glebie, która w obu latach doświadczenia była zbliżona. Największą średnią aktywność

Tabela 4. Aktywność dehydrogenaz w glebie ($\mu\text{mol TPF} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) – I rok doświadczenia
Table 4. Dehydrogenase activity in soil ($\mu\text{mol TPF} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) – I year of experiment

Nawożenie	Pokos	0 Ca					Wapnowanie wg 1 Hh gleby					Średnia
		Dawka niklu [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby]										
		0	75	150	225	średnia	0	75	150	225	średnia	
0	I	1,42	1,48	1,20	1,00	1,28	1,46	1,36	1,26	1,12	1,30	1,29
	II	1,28	1,36	1,20	0,96	1,20	1,30	1,40	1,12	1,06	1,22	1,21
	III	1,12	1,21	1,00	1,00	1,08	1,26	1,32	1,19	1,08	1,21	1,14
	IV	1,08	1,12	1,02	0,88	1,03	1,15	1,09	1,09	1,01	1,09	1,06
Średnia		1,22	1,29	1,11	0,96	1,15	1,29	1,29	1,17	1,07	1,20	1,17
Słoma	I	1,32	1,38	1,25	1,12	1,27	1,25	1,30	1,23	1,18	1,24	1,25
	II	1,26	1,28	1,28	1,06	1,22	1,28	1,28	1,18	1,10	1,21	1,21
	III	1,28	1,32	1,26	1,08	1,24	1,20	1,22	1,20	1,12	1,19	1,21
	IV	1,12	1,08	1,09	0,96	1,06	1,08	1,06	1,08	1,02	1,06	1,06
Średnia		1,25	1,27	1,22	1,06	1,20	1,20	1,22	1,17	1,11	1,17	1,18
Węgiel brunatny	I	1,36	1,36	1,29	1,26	1,32	1,31	1,30	1,28	1,22	1,28	1,30
	II	1,30	1,32	1,28	1,18	1,27	1,25	1,28	1,30	1,22	1,26	1,26
	III	1,14	1,22	1,20	1,16	1,18	1,18	1,24	1,22	1,16	1,20	1,18
	IV	1,12	1,08	1,12	1,09	1,10	1,20	1,12	1,19	1,15	1,17	1,13
Średnia		1,23	1,25	1,22	1,17	1,22	1,24	1,24	1,25	1,19	1,23	1,22
Średnia z pokosów	I	1,37	1,41	1,25	1,13	1,29	1,34	1,32	1,26	1,17	1,27	1,28
	II	1,28	1,32	1,25	1,07	1,23	1,23	1,32	1,20	1,13	1,23	1,23
	III	1,18	1,25	1,15	1,08	1,16	1,21	1,26	1,20	1,12	1,20	1,18
	IV	1,11	1,10	1,08	0,98	1,07	1,14	1,09	1,12	1,06	1,11	1,09
Średnia z obiektów		1,23	1,27	1,18	1,06	1,19	1,24	1,25	1,20	1,12	1,20	1,20
		Pokos										
NIR _{0,05} dla:		I		II		III		IV				
dawek niklu		0,125		0,111		0,082		0,081				
wapnowania		n.i.		n.i.		n.i.		n.i.				
materiałów organicznych		n.i.		n.i.		n.i.		0,063				

dehydrogenaz stwierdzono w glebie pobranej po pierwszym pokosie kupkówki pospolitej, a najmniejszą w glebie po czwartym pokosie. Niezależnie od terminu poboru próbek do badań, wprowadzenie do gleby 75 mg Ni powodowało aktywację omawianych enzymów, natomiast większe dawki niklu powodowały ich dezaktywację, co wykazano też we wcześniejszych badaniach [Kalembasa, Kuziemska 2009, Kuziemska 2012].

W pierwszym roku badań nie stwierdzono istotnego wpływu wapnowania na aktywność dehydrogenaz w analizowanej glebie, natomiast w drugim roku wapnowanie powodowało istotne zwiększenie aktywności tych enzymów w glebie pobranej po I i III pokosie rośliny testowej. Stosowane w doświadczeniu materiały organiczne w niejednoznaczny sposób różnicowały aktywność omawianych enzymów. W pierwszym roku doświadczenia wykazano tylko aktywację dehydrogenaz w glebie pobranej po IV pokosie z obiektów nawożonych węglem brunatnym,

Tabela 5. Aktywność dehydrogenaz w glebie ($\mu\text{mol TPF} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) – II rok doświadczenia
Table 5. Dehydrogenase activity in soil ($\mu\text{mol TPF} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) – II year of experiment

Nawożenie	Pokos	0 Ca					Wapnowanie wg 1 Hh gleby					Średnia
		Dawka niklu [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby]										
		0	75	150	225	średnia	0	75	150	225	średnia	
0	I	1,22	1,28	1,12	1,02	1,16	1,28	1,30	1,22	1,18	1,25	1,20
	II	1,26	1,28	1,14	1,08	1,19	1,23	1,24	1,20	1,18	1,21	1,20
	III	1,18	1,21	1,16	1,04	1,15	1,26	1,28	1,26	1,21	1,25	1,20
	IV	1,16	1,24	1,11	1,00	1,13	1,21	1,22	1,18	1,16	1,19	1,16
Średnia		1,21	1,25	1,13	1,04	1,16	1,25	1,26	1,22	1,18	1,22	1,19
Słoma	I	1,28	1,30	1,26	1,20	1,26	1,32	1,34	1,29	1,26	1,30	1,28
	II	1,36	1,29	1,28	1,18	1,28	1,34	1,32	1,26	1,20	1,28	1,28
	III	1,22	1,31	1,20	1,16	1,22	1,27	1,24	1,22	1,20	1,23	1,22
	IV	1,24	1,30	1,20	1,09	1,21	1,22	1,25	1,22	1,17	1,22	1,22
Średnia		1,28	1,30	1,24	1,16	1,24	1,29	1,29	1,25	1,21	1,26	1,25
Węgiel brunatny	I	1,30	1,30	1,22	1,12	1,12	1,30	1,32	1,24	1,20	1,27	1,25
	II	1,24	1,28	1,19	1,16	1,16	1,26	1,24	1,24	1,21	1,24	1,20
	III	1,22	1,21	1,17	1,09	1,17	1,26	1,2	1,25	1,20	1,23	1,20
	IV	1,12	1,20	1,16	1,11	1,15	1,18	1,16	1,12	1,12	1,15	1,15
Średnia		1,22	1,25	1,19	1,12	1,15	1,25	1,23	1,21	1,18	1,22	1,18
Średnia z pokosów	I	1,27	1,29	1,20	1,13	1,22	1,30	1,32	1,25	1,21	1,27	1,22
	II	1,29	1,28	1,20	1,14	1,21	1,28	1,27	1,23	1,20	1,24	1,22
	III	1,21	1,24	1,18	1,10	1,18	1,26	1,24	1,24	1,20	1,24	1,22
	IV	1,17	1,25	1,16	1,07	1,16	1,20	1,21	1,17	1,15	1,19	1,17
Średnia z obiektów		1,24	1,26	1,18	1,11	1,19	1,26	1,26	1,22	1,19	1,23	1,21
Pokos												
NIR _{0,05} dla:		I		II		III		IV				
dawek niklu		0,052		0,056		0,048		0,064				
wapnowania		0,028		n.i.		0,039		n.i.				
materiałów organicznych		0,040		0,039		n.i.		0,045				

natomiast w drugim roku uwidocznił się wpływ słomy i wykazano jej stymulujące działanie na aktywność enzymów w przypadku gleby pobranej po pierwszym, drugim i czwartym pokosie. Niejednoznaczny wpływ odpadowych materiałów organicznych na aktywność dehydrogenaz w glebie płowej wykazali też Górska i Stępień [2007].

Zawartość azotu w analizowanej glebie (tabele 6 i 7) w drugim roku badań była tylko o około 4% mniejsza niż w roku pierwszym, co należy wiązać z ilością pobranego azotu z plonem kupkówki pospolitej. Największą zawartość azotu w obydwu latach badań oznaczono w próbkach gleby pobranej po pierwszym odroście trawy. W pierwszym i drugim roku badań zróżnicowana zawartość niklu w glebie nie miała wpływu na pobieranie azotu, z wyjątkiem gleby pobranej po IV pokosie, w której wykazano zwiększenie ilości azotu pod wpływem wzrastających dodatków niklu. Jest to prawdopodobnie związane z plonowaniem rośliny testowej, co zostanie zaprezentowane w innej pracy.

Tabela 6. Zawartość azotu w glebie ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) – I rok doświadczenia

Table 6. Nitrogen content in soil [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$] – I year of experiment

Nawożenie	Pokos	0 Ca					Wapnowanie wg 1 Hh gleby					Średnia
		Dawka niklu [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby]										
		0	75	150	225	średnia	0	75	150	225	średnia	
0	I	0,98	0,97	0,98	0,98	0,98	0,96	0,96	0,97	0,96	0,96	0,97
	II	0,96	0,97	0,99	0,98	0,97	0,94	0,95	0,97	0,96	0,95	0,96
	III	0,92	0,94	0,98	0,98	0,95	0,93	0,94	0,96	0,96	0,95	0,95
	IV	0,93	0,94	0,97	0,98	0,95	0,90	0,92	0,94	0,96	0,93	0,94
Średnia		0,95	0,95	0,98	0,98	0,96	0,93	0,94	0,96	0,96	0,95	0,95
Słoma	I	0,99	0,98	0,98	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98	0,99	0,98
	II	0,98	0,96	0,97	0,99	0,97	0,99	0,97	0,96	0,99	0,98	0,98
	III	0,96	0,96	0,97	0,98	0,97	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
	IV	0,95	0,95	0,96	0,98	0,96	0,93	0,93	0,95	0,97	0,95	0,95
Średnia		0,97	0,96	0,97	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97
Węgiel brunatny	I	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,00	1,00	1,01	1,01	1,02
	II	1,04	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,00	0,98	1,02	1,00	1,01
	III	1,04	1,03	1,01	1,02	1,02	1,00	1,02	1,00	1,00	1,01	1,01
	IV	1,03	1,01	1,01	1,02	1,02	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,01
Średnia		1,04	1,02	1,01	1,02	1,02	1,01	1,00	0,99	1,01	1,01	1,01
Średnia z pokosów	I	1,00	0,99	0,99	1,00	0,99	0,99	0,98	0,99	0,98	0,99	0,99
	II	1,00	0,98	0,99	1,00	0,99	0,98	0,97	0,97	0,99	0,98	0,99
	III	0,97	0,38	0,99	0,99	0,98	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98
	IV	0,97	0,97	0,98	0,99	0,98	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97
Średnia z obiektów		0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,98	0,97	0,98
		Pokos										
NIR _{0,05} dla:		I		II		III		IV				
dawek niklu		n.i.		n.i.		n.i.		0,022				
wapnowania		0,008		n.i.		0,008		0,005				
materiałów organicznych		0,011		n.i.		0,002		0,018				

Tabela 7. Zawartość azotu w glebie [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$] – II rok doświadczenia**Table 7.** Nitrogen content in soil [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$] – II years of experiment

Nawożenie	Pokos	0 Ca					Wapnowanie wg 1 Hh gleby					Średnia
		Dawka niklu [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby]										
		0	75	150	225	średnia	0	75	150	225	średnia	
0	I	0,94	0,92	0,93	0,94	0,93	0,93	0,92	0,90	0,91	0,92	0,92
	II	0,91	0,90	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90	0,91	0,90	0,90	0,90
	III	0,90	0,90	0,89	0,92	0,91	0,89	0,86	0,89	0,90	0,90	0,90
	IV	0,88	0,86	0,88	0,87	0,87	0,86	0,86	0,84	0,88	0,88	0,88
Średnia		0,91	0,90	0,90	0,91	0,91	0,89	0,88	0,88	0,90	0,90	0,90
Stoma	I	0,96	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,93	0,94	0,94	0,95
	II	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,92	0,92	0,92	0,94	0,93	0,94
	III	0,94	0,94	0,96	0,95	0,95	0,92	0,90	0,90	0,91	0,91	0,93
	IV	0,92	0,91	0,90	0,93	0,94	0,90	0,89	0,86	0,90	0,89	0,90
Średnia		0,94	0,94	0,94	0,95	0,94	0,92	0,91	0,90	0,92	0,91	0,92
Węgiel brunatny	I	1,00	1,01	1,02	1,00	1,01	0,98	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00
	II	0,99	1,00	1,00	0,98	0,99	0,99	0,98	0,99	0,96	0,98	0,98
	III	0,99	1,00	0,98	0,98	0,99	0,98	0,96	0,98	0,99	0,98	0,98
	IV	1,00	0,97	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,96	0,98	0,98	0,98
Średnia		0,99	1,00	0,99	0,98	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Średnia z pokosów	I	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,95	0,96	0,94	0,95	0,95	0,96
	II	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,94	0,94
	III	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,93	0,91	0,92	0,93	0,92	0,94
	IV	0,93	0,91	0,92	0,92	0,92	0,91	0,91	0,89	0,92	0,92	0,92
Średnia z obiektów		0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,93	0,93	0,92	0,93	0,93	0,94
Pokos												
NIR _{0,05} dla:				I		II		III		IV		
dawkę niklu				n.i.		n.i.		n.i.		0,018		
wapnowania				0,006		0,006		0,014		0,012		
materiałów organicznych				0,013		0,014		0,017		0,015		

Niezależnie od terminu pobrania próbek do analizy wapnowanie powodowało istotne zmniejszenie, a nawożenie materiałami organicznymi istotne zwiększenie zawartości azotu w glebie, przy czym największą jego ilość oznaczono w glebie, do której wprowadzono węgiel brunatny.

Przeprowadzona analiza korelacji liniowej Pearsona pomiędzy aktywnością badanych enzymów i zawartością azotu w glebie wskazuje na ścisły związek między nimi. Niezależnie od terminu pobierania próbek glebowych do analizy wykazano istotną zależność pomiędzy aktywnością obydwu enzymów, na co wskazują duże wartości współczynników korelacji mieszczące się w przedziale $r_{p<0,05} = 0,46^* \div 0,77^{**}$. W drugim roku badań wykazano również zależność pomiędzy aktywnością ureazy a zawartością azotu w glebie po II ($r_{p<0,05} = 0,42^*$), III ($r_{p<0,05} = 0,44^{**}$) i IV pokosie trawy ($r_{p<0,05} = 0,58^*$). Podobne zależności otrzymali w swoich badaniach Koper i in. [2008].

Podsumowując, przeprowadzone doświadczenie polowe i analizy biochemiczne wskazują na stymulujący wpływ najmniejszej zastosowanej dawki niklu ($75 \text{ mg Ni} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby) na aktywność dehydrogenaz i ureazy. Jednocześnie wykazano, że nikiel zastosowany w większych dawkach działa jako inhibitor aktywności tych enzymów, co jest zbieżne z rezultatami uzyskanymi przez Nowaka i in. [1999]. Wpływ drugiego rozpatrywanego w doświadczeniu czynnika, wapnowanie, na omawiane cechy nie był jednoznaczny, ale wykazano niewielkie ograniczenie negatywnego oddziaływania większych dawek niklu pod wpływem tego zabiegu. Zastosowane materiały organiczne, słoma i węgiel brunatny, nie tylko stymulowały aktywność obydwu enzymów, ale również powodowały niewielkie, udowodnione statystycznie zwiększenie zawartości azotu w glebie.

WNIOSKI

1. Wprowadzenie do gleby $75 \text{ mg Ni} \cdot \text{kg}^{-1}$ spowodowało istotne zwiększenie aktywności ureazy i dehydrogenazy, a większe dawki powodowały istotną ich dezaktywację.
2. Wapnowanie ograniczało negatywny wpływ wzrastających ilości niklu na aktywność ureazy i dehydrogenaz w analizowanej glebie.
3. Słoma i węgiel brunatny stymulowały aktywność obydwu enzymów i jednocześnie wzbogacały glebę w azot.

Podziękowanie

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego NN 310 152 135.

PIŚMIENNICTWO

1. Casida L.E., Klein D.A., Santoro T. 1964. Soil dehydrogenase activity. *Soil Sci.*, 98: 371-379.
2. Górka E.B., Stępień W., Russel S. 2007. Aktywność dehydrogenazy w glebie płowej z dodatkiem kurzeńca, osadu ściekowego i kompostu „DANO”. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 32: 219-223.
3. Hofmann G., Teicher K. 1961. Ein kolorimetrisches Verfahren zur Bestimmung der Ureaseaktivität in Böden. *Ziet. Pflanzenernaehr. Dung. Bodenkunde*, 95: 55-63.
4. 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. Fertil. Soils*, 45: 555-561.
5. Januszek K., Lasota J., Fiślak A. 2006. The evaluation of quality of soils of the Carpathian lime tree forest and beech forests on the basis of some chemical and biochemical properties. *Acta Sci. Pol., Silv. Colendar. Rat. Ind. Lignar.*, 5(2): 71-87.

6. Jezierska-Tys S., Frąć M., Fidecki M. 2004. Wpływ nawożenia osadem ściekowym na aktywność enzymatyczną gleby brunatnej. *Annales UMCS, S. E*, 3: 1175-1181.
7. Kalembasa S., Kuziemska B. 2008. Wpływ zanieczyszczenia gleby niklem na plon i zawartość fosforu w kupkówce pospolitej oraz aktywność enzymatyczną gleby. *Prace Nauk. UE we Wrocławiu, Chemia, Związki fosforu w chemii, rolnictwie, medycynie i ochronie środowiska*, 4(1204): 72-81.
8. Kalembasa S., Kuziemska B. 2009. Wpływ zanieczyszczenia gleby niklem na tle nawożenia organicznego na aktywność dehydrogenaz. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 41: 470-478.
9. Kalembasa S., Kuziemska B. 2011. Effect of nickel contamination on soil enzymatic activity. *Fresenius Environ. Bull.*, 20(7a): 1724-1731.
10. Koper J., Piotrowska A., Siwik-Ziomek A. 2008. Aktywność dehydrogenaz i inwertazy w glebie rdzawej leśnej w okolicy Zakładów Azotowych „ANWIL” we Włocławku. *Proc. of ECOpole*, 2(1): 197-202.
11. Krzywy- Gawrońska E., Krzywy E., Wołoszyk Cz. 2008. Wpływ kompostów z wycierki ziemniaczanej i komunalnego osadu ściekowego na aktywność enzymatyczną gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 533: 219-229.
12. Kuziemska B. 2012. Aktywność dehydrogenaz w glebie zanieczyszczonej niklem. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 52: 103-112.
13. Kwiatkowska-Malina J., Maciejewska A. 2009. Wpływ materii organicznej na pobieranie metali ciężkich przez rzodkiewkę i facelię. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40: 217-223.
14. Nowak J., Smolik B., Śnieg B. 1999. Wpływ dodatku różnych dawek soli miedzi i ołowiu na zmiany zawartości niektórych enzymów glebowych. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna*, 6(9): 889-898.
15. Smejkalova M., Mikanova O., Borucka L. 2003. Effects of heavy metal concentrations on biological activity of soil microorganisms. *Plant Soil Environ.*, 49(7): 321-324.
16. Tabatabai M.A. 1994. Soil enzymes. [w:] *Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*, Ch. 37, Soil Science Society of America Book, Series 5, SSSA Inc., 775-833.
17. Wyszowska J., Zaborowska M., Kucharski J. 2006. Activity of enzymes in zinc contaminated soil. *EJPAU*, 9(1), #6; www.ejpau.media.pl