Katarzyna Borowska*, Jan Koper*, Marlena Grabowska*

WPŁYW WARTOŚCI NAWOZOWEJ OBORNIKA W ZALEŻNOŚCI OD JEGO PRZECHOWYWANIA NA ZAWARTOŚĆ SELENU I JEGO FRAKCJI FITOPRZYSWAJALNYCH W GLEBIE NA TLE AKTYWNOŚCI KATALAZOWEJ

THE EFFECT OF FARMYARD MANURE IN RELATION TO ITS STORAGE ON SELENIUM AND ITS PHYTOAVAILABLE FRACTIONS CONTENT IN SOIL ON THE BACKGROUND OF CATALASE ACTIVITY

Słowa kluczowe: selen, frakcje przyswajalne, obornik, azot, katalaza.
Keywords: selenium, phytoavailable fractions, farmyard manure, nitrogen, catalase.

Streszczenie

Celem pracy było określenie wpływu sposobu przechowywania obornika, nawożenia azotem oraz głębokości pobierania próbek glebowych na całkowitą zawartość selenu oraz jego frakcji fitoprzyswajalnych w glebie, na tle aktywności katalazowej.

Całkowita zawartość selenu w glebie kontrolnej, na której nie stosowano obornika, kształtowała się w granicach 0,169–0,368 mg·kg^{-1}, co wskazuje, że była ona uboga w ten pierwiastek. Zróżnicowane nawożenie obornikiem oraz azotem na ogół zwiększały zawartość selenu oraz jego frakcji fitoprzyswajalnych w glebie. Procentowy udział frakcji fitodostępnych w całkowitej zawartości selenu w badanej glebie płowej wynosił od 5,61 do 10,04%, a największy stwierdzono na obiektach, na których zastosowano obornik przechowywany w warunkach tlenowych oraz z dodatkiem wapna palonego.

Najwyższą aktywność katalazy wykazano na obiektach, na których stosowano obornik przechowywany w warunkach tlenowych z dodatkiem wapna palonego lub przechowywanego w warunkach beztlenowych. Nawożenie azotem istotnie zwiększyło aktywność tego enzymu, szczególnie po zastosowaniu dawki azotu 40 i 120 kg·ha^{-1}.

* ***Dr hab. inż. Katarzyna Borowska, prof. nadzw. UTP; prof. dr hab. Jan Koper, mgr inż. Marlena Grabowska – Katedra Biochemii, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, ul. Bernardyńska 6, 85-029 Bydgoszcz; e-mail: kborowska56@o2.pl***

Analiza korelacji wykazała, że zawartość selenianów (IV) i selenianów (VI) była dodatnio skorelowana z całkowitą zawartością selenu w glebie. W prezentowanych w niniejszej pracy badaniach nie stwierdzono istotnej korelacji między aktywnością katalazy a zawartością badanych frakcji selenu w glebie.

Summary

The aim of this study was to determine the effect of manure and nitrogen and depths of sampling on the total selenium and its phytoavailable fractions content on background of catalase activity in soil under winter wheat cultivation. Soil samples were taken from field experiment conducted by IUNG in Puławy in Grabów on the Vistula River. The soil was fertilized with manure in four variants (control soil, aerobic conditions, anaerobic and aerobic with the addition of calcium) and nitrogen at the doses of 0, 40, 80 and 120 kg N·ha^{-1}. Soil samples were collected from a depth of 0–15 and 15–30 cm. Total selenium content was determined by Watkinson's method. Contents Se (VI) and Se (IV) was determined by Chao and Sanzolone in the modification of Wang and Chen. Catalase activity was determined by Johnson and Temple method. Manure and nitrogen fertilization significantly affected the increase of total Se content and its phytoavailable fractions in the soil. Phytoavailable fractions of Se in the soil was in the range of 5.61 to 10.04%. The highest catalase activity has been demonstrated on the premises on which the applied manure stored under aerobic conditions with the addition of calx or stored in anaerobic conditions. Nitrogen fertilization significantly increased CAT activity, particularly in soil fertilized with the doses of 40 and 120 kg·ha^{-1}.

1. WPROWADZENIE

Istotna fizjologicznie i potencjalnie toksykologiczna rola związków selenu w żywieniu człowieka powoduje, że od lat pierwiastek ten jest przedmiotem badań naukowych. Znaczenie selenu zaznacza się wyraźnie w końcowych ogniwach łańcucha pokarmowego, bowiem zarówno niedobór, jak i jego nadmierna koncentracja w roślinach paszowych, może powodować objawy chorobowe u zwierząt.

W metabolizmie człowieka i zwierząt selen – wchodzący w skład peroksydazy glutationowej – ma zdolność redukcji nadtlenku wodoru i nadtlenków organicznych i w ten sposób chroni komórkę przed ich szkodliwym działaniem [Kabata-Pendias 2011]. Na obszarach o klimacie umiarkowanym, z dużą ilością opadów i z przewagą gleb kwaśnych, mogą występować niedobory selenu. W warunkach klimatycznych Polski można się również spotkać z problemami zdrowotnymi spowodowanymi niedoborem tego mikroelementu [Badora 2000, Borowska 2010]. Dostępność selenu dla roślin, a w konsekwencji dla wyższych ogniw łańcucha troficznego, jest zależna od formy, w jakiej ten pierwiastek występuje w glebie. Wzrost pH sprzyja powstawaniu selenianów (VI), które są formą łatwo

dostępną dla roślin, natomiast zakwaszenie środowiska prowadzi do powstawania selenu elementarnego i selenków – form trudno dostępnych dla roślin [Kabata-Pendias 2011, Fageria i in. 2002, Broadley i in. 2006, Pyrzyńska 2007].

Ruchliwość selenu jest ograniczona dużą podatnością na sorpcję przez wiele składników glebowych, głównie przez minerały ilaste oraz próchnicę, a obecność wodorotlenków żelaza sprzyja tym procesom.

Celem prezentowanej pracy było określenie wpływu sposobu przechowywania obornika, nawożenia azotem oraz głębokości pobierania próbek glebowych na całkowitą zawartość selenu oraz jego frakcji fitoprzyswajalnych w glebie na tle aktywności katalazowej.

2. MATERIAŁ I METODY

Próbki gleby płowej pobrano w roku 2009 spod pszenicy ozimej uprawianej w doświadczeniu polowym założonym przez Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia IUNG w Puławach, na terenie RZD Grabów n/Wisłą w woj. mazowieckim. Doświadczenie to założono jako trzyczynnikowe:

- czynnik I – rodzaj obornika (A - bez obornika, B - obornik przechowywany w warunkach beztlenowych, C - obornik przechowywany w warunkach tlenowych, D - obornik przechowywany w warunkach tlenowych z dodatkiem wapna palonego); w wariantach C i D zastosowano obornik z fermentacji gorącej, tzw. obornik kompostowany (ułożone pryzmy obornika w ciągu 2 miesięcy były przerobione przy użyciu areatora);
- czynnik II – nawożenie azotem w formie saletry amonowej w dawkach N0-0, N1-40, N2-80 i N3-120 kg $N \cdot ha^{-1}$ pod pszenicę ozimą;
- czynnik III – głębokość pobierania próbek glebowych; próbki glebowe pobrano z poziomu akumulacji próchnicy Ap: z głębokości 0–15 i 15–30cm, z czterech niezależnych punktów dla każdego poziomu nawożenia. Materiał glebowy wysuszono i przesiano przez sito o oczkach 1mm.

Zawartość selenu ogółem oznaczono metodą Watkinsona [1966] przy użyciu spektrofluorymetru F-2000 firmy Hitachi. Próbki glebowe mineralizowano w mieszaninie stężonego kwasu azotowego i wody utlenionej w piecu mikrofalowym. W tych warunkach selen organiczny przechodził w postać selenianu (VI), który redukowano do selenianu (IV) przez dodanie HCl. Selenian (IV) w reakcji z 2,3-diaminonaftalenem tworzył kompleksowy związek 4,5-benzopiazoselenol, który po wyekstrahowaniu do cykloheksanu oznaczono fluorymetrycznie. Zawartość selenianów (VI) i selenianów (IV) oznaczono wykorzystując część analizy specjacyjnej według Chao i Sanzolone [1989], w modyfikacji Wang i Chen [2003].

Aktywność katalazy (CAT) oznaczono metodą Johnsona i Temple [1964], polegającą na inkubacji gleby z dodanym nadtlenkiem wodoru. Pozostały w glebie H_2O_2, nierozłożony przez katalazę, odmiareczkowywano nadmanganianem potasu w środowisku kwaśnym. Oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Całkowita zawartość selenu w glebie pobranej z poletek kontrolnych, nienawożonych obornikiem, średnio dla dawek azotu, występowała w zakresie od 0,164 do 0,368 mg·kg^{-1} (tab. 1). Porównując uzyskane wyniki z danymi literaturowymi [Kabata-Pendias 2011, Zabłocki 1990] można stwierdzić, że badana gleba jest mało zasobna w ten pierwiastek. Zbyt niskie zawartości selenu w glebach są związane z przesortowaniem materiału polodowcowego przez wody i wiatr oraz wyługowaniem skał macierzystych gleb z tego pierwiastka w procesach geologicznych. Otrzymane wyniki wykazały, że zastosowanie nawożenia obornikiem przyczyniło się do zwiększenia całkowitej zawartości selenu w glebie, w porównaniu z jego zawartością na obiektach kontrolnych, a istotny statystycznie, prawie dwukrotny wzrost, stwierdzono w glebie z obiektów, na których stosowano obornik przechowywany w warunkach beztlenowych. We wcześniejszych badaniach Borowskiej i Kopera [2007] wykazano dwukrotny wzrost zawartości selenu ogółem w glebie po zastosowaniu nawożenia obornikiem i gnojowicą, w stosunku do gleby kontrolnej wzbogaconej nawozami NPK w formie mineralnej.

Zgodnie z wynikami otrzymanymi przez Maćkowiaka [1994] średnia zawartość selenu w oborniku i gnojowicy wynosiła odpowiednio 2,4 i 0,25 mg·kg^{-1} s.m. Również badania przeprowadzone przez Blagejović'a i in. [1996], dotyczące wpływu stosowania nawozów organicznych, potwierdziły powyższe zależności. W przeprowadzonych badaniach nawożenie azotem wpływało na całkowitą zawartość selenu w badanej glebie w sposób niejednoznaczny, podobnie jak w badaniach wcześniejszych [Borowska 2010]. Po zastosowaniu azotu w dawce 80 kg·ha^{-1} wykazano istotne zmniejszenie zawartości tego pierwiastka w porównaniu z glebą kontrolną, natomiast nawożenie azotem w najwyższej dawce spowodowało istotny statystycznie wzrost całkowitej zawartości selenu o ponad 10% w odniesieniu do obiektów bez azotu.

Gissel-Nielsen i in. [1984] badali wpływ azotu, siarki i fosforu na zawartość selenu w glebie. Stwierdzili oni wzajemne korelacje pomiędzy tymi trzema anionami występującymi w nawozach, a pobieraniem selenu przez rośliny. Z badań tych autorów wynikało, że dodatek azotu i siarki zmniejszał do pewnego stopnia zawartość selenu w glebie. Po zastosowaniu wysokiego poziomu nawożenia azotem i siarką dodatek nawozów fosforowych wpływał na zmniejszenie zawartości selenu w glebie, przy niskim poziomie nawożenia azotem i wysokim poziomie nawożenia siarką stwierdzono natomiast wzrost zawartości selenu.

Tabela 1. Zawartość selenu w glebie pod uprawą pszenicy ozimej

Table 1. Selenium content in soil under winter wheat cultivation

Wariant nawożenia obornikiem (czynnik I)	Dawka nawożenia azotem (kg N·ha^{-1}) (czynnik II)	Se ogółem [mg·kg^{-1}]		Se(VI) [mg·kg^{-1}]		Se (IV) [mg·kg^{-1}]	
		głębokość pobierania próbek glebowych (cm) (czynnik III)					
		0–15	15–30	0–15	15–30	0–15	15–30
A	0	0,200	0,189	0,009	0,006	0,006	0,006
	40	0,181	0,198	0,010	0,007	0,006	0,006
	80	0,220	0,173	0,007	0,007	0,007	0,007
	120	0,337	0,207	0,007	0,009	0,008	0,007
Średnio		0,235	0,192	0,008	0,007	0,007	0,006
B	0	0,481	0,468	0,011	0,010	0,014	0,017
	40	0,494	0,277	0,013	0,010	0,014	0,013
	80	0,249	0,299	0,006	0,007	0,007	0,008
	120	0,523	0,533	0,008	0,007	0,015	0,013
Średnio		0,437	0,382	0,010	0,009	0,013	0,013
C	0	0,293	0,329	0,010	0,012	0,017	0,018
	40	0,205	0,251	0,012	0,010	0,012	0,014
	80	0,332	0,290	0,014	0,011	0,017	0,018
	120	0,268	0,260	0,010	0,010	0,014	0,013
Średnio		0,275	0,283	0,012	0,011	0,015	0,016
D	0	0,216	0,220	0,013	0,010	0,014	0,012
	40	0,332	0,233	0,010	0,010	0,013	0,013
	80	0,203	0,203	0,012	0,012	0,012	0,012
	120	0,224	0,280	0,009	0,008	0,017	0,008
Średnio		0,244	0,234	0,009	0,010	0,014	0,011
Średnio dla dawki N	0	0,299		0,010		0,013	
	40	0,271		0,010		0,011	
	80	0,243		0,009		0,011	
	120	0,329		0,008		0,012	
Średnio		0,286		0,009		0,012	
$NIR_{0,05}$		I – 0,137		I – 0,001		I – 0,002	
		II – 0,037		II – 0,002		II – 0,002	
		III – n.i.		III – 0,001		III – n.i.	

Zachowanie się związków selenu w środowisku zależy zarówno od właściwości geochemicznych, jak i od stopnia utlenienia pierwiastka (Se(VI), Se(IV), Se^0, Se(-II)). Czynniki te przyczyniają się do powstania rożnych form mobilnych selenu, potencjalnie biodostępnych w roztworze glebowym. Seleniany (VI), obecne w środowisku alkalicznym, stanowią termodynamicznie stabilną grupę związków. Ze względu na ich rozpuszczalność w wodzie seleniany są łatwiej wypłukiwane z gleb, transportowane do wód gruntowych i pobierane przez rośliny niż seleniany (IV) [Kuczyńska i Biziuk 2007].

Z przeprowadzonych badań wynika, że największą zawartość selenianów (VI) oraz selenianów (IV) wykazano na obiektach, na których zastosowano obornik przechowywa-

ny w warunkach tlenowych oraz obornik przechowywany w warunkach tlenowych z dodatkiem wapna palonego (tab. 1). Zawartość selenianów (VI) zwiększyła się odpowiednio o 50% w glebie z wariantu, na którym zastosowano obornik przechowywany w warunkach tlenowych i o 37% w glebie z wariantu z dodatkiem wapna palonego, w porównaniu z zawartością tej frakcji w glebie kontrolnej. Stwierdzono również istotny wzrost zawartości selenianów (IV) średnio o 85%, w obu wariantach nawożenia, w stosunku do zawartości selenianów w glebie obiektu kontrolnego.

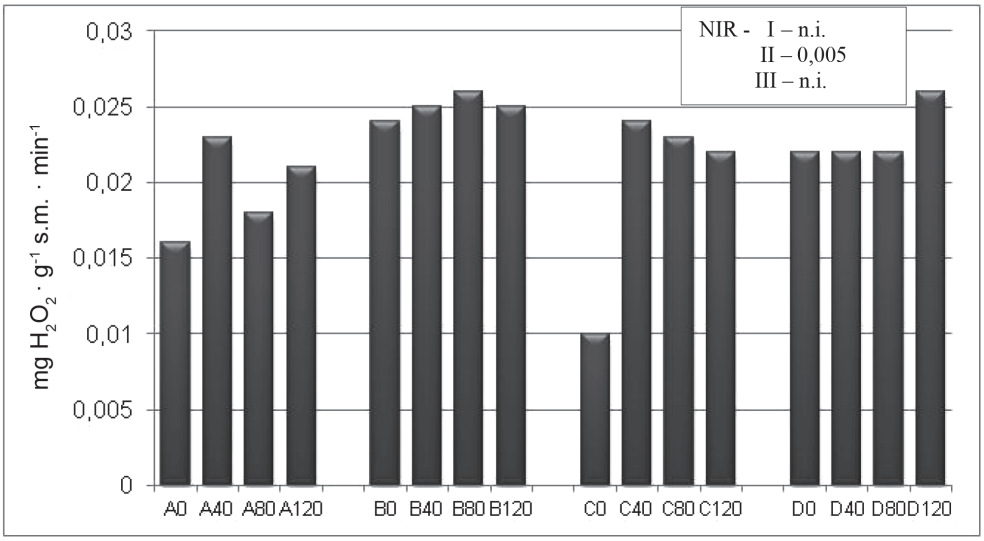
Analiza statystyczna wykazała, że zastosowanie nawożenia obornikiem w istotny sposób wpływało na wzrost zawartości selenianów (VI) oraz selenianów (IV), w porównaniu z glebą z obiektów kontrolnych. Otrzymane wyniki wskazują, że nawożenie azotem istotnie zmniejszyło zawartość Se(VI) oraz Se(FIV) w badanej glebie. Zdaniem Fagerii i in. [2002] występowanie poszczególnych frakcji selenu w glebach jest zróżnicowane, co wpływa na jego mobilność, a także na dostępność dla roślin. Właściwości gleb, takie jak zawartość substancji organicznej, zawartość i forma tlenków oraz węglanów, a także pH mają wpływ na fitoprzyswajalność oraz transport pierwiastków śladowych w glebie i środowisku. Chao i Sanzolone [1989] stwierdzili, że w glebach o podwyższonym pH i małej zawartości tlenków Mn, Fe, Al – selen występuje głównie w formie selenianów (IV), dlatego też pierwiastek ten jest mobilny i łatwo przyswajalny przez rośliny.

W warunkach przeprowadzonego doświadczenia procentowy udział frakcji selenianów (VI) oraz selenianów (IV) w całkowitej zawartości selenu wahał się od 5,61% do 10,04%, a najwyższy udział stwierdzono na obiekcie, na którym stosowano obornik przechowywany w warunkach tlenowych z dodatkiem wapna palonego, najniższy natomiast na obiektach, gdzie nawożono obornikiem przechowywanym w warunkach beztlenowych.

Wielu autorów [Kabata-Pendias 2011, Fageria i in. 2002, Broadley i in. 2006, Pyrzyńska 2007] podaje, że w glebach o wyrównanych stosunkach wodno-powietrznych i pH zbliżonym do obojętnego główną frakcją są seleniany (IV), które często łączą się z tlenkami oraz wodorotlenkami żelaza, a także z materią organiczną, co ogranicza ich dostępność dla roślin.

W przeprowadzonych badaniach aktywność katalazy (CAT) w glebie, występowała w przedziale od 0,003 do 0,030 mg $H_2O_2 \cdot g^{-1}$ s.m.$\cdot min^{-1}$ (rys. 1). Najmniejszą aktywność enzymu stwierdzono na obiektach, na których stosowano obornik przechowywany w warunkach beztlenowych oraz w glebie kontrolnej. Najwyższą aktywność CAT natomiast oznaczono w glebie nawożonej obornikiem przechowywanym w warunkach beztlenowych, przy jednoczesnym stosowaniu azotu w ilości 40 i 80 kg $N \cdot ha^{-1}$ oraz w warunkach tlenowych z dodatkiem wapna palonego, jednocześnie nawożonych azotem w dawce 120 kg $N \cdot ha^{-1}$.

Zastosowanie obornika spowodowało wzrost aktywności enzymu w stosunku do aktywności w glebie kontrolnej, jednak wzrost ten nie był istotny statystycznie. Jedynie nawożenie azotem oraz zwiększenie jego dawki istotnie stymulowało aktywność katalazową gleby. Po zastosowaniu nawożenia azotem w dawce 120 kg $N \cdot ha^{-1}$ stwierdzono wzrost



Rys. 1. Aktywność katalazy w glebie pod uprawą pszenicy ozimej (średnio dla głębokości pobierania próbek)

Fig. 1. Catalase activity in soil under study (mean for depths of sampling)

aktywności katalazy o 30%, podobnie jak przy nawożeniu azotem w ilości 40 oraz 80 kg N·ha^{-1}, gdzie wzrost aktywności tego enzymu wynosił odpowiednio 27% oraz 22%. W przeprowadzonych badaniach nie wykazano istotnej zależności między zawartością badanych frakcji selenu a aktywnością katalazy glebowej (tab. 2).

Z badań przeprowadzonych przez Borowską [2010] wynika, że aktywność katalazy silnie koreluje z zawartością selenu ogółem w glebie. Jednakże największą aktywność tego enzymu, stwierdzono w drugim roku po aplikacji obornika, gdy zawartość selenu w glebie zmniejszyła się. W przeprowadzonych badaniach wykazano korelację między zawartością selenu ogółem a aktywnością katalazy (tab. 2).

Tabela 2. Współczynniki korelacji prostej między zawartością selenu oraz jego frakcji, a aktywnością katalazy (CAT) w glebie

Table 2. Simple correlation coefficients (r) between total selenium and its available fractions and catalase (CAT) activity in soil

Całkowita zawartość selenu (Se) oraz frakcji fitoprzyswajalnych	Frakcje selenu		CAT
	Se VI	Se IV	
Se ogółem	0,08	0,47*	0,03
Se VI	–	0,63*	-0,10
Se IV	–	–	-0,07

* Statystycznie istotne przy p<0,05.

Procesy enzymatyczne przebiegające w glebie są często trudne do scharakteryzowania, ze względu na wpływ różnych czynników kształtujących właściwości agroekosystemu gleb [Koper i Piotrowska 1996]. Wprowadzenie do gleb pierwiastków i ich związków w formie nawozów bądź odpadów przemysłowych i komunalnych może wywierać duży wpływ na aktywność enzymatyczną [Krzywy 2001].

4. WNIOSKI

1. Całkowita zawartość selenu w glebie kontrolnej, na której nie stosowano obornika, kształtowała się w zakresie 0,169–0,368 $mg \cdot kg^{-1}$, co wskazuje, że była ona uboga w ten pierwiastek. Zróżnicowane nawożenie obornikiem oraz azotem istotnie zwiększało całkowitą zawartość tego pierwiastka oraz zawartość selenianów (VI) i selenianów (IV) w glebie.
2. Procentowy udział frakcji fitodostępnych w stosunku do całkowitej zawartości tego pierwiastka w badanej glebie płowej stanowił od 5,61 do 10,04%, a najwyższy wykazano na obiektach, na których zastosowano obornik przechowywany w warunkach tlenowych oraz z dodatkiem wapna palonego.
3. Najwyższą aktywność katalazy stwierdzono na obiektach, na których stosowano obornik przechowywany w warunkach tlenowych z dodatkiem wapna palonego lub przechowywanego w warunkach beztlenowych. Nawożenie azotem istotnie zwiększyło aktywność tego enzymu, zwłaszcza po zastosowaniu dawki azotu 40 i 120 $kg \cdot ha^{-1}$.
4. Analiza korelacji, jakiej zostały poddane uzyskane wyniki badań, wskazuje, że zawartość selenianów (IV) i selenianów (VI) była dodatnio skorelowana z całkowitą zawartością selenu. Nie wykazano istotnej korelacji między zawartością badanych frakcji selenu, a aktywnością katalazy glebowej.

PIŚMIENNICTWO

BADORA A. 2000. Selen – pierwiastek znany i nieznany. Biuletyn Magnezologiczny, 5,(3), 214–221.

BLAGEJOVIĆ S., JAKORLJEVIĆ B., ŹARKOVIĆ B. 1998. Influence of long term fertilization on the content of selenium in a calcareous chernozem soil. J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol. 17: 3–4; 183–187.

BOROWSKA K. 2010. Selen w glebie i roślinach w warunkach zróżnicowanego nawożenia organicznego i mineralnego. Rozprawy nr 140 Wyd. UTP, Bydgoszcz: 1–108.

BOROWSKA K. KOPER J. 2007. Rozmieszczenie selenu w glebach W: Selen pierwiastek ważny dla zdrowia, fascynujący dla badacza. Wierzbicka M., Bulska E., Pyrzyńska A., Wysocka I., Zachara B.A. (Red), Wyd. Malamut, Warszawa: 31–45.

BROADLEY M.R., WHITE P.J., BRYSON R.J., MEACHAM M.C., BOWEN H.C., JOHN-

SON S.E., HAWKESFORD M.J., MCGRATH S.P., ZHAO F.J., BREWARD N., HARRIMAN M., TUCKER M. 2006. Biofortification of UK food crops with selenium. Proc. Nutr. Soc. 65: 169–181.

CHAO T.T., SANZOLONE R.F. 1989. Fractionation of soil selenium by sequential partial dissolution. Soil Sci. Soc. Am. J. 53 (2): 385–392.

FAGERIA N.K., BALIGAR V.C., CLARK R.B. 2002. Micronutrients in crop production. Advances in Agronomy 77: 185–268.

GISSEL-NIELSEN G., GUPTA U., LAMAND M., WESTERMARCK T. 1984. Selenium in soil and plants and its importance in livestock and human nutrition. Advanced in Agronomy 37: 397–460.

JOHNSON J.I., TEMPLE K.L. 1964. Some variables affecting the measurement of catalase activity in soil. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 28: 207–216.

KABATA-PENDIAS A. 2011. Trace elements in soils and plants. 4th ed. CRC Press, Taylor&Francis Group, Boca Raton.

KOPER J., PIOTROWSKA A. 1996. Aktywność enzymatyczna gleby płowej w zależności od uprawy roślin w zmianowaniu i monokulturze. Rocz. Glebozn. XLVII 3/4: 89–100.

KRZYWY J. 2001. Wpływ nawozów wieloskładnikowych na niektóre cechy aktywności enzymatycznej gleby. Folia Univ. Agric. Stetin. 223 Agricultura 89: 93–98.

KUCZYŃSKA J., BIZIUK M. 2007. Biogeochemia selenu i jego monitoring w materiałach biologicznych pochodzenia ludzkiego. Ecol. Chem. Eng. 14: 57–61.

MAĆKOWIAK CZ. 1994. Zasady stosowania gnojowicy. Cz. IV. W: Zalecenia nawozowe. IUNG, Puławy.

PYRZYŃSKA K. 2007. Występowanie selenu w środowisku W: Selen pierwiastek ważny dla zdrowia, fascynujący dla badacza. Wierzbicka M., Bulska E., Pyrzyńska A., Wysocka I., Zachara B.A. (red.), Wyd. Malamut, Warszawa: 25–30.

WANG M.C., CHEN H.M. 2003. Forms and distribution of selenium at different depths and among particle size fractions of three Taiwan soils. Chemosphere 25: 585–593.

WATKINSON J. H. 1966. Fluorometric determination of selenium in biological material with 2,3- diaminonaphtalene. Anal. Chem. 38: 92–97.

ZABŁOCKI Z. 1994. Porównanie zawartości selenu w glebach, roślinach i odciekach drenarskich. Zesz. Nauk. Komitetu „Człowiek i Środowisko” PAN 8: 44–50.