

Danuta LESZCZYŃSKA¹ i Jolanta KWIATKOWSKA-MALINA²

WPLYW ZANIECZYSZCZENIA GLEB NA PLON I ZAWARTOŚĆ GŁÓWNYCH MAKROELEMENTÓW W PSZENICY OZIMEJ

EFFECT OF SOIL CONTAMINATION ON YIELD AND CONTENT OF MAIN MACROELEMENTS IN WINTER WHEAT

Abstrakt: Badania prowadzono w wazonach kamionkowych umieszczonych w gruncie, które wypełniono glebą płową właściwą (wg WRB, Haplic Luvisols), wytworzoną z piasku gliniastego lekkiego na glinie lekkiej. Do gleby wprowadzono metale ciężkie w formie soli: $ZnSO_4$, $Pb(NO_3)_2$ i $Cd(NO_3)_2$. Jednocześnie do gleby dodano jednorazowo: nawóz organiczno-mineralny z węgla brunatnego "Rekulter", węgiel brunatny, torf, obornik lub dolomit w dawkach odpowiednio 180, 140, 390, 630 lub 7 g na wazon, co odpowiadało 5 Mg C_{org} na ha. W doświadczeniu uprawiano pszenicę ozimą odmiany Alba. Gleba charakteryzowała się lekko kwaśnym odczynem. W próbkach roślinnych oznaczono ogólną zawartość wapnia, magnezu, sodu, potasu, fosforu i azotu. Celem badań było określenie wpływu zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi, do której wprowadzono materię organiczną z różnych źródeł, na plonowanie pszenicy ozimej *Triticum aestivum ssp. vulgare* (L.) oraz zawartość i rozmieszczenie K, Na, Mg, Ca, P i N w pszenicy. Wartość nawozowa substancji organicznej z różnych źródeł wyrażona plonem roślin była najwyższa dla Rekultera, a najniższa dla torfu. Dodatek substancji organicznej do gleby powoduje wzrost zawartości K, Mg, Ca, P i N w ziarnie i słomie pszenicy. Zawartość sodu w ziarnie pszenicy nie zależała od zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi i dodatku materii organicznej. Zawartość azotu w ziarnie i słomie pszenicy na glebie zanieczyszczonej była wyższa w porównaniu do roślin z gleby bez metali ciężkich.

Słowa kluczowe: gleba zanieczyszczona metalami ciężkimi, pszenica ozima, plon, makroelementy

Pszenica ozima charakteryzuje się wysokimi wymaganiami glebowymi i pokarmowymi [1]. Dla zapewnienia prawidłowego rozwoju roślin oraz uzyskania wartościowego plonu pod względem jakościowym wymagana jest równowaga jonowa pomiędzy makro- i mikroelementami w glebie [2]. Stopień tolerancji roślin na nadmiar mikroelementów, w tym cynku, zależy przede wszystkim od: odczynu, składu granulometrycznego, zawartości materii organicznej oraz gatunku rośliny [3, 4]. Jakość produkowanych obecnie surowców roślinnych staje się ważnym zagadnieniem w warunkach konkurencji krajów europejskich o rynek zbytu we wspólnym obszarze gospodarczym [5, 6]. Wzrost zapotrzebowania na produkty roślinne i zwierzęce wysokiej jakości wymaga działań w zakresie utrzymania żyzności gleb oraz ich ochrony przed degradacją. Do czynników ograniczających te procesy należy zwiększanie zawartości próchnicy bądź utrzymanie jej na dotychczasowym poziomie [8]. Utrzymanie i/lub zwiększenie wysokiej zawartości próchnicy w glebie wymusza stosowanie materiałów organicznych, tradycyjnych i niekonwencjonalnych [8-10]. Celem badań było określenie wpływu dodatku materii organicznej z różnych źródeł do gleby zanieczyszczonej metalami ciężkimi na plon oraz zawartość i rozmieszczenie K, Na, Mg, Ca, P i N w pszenicy ozimej.

¹ Zakład Uprawy Roślin Zbożowych, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czarotoryskich 8, 24-100 Puławy, tel. 81 886 34 21 w. 345, email: leszcz@iung.pulawy.pl

² Katedra Gospodarki Przestrzennej i Nauk o Środowisku Przyrodniczym, Politechnika Warszawska, pl. Politechniki 1, 00-661 Warszawa, tel. 22 234 53 93, email: j.kwiatkowska@gik.pw.edu.pl

Materiał i metody

Badania prowadzono w wazonach kamionkowych bez dna (umieszczonych w gruncie) o średnicy 40 i wysokości 120 cm, które wypełniono glebą płową właściwą (wg WRB, Haplic Luvisols), wytworzoną z piasku gliniastego lekkiego na glinie lekkiej w ilości 56,4 kg. Gleba charakteryzowała się odczynem lekko kwaśnym. Do gleby wprowadzono jednorazowo: nawóz organiczno-mineralny z węgla brunatnego "Rekulter", torf, obornik, węgiel brunatny lub dolomit w dawkach odpowiednio 180, 390, 630, 140, 7 g na wazon, co odpowiadało 5 Mg C_{org} na ha. Jednocześnie do gleby wprowadzono metale ciężkie w ilości: cynk - 90 mg · kg⁻¹ w formie ZnSO₄ · 7H₂O, ołów - 60 mg · kg⁻¹ w formie Pb(NO₃)₂ i kadm - 0,8 mg · kg⁻¹ w formie Cd(NO₃)₂ · 4H₂O, gleba ta charakteryzowała się podwyższoną zawartością metali ciężkich (I stopień) [11]. W doświadczeniu uprawiano pszenicę ozimą odmiany Alba. Po zbiorze nadziemnych części roślin zważono plon świeżej masy, a po wysuszeniu (temp. 105°C) plon suchej masy. W próbkach roślinnych zmineralizowanych w mieszaninie stężonych kwasów H₂SO₄ i HNO₃ w stosunku 3 : 1 oznaczono ogólną zawartość wapnia, magnezu, sodu, potasu i fosforu metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej. Natomiast azot po zmineralizowaniu w stężonym kwasie H₂SO₄ metodą Kjeldahla. W celu oceny wpływu dodatku substancji organicznej z różnych źródeł do gleby zanieczyszczonej metalami ciężkimi (Zn, Pb, Cd) przeprowadzono analizę wariancji dla doświadczenia jednoczynnikowego, stosując program Statgraphics 4.1.

Wyniki i dyskusja

Plon ziarna pszenicy ozimej zwiększał się istotnie po zastosowaniu materii organicznej z różnych źródeł, co jest zgodne z wcześniejszymi badaniami [10, 12]. Największy, istotny wzrost plonu części nadziemnych pszenicy ozimej uzyskano w przypadku Rekultera zarówno na glebie zanieczyszczonej, jak i bez metali ciężkich (tab. 1).

Tabela 1

Plon części nadziemnych pszenicy ozimej świeżej i suchej masy [g · wazon⁻¹]

Table 1

The yield of above-ground part of winter wheat of fresh and dry mass [g · pot⁻¹]

Obiekty/Objects	Plon/Yield	
	Świeża masa/Fresh mass	Sucha masa/Dry mass
Kontrola/Control	145,0	100,0
Kontrola + MC/Control + HM	127,5	78,5
Rekulter/Rekulter	446,5	289,5
Rekulter + MC/Rekulter + HM	217,8	143,5
Torf/Peat	372,2	240,0
Torf + MC/Peat +HM	192,5	123,3
Obornik/Farmyard manure	421,2	267,5
Obornik + MC/Farmyard manure + HM	245,0	146,3
Węgiel brunatny/Brown coal	432,8	280,0
Węgiel brunatny + MC/Brown coal + HM	240,0	138,7
Dolomit/Dolomite	430,0	287,5
Dolomit + MC/Dolomite + HM	212,5	142,5
NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	38,18	31,72

Oznaczenia: MC - metale ciężkie

Notation: HM - heavy metals

Wyższe plony w wariantach, gdzie zastosowano Rekulter, wynikały z faktu, że jest on źródłem N, P, K, Mg i Ca oraz mikroelementów dla roślin [14]. Nawóz ten z uwagi na porowatość węgla brunatnego wykazuje dużą pojemność sorpcyjną w stosunku do wody i nutrientów. Działa przez to buforująco na odczyn gleby i stężenie makro- i mikroelementów w roztworze glebowym, stwarzając lepsze warunki dla wzrostu i rozwoju roślin. Wprowadzenie do gleby materii organicznej okazało się skutecznym czynnikiem plonotwórczym. Jednak zastosowanie materii organicznej do gleby zanieczyszczonej metalami ciężkimi skutkowało mniejszym plonem. O ile bowiem zastosowanie Rekultera do gleby bez metali ciężkich skutkowało wzrostem plonu suchej masy pszenicy o 190 g · wazon⁻¹ w porównaniu do kontroli, to plon pszenicy na glebie zanieczyszczonej metalami ciężkimi z dodatkiem Rekultera był większy jedynie o 65 g · wazon⁻¹ w porównaniu do kontroli. Większość roślin uprawnych reaguje zmniejszeniem plonowania na podwyższoną zawartość metali ciężkich w glebie [3, 4]. Wartość nawozowa substancji organicznej z różnych źródeł wyrażona plonem roślin była najniższa dla torfu.

Zawartość głównych makroelementów w pszenicy ozimej (ziarno i słoma) była zdeterminowana dodatkiem do gleby substancji organicznej z różnych źródeł zarówno na glebie zanieczyszczonej, jak i niezanieczyszczonej metalami ciężkimi (tab. 2 i 3).

Zawartość potasu, wapnia i magnezu w suchej masie pszenicy ozimej [g · kg⁻¹ s.m.]

Tabela 2

Potassium, calcium and magnesium content in winter wheat dry mass [g · kg⁻¹ d.m.]

Table 2

Obiekty/Objects	Ziarno/Grain			Słoma/Straw		
	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg
Kontrola/Control	4,18	0,28	1,08	4,08	2,05	0,53
Kontrola + MC/Control + HM	4,03	0,30	1,12	5,61	2,44	0,47
Rekulter/Rekulter	4,97	0,29	1,94	6,87	3,55	0,58
Rekulter + MC/Rekulter + HM	4,68	0,38	1,15	9,84	3,13	0,62
Torf/Peat	4,55	0,34	1,86	6,85	3,00	0,58
Torf + MC/Peat + HM	4,46	0,35	1,17	8,43	2,77	0,61
Obornik/Farmyard manure	4,92	0,36	1,84	7,17	2,95	0,58
Obornik + MC/FYM + HM	4,66	0,35	1,23	9,19	2,85	0,61
Węgiel brunatny/Brown coal	4,94	0,38	1,94	6,27	3,33	0,55
Węgiel brunatny + MC/Brown coal + HM	4,75	0,40	1,25	10,4	3,06	0,73
Dolomit/Dolomite	4,55	0,29	1,97	6,86	2,91	0,54
Dolomit + MC/Dolomite + HM	4,48	0,38	1,17	8,46	2,85	0,62
NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	0,09	0,08	0,05	1,24	0,35	0,11

Oznaczenia jak w tabeli 1

Notation: see Table 1

Zawartość potasu w ziarnie pszenicy ozimej była istotnie mniejsza w glebie zanieczyszczonej w porównaniu do gleby bez metali ciężkich (tab. 2). Zawartość tego makroelementu w ziarnie we wszystkich wariantach doświadczenia wahała się w zakresie 4,03÷4,97 g · kg⁻¹ s.m. Wartości te są charakterystyczne dla wielu odmian pszenicy ozimej uprawianej w Polsce [1]. Natomiast zawartość potasu w słomie pszenicy ozimej była większa w wariantach na glebie zanieczyszczonej metalami ciężkimi w porównaniu do wariantów bez metali ciężkich. Zaobserwowano większą akumulację potasu w słomie

pszenicy w porównaniu do ziarna zarówno na glebie zanieczyszczonej, jak i bez metali ciężkich.

Zawartość wapnia w ziarnie pszenicy ozimej była największa w wariacie z węglem brunatnym na glebie zanieczyszczonej metalami ciężkimi (tab. 2). Zastosowana materia organiczna z różnych źródeł spowodowała wzrost zawartości wapnia w ziarnie i słomie pszenicy w porównaniu do kontroli na glebie zanieczyszczonej i o naturalnej zawartości cynku, ołowiu i kadmu. Zanieczyszczenie gleby metalami ciężkimi (Zn, Cd, Pb) skutkowało istotnym zmniejszeniem zawartości wapnia w słomie pszenicy we wszystkich wariantach. Nadmiar w glebie jakiegokolwiek z mikroelementów (tutaj Zn) może wpłynąć na ograniczenie pobierania jonów wapnia i tym samym jego zawartość w pszenicy [3, 4, 12].

Zawartość magnezu w ziarnie pszenicy ozimej uprawianej na glebie niezanieczyszczonej metalami ciężkimi była podobna w wariacie z Rekulterem, węglem brunatnym i dolomitem oraz w wariacie z obornikiem i torfem (tab. 2). Wykazano korzystne oddziaływanie materii organicznej z różnych źródeł na zawartość tego pierwiastka w ziarnie i słomie pszenicy. Zawartość magnezu w słomie pszenicy była istotnie niższa w wariantach z glebą niezanieczyszczonej w porównaniu do wariantów z glebą zanieczyszczonej metalami ciężkimi. Jest to zbieżne z wcześniejszymi wynikami badań otrzymanymi przez autorów [12, 14].

Zawartość sodu, fosforu i azotu w suchej masie pszenicy [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.]

Tabela 3

Sodium, phosphorus and nitrogen content in winter wheat dry mass [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.]

Table 3

Obiekty Objects	Ziarno/Grain			Słoma/Straw		
	Na	P	N	Na	P	N
Kontrola/Control	0,0300,	3,29	17,4	0,03	3,64	48,3
Kontrola + MC/Control + HM	028	3,57	18,4	0,04	3,59	57,2
Rekulter/Rekulter	0,032	3,70	27,8	0,08	4,57	33,6
Rekulter + MC/Rekulter + HM	0,031	3,45	30,9	0,15	4,37	77,4
Torf/Peat	0,030	3,51	27,7	0,04	4,65	36,2
Torf + MC/Peat + HM	0,032	3,54	30,9	0,08	4,42	68,9
Obornik/Farmyard manure	0,027	3,63	25,1	0,05	4,57	45,6
Obornik + MC/FYM + HM	0,028	3,46	27,3	0,14	4,12	77,9
Węgiel brunatny/Brown coal	0,033	3,68	26,4	0,07	4,69	49,9
Węgiel brunatny + MC/Brown coal + HM	0,032	3,45	28,7	0,16	4,29	90,2
Dolomit/Dolomite	0,030	3,78	25,2	0,06	4,66	39,3
Dolomit + MC/Dolomite + HM	0,031	3,32	28,8	0,13	4,30	68,6
NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	0,003	0,84	2,50	0,09	0,65	7,01

Oznaczenia jak w tabeli 1

Notation: see Table 1

Zawartość sodu w ziarnie pszenicy ozimej była najmniejsza w wariacie z obornikiem, natomiast największa w wariacie z węglem brunatnym na glebie zanieczyszczonej i bez metali ciężkich (tab. 3). Na podstawie uzyskanych wyników należy stwierdzić, że zastosowanie materii organicznej z różnych źródeł nie wpłynęło istotnie na zawartość sodu w ziarnie i słomie pszenicy ozimej, co potwierdzają inne badania [8, 10, 12]. Zawartość

sodu w słomie pszenicy była największa w wariancie z węglem brunatnym, a najmniejsza na kontroli.

Dodanie do gleby materii organicznej z różnych źródeł lub dolomitu nie spowodowało istotnego wzrostu zawartości fosforu w ziarnie pszenicy ozimej (tab. 3). Zawartości fosforu w ziarnie pszenicy nie różniły się istotnie w zależności od źródła materii organicznej zastosowanej do gleby w stosunku do kontroli. Pod wpływem dodanej materii organicznej wzrosła istotnie zawartość fosforu w słomie pszenicy na wszystkich wariantach z wyjątkiem gleby zanieczyszczonej metalami ciężkimi, gdzie zastosowano materię organiczną w formie obornika. Najwięcej fosforu stwierdzono w słomie pszenicy w wariancie z węglem brunatnym na glebie niezanieczyszczonej. Uzyskane wyniki potwierdzają badania innych autorów [10, 13], gdzie dodatek popiołu z węgla brunatnego powodował zmniejszenie zawartości fosforu w roślinach.

Zawartość azotu w suchej masie pszenicy ozimej zależała od źródła materii organicznej (tab. 3). Najmniejszą zawartość azotu stwierdzono w ziarnie pszenicy z gleby niezanieczyszczonej z obornikiem, natomiast największą w wariantach z Rekulterem i torfem na glebie z metalami ciężkimi. Zastosowana materia organiczna do gleby nie wpływała istotnie na wzrost zawartości azotu w ziarnie pszenicy. Zawartość azotu w słomie pszenicy była istotnie wyższa na glebie zanieczyszczonej w porównaniu do gleby bez metali ciężkich. Powszechnie przyjmuje się, że nawożenie mineralne wspomagane przez nawożenie organiczne odgrywa decydującą rolę w kształtowaniu plonu roślin i ich składu chemicznego [7, 8, 12], co potwierdzają otrzymane wyniki przedstawionych badań.

Wnioski

1. Wartość nawozowa substancji organicznej była najwyższa dla Rekultera, a najniższa dla torfu zarówno na glebie zanieczyszczonej, jak i bez metali ciężkich.
2. W ziarnie pszenicy ozimej stwierdzono mniejszą zawartość potasu w glebie zanieczyszczonej w porównaniu do gleby bez metali ciężkich.
3. Zawartość wapnia, fosforu i azotu w ziarnie i słomie pszenicy była istotnie większa w wariantach z glebą zanieczyszczonej w porównaniu do gleby bez metali ciężkich.
4. Zawartość sodu w ziarnie pszenicy była zbliżona na glebie zanieczyszczonej i bez metali ciężkich.

Literatura

- [1] Rachoń L, Szumiło G. Comparison of chemical composition of selected winter wheat species. *J Elementol.* 2009;14(1):135-146.
- [2] Wierzbowska J, Bowszys T. Effect of growth regulators applied together with different phosphorus fertilization levels on the content and accumulation of potassium, magnesium and calcium in spring wheat. *J Elementol.* 2009;14(1):411-422.
- [3] Baran A. Reakcja kukurydzy na toksyczną zawartość cynku w glebie. *Proc ECOpole.* 2011;5(1):155-160.
- [4] Spiak Z, Romanowska M, Radoła J. Toksyczna zawartość cynku w glebach dla różnych roślin uprawnych. *Zesz Probl Post Nauk Roln.* 2000;471:1125-1134.
- [5] Lepiarczyk A, Filipek-Mazur B. Wpływ nawożenia siarką na plonowanie i skład elementarny ziarna pszenicy ozimej. *Zesz Probl Post Nauk Roln.* 2010;556:57-64.
- [6] Buczek J, Bobrecka-Jamro D. Wpływ przedplonu i nawożenia azotowego na plonowanie i cechy jakościowe pszenicy ozimej. *Zesz Probl Post Nauk Roln.* 2010;556:157-163.
- [7] Marcinek J. Niektóre problemy degradacji i regradacji gleb użytkowanych rolniczo. *Zesz Probl Post Nauk Roln.* 1998;460:623-637.

- [8] Filipek-Mazur B, Mazur K, Gondek K. Badania nad wartością nawozową wermikompostów cz. II. Wpływ nawożenia wermikompostami na skład chemiczny kupkówki pospolitej (*Dactylis Glomerata* L.). *Folia Univ Agric Stetin* 211 *Agricultura*. 2000;(84):297-302.
- [9] Kalembasa S, Wysokiński A. Wpływ nawożenia mieszaniną osadów ściekowych z popiołem z węgla brunatnego lub CaO na plon i skład chemiczny roślin. Część I. Plon roślin. *Zesz Probl Post Nauk Roln*. 2002;482:251-256.
- [10] Kalembasa S, Wysokiński A. Wpływ nawożenia mieszaniną osadów ściekowych z popiołem z węgla brunatnego lub CaO na plon i skład chemiczny roślin. Część II. Zawartość wybranych makroelementów. *Zesz Probl Post Nauk Roln*. 2002;482:257-263.
- [11] Kabata-Pendias A, Motowicka-Terelak T, Piotrowska M, Terelak H, Witek T. Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. *Ramowe wytyczne dla rolnictwa*. Puławy: IUNG; 1993.
- [12] Leszczyńska D, Kwiatkowska-Malina J. Effect of organic matter from various sources on yield and quality of plant on soils contaminated with heavy metals. *Ecol Chem Eng S*. 2011;18(4):501-507.
- [13] Maciejewska A, Kwiatkowska J. Kształtowanie się właściwości fizykochemicznych gleby użyźnionej Rekulterem. *Roczn Glebozn*. 2004;V(3):147-153.
- [14] Maciejewska A, Kwiatkowska J. Wpływ nawozu organiczno-mineralnego z węgla brunatnego na plony i zawartość K, Mg, Ca w roślinach. *Zesz Probl Post Nauk Roln*. 2001;480:281-289.

EFFECT OF SOIL CONTAMINATION ON YIELD AND CONTENT OF MAIN MACROELEMENTS IN WINTER WHEAT

¹Institute of Soil Science and Plant Cultivation - State Research Institute, Puławy

²Department of Spatial Planning and Environmental Science, Warsaw University of Technology

Abstract: The experiment was carried out in stoneware pots sank into the ground filled up with 56.4 kg of soil: Haplic Luvisols formed from loamy sand. The soil was mixed up with liquid form of salts: $Cd(NO_3)_2$, $Pb(CH_3COO)_2$ and $ZnSO_4$. To the soil a brown coal preparation, so called "Rekulter", brown coal, peat, farmyard manure, and dolomite were applied in the amount of 180, 140, 390, 630 and 7 g per pot, which is equivalent to 5 Mg of organic carbon per ha. Winter wheat *Triticum aestivum ssp. vulgare* (L.) was cultivated. The manurial value of organic substance originated from different sources expressed as the plants' crop was the highest for Rekulter and the lowest for peat. The addition of organic substance to soil contaminated with heavy metals causes the higher content of potassium and nitrogen in winter wheat's straw. The content of sodium in winter wheat grain's did not depend from addition of organic matter to soil.

Keywords: soil contaminated with heavy metals, winter wheat, yield, macroelements