

Danuta LESZCZYŃSKA¹ i Jolanta KWIATKOWSKA-MALINA²

WPŁYW ZANIECZYSZCZENIA GLEB METALAMI CIĘŻKIMI NA PLON I ZAWARTOŚĆ MAKROELEMENTÓW W BIOMASIE ŻYTA

EFFECT OF SOIL CONTAMINATION WITH HEAVY METALS ON YIELD AND CONTENT OF MACROELEMENTS IN RYE BIOMASS

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 wprowadzono jednorazowo: nawóz organiczno-mineralny z węgla brunatnego „Rekult”, 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 żyto ozime na zieloną masę. W próbkach roślinnych oznaczono ogólną zawartość wapnia, magnezu, sodu, potasu, fosforu i azotu. Celem badań było określenie wpływu dodatku materii organicznej z różnych źródeł do zanieczyszczonej gleby na plonowanie żyta oraz zawartość i rozmieszczenie K, Na, Mg, Ca, P i N w życie. 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, P i N w źdźbłę i kłosie żyta. Zawartość sodu w nadziemnych częściach żyta nie zależała od zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi i materii organicznej. Zawartość azotu w życie na glebie zanieczyszczonej była wyższa w porównaniu do roślin z gleby bez metali ciężkich.

Słowa kluczowe: gleba zanieczyszczona metalami ciężkimi, żyto, plon, makroelementy

Wielkość plonu i skład mineralny biomasy roślin może ulegać określonym zmianom, które mogą być następstwem dysproporcji pomiędzy kationami w glebie oraz nadmierną zawartością mikroelementów [1, 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]. Wzrost zapotrzebowania na produkty roślinne i zwierzęce 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 [5]. Potrzeba utrzymania dużej zawartości próchnicy w glebie wymusza konieczność stosowania materiałów organicznych, tradycyjnych i niekonwencjonalnych [6-9]. 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 życie.

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,

¹ Zakład Uprawy Roślin Zbożowych, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czartoryskich 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

Haplic Luvisols), wytworzoną z piasku gliniastego lekkiego na glinie lekkiej w ilości 56,4 kg. 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) [10]. W doświadczeniu uprawiano żyto ozime na zieloną masę. Po zbiorze nadziemnych części roślin wybrano korzenie i zważono plon świeżej masy roślin, 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 przeprowadzono analizę wariancji dla doświadczenia jednoczynnikowego, stosując program Statgraphics 4.1.

Wyniki i dyskusja

Największy, istotny wzrost plonu części nadziemnych żyta uzyskano w przypadku Rekultera zarówno na glebie zanieczyszczonej, jak i bez metali ciężkich (tab. 1).

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

Tabela 1

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

Table 1

Obiekty/Objects	Plon/Yield	
	Świeża masa/Fresh mass	Sucha masa/Dry mass
Kontrola/Control	386,3	126,5
Kontrola + MC/Control + HM	356,3	86,3
Rekulter/Rekulter	641,6	207,6
Rekulter + MC/Rekulter + HM	453,8	155,5
Torf/Peat	447,2	151,2
Torf + MC/Peat + HM	310,5	82,3
Obornik/Farmyard manure	615,2	191,5
Obornik + MC/Farmyard manure + HM	360,0	125,3
Węgiel brunatny/Brown coal	548,8	166,5
Węgiel brunatny + MC/Brown coal + HM	361,8	114,3
Dolomit/Dolomite	506,3	163,5
Dolomit + MC/Dolomite + HM	401,3	133,7
NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	39,81	30,71

MC - metale ciężkie

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 [11]. Nawóz ten z uwagi na porowatość węgla brunatnego wykazuje dużą pojemność sorpcyjną w stosunku do wody i składników pokarmowych. Działa przez to buforująco na odczyn gleby i stężenie

składników pokarmowych w roztworze glebowym, stwarzając lepsze warunki do wegetacji roślin. Wartość nawozowa substancji organicznej z różnych źródeł wyrażona plonem roślin była najwyższa dla Rekultera, a najniższa dla torfu. Plony biomasy żyta z wariantów z glebą zanieczyszczoną metalami ciężkimi były znacznie niższe w porównaniu do wariantów z glebą niezanieczyszczoną. Większość roślin uprawnych reaguje zmniejszeniem plonowania na podwyższonej zawartości metali ciężkich w glebie [3].

Substancja organiczna z różnych źródeł istotnie wpływała na skład chemiczny żyta uprawianego na zieloną masę zarówno na glebie zanieczyszczonej, jak i niezanieczyszczonej metalami ciężkimi (tab. 2 i 3). Zawartość **wapnia** w korzeniach żyta była największa w wariancie z dolomitem na glebie zanieczyszczonej i niezanieczyszczonej metalami ciężkimi (tab. 2). Natomiast w wariancie z obornikiem zawartość wapnia w korzeniu żyta istotnie zmniejszyła się w porównaniu do kontroli. Zastosowana materia organiczna z różnych źródeł spowodowała wzrost zawartości wapnia w źdźble żyta w porównaniu do kontroli na glebie zanieczyszczonej i o naturalnej zawartości cynku, ołowiu i kadmu. Analogiczny wzrost zawartości wapnia wystąpił w przypadku kłosów żyta. Zanieczyszczenie gleby metalami ciężkimi (Zn, Cd, Pb) skutkowało znacznym zmniejszeniem zawartości wapnia w biomase żyta we wszystkich wariantach. Nadmiar jakiegokolwiek z mikroelementów (tutaj Zn) może wpłynąć na ograniczenie pobierania jonów wapnia i tym samym jego zawartość w życie [2].

Zawartość wapnia, magnezu i potasu w suchej masie żyta [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.]

Tabela 2

Calcium, magnesium and potassium content in rye dry mass [$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ d.m.]

Table 2

Obiekty/Objects	Korzenie/Roots			Żdźbło/Stalk			Kłós/Ear		
	Ca	Mg	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg	K
Kontrola/Control	2,78	0,82	15,5	1,78	0,95	10,5	1,50	0,56	17,6
Kontrola + MC/Control + HM	1,78	0,74	12,5	0,82	1,19	14,0	0,60	0,97	27,5
Rekulter/Rekulter	2,79	0,84	13,2	2,64	1,02	11,5	2,35	0,59	17,4
Rekulter + MC/Rekulter + HM	1,90	0,75	10,3	0,94	1,17	12,6	0,76	0,88	23,5
Torf/Peat	2,67	0,77	13,5	1,94	0,99	11,6	1,60	0,55	16,5
Torf + MC/Peat + HM	1,10	0,80	13,8	0,85	1,06	13,2	0,75	0,86	22,5
Obornik/Farmyard manure	2,10	0,75	11,0	2,43	1,00	12,1	1,95	0,55	18,4
Obornik + MC/FYM + HM	1,45	0,78	10,8	0,86	1,09	13,0	0,67	0,85	23,7
Węgiel brunatny/Brown coal	2,73	0,79	12,5	2,59	0,99	11,6	2,30	0,57	17,7
Węgiel brunat. + MC/Brown coal + HM	1,81	0,82	11,2	0,89	1,09	12,0	0,69	0,75	21,7
Dolomit/Dolomite	2,90	0,78	13,4	2,21	1,00	11,8	1,85	0,51	16,7
Dolomit + MC/Dolomite + HM	1,99	0,75	10,7	0,95	1,12	12,5	0,92	0,86	21,5
NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	0,31	0,05	1,10	0,09	0,02	2,02	0,19	0,18	3,38

Oznaczenia jak w tabeli 1

Notation: see table 1

Zawartość **magnezu** w biomase (korzenie, źdźbło, kłós) żyta była podobna we wszystkich wariantach niezależnie od rodzaju zastosowanego dodatku (materia organiczna lub dolomit) (tab. 2). Zawartość magnezu w źdźble i kłosie była istotnie wyższa w wariantach z glebą zanieczyszczoną metalami ciężkimi w porównaniu do wariantów

z glebą niezanieczyszczoną. Zawartość **potasu** w korzeniach żyta była istotnie mniejsza w glebie zanieczyszczonej w porównaniu do gleby bez metali ciężkich (tab. 2). Natomiast zawartość potasu w częściach nadziemnych żyta była mniejsza na glebie bez metali ciężkich w porównaniu do gleby zanieczyszczonej.

Zawartość **sodu** w korzeniach żyta była najmniejsza w wariacie z Rekulterem, natomiast największa w wariacie z obornikiem na glebie zanieczyszczonej i bez metali ciężkich (tab. 3). Zawartość sodu w źdźble żyta była największa w wariacie kontrolnym i z obornikiem. Materia organiczna z różnych źródeł lub dolomit nie wpływały znacząco na zawartość sodu w kłosach żyta w wariantach na glebie zanieczyszczonej lub bez metali ciężkich. Dodanie do gleby materii organicznej z różnych źródeł lub dolomitu nie spowodowało wzrostu zawartości **fosforu** w korzeniach żyta (tab. 3). Pod wpływem dodanej materii organicznej wzrosła zawartość fosforu w biomacie żyta na glebie zanieczyszczonej metalami ciężkimi. Najwięcej fosforu stwierdzono w źdźble żyta we wszystkich wariantach w porównaniu do zawartości w korzeniu lub kłosie. Zawartości fosforu w kłosie żyta nie różniły się istotnie w zależności od źródła materii organicznej zastosowanej do gleby w stosunku do kontroli. Uzyskane wyniki potwierdzają badania innych autorów [8], gdzie dodatek popiołu z węgla brunatnego powodował zmniejszenie zawartości fosforu w roślinach.

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

Tabela 3

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

Table 3

Obiekty Objects	Korzenie/Roots			Żdźbło/Stalk			Kłos/Ear		
	Na	P	N	Na	P	N	Na	P	N
Kontrola/Control	0,27	2,03	50,3	0,25	2,43	68,9	0,20	1,50	86,9
Kontrola + MC/Control + HM	0,22	1,33	112	0,26	2,93	130	0,21	1,89	122
Rekulter/Rekulter	0,23	1,54	56,6	0,22	2,47	48,8	0,20	1,51	82,8
Rekulter + MC/Rekulter + HM	0,21	2,20	65,1	0,21	2,76	137	0,20	1,60	176
Torf/Peat	0,25	1,77	36,5	0,22	2,54	48,9	0,20	1,60	79,2
Torf + MC/Peat + HM	0,23	1,91	55,6	0,21	2,62	136	0,20	1,80	195
Obornik/Farmyard manure	0,27	1,55	49,8	0,25	2,76	55,1	0,20	1,48	80,9
Obornik + MC/FYM + HM	0,33	1,79	86,4	0,25	2,66	140	0,20	1,80	199
Węgiel brunatny/Brown coal	0,25	1,85	54,6	0,22	2,59	52,1	0,20	1,71	78,3
Węgiel br. + MC/Brown coal + HM	0,26	1,98	59,0	0,24	2,67	139	0,20	1,79	188
Dolomit/Dolomite	0,30	1,87	50,8	0,23	2,60	61,7	0,20	1,20	77,4
Dolomit + MC/Dolomite + HM	0,24	1,51	111	0,21	2,73	134	0,20	1,73	175
NIR _{0,05} /LSD _{0,05}	0,02	0,04	5,1	0,01	0,06	7,0	0,01	0,08	8,6

Oznaczenia jak w tabeli 1

Notation: see table 1

Zawartość **azotu** w suchej masie żyta zależała od źródła materii organicznej (tab. 3). Najmniejsza zawartość azotu była w korzeniach żyta z gleby niezanieczyszczonej z torfem, natomiast największa w wariantach z Rekulterem i węglem brunatnym. Zawartość azotu w biomacie żyta była istotnie większa na glebie zanieczyszczonej w porównaniu do gleby bez metali ciężkich. Zastosowana materia organiczna do gleby nie wpływała znacząco na wzrost zawartości azotu w źdźble i kłosie żyta. Powszechnie przyjmuje się, że

nawożenie mineralne wspomagane przez nawożenie organiczne odgrywa decydującą rolę w kształtowaniu plonu roślin i ich składu chemicznego [7, 8, 11], co potwierdzają otrzymane wyniki 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. Zawartość wapnia w biomase żyta była istotnie mniejsza w wariantach z glebą zanieczyszczonej w porównaniu do gleby bez metali ciężkich.
3. W źdźble i kłosie żyta stwierdzono większą zawartość magnezu i potasu na glebie zanieczyszczonej w porównaniu do gleby bez metali ciężkich.
4. Zawartość sodu w kłosie żyta była zbliżona na glebie zanieczyszczonej i bez metali ciężkich.
5. Rośliny uprawiane na glebie zanieczyszczonej zawierały więcej azotu w porównaniu do gleby bez metali.

Literatura

- [1] Sądziej W.: *Wpływ nawożenia organicznego i mineralnego na skład chemiczny i równowagę jonową żyta poplonowego i kukurydzy, uprawianych w zmianowaniu*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1999, **465**, 195-204.
- [2] Szatanik-Kloc A., Sokołowska Z., Hajnos M., Alekseeva T. i Alekseev A.: *Wpływ pH oraz jonów Cu^{2+} i Zn^{2+} na zawartość wapnia w życie (*Secale cereale* L.)*. Acta Agrophys., 2010, **15**(1), 177-185.
- [3] Baran A.: *Reakcja kukurydzy na toksyczną zawartość cynku w glebie*. Proc. ECOpole, 2011, **5**(1), 155-160.
- [4] Spiak Z., Romanowska M. i Radoła J.: *Toksyczna zawartość cynku w glebach dla różnych roślin uprawnych*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 2000, **471**, 1125-1134.
- [5] Marcinek J.: *Niektóre problemy degradacji i regradacji gleb użytkowanych rolniczo*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1998, **460**, 623-637.
- [6] Filipek-Mazur B., Mazur K. i Gondek K.: *Badania nad wartością nawozową wermikompostów. Cz. II. Wpływ nawożenia wermikompostami na skład chemiczny kupkówki pospolitej (*Dactylis Glomerata* L.)*. Folia Univ. Agric. Stetin. Agricultura, 2000, **211**(84), 297-302.
- [7] Kalembsa S. i 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.
- [8] Kalembsa S. i 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.
- [9] Maciejewska A. i Kwiatkowska J.: *Kształtowanie się właściwości fizykochemicznych gleby użyźnionej Rekulterem*. Roczn. Glebozn., 2004, **55**(3), 147-153.
- [10] Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H. i Witek T.: *Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa*. IUNG, Puławy 1993.
- [11] Maciejewska A. i 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 WITH HEAVY METALS ON YIELD AND CONTENT OF MACROELEMENTS IN RYE BIOMASS

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

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

Abstract: The experiment was carried out in stoneware pots sunk 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: $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ and ZnSO_4 . To the soil a brown coal preparation, so called "Rekult", 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 rye (*Secale cereale*) was harvested in green forage. The manurial value of organic substance originated from different sources expressed as the plants' crop was the highest for Rekult and the lowest for peat. The addition of organic substance to soil contaminated with heavy metals causes the higher content of phosphorus in rye's roots. The content of sodium in the rye's above - the grounds parts did not depend from addition of organic matter to soil.

Keywords: soil contaminated with heavy metals, rye, yield, macroelements