

WPLYW POPIOŁU ZE SŁOMY RZEPAKU OZIMEGO NA pH ORAZ ZAWARTOŚĆ PRYSWAJALNYCH MAKROELEMENTÓW (P, K, Mg) I MIKROELEMENTÓW (B, Cu, Mn, Zn, Fe) W GLEBIE LEKKIEJ*

MARIUSZ PIEKARCZYK, DARIUSZ JASKULSKI, KAROL KOTWICA

*Katedra Podstaw Produkcji Roślinnej i Doświadczalnictwa
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy*

mapiek@utp.edu.pl

Synopsis. W Stacji Badawczej w Mochelku (53°13' N, 17°51' E), należącej do Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy przeprowadzono doświadczenie wazonowe, którego celem było określenie zmian pH oraz zawartości przyswajalnych dla roślin P, K, Mg, B, Cu, Mn, Zn i Fe pod wpływem popiołu ze słomy rzepaku ozimego, stosowanego w dawkach odpowiadających 0,0 – 8,0 t·ha⁻¹. Wazony wypełniano glebą o składzie piasku gliniastego. Stwierdzono, że popiół ze słomy rzepaku ozimego w ilości równoważnej 1,0 – 2,0 t·ha⁻¹ zwiększył zawartość przyswajalnych form makro- i mikroelementów w glebie nawet o kilkanaście, kilkadziesiąt procent. Istotne zwiększenie wartości pH gleby o odczynie lekko kwaśnym wymagało aplikacji popiołu ze słomy rzepaku w dawce conajmniej 2,0 t·ha⁻¹. Efekt wprowadzenia do gleby popiołu ze słomy rzepaku ozimego utrzymywał się przez 120 dni od aplikacji. Jedynie zawartość przyswajalnych dla roślin potasu magnezu i żelaza zmniejszała się w czasie.

Słowa kluczowe – *key words*: formy przyswajalne – *available forms*, makroelementy – *macroelements*, mikroelementy – *microelements*, pH gleby – *soil pH*

WSTĘP

Wykorzystanie niektórych odpadów do użyźniania i rekultywacji gleb jest jednym ze sposobów ich utylizacji [Bielińska i in. 2009, Kalembasa 2006, Stępień i in. 2011]. Popioły ze spalania paliw stałych, jak węgiel kamienny i brunatny, mają alkaliczny odczyn i zawierają składniki pokarmowe roślin [Antonkiewicz 2005, 2007, Chudecka i Tomaszewicz 2009, Ciecko i in. 2009, Gibczyńska i in. 2007, Kalembasa i in. 2008, Właśniewski 2009]. Odpady te często zawierają jednak metale ciężkie, związki i pierwiastki rozpuszczalne, łatwo podlegające wymywaniu, co stanowi zagrożenie dla środowiska [Antonkiewicz i Radkowski 2006, Greinert i Greinert 1999, Maciak 1999]. Mniejsza ilość metali ciężkich występuje w popiele z biomasy roślinnej, a jego skład chemiczny zależy od gatunku rośliny i warunków siedliskowo – agrotechnicznych [Bakisgan i in. 2009, Blander i Pelton 1997, Olanders i Steenari 1995]. Korzystne właściwości nawozowe może mieć popiół z drewna [Ohno i Erich 1990, Park i in. 2005], czy słomy roślin uprawnych [Piekarczyk i in. 2011, Yeledhalli i in. 2008].

Na podstawie wyników badań nad składem chemicznym i właściwościami popiołu ze słomy różnych roślin postawiono hipotezę, że popiół ze słomy rzepaku ozimego wniesiony do gleby

* Praca naukowa finansowana przez MNiSW ze środków na naukę w latach 2009–2012 jako projekt badawczy N N310 083536

może być źródłem przyswajalnych dla roślin makro- i mikroelementów, a jego oddziaływanie na właściwości chemiczne gleby ulega zmianie w czasie i zależy od dawki.

Celem pracy było określenie zmian pH oraz zawartości przyswajalnych dla roślin fosforu, potasu, magnezu, boru, miedzi, manganu, cynku i żelaza w glebie o składzie piasku gliniastego pod wpływem zróżnicowanych dawek popiołu uzyskanego po spaleniu słomy rzepaku ozimego.

MATERIAŁ I METODY

W latach 2009–2010 w Stacji Badawczej w Mochelku (53°13' N, 17°51' E), należącej do Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy wykonano dwuczynnikowe doświadczenie wazonowe, założone w układzie całkowicie losowym w czterech powtórzeniach. Czynnikiem pierwszym (A) był termin pobrania prób materiału glebowego do analiz wyrażony liczbą dni po aplikacji popiołu: 30, 60, 90, 120 dni (dla mikroelementów 60 i 120 dni). Czynnikiem drugim (B) była dawka popiołu ze słomy rzepaku odpowiadająca: 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0 t·ha⁻¹.

Wazony z perforowanym dnem o powierzchni 0,05 m² i głębokości 0,22 m wypełniono glebą o składzie piasku gliniastego i zakopano w polu jesienią 2009 roku, wykonano także analizy właściwości gleby. Gleba charakteryzowała się następującym składem granulometrycznym: piasek (2,0–0,05 mm) – 78,1%, pył gruby (0,05–0,02 mm) – 8,0%, pył drobny (0,02–0,002 mm) – 11,9%, il (<0,002 mm) – 2,0%. Zawartość węgla organicznego wynosiła 7,9 g·kg⁻¹, azotu ogólnego 0,7 g·kg⁻¹, stosunek C/N – 11,3. Uwzględniając przeciętną gęstość gleby, masę jej warstwy ornej oraz parametry wazonów, odpowiednią ilość popiołu ze słomy rzepaku ozimego stosowano wiosną na początku kwietnia 2010 roku zgodnie z czynnikiem B i mieszano do głębokości około 10 cm.

Użyty w doświadczeniu popiół miał odczyn alkaliczny o wartości pH 10,7 w 1 mol KCl. Ogólna zawartość pierwiastków w g·kg⁻¹ wynosiła: P – 22,6, K – 90,5, Mg – 7,4, Ca – 207,3 i w mg·kg⁻¹: Cu – 39,0, Mn – 539,2, Zn – 194,2, Fe – 6192. W tabeli 1 przedstawiono ilości składników pokarmowych wnoszonych do gleby z popiołem ze słomy rzepaku.

Tabela 1. Ilości składników pokarmowych wnoszonych do gleby z popiołem ze słomy rzepaku ozimego
Table 1. Weight applied to the soil nutrients with ash from winter rape straw

Wyszczególnienie <i>Specification</i>	Dawka popiołu – <i>The dose of ash</i> (t·ha ⁻¹)						
	0,25	0,5	0,75	1,0	2,0	4,0	8,0
Fosfor – <i>Phosphorus</i> – P (kg)	5,7	11,3	16,9	22,6	45,2	90,4	181
Potas – <i>Potassium</i> – K (kg)	22,6	45,3	67,9	90,5	181	362	724
Wapń – <i>Calcium</i> – Ca (kg)	51,7	103	155	207	414	828	1656
Magnez – <i>Magnesium</i> – Mg (kg)	1,9	3,7	5,6	7,4	14,8	29,6	59,2
Miedź – <i>Copper</i> – Cu (g)	9,8	19,5	29,3	39	78	156	312
Mangan – <i>Manganese</i> – Mn (g)	135	269	404	539	1078	2156	4312
Cynk – <i>Zinc</i> – Zn (g)	49	97	145	194	388	776	1552
Żelazo – <i>Iron</i> – Fe (kg)	1,6	3,1	4,6	6,2	12,4	24,8	49,5

Próbki materiału glebowego pobierano 4-krotnie zgodnie z czynnikiem A. Oceniano pH gleby oraz zawartość w niej przyswajalnych makroelementów. Natomiast zawartość przyswajalnych form mikroelementów określano dwukrotnie – po 60 i 120 dniach od zastosowania popiołu. Badania gleby przeprowadzono w Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Bydgoszczy standardowo stosowanymi metodami. Wartość pH w 1 mol KCl-dm⁻³ metodą potencjometryczną, a zawartość w glebie przyswajalnych dla roślin form makroelementów: fosfor spektrofotometrycznie, potas metodą fotometrii płomieniowej, magnez oraz mikroelementy spektrometrem absorpcji atomowej. Uzyskane wyniki opracowano statystycznie. Wykonano analizę wariacji stosownie do przyjętego schematu doświadczenia, a istotność różnic pomiędzy średnimi obiektowymi wielkościami analizowanych cech szacowano testem Tukeya na poziomie istotności $p = 0,05$. Do obliczeń wykorzystano pakiet programów statystycznych FR – ANALWAR 5. Obliczono również współczynniki korelacji prostej pomiędzy dawką popiołu ze słomy rzepaku a pH i zawartością poszczególnych pierwiastków w glebie, posługując się arkuszem kalkulacyjnym Microsoft Office Excel.

Średnia temperatura powietrza w okresie prowadzenia badań była zbliżona do średniej temperatury charakteryzującej lata 1949–2007, jedynie lipiec był wyraźnie – o 3,6°C cieplejszy na tle warunków przeciętnych. W czasie prowadzenia badań w 2010 roku stwierdzono, w porównaniu ze średnią wieloletnią, znaczny niedobór opadów w czerwcu (36 mm). Z kolei duże sumy opadów wynoszące 92,6; 107,4 i 150,7 mm wystąpiły odpowiednio w maju, lipcu i sierpniu (tab. 2).

Tabela 2. Warunki opadowo-termiczne w 2010 roku

Table 2. Weather conditions in 2010

Lata Years	Miesiąc – Month				
	IV	V	VI	VII	VIII
	Temperatura – Temperature (°C)				
2010	7,8	11,5	16,7	21,6	18,4
1949–2007	7,3	12,8	16,2	18,0	17,4
	Opady – Rainfalls (mm)				
2010	33,8	92,6	18,1	107,4	150,7
1949–2007	27,8	42,2	54,1	71,0	51,2

WYNIKI BADAŃ

Zastosowanie popiołu ze słomy rzepaku ozimego wpłynęło istotnie na niektóre właściwości chemiczne gleby lekkiej. Gleba na obiekcie nienawożonym, średnio w całym okresie badawczym charakteryzowała się odczynem lekko kwaśnym – pH 6,5. Wartość pH w 1 mol KCl zwiększała się, choć nieproporcjonalnie do zastosowanych dawek (tab. 3). Istotne zwiększenie wielkości tego parametru do poziomu 7,0 obserwowano po aplikacji popiołu w dawce 2,0 i 4,0 t·ha⁻¹. Aplikacja popiołu ze słomy rzepaku w ilości 8,0 t·ha⁻¹ spowodowała zwiększenie wartości pH do 7,5. Alkalinizujący wpływ popiołu na środowisko glebowe utrzymywał się w ciągu całego okresu badań.

Tabela 3. Zawartość przyswajalnych form makroelementów i pH gleby nawożonej popiołem ze słomy rzepaku ozimego

Table 3. Macroelements available forms content and pH in soil fertilizer ash from winter rape straw

Liczba dni po aplikacji Days after application (A)	Dawka popiołu – The dose of ash (t·ha ⁻¹) (B)								Średnia Mean
	0	0,25	0,5	0,75	1,0	2,0	4,0	8,0	
pH w 1 mol KCl – pH in 1 mol KCl									
30	6,5	6,5	7,0	7,0	7,0	7,0	7,2	7,6	7,0
60	6,6	6,5	6,8	6,8	6,8	6,9	7,0	7,5	6,9
90	6,4	6,4	6,7	6,7	6,8	6,8	6,8	7,2	6,7
120	6,7	6,9	7,1	7,1	7,2	7,2	7,1	7,6	7,1
Średnia – Mean	6,5	6,6	6,9	6,9	6,9	7,0	7,0	7,5	6,9
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	A – 0,2; B – 0,4; A x B – r.n.								
Fosfor – Phosphorus – P (mg·kg ⁻¹)									
30	144	155	146	159	183	183	188	190	169
60	153	137	179	192	190	196	201	210	182
90	126	116	118	129	135	144	162	162	137
120	135	162	175	179	180	183	183	225	178
Średnia – Mean	139	143	154	165	172	177	183	197	166
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	A – r.n.; B – 27; A x B – r.n.								
Potas – Potassium – K (mg·kg ⁻¹)									
30	166	178	174	199	249	291	385	585	278
60	187	191	187	228	216	293	332	561	274
90	149	183	187	191	224	249	419	627	279
120	140	149	145	166	208	208	253	374	205
Średnia – Mean	160	175	173	196	224	260	347	537	259
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	A – 56; B – 95; A x B – r.n.								
Magnez – Magnesium – Mg (mg·kg ⁻¹)									
30	24	24	24	27	26	28	35	36	28
60	25	24	26	26	27	29	31	35	28
90	19	21	22	22	24	25	25	30	23
120	18	14	16	18	21	21	23	30	20
Średnia – Mean	22	21	22	23	24	26	29	33	25
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	A – 2; B – 5; A x B – r.n.								

r.n. – różnice nieistotne – non significant differences

Zawartość przyswajalnego dla roślin fosforu w glebie na obiekcie kontrolnym średnio w okresie badań była bardzo wysoka (139 mg P·kg⁻¹). Zastosowanie popiołu ze słomy rzepaku w dawkach 4,0 i 8,0 t·ha⁻¹ istotnie zwiększyło zawartość tego pierwiastka odpowiednio do 183 i 197 mg P·kg⁻¹. Jednak już dawki 1,0 i 2,0 t·ha⁻¹ spowodowały istotne zwiększenie zawartości przyswajalnego fosforu o 23,7 i 27,3%. Jego koncentracja w czasie w badanej glebie była stabilna i nie zmieniała się istotnie w poszczególnych terminach oznaczeń (tab. 3).

Gleba w wazonach obiektu kontrolnego miała wysoką zawartość przyswajalnego potasu ($160 \text{ mg K}\cdot\text{kg}^{-1}$). Wniesienie popiołu ze słomy rzepaku spowodowało systematyczny i zależny od dawki wzrost koncentracji tego makroelementu (tab. 3). Już po zastosowaniu popiołu w ilości $0,75$ i $1,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ zawartość dostępnego potasu zwiększyła się o $22,5$ i $40,0\%$, chociaż istotne zwiększenie wystąpiło dopiero od dawki $2,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Zawartość w glebie przyswajalnego dla roślin potasu zmniejszała się w okresie badań. Po 120 dniach od aplikacji popiołu była ona mniejsza o $73 \text{ mg K}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby niż po 30 dniach.

Popiół ze słomy rzepaku zwiększył także zawartość przyswajalnego magnezu w glebie o niskiej jego zawartości – $22 \text{ mg Mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. W efekcie aplikacji popiołu w ilości odpowiadającej dawce $1,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ zawartość ta wzrosła nieistotnie o $2 \text{ mg Mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, a dawce $2,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ również nieistotnie o $4 \text{ mg Mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Po zastosowaniu popiołu w dawkach $4,0$ i $8,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ zasobność gleby w ten pierwiastek wzrosła istotnie do poziomu odpowiednio 29 i $33 \text{ mg Mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Klasa zasobności gleby lekkiej w magnez wzrosła z niskiej do średniej dopiero po aplikacji popiołu w dawce $8,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Wraz z upływem czasu stwierdzono spadek zawartości przyswajalnego magnezu w glebie, istotny w stosunku do pierwszego i drugiego terminu oznaczeń już po 90 i 120 dniach od aplikacji popiołu (tab. 3).

Zmiany pH gleby i zawartości w niej przyswajalnych fosforu, potasu oraz magnezu wraz ze wzrastającymi dawkami popiołu były niezależne od terminu oznaczeń tych właściwości w okresie 4 miesięcy od jego zastosowania. Jednocześnie stwierdzono silną dodatnią korelację wskaźnika pH i zawartości makroelementów w glebie, zarówno średnio w całym okresie badań jak i w poszczególnych terminach – za wyjątkiem fosforu po 60 dniach – z wielkością dawki popiołu (tab. 4).

Tabela 4. Współczynniki korelacji prostej dla $p < 0,05$ pomiędzy dawką popiołu ze słomy rzepaku ozimego a pH gleby i zawartością przyswajalnych form makroelementów w glebie

Table 4. The correlation coefficients significant at $p < 0,05$ between the dose of winter rape straw ash and soil pH and content of available forms of macroelements in the soil

Liczba dni po aplikacji <i>The number of days after application</i>	pH _{KCl}	Fosfor <i>Phosphorus</i> P	Potas <i>Potassium</i> K	Magnez <i>Magnesium</i> Mg
30	0,854	0,734	0,994	0,929
60	0,954	n.i.	0,990	0,973
90	0,867	0,869	0,984	0,927
120	0,820	0,855	0,982	0,934
Dla średniej – <i>For mean</i>	0,895	0,858	0,998	0,972

n.i. –nieistotny – *non significant*

Zasobność gleby użytej w doświadczeniu w przyswajalne bor oraz żelazo na obiekcie kontrolnym była niska ($0,61 \text{ mg B}\cdot\text{kg}^{-1}$, $527 \text{ mg Fe}\cdot\text{kg}^{-1}$), w miedzi mangan średnia: $1,7 \text{ mg Cu}\cdot\text{kg}^{-1}$, $153 \text{ mg Mn}\cdot\text{kg}^{-1}$, wysoka w cynk – $6,6 \text{ mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$. Istotne zwiększenie jej zasobności w przyswajalne bor, cynk i żelazo stwierdzono dopiero po zastosowaniu popiołu ze słomy rzepaku w ilości $8,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, co jednak nie zmieniło klasy zasobności gleby w te pierwiastki (tab. 5). W doświadczeniu nie potwierdzono statystycznie zwiększenia zawartości w glebie przyswajalnych

Tabela 5. Zawartość przyswajalnych form mikroelementów w glebie nawożonej popiołem ze słomy rzepaku ozimego

Table 5. Microelements available forms content in soil fertilizer ash from winter rape straw

Liczba dni po aplikacji Days after application (A)	Dawka popiołu (t·ha ⁻¹) – The dose of ash (t·ha ⁻¹) (B)								Średnia Mean
	0	0,25	0,5	0,75	1,0	2,0	4,0	8,0	
Bor – Boron – B (mg·kg ⁻¹)									
60	0,58	0,84	0,98	0,99	0,91	1,00	1,28	1,21	0,97
120	0,65	0,59	0,75	0,70	0,74	0,89	0,92	1,47	0,84
Średnia – Mean	0,61	0,71	0,87	0,84	0,82	0,95	1,10	1,34	0,91
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	A – r.n.; B – 0,60; A x B – r.n.								
Miedź – Copper – Cu (mg·kg ⁻¹)									
60	2,0	1,6	1,8	1,8	1,9	1,9	2,3	2,3	1,9
120	1,5	1,4	2,1	2,4	2,3	2,4	2,1	2,4	2,1
Średnia – Mean	1,7	1,5	1,9	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,0
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	A – r.n.; B – r.n.; A x B – r.n.								
Mangan – Manganese – Mn (mg·kg ⁻¹)									
60	153	135	133	154	155	164	164	160	152
120	153	140	153	151	159	164	161	169	156
Średnia – Mean	153	138	143	153	157	164	162	165	154
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	A – r.n.; B – r.n.; A x B – r.n.								
Cynk – Zinc – Zn (mg·kg ⁻¹)									
60	7,1	5,7	5,7	6,0	7,1	7,0	7,1	8,2	6,7
120	6,1	5,8	5,6	6,0	7,3	7,2	7,5	7,7	6,7
Średnia – Mean	6,6	5,8	5,6	6,0	7,2	7,1	7,3	8,0	6,7
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	A – r.n.; B – 1,3; A x B – r.n.								
Żelazo – Iron – Fe (mg·kg ⁻¹)									
60	568	553	595	590	602	607	607	643	596
120	486	458	462	460	518	519	531	550	498
Średnia – Mean	527	506	528	525	560	563	569	597	547
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}	A – 18; B – 63; A x B – r.n.								

r.n. – różnice nieistotne – non significant differences

miedzi i manganu na skutek zastosowanych dawek popiołu. Jednak już w rezultacie aplikacji 1,0 t popiołu na 1 ha zawartość dostępnych dla roślin uprawnych mikroelementów zwiększyła się o 34,4% – bor, 23,5% – miedź, 2,6% – mangan, 9,1% – cynk i 6,3% – żelazo. Zawartość przyswajalnych boru, miedzi, manganu i cynku nie zmieniła się istotnie w okresie badań, natomiast zawartość żelaza w glebie po 120 dniach od aplikacji popiołu była o 98 mg Fe·kg⁻¹, tj. 16,4% mniejsza niż po 60 dniach (tab. 5).

Korelacja pomiędzy wielkością dawki popiołu a zawartością w glebie dostępnych dla roślin boru, manganu, cynku i żelaza była dodatnia, jedynie w przypadku miedzi oznaczonej w drugim terminie oraz manganu w pierwszym współczynnik korelacji był nieistotny (tab. 6).

Tabela 6. Współczynniki korelacji dla $p < 0,05$ pomiędzy dawką popiołu ze słomy rzepaku ozimego a zawartością przyswajalnych form mikroelementów w glebieTable 6. The correlation coefficients significant at $p < 0,05$ between the dose of winter rape straw ash and the content of available forms of microelements in the soil

Liczba dni po aplikacji <i>Days after application</i>	Bor <i>Boron</i> B	Miedź <i>Copper</i> Cu	Mangan <i>Manganese</i> Mn	Cynk <i>Zinc</i> Zn	Żelazo <i>Iron</i> Fe
60	0,748	0,808	n.i.	0,766	0,848
120	0,974	n.i.	0,757	0,757	0,805
Dla średniej – <i>For mean</i>	0,954	0,717	n.i.	0,790	0,867

n.i. – nieistotny – *non significant*

DYSKUSJA

Coraz większe ilości popiołu, w tym z biomasy roślinnej, wymagają opracowania i wdrażania rozwiązań mających na celu zwiększenie jego wykorzystania, także do celów rolniczych [Bielińska i in. 2009]. Alkaliczny odczyn odpadów paleniskowych sprawia, że mogą one służyć do odkwaszania gleb [Ciećko i in. 2009, Ohno i Erich 1990], a obecność składników pokarmowych roślin wskazuje na możliwość nawozowego wykorzystania [Piekarczyk i in. 2011, Yeledhalli i in. 2008]. Nawozowe właściwości popiołu znane są od dawna. Stanowił on podstawę gospodarki żarowej w pierwotnym rolnictwie. Popioły z biomasy roślinnej zawierają najwięcej potasu i wapnia. Zawartość potasu w popiele z biomasy roślinnej może dochodzić do około 40% K_2O (332 g $K \cdot kg^{-1}$), a wapnia przekraczać nawet 60% CaO (429 g $Ca \cdot kg^{-1}$). Całkowita zawartość magnezu w popiele może osiągać od 5,2% MgO (31,4 g $Mg \cdot kg^{-1}$) do 7,85% MgO (47,3 g $Mg \cdot kg^{-1}$) [Bakisgan i in. 2009, Kalembasa 2006, Kowalczyk-Juśko 2009].

W przeprowadzonym doświadczeniu zaobserwowano znaczące zwiększenie wartości pH po wprowadzeniu do gleby popiołu ze słomy rzepaku już od dawki $2,0 t \cdot ha^{-1}$. Zastosowanie tego odpadu w ilości $8,0 t \cdot ha^{-1}$ podniosło pH z 6,5 do 7,5. Odkwaszające działanie odpadów paleniskowych udokumentowano w literaturze [Bielińska i in. 2009, Ciećko i in. 2009, Gibczyńska i in. 2009]. Jednakże znaczący efekt w tym zakresie uzyskuje się po zastosowaniu melioracyjnych dawek popiołu rzędu $10-20 t \cdot ha^{-1}$ [Antonkiewicz 2009, Park i in. 2005], $67,3 t \cdot ha^{-1}$ [Właśniewski 2009] lub nawet większych [Ciećko i in. 2009]. Brak zmiany odczynu gleby wskutek aplikacji popiołu możliwy jest tylko w sytuacji wyraźnie zasadowego odczynu użytej w doświadczeniu gleby [Yeledhalli i in. 2008]. Stosowanie popiołu ze słomy lub innej biomasy roślinnej w dużych ilościach jest o tyle bezpieczne, że materiał ten nie ma elementów toksycznych [Olanders i Steenari 1995, Piekarczyk i in. 2011], co często ma miejsce w przypadku odpadów paleniskowych z węgla kamiennego i brunatnego [Antonkiewicz 2009, Właśniewski 2009].

Zastosowany w eksperymencie wazonowym popiół ze słomy rzepaku zwiększył zasobność gleby w przyswajalne makro- i mikroelementy. Zwiększenie ilości składników pokarmowych po aplikacji popiołu wykazano we wcześniej publikowanych pracach Gibczyńskiej i in. [2009], Parka i in. [2005] oraz Właśniewskiego [2009]. Zakres zmian zasobności gleby w tej sytuacji zależy od ilości wprowadzanego do gleby popiołu, jak również od źródła jego pochodzenia i składu elementarnego, który jest bardzo zróżnicowany [Bakisgan i in. 2009, Blander i Pelton 1997, Olanders i Steenari 1995]. Po aplikacji wysokich dawek popiołu w badaniach własnych

największy przyrost ilości przyswajalnych dla roślin pierwiastków stwierdzono w przypadku potasu, natomiast mniejszy dla fosforu. Nawet po zastosowaniu 1,0–2,0 t·ha⁻¹ popiołu zawartość tych składników zwiększyła się przeciętnie o 64–100 i 33–38 mg·kg⁻¹ gleby. W trakcie badań zauważono zmniejszanie się zasobności gleby w potas, na co złożyła się zapewne jego większa podatność na wymywanie [Gibczyńska i in. 2009], co może prowadzić do jego strat i zanieczyszczenia środowiska.

Stosunkowo mała zawartość mikroelementów w aplikowanym do gleby popiele ze słomy rzepaku warunkowała niewielkie, ale istotne zwiększenie się zasobności w przyswajalny bor, cynk i żelazo. Nawet jeśli do gleby wprowadza się z odpadami paleniskowymi małe ilości pierwiastków, to ograniczają one zubożenie gleb w te składniki wynoszone z pól razem z plonami roślin [Ohno i Erich 1990, Park i in. 2005].

WNIOSKI

1. Popiół ze słomy rzepaku ozimego może spełniać rolę nawozową. Stosowany, ze względu na zawartość potasu, w dawce 1,0–2,0 t·ha⁻¹ spowodował wzrost zasobności gleby w przyswajalne makro- i mikroelementy nawet o kilkanaście, kilkadziesiąt procent.
2. Istotne zwiększenie wartości pH gleby lekkiej o odczynie lekko kwaśnym wymagało aplikacji popiołu ze słomy rzepaku w ilości co najmniej 2,0 t·ha⁻¹.
3. Efekt wprowadzenia do gleby popiołu ze słomy rzepaku ozimego utrzymywał się co najmniej przez 120 dni od aplikacji. Jedynie zawartość przyswajalnych dla roślin potasu magnezu i żelaza zmniejszała się w czasie.

PIŚMIENNICTWO

- Antonkiewicz J. 2005. Wpływ osadów ściekowych i popiołów paleniskowych oraz ich mieszanin na plonowanie i zawartość azotu w mieszance traw roślin motylkowych. *Fragm. Agron.* 22(1): 336–345.
- Antonkiewicz J. 2007. Wpływ mieszanin popiołowo-osadowych i popiołowo-torfowych na plon mieszanki traw z koniczą zwyczajną i zawartość wybranych pierwiastków w mieszance. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumietus* 6(3): 61–72.
- Antonkiewicz J. 2009. Wykorzystanie popiołów paleniskowych do wiązania metali ciężkich występujących w glebie. *Ochr. Środ. Zas. Nat.* 41: 398–405.
- Antonkiewicz J., Radkowski A. 2006. Przydatność wybranych gatunków traw i roślin motylkowatych do biologicznej rekultywacji składowisk popiołów paleniskowych. *Ann. UMCS, Sec. E* 61: 413–421.
- Bakışgan C., Dumanlı A. G., Yürüm Y. 2009. Trace elements in Turkish biomass fuels: Ashes of wheat straw, olive bagasse and hazelnut shell. *Fuel* 88: 1842–1851.
- Bielińska E. J., Baran S., Stankowski S. 2009. Ocena przydatności popiołów fluidalnych z węgla kamiennego do celów rolniczych. *Inż. Rol.* 6: 7–15.
- Blander M., Pelton A. D. 1997. The inorganic chemistry of the combustion of wheat straw. *Biomass Bioenerg.* 12: 295–298.
- Chudecka J., Tomaszewicz T. 2009. Wybrane właściwości fizyczne i chemiczne gleb antropogenicznych wytworzonych na bazie odpadów paleniskowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 540: 321–327.
- Ciećko Z., Zołnowski A. C., Kulmaczewska J., Chelstowski A. 2009. Wpływ następczy melioracyjnych dawek popiołów z węgla kamiennego na kwasowość gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 535: 73–83.
- Gibczyńska M., Meller E., Hury G. 2007. Oddziaływanie popiołu z węgla brunatnego na wybrane właściwości fizykochemiczne gleby lekkiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 518: 53–61.
- Gibczyńska M., Meller E., Stankowski S., Prokopowicz A. 2009. Wpływ popiołów z węgla brunatnego na skład chemiczny gleby lekkiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 538: 63–71.

- Greinert H., Greinert A. 1999. Biologiczna rekultywacja odpadów paleniskowych. W: Ochrona i rekultywacja środowiska glebowego. Wyd. Politech. Zielonog.: 234–237.
- Kalembasa D. 2006. Ilość i skład chemiczny popiołu z biomasy roślin energetycznych. *Acta Agrophys.* 7(4): 909–914.
- Kalembasa S., Godlewska A., Wysokiński A. 2008. Skład chemiczny popiołów z węgla brunatnego i kamiennego w aspekcie ich rolniczego zagospodarowania. *Rocz. Glebozn.* 59(2): 93–97.
- Kowalczyk-Juśko A. 2009. Popiół z różnych roślin energetycznych. *Proceed. EC Opole* 3(1): 159–164.
- Maciak F. 1999. Charakterystyka fizyko-chemiczna odpadów paleniskowych. W: Ochrona i rekultywacja środowiska. Wyd. SGGW Warszawa: 272–276.
- Ohno T., Erich M. S. 1990. Effect of wood ash application on soil pH and soil test nutrient levels. *Agric. Ecosyst. Environ.* 32: 223–239.
- Olanders B., Steenari B. M. 1995. Characterization of ashes from wood and straw. *Biomass Bioenerg.* 8: 105–115.
- Park B.B., Yanai R.D., Sahn J.M., Lee D.K., Abrahamson L. P. 2005. Wood ash effects on plant and soil in a willow bioenergy plantation. *Biomass Bioenerg.* 28: 355–365.
- Piekarczyk M., Kotwica K., Jaskulski D. 2011. Skład elementarny popiołu ze słomy i siana w aspekcie jego rolniczego wykorzystania. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 10(2): 97–104.
- Stępień A., Wojtkowiak K., Orzech K. 2011. Wpływ mączek mięsno-kostnych i efektywnych mikroorganizmów na wskaźniki agregacji gleby średniej. *Fragm. Agron.* 28(4): 77–85.
- Właśniewski S. 2009. Wpływ nawożenia popiołem lotnym z węgla kamiennego na wybrane właściwości gleby piaszczystej i plonowanie owsa. *Ochr. Środ. Zas. Nat.* 41: 479–488.
- Yeledhalli N.A., Prakash S.S., Ravi M.V., Narayanarao K. 2008. Long-term effect of fly ash on crop yield and soil properties. *Karnataka/J. Agric. Sci.* 21(4): 507–512.

M. PIEKARCZYK, D. JASKULSKI, K. KOTWICA

EFFECT OF WINTER RAPE STRAW ASH ON THE pH AND MACROELEMENTS (P, K, Mg) AND MICROELEMENTS (B, Cu, Mn, Zn, Fe) AVAILABLE FORMS CONTENT IN LIGHT SOIL

Summary

In the Research Station in Mochelek (53°13' N, 17°51' E), belonging to the University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz experiment was conducted, which aimed to determine the changes in pH and the content of available phosphorus, potassium, magnesium, boron, copper, manganese, zinc and iron under the influence of the ash rape straw, at doses corresponding to 0.0–8.0 t·ha⁻¹. It was found in loamy sand soil that the ash rape straw equivalent to 1.0–2.0 t·ha⁻¹ increased the content of available forms of macro- and microelements in the soil up to several dozen percent. A significant increase in slightly acidic soil applications require rape straw ash at a dose of at least 2.0 t·ha⁻¹. The effect of the introduction into the soil with rape straw ash lasted for 120 days of the application. Only the content of available to plants potassium, magnesium and iron decreased with time.