

WPLYW STOSOWANIA POPIOŁU ZE SŁOMY JĘCZMIENIA JAREGO NA CHEMICZNE WŁAŚCIWOŚCI GLEBY LEKKIEJ*

MARIUSZ PIEKARCZYK, KAROL KOTWICA, DARIUSZ JASKULSKI

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

mapiek@utp.edu.pl

Synopsis. W 2010 roku 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 dynamiki zmian pH oraz zawartości przyswajalnych dla roślin form fosforu, potasu, magnezu, boru, miedzi, manganu, cynku i żelaza pod wpływem zróżnicowanych dawek popiołu ze słomy jęczmienia jarego. W badaniach zrealizowanych na glebie lekkiej o składzie piasku gliniastego mocnego stwierdzono, że zastosowanie popiołu ze słomy jęczmienia jarego spowodowało istotny wzrost wartości pH gleby i zawartości w niej przyswajalnych form makro- i mikroelementów. Znaczące podniesienie odczynu gleby i koncentracji przyswajalnych form składników pokarmowych wymaga aplikacji popiołu ze słomy w ilości co najmniej 8 t·ha⁻¹, ale już po zastosowaniu 1,0–2,0 t·ha⁻¹ ich zawartość zwiększa się o kilkanaście, kilkadziesiąt procent. Efekt wprowadzenia do gleby popiołu ze słomy jęczmienia jarego utrzymywał się w trakcie prowadzenia eksperymentu. Zaobserwowano jedynie wyraźne zmniejszanie się wraz z upływem czasu koncentracji przyswajalnych dla roślin form potasu i żelaza. Popiół ze słomy jęczmienia jarego stosowany w dawkach do 1,0 – 2,0 t·ha⁻¹ może spełniać rolę nawozową. Z większymi jego dawkami wprowadza się do gleby bardzo duże ilości potasu przyswajalnego, jednak jego zawartość zmniejsza się w kolejnych miesiącach po aplikacji.

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

WSTĘP

Słoma zbóż i rzepaku coraz częściej wykorzystywana jest w Polsce do celów energetycznych [Budzyński i Bielski 2004, Denisiuk 2009, Hołubowicz-Kliza 2007]. Kotłownie lokalne zużywają słomę skupowaną od rolników, przyczyniając się pośrednio do ujemnego bilansu materii organicznej w glebie [Harasimowicz-Hermann i Hermann 2007]. Produktem odpadowym uzyskiwanym podczas spalania słomy jest popiół, którego nieprawidłowe składowanie może prowadzić do zanieczyszczenia środowiska. Walory nawozowe popiołu umożliwiają jego rolnicze wykorzystanie w produkcji roślinnej [Kalembasa 2006].

W literaturze mało jest jednak prac poświęconych składowi chemicznemu i możliwości rolniczego wykorzystania popiołu z biomasy roślinnej [Blander i Pelton 1997, Kalembasa 2006, Piekarczyk i in. 2011]. Więcej natomiast jest publikacji dotyczących składu chemicznego, wykorzystania nawozowego oraz rekultywacji składowisk odpadów paleniskowych powstałych w wyniku spalania w elektrowniach węgla brunatnego i kamiennego [Antonkiewicz 2005, 2007,

* Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2012 jako projekt badawczy PB 0835/B/P01/2009/36

Chudecka i Tomaszewicz 2009, Ciećko i in. 2009, Gibczyńska i in. 2007, Kalembasa i in. 2008, Właśniewski 2009], drewna lub osadów ściekowych [Białowiec i Janczukowicz 2009, Ohno i Erich 1990, Park i in. 2005]. Popiół ma odczyn alkaliczny i bogaty skład elementarny, sporadycznie również podwyższoną zawartość metali ciężkich [Antonkiewicz i Radkowski 2006, Greinert i Greinert 1999, Maciak 1999]. Pozyskiwany z biomasy roślinnej popiół ma w swym składzie niezbędne dla roślin makro- i mikroelementy, nie ma charakteru toksycznego, a jego zastosowanie w nawożeniu gleb może przyczynić się do poprawienia właściwości fizykochemicznych gleby i plonowania roślin [Bielińska i in. 2009, Piekarczyk i in. 2011, Yeledhalli i in. 2008].

Założono, że uzyskany podczas spalania popiół ze słomy jęczmienia jarego dzięki swym właściwościom ma korzystny wpływ na odczyn gleby lekkiej i zawartość w niej przyswajalnych form makro- i mikroelementów. Celem pracy było określenie dynamiki zmian pH oraz zawartości przyswajalnych dla roślin form fosforu, potasu, magnezu, boru, miedzi, manganu, cynku i żelaza w glebie lekkiej pod wpływem zróżnicowanych dawek popiołu ze słomy jęczmienia jarego.

MATERIAŁ I METODY

Badania wykonano w 2010 roku w Stacji Badawczej w Mochelku (53°13' N; 17°51' E), należącej do Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. W warunkach kontrolowanych doświadczenia wazonowego, założonego w układzie całkowicie losowym w czterech powtórzeniach, badano wpływ zróżnicowanych dawek popiołu ze słomy jęczmienia jarego na zmianę wybranych właściwości chemicznych gleby przez 4 miesiące od jego zastosowania. Wazony z perforowanym dnem o powierzchni 0,05 m² i głębokości 0,22 m wypełniono glebą o składzie piasku gliniastego mocnego i umieszczono w powierzchniowej warstwie roli. Założono, że 20 cm warstwa gleby o gęstości 1,5 Mg·m⁻³ ma na powierzchni 1 ha masę około 3000 ton. Na tej podstawie i przyjętych dawek popiołu zgodnie z drugim czynnikiem umieszczono go w wazonach i wymieszano z powierzchniową 10-centymetrową warstwą gleby.

Czynniki doświadczalnymi były:

A – termin pobrania prób glebowych do analiz: I – 30, II – 60, III – 90, IV – 120 dni po aplikacji popiołu,

B – dawka popiołu ze słomy jęczmienia jarego (0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0; 32,0 t·ha⁻¹) stosowanej w połowie kwietnia.

Bardzo duże zróżnicowanie dawek wynika z możliwości wykorzystania wyników do interpretacji nawozowego oraz rekultywacyjnego oddziaływania popiołu. Użyty w doświadczeniu popiół ze słomy jęczmienia charakteryzował się pH w 1 mol KCl o wartości 10,0, natomiast zawartość w nim pierwiastków wynosiła: P – 20,7 g·kg⁻¹, K – 247,3 g·kg⁻¹, Mg – 5,2 g·kg⁻¹, Ca – 80,1 g·kg⁻¹, Cu – 31,3 mg·kg⁻¹, Mn – 1035,8 mg·kg⁻¹, Zn – 289,2 mg·kg⁻¹, Fe – 2200 mg·kg⁻¹.

W pobranych próbkach glebowych z pełnej głębokości wazonów w czterech terminach oceniano pH oraz zawartość przyswajalnych makroelementów, natomiast zawartość przyswajalnych form mikroelementów określano dwukrotnie (po 60 i 120 dniach od zastosowania popiołu). Analizy gleby wykonano w Okręgowej Stacji Chemiczno-Rolniczej w Bydgoszczy według standardowo stosowanych metod. Odczyn gleby (pH w 1 mol KCl) określano metodą potencjometryczną. Zawartość w glebie przyswajalnych dla roślin form makroelementów badano metodami: fosfor metodą spektrofotometryczną, potas metodą fotometrii płomieniowej, magnez metodą spektrometrii absorpcji atomowej. Zawartość przyswajalnych form mikroelementów (B, Cu, Mn, Zn, Fe) określano metodą spektrometrii absorpcji atomowej. Uzyskane wyniki opracowano statystycznie, posługując się analizą wariancji stosownie do przyjętego schematu

doświadczenia. Do obliczeń wykorzystano pakiet programów statystycznych FR-ANALWAR 5. Istotność różnic pomiędzy średnimi obiektowymi wielkościami analizowanych cech szacowano testem Tukeya na poziomie istotności $p = 0,05$. Obliczono również współczynniki korelacji prostej pomiędzy pH i zawartością poszczególnych pierwiastków w glebie a dawką popiołu ze słomy jęczmienia, posługując się arkuszem kalkulacyjnym Microsoft Office Excel 2007.

WYNIKI BADAŃ

Zastosowanie popiołu ze słomy jęczmienia jarego wpłynęło istotnie na właściwości chemiczne gleby lekkiej. Wskaźnik pH w 1 mol KCl na obiekcie kontrolnym bez aplikacji popiołu wynosił 6,5 (gleba lekko kwaśna). Wniesienie do gleby popiołu powodowało systematyczne podnoszenie się pH gleby (tab. 1). Istotne zwiększenie się wielkości tego parametru do poziomu

Tabela 1. Zawartość przyswajalnych form makroelementów i pH gleby nawożonej popiołem ze słomy jęczmienia

Table 1. Macroelements available forms content and pH in soil fertilized with ash from barley straw

Termin badań Term of research (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	16,0	32,0	
pH w 1 mol KCl – pH in 1 mol KCl											
I*	6,5	6,4	6,8	6,9	6,8	6,8	6,9	7,8	8,1	9,1	7,2
II	6,6	6,4	6,8	6,9	6,9	6,9	7,0	7,5	7,8	8,5	7,1
III	6,4	6,2	6,4	6,7	6,7	6,8	6,8	7,5	7,9	8,5	7,0
IV	6,7	6,6	6,9	7,0	7,1	7,1	7,1	7,4	7,8	8,4	7,2
Średnia – Mean	6,5	6,4	6,7	6,9	6,9	6,9	7,0	7,5	7,9	8,6	7,1
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	A – r.n.; B – 0,4; A x B – r.n.										
Fosfor – Phosphorus – P (mg·kg ⁻¹)											
I	144	133	153	157	162	161	178	199	227	279	179
II	153	144	153	170	172	183	204	228	239	260	191
III	126	122	127	127	137	137	179	240	271	289	176
IV	135	144	153	164	166	166	170	225	257	266	185
Średnia – Mean	139	136	147	154	159	162	183	223	249	274	183
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	A – r.n.; B – 36; A x B – r.n.										
Potas – Potassium – K (mg·kg ⁻¹)											
I	166	149	174	195	233	332	581	1129	1910	2954	782
II	187	207	237	291	332	457	664	1163	1661	2159	736
III	149	174	198	229	266	540	623	1163	1578	2076	700
IV	140	137	170	199	203	291	415	664	831	1080	413
Średnia – Mean	160	167	195	228	259	405	571	1030	1495	2067	658
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	A – 321; B – 639; A x B – r.n.										
Magnez – Magnesium – Mg (mg·kg ⁻¹)											
I	24	23	25	25	26	28	30	34	37	38	29
II	25	24	25	27	28	28	30	36	41	49	31
III	19	19	20	20	22	22	25	32	37	44	26
IV	18	18	17	17	18	20	22	30	35	43	24
Średnia – Mean	22	21	22	22	23	25	27	33	37	44	28
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	A – 4; B – 3; A x B – r.n.										

I* – 30, II – 60, III – 90, IV – 120 dni po aplikacji popiołu – after ash application

r.n. – różnice nieistotne – non significant differences

7,0 obserwowano dopiero od dawki popiołu 4 t·ha⁻¹. Zastosowanie popiołu ze słomy jęczmienia w ilości 8, 16 i 32 t·ha⁻¹ spowodowało wzrost pH odpowiednio do wartości 7,5; 7,9 i 8,6. Alkalinizujący wpływ popiołu na środowisko glebowe utrzymywał się w ciągu okresu badań.

Zawartość przyswajalnych dla roślin form fosforu w glebie na obiekcie kontrolnym była bardzo wysoka (139 mg P·kg⁻¹). Zastosowanie popiołu ze słomy jęczmienia od dawki 4 t·ha⁻¹ istotnie zwiększało zawartość tego pierwiastka w glebie do 183, 223, 249 i 274 mg P·kg⁻¹ odpowiednio dla aplikacji 4, 8, 16 i 32 t·ha⁻¹ suchego popiołu. Jednak już dawka 1,0 t·ha⁻¹ spowodowała zwiększenie zawartości przyswajalnego fosforu o 14,4%. Koncentracja przyswajalnego fosforu w badanej glebie była stabilna i nie zmieniała się w poszczególnych terminach oznaczeń.

Gleba w wazonach obiektu kontrolnego charakteryzowała się wysoką zawartością przyswajalnego potasu (160 mg K·kg⁻¹). Wniesienie popiołu ze słomy jęczmienia spowodowało systematyczny wzrost koncentracji tego makroelementu, statystycznie udowodniony od dawki 8 t·ha⁻¹. Już po zastosowaniu go w dawkach 0,5 t·ha⁻¹ i 1,0 t·ha⁻¹ zawartość przyswajalnego potasu zwiększyła się o 21,9 i 61,9%. Zawartość dostępnych roślinom form potasu była największa w pierwszym po aplikacji terminie pobrania prób do oznaczeń w stosunku do zawartości stwierdzonej trzy miesiące później; istotność różnicy koncentracji przyswajalnego potasu udowodniono również pomiędzy drugim a ostatnim terminem badań. Zastosowanie nawożenia popiołem ze słomy jęczmienia jarego w dawce 32 t·ha⁻¹ powodowało na tle obiektu kontrolnego przyrost ilości przyswajalnego potasu w pierwszym terminie o 2788 mg K·kg⁻¹ (1679%), natomiast w ostatnim różnica wynosiła 940 mg K·kg⁻¹ (671%).

Wprowadzenie popiołu ze słomy jęczmienia w ilości 2,0 t·ha⁻¹ zwiększyło zawartość przyswajalnego magnezu w glebie o niskiej jego zawartości (22 mg Mg·kg⁻¹) o ponad 13%, a w dawce 8 t·ha⁻¹ podniosło zasobność w ten pierwiastek do 33 mg Mg·kg⁻¹ (o 50%). Natomiast aplikacja dawek 16 i 32 t·ha⁻¹ powodowała wzrost do średniej zasobności w ten pierwiastek, wynoszącej odpowiednio 37 i 44 mg Mg·kg⁻¹. W doświadczeniu stwierdzono niewielki spadek koncentracji przyswajalnych form tego makroelementu wraz z upływem czasu.

W przeprowadzonym eksperymencie wazonowym nie stwierdzono istotności interakcji pomiędzy terminem poboru próbek glebowych a dawką popiołu ze słomy jęczmienia jarego w kształtowaniu pH gleby i zawartości w niej przyswajalnych dla roślin form potasu, fosforu i magnezu. Jednocześnie pH oraz zasobność w przyswajalne makroelementy były istotnie dodatnio skorelowane z wielkością dawki suchego popiołu ze słomy jęczmienia jarego (tab. 2).

Tabela 2. Istotne współczynniki korelacji dla $p < 0,05$ pomiędzy pH gleby i zawartością przyswajalnych form makroelementów w glebie a dawką popiołu ze słomy jęczmienia

Table 2. The correlation coefficients significant at $p < 0,05$ between soil pH and content of available forms of macronutrients in the soil and the dose of barley straw ash

Termin badań <i>Term of research</i>	pH w 1 N KCl <i>pH in 1 mol KCl</i>	Fosfor P <i>Phosphorus</i> P	Potas <i>Potassium</i> K	Magnez <i>Magnesium</i> Mg
I*	0,966	0,975	0,991	0,879
II	0,959	0,879	0,963	0,971
III	0,947	0,902	0,956	0,961
IV	0,960	0,903	0,950	0,967
Dla średniej <i>For mean</i>	0,963	0,927	0,973	0,958

* – objaśnienia jak w tabeli 1 – *explanation see table 1*

Gleba wykorzystana w doświadczeniu miała przeciętnie niską zawartość przyswajalnego boru (0,61 mg B·kg⁻¹), średnią miedzi (1,7 mg Cu·kg⁻¹), manganu (153 mg Mn·kg⁻¹), wysoką cynku (6,6 mg Zn·kg⁻¹) oraz niską żelaza (527 mg Fe·kg⁻¹). Istotne, ale niewielkie podniesienie się zasobności w przyswajalne formy boru, stwierdzono po zastosowaniu popiołu ze słomy jęczmienia w ilości 4 t·ha⁻¹ i wyższych, co jednak nie zmieniło klasy zasobności gleby w ten pierwiastek (tab. 3). Natomiast zwiększenie koncentracji przyswajalnego żelaza i manganu

Tabela 3. Zawartość przyswajalnych form mikroelementów w glebie nawożonej popiołem ze słomy jęczmienia

Table 3. Microelements available forms content in soil fertilized with ash from barley straw

Termin badań Term of research (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	16,0	32,0	
Bor – Boron – B (mg·kg ⁻¹)											
I	0,58	0,46	0,70	0,73	0,86	0,75	0,98	0,99	1,03	1,18	0,83
II	0,65	0,64	0,65	0,76	0,72	0,64	1,04	1,11	1,15	1,25	0,86
Średnia – Mean	0,61	0,55	0,68	0,74	0,79	0,70	1,01	1,05	1,09	1,22	0,84
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	A – r.n.; B – 0,30; A x B – r.n.										
Miedź – Copper – Cu (mg·kg ⁻¹)											
I	2,0	1,8	1,9	1,8	2,0	2,0	2,1	3,0	3,2	3,4	2,3
II	1,5	1,4	1,3	2,2	2,4	2,3	2,5	2,5	2,7	3,1	2,2
Średnia – Mean	1,7	1,6	1,6	2,0	2,2	2,2	2,3	2,8	2,9	3,3	2,3
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	A – r.n.; B – 1,3; A x B – r.n.										
Mangan – Manganese – Mn (mg·kg ⁻¹)											
I	153	141	144	153	156	162	165	164	181	197	162
II	153	152	156	174	171	176	184	186	184	197	173
Średnia – Mean	153	147	150	163	164	169	174	175	183	197	167
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	A – r.n.; B – 24; A x B – r.n.										
Cynk – Zinc – Zn (mg·kg ⁻¹)											
I	7,1	6,2	6,6	6,5	7,9	7,8	7,9	8,1	14,9	16,3	8,9
II	6,1	5,5	5,3	5,4	5,6	6,0	8,4	9,0	15,4	17,4	8,4
Średnia – Mean	6,6	5,8	6,0	5,9	6,8	6,9	8,1	8,6	15,2	16,8	8,7
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	A – r.n.; B – 3,4; A x B – r.n.										
Żelazo – Iron – Fe (mg·kg ⁻¹)											
I	568	582	562	587	598	615	619	615	623	661	603
II	486	456	442	480	488	507	501	524	528	539	495
Średnia – Mean	527	519	502	534	543	561	560	569	576	600	549
NIR _{0,05} –LSD _{0,05}	A – 10; B – 41; A x B – r.n.										

* – objaśnienia jak w tabeli 1 – explanation see table 1
r.n. – różnice nieistotne – non significant differences

zaobserwowano dopiero od dawek odpowiednio 8 i 16 t·ha⁻¹ popiołu. Nie miało to jednak w przypadku tych pierwiastków wpływu na podniesienie klasy ich zasobności. Statystycznie potwierdzone zwiększenie się zawartości w glebie przyswajalnej formy cynku i miedzi otrzymano dopiero po aplikacji popiołu ze słomy jęczmienia od dawek odpowiednio 16 i 32 t·ha⁻¹. Pozostało to jednak bez wpływu na klasę zasobności gleby w przyswajalny cynk i miedź.

Zawartość przyswajalnych form boru, miedzi, manganu i cynku nie zmieniała się istotnie w zależności od terminu badań, natomiast w przypadku żelaza stwierdzono w późniejszym terminie oznaczeń spadek koncentracji jego form dostępnych dla roślin o 108 mg Fe·kg⁻¹ (17,9%). W doświadczeniu nie udowodniono istotnego interakcyjnego oddziaływania terminu badań i dawki popiołu ze słomy jęczmienia na zasobność gleby w mikroelementy (tab. 3). Współczynniki korelacji pomiędzy zawartością w glebie przyswajalnych form boru, miedzi, manganu, cynku i żelaza a dawką popiołu ze słomy były we wszystkich przypadkach istotnie dodatnie (tab. 4).

Tabela 4. Istotne współczynniki korelacji dla $p < 0,05$ pomiędzy zawartością przyswajalnych form mikroelementów w glebie a dawką popiołu ze słomy jęczmienia

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

Termin badań <i>Term of research</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
I	0,788	0,896	0,930	0,944	0,844
II	0,833	0,737	0,748	0,958	0,748
Dla średniej <i>For mean</i>	0,831	0,878	0,871	0,957	0,819

* – objaśnienia jak w tabeli 1 – *explanation see table 1*

DYSKUSJA

Generowanie popiołu przez elektrownie i kotłownie wymaga opracowania i wdrażania rozwiązań mających na celu zwiększenie jego wykorzystania, w tym także do celów rolniczych [Bielińska i in. 2009]. Alkaliczny odczyn odpadów paleniskowych sprawia, iż ich wykorzystanie do poprawienia odczynu gleb kwaśnych, stanowiących znaczny odsetek w rolniczej przestrzeni produkcyjnej, wydaje się bardzo zasadne [Ciećko i in. 2009, Ohno i Erich 1990]. Nie bez znaczenia jest także obecność w popiołach pierwiastków mogących zaspokajać potrzeby pokarmowe roślin [Piekarczyk i in. 2011, Yeledhalli i in. 2008].

W przeprowadzonym doświadczeniu zaobserwowano znaczący wzrost wartości pH po wprowadzeniu do gleby popiołu ze słomy jęczmienia począwszy od dawki 4 t·ha⁻¹. Zastosowanie tego odpadu w ilości 32 t·ha⁻¹ podniosło pH z 6,5 do 8,6. Odkwaszające działanie odpadów paleniskowych ma szerokie potwierdzenie 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·ha⁻¹ [Antonkiewicz 2009, Park i in. 2005], 67,3 t·ha⁻¹ [Właśniewski 2009] lub nawet większych [Ciećko i in. 2009]. Niewielkie zmiany odczynu gle-

by wskutek aplikacji popiołu możliwe są tylko w sytuacji wyraźnie zasadowego odczynu użytej w doświadczeniu gleby [Yeledhalli i in. 2008]. Stosowanie do wapnowania popiołu ze słomy lub innej biomasy roślinnej w dużych ilościach jest o tyle bezpieczne, że materiał ten nie ma w zasadzie charakteru toksycznego [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].

Zastosowanie w eksperymencie wazonowym popiołu ze słomy jęczmienia zwiększyło zasobność w przyswajalne makro- i mikroelementy. Znaczące podniesienie się ilości składników pokarmowych w glebie po zastosowaniu popiołu potwierdzają liczne badania [Gibczyńska i in. 2009, Park i in. 2005, Właśniewski 2009]. Zakres zmian właściwości chemicznych gleby w tej sytuacji zależy od masy 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]. Nawozowe właściwości popiołu znane są od dawna i stanowiły podstawę gospodarki zarowej w pierwotnym rolnictwie. W popiołach z biomasy roślinnej najczęściej występuje potas i wapnia. Zawartość potasu w popiele z biomasy roślinnej może dochodzić do około 40% K_2O ($332 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ K}$), a wapnia przekraczać nawet 60% CaO ($429 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ Ca}$) [Kalembasa 2006, Kowalczyk-Juśko 2009]. Nie mniej istotnym z punktu widzenia odżywiania roślin i właściwości gleby składnikiem popiołu jest magnez. Jego całkowita zawartość w popiele może osiągać 5,33% MgO ($32,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ Mg}$) [Kalembasa 2006], 5,2% MgO ($31,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ Mg}$) [Bakisgan i in. 2009], 7,85% MgO ($47,3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ Mg}$) [Kowalczyk-Juśko 2009]. Wprowadzony do gleby lekkiej popiół ze słomy jęczmienia miał stosunkowo wysoką zawartość potasu ($247,3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ K}$), fosforu ($20,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ P}$) i wapnia ($80,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ Ca}$); zawierał również magnez ($5,2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ Mg}$) i mikroelementy ($\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$). Po aplikacji wysokich dawek popiołu największy przyrost ilości przyswajalnych dla roślin form w pierwszym terminie oznaczeń stwierdzono w przypadku potasu (1679%), natomiast mniejszy dla fosforu (93,7%). Jednak już po zastosowaniu $1,0\text{--}2,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ popiołu zawartość tych składników zwiększyła się o około $100\text{--}250$ i $20\text{--}30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby. Zwiększenie zasobności gleby w przyswajalny fosfor w zastosowanych w badaniach dawkach może być jednak większe, ponieważ jego koncentracja w popiele może dochodzić nawet do 16,5% ($71,9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ P}$) [Bakisgan i in. 2009, Kalembasa 2006, Kowalczyk-Juśko 2009]. W trakcie prowadzenia badań zauważono zmniejszanie się zasobności gleby w potas, na co złożyła się większa ruchliwość i podatność na wymywanie tego pierwiastka [Gibczyńska i in. 2009].

Stosunkowo mała zawartość mikroelementów w aplikowanym do gleby popiele ze słomy jęczmienia warunkowała niewielkie, ale istotne zwiększanie się zasobności gleby w przyswajalne formy boru, miedzi, manganu, cynku i żelaza. Nawet jeśli do gleby wprowadza się z odpadami paleniskowymi znikome ilości pierwiastków, znaczenie tego procesu jest bardzo ważne, gdyż przeciwdziała stopniowemu zubażaniu gleb w składniki pokarmowe wynoszone z pól razem z plonem roślin energetycznych [Ohno i Erich 1990, Park i in. 2005]. Aplikacja popiołów do środowiska glebowego może również istotnie poprawić całokształt właściwości fizycznych gleby [Właśniewski 2009, Yeledhalli i in. 2008].

WNIOSKI

1. Zastosowanie popiołu ze słomy jęczmienia jarego w doświadczeniu wazonowym spowodowało istotny wzrost wartości pH gleby lekkiej i zawartości w niej przyswajalnych form makro- i mikroelementów.

2. Znaczące podniesienie odczynu gleby i koncentracji przyswajalnych form składników pokarmowych wymaga aplikacji popiołu ze słomy w ilości co najmniej $8,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, ale już po zastosowaniu $1,0\text{--}2,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ich zawartość zwiększa się o kilkanaście, kilkadziesiąt procent.
3. Efekt wprowadzenia do gleby popiołu ze słomy jęczmienia zasadniczo utrzymywał się w ciągu czterech miesięcy prowadzenia badań. Zaobserwowano jedynie wyraźne zmniejszenie się wraz z upływem czasu koncentracji przyswajalnych dla roślin form potasu i żelaza.
4. Popiół ze słomy jęczmienia jarego stosowany w dawkach do $1,0\text{--}2,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ może spełniać rolę nawozową. Z większymi jego dawkami wprowadza się do gleby bardzo duże ilości potasu przyswajalnego, jednak jego zawartość zmniejsza się w kolejnych miesiącach po aplikacji.

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 komonicą zwyczajną i zawartość wybranych pierwiastków w mieszance. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus* 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.
- Bakisgan C., Dumanli A. G., Yürüm Y. 2009. Trace elements in Turkish biomass fuels: Ashes of wheat straw, olive bagasse and hazelnut shell. *Fuel* 88: 1842–1851.
- Białowiec A., Janczukowicz W., Krzemieniewski M. 2009. Możliwości zagospodarowania popiołów po termicznym nieszkodliwianiu osadów ściekowych w aspekcie regulacji prawnych. *Środ.-Pom. Tow. Nauk. Ochr. Środ.* 11: 959–971.
- 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(4): 295–298.
- Budzyński W., Bielski S. 2004. Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego. Cz. II Biomasa jako paliwo stałe (artykuł przeglądowy). *Acta Sci. Pol., Agricultura* 3(2): 15–26.
- 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., Żołnowski 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.
- Denisiuk W. 2009. Słoma jako paliwo. *Inż. Rol.* 1: 83–89.
- 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. Politechniki Zielonogórskiej: 234–237.
- Harasimowicz-Hermann G., Hermann J. 2007. **Agrotechniczne bariery spalania słomy.** W: *Uprawa wierzby krzewistej na cele energetyczne alternatywą dla spalania słomy i zachowania żyzności gleby.* Wyd. UTP Bydgoszcz: 53–60.
- Hołubowicz-Kliza G. 2007. Wykorzystanie słomy. Instrukcja upowszechnieniowa 134. Wyd. IUNG–PIB Puławy: ss. 30.

- 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-Juško 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(2): 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(4): 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.
- 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: 507–512.

M. PIEKARCZYK, K. KOTWICA, D. JASKULSKI

EFFECT OF SPRING BARLEY STRAW ASH ON THE CHEMICAL PROPERTIES OF LIGHT SOIL

Summary

In 2010 in the Research Station in Mochełek (53°13' N, 17°51' E), belonging to the University of Technology and Life Sciences in Bydgoszcz pot experiment was conducted, which aimed to determine the dynamics of changes in pH and content of available to plants forms of phosphorus, potassium, magnesium, boron, copper, manganese, zinc and iron under the influence of different doses of barley straw ash. In studies carried out on sandy soil on the composition of loamy sand, it was found that the use of ash from barley straw resulted in a significant increase in soil pH and content in the available forms of macro- and micronutrients. Substantial increase in soil pH and concentration of available forms of nutrients requires the application of straw ash in an amount of at least 8.0 t·ha⁻¹, but after using 1.0–2.0 t·ha⁻¹ content is increased by the dozen, several dozen percent. The effect of the introduction of barley straw ash into the soil generally maintained during the growing season. Observed only a clear decline over time, the concentration of available forms for plants potassium and iron. The ash from the straw of spring barley in doses up to 1.0–2.0 t·ha⁻¹ can be used as fertilizer. The higher the dose introduced into the soil a large amount of available potassium, whose content decreases, however, in subsequent months after application.