ROCZNIKI GLEBOZNAWCZE T. XXVII, Nr 4. WARSZAWA 1976

FRANCISZEK MACIAK, STEFAN LIWSKI,
ELŻBIETA BIERNACKA

REKULTYWACJA ROLNICZA SKŁADOWISK ODPADÓW PALENISKOWYCH (POPIOŁÓW) Z WĘGLA BRUNATNEGO I KAMIENNEGO

CZĘŚĆ II. SKŁAD CHEMICZNY ROŚLIN ZE SKŁADOWISK POPIOŁU PO WĘGLU BRUNATNYM I KAMIENNYM

Instytut Przyrodniczych Podstaw Melioracji
Akademii Rolniczej w Warszawie

Doświadczenia wazonowe i polowe z roślinnością trawiastą i motylkową przeprowadzone na popiołach z różnych składowisk wykazały, że wysokość ich plonów zależy od rodzaju popiołu i zastosowanego nawożenia [9, 10]. Stosowane dawki wynosiły na hektar po 300 kg N, 300 kg P_2O_5 i 300 kg K_2O. Użycie wysokich dawek nawozów mineralnych na składowiskach popiołu stanowi warunek zarówno plonowania roślin, jak i ich wartości pokarmowej. Popioły ze składowisk pozbawione są zupełnie azotu, gdyż w procesie spalania azot organiczny ulatnia się. Na ogół badane popioły odznaczają się wysoką zasadowością (pH 8,1—12,3), przy której pobieranie azotu przez rośliny jest utrudnione. W takim odczynie następują dodatkowo intensywne straty azotu stosowanego w formie amonowej. Z kolei azotu z nawozów azotanowych może ubywać skutkiem redukcji azotanów i ich wypłukania. Stąd wynika konieczność stosowania dużych dawek nawozów azotowych na tego typu utworach.

Aczkolwiek popioły zawierają czasem znaczne ilości fosforu [8], to jednak składnik ten w środowisku zasadowym ulega prawie całkowitemu uwstecznieniu przez znajdujące się jony wapnia; popioły mogą zawierać do 30% CaO [8].

Przechodzenie fosforanu jednowapniowego w fosforan trójwapniowy przebiega tym szybciej, im więcej wapnia znajduje się w roztworze popiołu i jego kompleksie sorpcyjnym. Pobieranie fosforu przez rośliny utrudnia dodatkowo obecność glinu, który w popiołach występuje często w bardzo dużych ilościach. W środowisku alkalicznym glin ulega intensywnej kumulacji przez rośliny, głównie w częściach korzeniowych, utrud-

niając tym samym pobieranie fosforu [2, 3, 4, 6]. Dlatego trzeba stosować pod rośliny rosnące na składowiskach popiołu zarówno wysokie, jak i częste dawki fosforu.

Konieczność stosowania dużych dawek potasu wynika z faktu, że w procesie spalania węgla w elektrowniach w temperaturze około 1000°C potas ulatnia się. W związku z tym intensywne nawożenie roślin potasem, szczególnie w pierwszych latach ich uprawy na składowisku, jest konieczne.

Celem badań było określenie ilości podstawowych składników pokarmowych w plonach siana traw i motylkowych wyrosłych na czterech rodzajach popiołów traktowanych różnymi dawkami nawożenia mineralnego z dodatkiem substancji organicznej (torf, węgiel brunatny). W badaniach określono również radioaktywność popiołów oraz radioaktywność trawy (kupkówka) wyrosłej na popiołach.

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Do analiz chemicznych posłużyły plony siana traw i motylkowych z kilkuletnich doświadczeń wazonowych i polowych pierwszego pokosu, a w paru przypadkach również drugiego pokosu. Schemat przeprowadzonych doświadczeń wegetacyjnych oraz plony roślin zamieszczono w I części pracy [10].

ANALIZA CHEMICZNA ROŚLIN

Analizy chemiczne roślin wykonano w powietrznie suchym materiale stosując następujące metody oznaczania:

— azot ogółem — metodą Kjeldahla,

— popiół — przez spalanie materiału roślinnego w temperaturze 550°C, po oddzieleniu pozostałości nierozpuszczalnych w 10-procentowym HCl,

— w roztworze popiołu czystego oznaczono fosfor — kolorymetrycznie z fotorexem, potas i sód — metodą fotopłomieniową, wapń — metodą szczawianową, magnez — kolorymetrycznie z żółcienią tytanową, magnez, miedź i cynk — metodą ASA.

Analizy zawartości pierwiastków promieniotwórczych dokonywano w 1-gramowych próbkach substancji roślinnej lub w 3,5-gramowych próbkach popiołu. Z badanego materiału formowano krążki i oznaczano radioaktywność tych próbek licznikiem G-M w układzie antykoincydencyjnym [1] (tło 2 do 3 imp/min, czas pomiaru 30 min). Aktywność próbek porównywano ze standardem zrobionym z badanych substancji i chlorku potasu.

Potas oznaczono fotometrycznie po spaleniu materiału w mieszaninie stężonych kwasów HNO_3, $HClO_4$ i H_2SO_4.

[1] Radioaktywność popiołów i próbek traw oznaczył prof. dr S. Moskal.

WYNIKI BADAŃ

ZAWARTOŚĆ SKŁADNIKÓW CHEMICZNYCH W ROŚLINACH

Założone w 1969 r. doświadczenie wazonowe z uprawą mieszanki długotrwałej i mieszanki krótkotrwałej na popiele elektrowni Konin (tab. 1) dało wstępnie podstawę do ustalenia nie tylko poszczególnych gatunków roślin trawiastych, które mogą udawać się na popiele, ale również podstawę do ich nawożenia.

Tabela 1

Skład chemiczny siana I pokosu mieszanki traw
/doświadczenie I wazonowe na popiele elektrowni Konin,1969 r./
Chemical composition of the Ist-cut hay of grass mixture
/the first pot experiment on the ash dump of the Konin power plant, 1969/

Kombinacje nawozowe Fertilization treatments	Mieszanka długotrwała - dominuje kupkówka Long-term grass mixture /with a predominance of cocksfoot/				Mieszanka krótkotrwała - dominuje rajgras holenderski Short-term grass mixture /with a predominance of Dutch ryegrass/			
	w % s.m. in % of d.m.							
	CaO	P_2O_5	K_2O	N ogółem total N	CaO	P_2O_5	K_2O	N ogółem total N
NPK + mikroelementy NPK + trace elements	1,98	0,032	4,55	2,78	2,90	0,027	3,42	2,32
NPK + mikroelementy + H_2SO_4 NPK + trace elements + H_2SO_4	1,21	0,044	5,35	3,62	1,80	0,054	3,72	2,88
NPK + mikroelementy + torf NPK + trace elements + peat	1,81	0,048	5,27	3,05	2,27	0,037	3,77	3,21
10 cm warstwa gleby mineralnej + NPK + mikroelementy 10 cm-layer of mineral soil + NPK + trace elements	2,71	0,136	7,12	4,10	2,17	0,114	6,02	3,75

Analizy chemiczne I pokosu siana wskazują na bardzo niską przyswajalność przez rośliny fosforu, mimo wysokiego nawożenia tym składnikiem (1 g P_2O_5 na wazon). Zawartość fosforu w materiale roślinnym ulega jednak pewnemu zwiększeniu w kombinacjach nawozowych z dodatkiem do popiołu gleby mineralnej, torfu bądź kwasu siarkowego. Niemniej jednak ilości te są za niskie dla traw.

Wymienione dodatki wpłynęły również na lepszą przyswajalność przez rośliny azotu i potasu. Ten ostatni prawdopodobnie rośliny mogą pobierać częściowo z popiołu. Wskazują na to także wyniki analizy chemicznej kupkówki uprawianej na popiele z elektrowni Konin w latach 1971—1973 (tab. 2 i 3).

Ze składu chemicznego wszystkich trzech pokosów wynika, że rośliny na składowisku popiołu elektrowni Konin w największym stopniu reagują

Tabela 2

Skład chemiczny siana kupkówki I, II, III pokosu
/doświadczenie II wazonowe na popiele elektrowni Konin, 1971 r./
Chemical composition of cocksfoot hay of the Ist, IInd and IIIrd cut
/the second pot experiment on the ash dump of the Konin power plant, 1971/

Kombinacje nawozowe Fertilization treatments	W procencie suchej masy - In per cent of dry matter											
	CaO			P_2O_5			K_2O			N ogółem Total N		
	pokos - cut											
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
N	1,77	2,27	1,23	0,20	0,13	0,17	2,06	2,34	4,37	2,87	3,09	3,55
NP	1,44	2,38	0,97	0,32	0,25	0,21	1,89	2,12	3,47	1,94	2,81	3,51
NK	2,37	2,80	-	0,15	0,13	-	4,21	4,04	-	2,34	2,81	-
NPK	1,44	1,40	1,04	0,32	0,29	0,21	5,17	5,12	5,33	1,93	2,46	3,60
N + torf - N + peat	2,27	3,15	1,35	0,24	0,19	0,17	4,06	3,61	4,35	2,93	2,89	3,85
NP + torf - NP + peat	1,40	2,75	1,22	0,39	0,33	0,23	3,99	4,17	3,53	2,31	2,82	3,91
NK + torf - NK + peat	1,75	2,80	1,34	0,10	0,09	0,26	5,06	5,72	5,22	2,64	2,96	4,46
NPK + torf - NPK + peat	1,33	2,10	1,05	0,42	0,39	0,25	5,58	5,58	5,20	2,39	3,35	4,08
NPK + mikroelementy NPK + trace elements	1,32	1,82	1,19	0,40	0,22	0,22	4,82	5,06	6,17	2,42	2,67	4,17

na nawożenie fosforowe. Mimo znacznej ilości P_2O_5 w popiele rośliny nie nawożone tym składnikiem wykazują nikłą zawartość fosforu, a w wielu przypadkach nie dają z tego powodu trzeciego pokosu. Podobnie jak w doświadczeniu pierwszym na popiele elektrowni Konin, tak i tutaj dodatek torfu wpływał wyraźnie na zwiększenie przez rośliny przyswajalności P_2O_5, a także niwelował głód fosforowy.

Z przedstawionych danych liczbowych wynika również konieczność (w pierwszych latach uprawy roślin na popiołach) stosowania wysokich dawek fosforu i azotu, a także znacznego nawożenia potasowego. W przypadku wapnia okazało się, że mimo jego dużej zawartości w niektórych popiołach (do 30% CaO) rośliny nie wykazują w swej masie nadmiaru tego pierwiastka.

W dalszych latach uprawy kupkówki na popiele elektrowni Konin systematyczne (trzykrotne w ciągu roku) i wysokie nawożenie mineralne powoduje widoczne zwyżki N, P i K w roślinach. W drugim i trzecim roku uprawy zawartość fosforu i azotu osiąga w wielu kombinacjach roślin nawożonych tymi składnikami ilości wskazujące na dostateczne bądź dobre zaopatrzenie roślin w fosfor i azot. Rośliny nawożone wysokimi dawkami potasu wykazują w trzecim roku doświadczenia w wielu przypadkach nadmierne jego ilości. Również stwierdza się w roślinach wysoką zawartość sodu pochodzącego z popiołu bogatego w ten składnik.

Zawartość wapnia w roślinach w miarę upływu lat użytkowania popiołu ulega zwiększeniu, przekraczając w niektórych kombinacjach na-

wozowych 3% CaO na s.m. roślin. Kupkówka wyrosła na popiele elektrowni Konin odznacza się ponadto bardzo wysoką zawartością magnezu, nie osiąganą na gruntach mineralnych, co uznać należy za cechę korzystną w żywieniu zwierząt.

Należy podkreślić, że w mieszance traw uprawianej na składowisku elektrowni Konin w 90—95% dominowała kupkówka pospolita. Inne rośliny wyginęły mimo corocznego podsiewania. W ciągu trzyletniego okresu uprawy polowej nastąpiło wyraźne zwiększenie ilości fosforu w sianie mieszanki traw, natomiast nie zwiększała się w podobnym tempie ilość potasu, jak to miało miejsce w doświadczeniach wazonowych z kupkówką na popiele elektrowni Konin (tab. 3). Trawy z doświadczeń polowych zawierały również mniejsze ilości magnezu, co różniło je od uprawianego na składowisku nostrzyku białego, który zawierał nawet powyżej 1% magnezu. Uprawiany dwuletni nostrzyk biały był bogatszy ponadto od traw w wapń, azot, a częściowo również w fosfor i potas (tab. 4). Roślina ta dobrze wykorzystująca składniki chemiczne na składowiskach doskonale nadaje się przez to do ich rekultywacji.

Podobnie jak w doświadczeniach wazonowych, tak i w doświadczeniach polowych dodatek torfu, jak również węgla brunatnego spowodował znaczne zwiększenie pobrania przez rośliny poszczególnych składników, szczególnie fosforu. Natomiast dodatek siarki, mający na celu obniżenie alkaliczności środowiska, nie spowodował widocznego zwiększenia przyswajalności składników przez rośliny.

W czwartym roku doświadczeń polowych na składowisku elektrowni Konin na części pola (A) zastosowano dotychczasowe wysokie nawożenie mineralne NPK, na drugiej zaś części (B) zmniejszono dawki o połowę (tab. 5). Zmniejszenie dawek spowodowało poza obniżeniem plonów roślin [10] także obniżkę wartości pokarmowej siana. Nastąpiło bowiem obniżenie ilości fosforu, potasu, a także azotu w sianie z pierwszego pokosu. Zmniejszona o połowę dawka azotu spowodowała niedostateczne zaopatrzenie roślin w azot. Rośliny nawożone wysoką dawką fosforu są bardzo dobrze zaopatrzone w ten składnik (pole A), zaś przy połowie dawki — zaopatrzone wystarczająco (pole B).

Podobnie jak w doświadczeniach wazonowych, tak i w polowych obserwuje się wysokie pobranie przez rośliny potasu. Dużą zawartością potasu odznaczają się zarówno rośliny nawożone wysokimi, jak i obniżonymi dawkami.

Analizy chemiczne siana drugiego pokosu traw wykazują niedobór w sianie fosforu, wystarczającą (pole A) lub za niską zawartość azotu (pole B) oraz wystarczającą zawartość potasu. Wynika z tego, że w trzecim lub czwartym roku upraw roślin trawiastych na składowiskach popiołu należy nadal stosować wysokie dawki azotu i fosforu na 1 ha (300 kg N i 300 kg P_2O_5), natomiast można zmniejszyć prawdopodobnie o połowę (do 150 kg K_2O na hektar) nawożenie potasowe, tym bardziej że znaczne

Tabela 3

Skład chemiczny siana kupkówki I pokosu /doświadczenie wazonowe na popiele elektrowni Konin, Adamów, Siekierki, Skawina/
Chemical composition of cocksfoot hay of the 1st cut /the pot experiment on the ash dumps of the Konin, Adamów, Siekierki and Skawina power plants/

Kombinacje nawozowe Fertilization treatments	W procencie suchej masy - In per cent of dry matter														
	I pokos 1971 r. Ist cut 1971				I pokos 1972 r. Ist cut 1972					I pokos 1973 r. Ist cut 1973					
	CaO	P_2O_5	K_2O	N ogółem total N	CaO	P_2O_5	K_2O	MgO	N ogółem total N	CaO	P_2O_5	K_2O	MgO	Na_2O	N ogółem total N
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Popiół ze składowiska elektrowni Konin Ash from the Konin power plant															
N	1,77	0,20	2,06	2,87	3,13	0,21	3,54	0,61	2,25	1,90	0,31	2,06	0,42	3,12	2,14
NP	1,44	0,32	1,89	1,94	1,73	0,50	2,74	0,66	2,64	1,92	0,52	1,58	0,41	4,21	1,87
NK	2,37	0,15	4,21	2,34	2,92	0,22	5,02	0,47	2,11	2,82	0,36	6,73	0,51	1,12	2,24
NPK	1,44	0,32	5,17	1,93	2,50	0,55	4,65	0,37	2,53	1,94	0,52	5,11	0,31	1,21	1,78
N + torf - N + peat	2,27	0,24	4,06	2,93	2,08	0,19	2,58	0,68	3,15	3,01	0,28	2,39	0,49	0,92	2,11
NP + torf - NP + peat	1,40	0,39	3,99	2,31	1,94	0,59	3,02	0,70	3,39	2,69	0,66	1,36	0,43	4,58	2,17
NK + torf - NK + peat	1,75	0,10	5,06	2,64	2,08	0,42	4,89	0,38	2,88	3,06	0,43	5,71	0,36	1,03	2,17
NPK + torf - NPK + peat	1,33	0,42	5,58	2,39	2,03	0,53	5,11	0,39	3,72	2,53	0,66	5,02	0,34	1,52	1,77
NPK + mikroelementy NPK + trace elements	1,32	0,40	4,82	2,42	2,35	0,50	5,24	0,46	3,44	1,60	0,69	6,40	0,49	1,57	2,10
Popiół ze składowiska elektrowni Adamów Ash from the Adamów power plant															
NP	2,30	0,80	3,44	3,36	2,71	0,66	2,68	0,29	3,37	2,14	0,63	2,15	0,24	4,86	2,25
NK	0,76	0,09	4,13	3,25	2,01	0,33	3,22	0,22	3,54	1,68	0,44	5,12	0,21	1,12	1,95
NPK	1,85	0,30	5,35	3,92	1,24	0,64	3,87	0,16	3,59	1,69	0,62	5,00	0,17	1,24	1,98
NPK + torf - NPK + peat	2,20	0,42	3,62	3,79	1,66	0,71	3,74	0,26	3,02	1,98	0,70	5,22	0,15	1,21	1,85
NPK + mikroelementy NPK + trace elements	1,89	0,39	5,88	4,24	1,61	0,83	4,29	0,35	3,74	1,84	0,61	5,46	0,25	0,93	2,06
NPK + zaszczep. wyciągiem z gleby mineralnej NPK + inoculation with the mineral soil extract	2,10	0,57	5,69	4,40	1,68	0,69	2,35	0,19	3,72	2,08	0,75	6,65	0,15	0,87	2,21

c.d. tabeli 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Popiół ze składowiska elektrowni Siekierki Ash from the Siekierki power plant															
NP	1,08	0,39	4,92	3,83	1,45	0,39	2,94	0,77	3,09	1,81	0,51	2,75	0,57	2,57	1,95
NK	0,97	0,03	6,10	4,43	2,70	0,21	3,28	0,68	3,46	2,29	0,29	5,54	0,64	1,07	1,82
NPK	1,07	0,33	5,17	4,43	3,01	0,64	3,44	0,76	3,54	1,80	0,43	6,30	0,60	1,04	1,78
NPK + torf - NPK + peat	1,03	0,38	4,33	5,44	2,15	0,58	4,21	0,40	2,58	2,13	0,79	5,42	0,43	0,80	2,18
NPK + mikroelementy NPK + trace elements	0,99	0,40	5,50	5,16	1,17	0,59	4,54	0,50	3,66	1,58	0,41	5,96	0,70	0,64	1,82
NPK + zaszczep. wyciągiem z gleby mineralnej NPK + inoculation with the mineral soil extract	0,89	0,36	4,10	4,39	2,53	0,61	3,38	0,66	3,85	2,12	0,37	6,41	0,40	0,92	1,75
Popiół ze składowiska elektrowni Skawina Ash from the Skawina power plant															
NP	1,26	0,32	3,28	3,62	1,75	0,45	2,75	0,37	2,66	2,27	0,63	1,74	0,65	2,68	2,19
NK	0,69	0,07	3,84	4,53	2,10	0,77	3,92	0,57	2,72	2,51	0,29	2,69	0,60	0,49	2,01
NPK	0,91	0,36	3,32	3,96	1,82	0,43	4,24	0,63	2,97	2,27	0,42	3,84	0,55	0,95	1,89
NPK + torf NPK + peat	1,27	0,45	3,70	4,42	2,10	0,52	5,18	0,66	2,94	2,92	0,48	5,43	0,42	1,77	1,84
NPK + mikroelementy NPK + trace elements	1,74	0,42	3,89	3,97	1,33	0,59	5,03	0,79	3,25	2,54	0,42	4,61	0,61	1,08	1,94
NPK + zaszczep. wyciągiem z gleby mineralnej NPK + inoculation with the mineral soil extract	1,86	0,46	4,63	3,83	1,61	0,53	3,43	0,38	3,23	1,82	0,51	5,64	0,31	1,62	2,09
Gleba bielicowa - piasek gliniasty Podzolic soil - loamy sand															
NPK	3,02	0,81	5,15	2,84	3,31	0,98	5,15	0,17	3,17	1,91	0,80	4,80	0,19	0,45	2,24

Tabela 4

Skład chemiczny siana I pokosu mieszanki traw i nostrzyku białego /doświadczenie polowe na składowisku elektrowni Konin/
Chemical composition of the Ist-cut hay of grass mixture and white melilot /the field experiment on the ash dump of the Konin power plant/

Kombinacje nawozowe Fertilization treatments	W procencie suchej masy - In per cent of dry matter														
	I pokos 1970 r. Ist cut 1970					I pokos 1971 r. Ist cut 1971					1 pokos 1972 r. Ist cut 1972				
	CaO	P_2O_5	K_2O	MgO	N ogółem total N	CaO	P_2O_5	K_2O	MgO	N ogółem total N	CaO	P_2O_5	K_2O	MgO	N ogółem total N
Mieszanka traw /dominuje kupkówka/ Mixture of grass /domination of cocksfoot/															
NPK + mikroelementy NPK + trace elements	1,65	0,10	2,61	0,41	2,31	1,05	0,19	2,14	0,27	2,86	1,89	0,58	2,72	0,22	2,52
NPK + mikroelementy + torf NPK + trace elements + peat	1,45	0,22	2,93	0,48	1,85	0,91	0,42	2,86	0,25	2,56	2,35	0,68	3,01	0,21	2,80
NPK + mikroelementy + siarka NPK + trace elements + sulphur	1,55	0,18	3,29	0,51	2,10	0,98	0,24	2,29	0,22	2,83	3,05	0,58	3,77	0,10	3,02
NPK + mikroelementy + węgiel brunatny NPK + trace elements + brown coal	1,25	0,16	2,54	0,29	2,07	1,05	0,22	2,23	0,25	2,55	2,74	0,72	3,33	0,19	2,36
NPK + mikroelementy + torf + siarka NPK + trace + peat + sulphur	1,24	0,21	3,15	0,22	1,73	0,72	0,43	2,32	0,23	2,30	2,43	0,94	3,46	0,20	3,49
Nostrzyk biały - White melilot															
NPK + mikroelementy NPK + trace elements	4,12	0,33	2,38	1,37	3,31	4,38	0,36	3,69	1,05	3,54					
NPK + mikroelementy + torf NPK + trace elements + peat	2,94	0,42	2,53	0,90	2,86	3,55	0,40	3,82	0,71	3,50					
NPK + mikroelementy + siarka NPK + trace elements + sulphur	2,94	0,35	2,07	0,47	2,88	4,25	0,28	3,88	0,93	3,61					
NPK + mikroelementy + węgiel brunatny NPK + trace elements + brown coal	3,72	0,35	2,51	1,73	3,76	2,28	0,36	3,20	0,62	3,49					
NPK + mikroelementy + torf + siarka NPK + trace + peat + sulphur	2,76	0,38	2,28	0,82	3,26	2,35	0,61	3,16	0,87	3,82					

Tabela 5

Skład chemiczny siana I i II pokosu mieszanki traw nawożonej różnymi dawkami NPK /doświadczenie polowe na składowisku elektrowni Konin/
Chemical composition of the Ist and IInd cut hay of grass mixture fertilized with different NPK rates
/the field experiment on the ash dump of the Konin power plant/

Kombinacje nawozowe Fertilization treatment	W procencie suchej masy In per cent of dry matter						ppm			W procencie suchej masy In per cent of dry matter						ppm		
	I pokos 1973 r. - Ist cut 1973									II pokos 1973 r. - IInd cut 1973								
	CaO	P_2O_5	K_2O	MgO	N ogółem total N	Na_2O	Cu	Zn	Mn	CaO	P_2O_5	K_2O	MgO	N ogółem total N	Na_2O	Cu	Zn	Mn
Pole A - Field A	Na 1 ha - Per hectare 200 kg N, 200 kg P_2O_5, 200 kg K_2O									Na 1 ha - Per hectare 100 kg N, 100 kg P_2O_5, 100 kg K_2O								
NPK + mikroelementy NPK + trace elements	1,49	0,64	5,84	0,19	1,65	0,51	6,3	29	50	1,47	0,20	3,57	0,16	1,41	0,72	5,8	24	49
NPK + mikroelementy + torf NPK + trace elements + peat	1,75	0,83	4,76	0,19	1,54	0,60	6,1	75	50	1,32	0,27	3,45	0,14	1,32	1,05	5,6	80	51
NPK + mikroelementy + siarka NPK + trace elements + sulphur	1,57	0,61	5,36	0,21	1,65	0,56	5,0	120	60	1,77	0,23	4,12	0,19	1,60	0,46	5,1	110	56
NPK + mikroelementy + węgiel brunatny NPK + trace elements + brown coal	1,93	0,76	4,79	0,21	1,68	0,86	9,1	90	95	1,55	0,22	3,60	0,16	1,57	0,49	8,8	91	93
NPK + mikroelementy + torf + siarka NPK + trace elements + peat + sulphur	1,71	0,89	5,12	0,17	1,61	0,53	6,0	100	90	1,24	0,29	3,56	0,14	1,40	0,96	6,2	98	90
Pole B - Field B	Na 1 ha - Per hectare 100 kg N, 100 kg P_2O_5, 100 kg K_2O									Na 1 ha - Per hectare 50 kg N, 50 kg P_2O_5, 50 kg K_2O								
NPK + mikroelementy NPK + trace elements	2,24	0,58	4,63	0,19	1,23	0,42	6,4	170	100	1,69	0,28	3,17	0,14	1,23	0,61	5,8	165	97
NPK + mikroelementy + torf NPK + trace elements + peat	2,01	0,61	4,32	0,17	0,96	0,43	6,5	80	60	1,47	0,35	3,05	0,13	1,15	0,73	8,0	79	55
NPK + mikroelementy + siarka NPK + trace elements + sulphur	1,63	0,42	4,20	0,20	1,19	0,33	4,4	20	60	1,39	0,38	4,20	0,16	1,37	0,53	4,8	22	58
NPK + mikroelementy + węgiel brunatny NPK + trace elements + brown coal	1,41	0,60	4,75	0,15	1,16	0,27	6,3	195	90	1,62	0,35	3,57	0,16	1,36	0,42	5,4	190	91
NPK + mikroelementy + torf + siarka NPK + trace elements + peat + sulphur	1,88	0,62	4,48	0,11	0,98	0,41	4,5	90	70	1,48	0,49	3,35	0,13	1,04	0,61	4,3	94	72

Tabela 6

Plony składników chemicznych /w g z wazonu/ pobranych z popiołów przez I pokos kupkówki /suma za okres 1971-1973/
Chemical components /in g from pot/ taken up from ashes by the Ist cut of cocksfoot /total for 1971-1973/

Kombinacje nawozowe Fertilization treatments	Suma plonów kupkówki I pokosu Total cocksfoot yield of the Ist cut	N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Na_2O	Suma plonów kupkówki I pokosu Total cocksfoot yield of the Ist cut	N-og. Total N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	Na_2O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Popiół ze składowiska Konin Ash from the Konin power plant							Popiół ze składowiska Adamów Ash from the Adamów power plant						
N	12,07	0,257	0,021	0,292	0,256	0,058*	0,019**	-	-	-	-	-	-	-
NP	52,39	0,951	0,209	0,904	0,781	0,179*	0,853**	21,80	0,574	0,217	0,521	0,452	0,033*	0,215**
NK	14,00	0,261	0,026	0,594	0,325	0,113*	0,018**	9,24	0,227	0,091	0,331	0,111	0,014*	0,030**
NPK	53,69	0,957	0,225	2,256	0,324	0,125*	0,232**	41,57	0,980	0,211	1,670	0,559	0,048*	0,237**
N + torf N + peat	18,04	0,444	0,034	0,493	0,129	0,530*	0,021**	-	-	-	-	-	-	-
NP + torf NP + peat	53,39	1,248	0,251	1,286	0,382	0,195*	0,573**	-	-	-	-	-	-	-
NK + torf NK + peat	19,29	0,443	0,046	0,827	0,332	0,084*	0,016**	-	-	-	-	-	-	-
NPK + torf NPK + peat	62,55	1,387	0,294	2,761	1,090	0,145*	0,320**	48,29	1,095	0,235	1,829	0,789	0,065*	0,248**
NPK + mikroelementy NPK + trace elements	33,95	0,772	0,152	1,577	0,510	0,091*	0,143**	23,12	0,545	0,162	1,030	0,353	0,053*	0,113**
NPK + wyciąg z gleby NPK + soil extract	-	-	-	-	-	-	-	15,24	0,268	0,090	0,705	0,257	0,071*	0,065**

c.d. tabeli 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Popiół ze składowiska Siekierki Ash from the Siekierki power plant							Popiół ze składowiska Skawina Ash from the Skawina power plant						
N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NP	28,82	0,568	0,117	0,738	0,411	0,131	0,470	14,37	0,352	0,053	0,340	0,204	0,036	0,038
NK	27,90	0,537	0,061	1,247	0,532	0,142	0,197	7,66	0,192	0,016	0,245	0,123	0,031	0,024
NPK	39,76	0,874	0,160	1,823	0,685	0,190	0,213	14,42	0,395	0,050	0,479	0,190	0,051	0,008
N + torf N + peat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NP + torf NP + peat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NK + torf NK + peat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NPK + torf NPK + peat	49,37	1,218	0,263	1,967	0,821	0,144	0,137	44,95	1,098	0,132	1,893	0,842	0,169	0,230
NPK + mikroelementy NPK + trace elements	31,79	0,603	0,123	1,503	0,389	0,164	0,118	16,69	0,490	0,074	0,654	0,215	0,071	0,006
NPK + wyciąg z gleby NPK + soil extract	34,95	0,670	0,122	1,710	0,626	0,126	0,211	30,84	0,699	0,068	1,252	0,458	0,079	0,234
Gleba mineralna + NPK Mineral soil + NPK	-	-	-	-	-	-	-	54,04	1,277	0,400	2,315	1,279	0,057	0,064

* - Plony magnezu /MgO/ za lata 1972/73 - Magnesium amounts /Mg/ taken up in 1972/1973

** - Plony sodu /Na_2O/ za rok 1973 - Sodium amounts /Na_2O/ taken up in 1973

ilości sodu, jakie znajdują się w plonach roślin zarówno z doświadczeń wazonowych, jak i polowych, świadczą o możliwościach częściowego zastąpienia potasu sodem.

Skład chemiczny siana kupkówki (I pokos) wyrosłej na popiele ze składowisk elektrowni Konin, Adamów, Siekierki i Skawina (tab. 3) różni się pod względem zawartości niektórych pierwiastków od składu chemicznego kupkówki z gleby mineralnej. Przy stosowaniu takich samych dawek nawozów rośliny wyrosłe na glebie mineralnej odznaczają się większą zawartością wapnia i fosforu. Ilość tych składników w roślinach wyrosłych na popiołach nie odbiega w dużym stopniu od zawartości ich w roślinach z gleby mineralnej. Natomiast rośliny wyrosłe na popiele zawierają wysokie ilości magnezu.

Na wszystkich badanych popiołach, jak również w poszczególnych latach ich uprawy zaznacza się wyraźnie dodatnie działanie torfu na przyswajalność przez rośliny prawie wszystkich składników chemicznych (tab. 6).

W porównaniu do gleby mineralnej nawożonej NPK ilość niektórych składników chemicznych pobieranych przez kupkówkę z nawożonych popiołów jest często znacznie niższa. Dotyczy to głównie fosforu i wapnia, w mniejszym stopniu azotu i potasu, natomiast nie dotyczy magnezu, którego w roślinach z popiołów jest znacznie więcej niż z gleby mineralnej. Biorąc pod uwagę wielkość plonów roślin i pobranych przez badane rośliny składników pokarmowych, pod względem produktywności na I miejscu

Tabela 7

Radioaktywność popiołów i zawartość potasu /K_2O/
Radioactivity of ashes and potassium /K_2O/ content

Składowisko popiołu Ash fump	Impulsy /3,5 g/ na 30 minut suchy popiół Imp /3.5 g/ of 30 min. dry ash	Odpowiednik aktywności potasu /% K_2O według aktywności/ Counterpart of the potassium activity in % K_2O according to the activity	Procent K_2O oznaczony w popiele % K_2O determined chemically in ash	Aktywność innych niż K-40 radionuklidów wyrażona w % K_2O Activity of radionuclides other than K-40, expressed in % K_2O	Przypuszczalna zawartość uranu i toru w mg na 100 g popiołu Probable uranium and thorium activity in mg per 100 g of ash	
					U_3O_8	ThO_2
Konin	52	0,76	0,06	0,70	0,5	2,2
Adamów	149	2,20	0,30	1,90	1,3	5,9
Siekierki	296	4,36	0,30	4,06	2,7	12,7
Skawina	307	4,52	0,36	4,16	2,8	13,0

należy wymienić popiół elektrowni Konin, nieco niższe wartości wykazują popioły elektrowni Siekierki i Adamów, stosunkowo najniższe — popiół elektrowni Skawina.

Wykonane analizy siana z badanych popiołów na zawartość miedzi, cynku i manganu w zasadzie nie odbiegają od ilości spotykanych w sianie z gleb mineralnych. Jedynie w kilku przypadkach zawartość Mn jest za niska, bo spada do 50 ppm.

RADIOAKTYWNOŚĆ ROŚLINNOŚCI ZE SKŁADOWISK POPIOŁU

Wyniki pomiarów radioaktywności popiołów oraz analizy chemiczne wskazują, że z wyjątkiem popiołu ze składowiska elektrowni Konin radioaktywność popiołów jest znacznie większa niż w glebach polskich (tab. 7). W tych ostatnich radioaktywność wywołana jest głównie obecnością K-40, w popiołach zaś stanowi on zaledwie 6—13% ogólnej radioaktywności. Pozostała radioaktywność wynika prawdopodobnie z zawartości uranu i toru, a w małym stopniu być może Ra-226 i Rb-87.

Wzajemny stosunek promieniowania wynosi: $U_3O_8 : ThO_2 : K_2O = 1500 : 320 : 1$. Zawartość tlenku uranu i tlenku toru w popiele z węgla kamiennego (Siekierki, Skawina) była kilkakrotnie większa niż z węgla brunatnego (Konin i Adamów). Zwiększona zawartość uranu i toru w popiele ze składowiska elektrowni Adamów w porównaniu do popiołu elektrowni Konin pochodzi prawdopodobnie ze znacznego udziału produkcji elektrycznej w elektrowni Adamów poza węglem brunatnym także węgla kamiennego. Natomiast popiół elektrowni Konin pochodzi całkowicie ze spalania węgla brunatnego.

Tabela 8

Radioaktywność traw /kupkówka/ wyrosłych na popiołach i zawartość potasu /K_2O/
Radioactivity of grasses /cocksfoot/ grown on ash dumps and potassium /K_2O/ content

Składowisko popiołu Ash dump	Imp /1 g/ na 30 min zmielona p.s. trawa Imp /1 g/ 30 min., ground air-dry grass bulk	Odpowiednik aktywności potasu/% K_2O według aktywności/ Counterpart of the potassium activity in % K_2O according to the activity	Procent K_2O oznaczony chemicznie w trawie % K_2O determined chemically in grasses
Konin	99	2,20	3,85
Adamów	106	2,35	4,00
Siekierki	106	2,35	3,22
Skawina	104	2,31	3,52

W glebach mineralnych zawartość U_3O_8 wynosi około 0,1 mg, ThO_2 — — 1 mg.

Pomiary radioaktywności trawy wyrosłej na wymienionych składowiskach popiołu (tab. 8) wykazały, że jest ona wywołana całkowicie przez potas. Z literatury [1, 5, 7, 11] wiadomo, że uran i tor są pobierane w znikomych ilościach i zatrzymywane w korzeniach. Trzeba to brać pod uwagę przy uprawie roślin korzeniowych.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków.

1. Analizy chemiczne roślin (kupkówka pospolita, rajgras holenderski, nostrzyk biały) wyrosłych na popiele wskazują na niską zawartość składników pokarmowych (NPK) w pierwszych latach uprawy.

2. W miarę upływu lat użytkowania popiołów przy stosowaniu wysokich dawek nawozów (NPK) zawartość azotu i fosforu, a szczególnie potasu ulega w roślinach zwiększeniu.

3. Zmniejszenie na popiele dawek nawozów z 300 kg N, 300 kg P_2O_5, 300 kg K_2O na hektar do połowy powoduje wyraźne obniżenie zawartości w roślinach azotu i fosforu (niedostateczne zaopatrzenie roślin w wymienione składniki).

4. Na wykorzystanie przez rośliny składników pokarmowych (szczególnie fosforu) na składowiskach popiołu bardzo korzystny wpływ wywiera dodatek masy organicznej torfu i węgla brunatnego. Korzystny wpływ spowodował również dodatek siarki. Torf przyczynił się do zmniejszenia głodu fosforowego roślin.

5. Większość roślin wyrosłych na popiołach zawiera znacznie większe ilości magnezu od roślin uzyskanych z gleby mineralnej, co ma znaczenie przy spożywaniu tych roślin przez ludzi i zwierzęta.

6. Zawartość mikroelementów (Cu, Zn, Mn) w sianie traw z badanych popiołów w zasadzie nie odbiega od ilości spotykanych w sianie z gleb mineralnych.

7. W porównaniu do gleby mineralnej ilości składników chemicznych pobranych przez kupkówkę z popiołów, szczególnie wapnia, fosforu, a także azotu jest często znacznie niższa. Wyższe jest natomiast pobranie sodu.

8. Najlepsze wykorzystanie większości składników pokarmowych przez rośliny nastąpiło na składowisku popiołu z elektrowni Konin, nieco niższe z elektrowni Siekierki i Adamów, najniższe z elektrowni Skawina.

9. Radioaktywność popiołów ze zbadanych składowisk wywołana głównie przez radionuklidy K-40 jest przeważnie wyższa niż gleb polskich. Wyrosłe na powyższych popiołach rośliny (trawy) wykazały radioaktywność, która nie wykraczała poza aktywność K-40.

LITERATURA

[1] Baranow W. J.: Ob oswojennii radioaktywnych elemientow rastienijami. Dokł. AN SSSR 24, 1939, 951—954.
[2] Holiday R., Hodgson D. R., Townsend W. N., Wood J. W.: Plant growth on „Fly ash". Nature 181, 1958, 1079—1080.
[3] Holiday R., Townsend W. N., Hodgson D. R.: Plant growth on „Fly ash". Nature 176, 1955, 983—984.
[4] Jones L. H.: Aluminium uptake and toxicity in plants. Plant and Soil 13, 1961, 297—310.
[5] Klement A. W., Alfred: Natural radionuklides in foods and food source materials, w książce „Radioactive fallout, soils, plans, foods, man". Wyd. E. B. Fowler, Elsevier Publ. Co. 1965, 113—155.
[6] Kick H., Grosse-Brauckman E.: Vegetationsversuche über den Einfluss von Braun- und Steinkohlenflugasche auf das Wachstum von Pflanzen. Landwirt. Forschung 14, 1961, 229—238.
[7] Kynaszewa K. G.: O raspriedielenii urana i radija w rastienii, wyraszczennom w sriedie z razlicznoj koncentraciej etich elemientow. Trudy biogeochim. lab. 5, 1939, 197—200.
[8] Maciak F., Liwski S., Biernacka E.: Właściwości fizykochemiczne i biochemiczne składowisk popiołu po węglu brunatnym i kamiennym. Rocz. glebozn. 25, 1974, 3, 191.
[9] Maciak F., Liwski S. i inni: Sprawozdania z badań nad rekultywacją składowisk popiołu po węglu brunatnym i kamiennym za lata 1969, 1970, 1971, 1972, 1973. Maszynopisy. Centralne Biuro Studiów i Projektów Wodnych Melioracji — Warszawa.
[10] Maciak F., Liwski S., Prończuk J.: Rekultywacja rolnicza składowisk odpadów paleniskowych (popiołów) z węgla brunatnego i kamiennego. Cz. I. Wzrost roślinności na składowiskach popiołu w zależności od zabiegów agrotechnicznych i nawożenia. Rocz. glebozn., w tym zeszycie s. 149.
[11] Mistry K. B.: Agric. Rez. Council Radiobiolog. Lab. Rep. 10, 1962/63, 86—89.
[12] Rees W. J., Sidrak G. H.: Plant growth on „Fly ash". Nature 1955, 176—342.

Ф. МАЦИАК, С. ЛИВСКИ, Э. БЕРНАЦКА

ОЗЕЛЕНИЕ (ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОЕ ОСВОЕНИЕ) ОТВАЛОВ ТОПОЧНЫХ ОТБРОСОВ (ЗОЛ) БУРОГО И КАМЕННОГО УГЛЯ

ЧАСТЬ 2-Я. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ С ЗОЛЬНЫХ ОТВАЛОВ БУРОГО И КАМЕННОГО УГЛЯ

Институт природных основ мелиорации, Сельскохозяйственная академия в Варшаве

Резюме

Изучалось содержание основных химических элементов в урожае сена трав и донника белого, возделываемых на отвадах топочных отбросов в Конине, Адамове, Секерках и Скавине при внесении разных доз минерального удобрения с прибавками органических веществ (торф, бурый уголь).

Получены были следующие результаты.

Химический анализ растений (ежа сборная, райграс английский, донник белый) выросших на золе (полевые и сосудные опыты) указывает на низкое содержание в них питательных веществ (NPK) в первых годах возделывания. С увеличением времени пользования, при применении высоких удобрительных доз NPK содержание особенно калия, но также азота и фосфора увеличивалось в растениях до количеств находимых обычно на удобряемых минеральных почвах.

На использование растениями питательных элементов (особенно фосфора) на зольных отвалах высокое положительное влияние оказывает прибавка органической массы торфа и тоже бурого угля.

Органическое вещество торфа способствовало уменьшению фосфорного голодания растений.

Большинство растений выросших на золах содержит заметно больше магния, чем растения с минеральных почв, что благоприятно для питания животных.

В отношении использования питательных элементов растениями испытанные зольные отвалы различаются между собой.

Радиоактивность золы из исследованных отвалов является высшей, чем польских почв и она вызвана в главном присутствием иных чем ^{40}K радионуклидов.

Выросшие на вышеупомянутых золах травы показывали радиоактивность, которая не превышала радиоактивности калия (^{40}K).

F. MACIAK, S. LIWSKI, E. BIERNACKA

AGRICULTURAL RECULTIVATION OF FURNACE WASTE (ASH) DUMPS FROM BROWN AND HARD COAL

PART II. CHEMICAL COMPOSITION OF PLANTS CULTIVATED ON BROWN AND HARD COAL ASH DUMPS

Department of Natural Basis of Land Reclamation,
Agricultural University of Warsaw

Summary

Investigations on the content of basic chemical compounds in hay of grasses and white melilot, cultivated at Konin, Adamów, Siekierki and Skawina on furnace waste (ash) dumps given different mineral fertilization with added organic matter (peat, brown coal) were carried out. The following results have been obtained:

Chemical analyses of plants (cocksfoot, Dutch ryegrass, white melilot), grown on ash (in field and pot experiments), proved a low content of mineral elements (NPK) in them in the first cultivation years. Along with the utilization years of ashes at application of high fertilization (NPK) rates, the content of elements, particularly of potassium as well as nitrogen and phosphorus increased in plants up to the level like in fertilized mineral soils.

The utilization of mineral elements (particularly of phosphorus) by plants grown on the ash dumps as quite favourably affected by an addition of peat or brown coal.

Peat contributed to a satisfaction of phosphorus requirements of plants.

Most plants grown on ashes contained much higher amounts of magnesium than the plants grown on mineral soil, what is of advantage in feeding animals.

With regard to utilization of mineral elements by plants, the ash dumps investigated differred from one another.

The radioactivity of ashes from the dumps investigated was usually higher than that of Polish soils, what was caused mainly by the presence of radionuclides other than ^{40}K.

Grasses grown on the ashes investigated showed the radioactivity not exceeding that of potassium ^{40}K.

prof. dr Franciszek Maciak
Instytut Przyrodniczych
Podstaw Melioracji AR
Warszawa, ul. Nowoursynowska 166