ROCZNIKI GLEBOZNAWCZE T. XXIX, NR 3, WARSZAWA 1978

ROMAN KRĘŻEL, JAN BORKOWSKI, WŁADYSŁAW NOWAK,
WŁADYSŁAW WYSOCKI

BADANIA NAD PRZYDATNOŚCIĄ ROLNICZĄ POPIOŁÓW ZE SPALANIA WĘGLA KAMIENNEGO

Akademia Rolnicza we Wrocławiu

WSTĘP

Produkcja odpadów energetycznych w Polsce wynosi obecnie około 12 milionów ton [9]. Szasuje się, że w roku 1990 produkcja ta wzrośnie do 30 mln ton, z czego zaledwie 40% ma być wykorzystane. Składowiska pozostałych mas popiołów i żużli przy średniej wysokości składowania 10 m zajmować będą corocznie po około 250 ha powierzchni.

W celu ograniczenia zajmowanej przez zwałowiska popiołów powierzchni użytków rolnych i leśnych dąży się do wykorzystania na te cele wyrobisk poeksploatacyjnych kopalń odkrywkowych. Równocześnie wykorzystuje się wierzchowiny tych zwałowisk do produkcji roślinnej [1–8, 10–12].

Opisane badania zmierzały do opracowania metod rekultywacji składowisk popiołów energetycznych, przy czym za najważniejszy do rozwiązania problem uważa się odtworzenie gleb metodami technicznymi i biologicznymi.

Badania prowadzono na popiołach pochodzących z gorszych gatunków węgla kamiennego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, spalanych w elektrowni Halemba.

O zapoczątkowaniu badań nad utrwaleniem jednego ze składowisk tej elektrowni sygnalizowano już w kilku komunikatach [2, 3, 12].

W pierwszym etapie badań nad odtwarzaniem gleb wykonano doświadczenie wazonowe, w którym skuteczność stosowanych zabiegów określano przez analizę wschodów, wzrost i plonowanie roślin. Badania były finansowane przez Agencję Ochrony Środowiska USA.

WARUNKI DOŚWIADCZENIA

Doświadczenia przeprowadzono w hali wegetacyjnej Akademii Rolniczej w Swojcu pod Wrocławiem, kontrolując dostarczanie wody, przy zachowaniu naturalnej temperatury i wilgotności powietrza. Jako rośliny testowej użyto gorczycy białej odmiany Borowska.

Próbki do doświadczenia wazonowego pochodziły ze składowiska popiołów (utrwalonego uprzednio przez obsiew powierzchni trawami) z warstwy 0–20 cm. Pobrano je w lipcu 1974 r. usuwając korzenie traw.

Do badań użyto wazonów Mitscherlicha o pojemności 7 kg gleby mineralnej. Doświadczenie przeprowadzono metodą serii niezależnych z jedną zmienną (tab. 1). Kombinacjami kontrolnymi były: gleba mineralna piaszczyta i przemyty jałowy piasek rzeczny o składzie granulometrycznym piasku luźnego o odczynie obojętnym. Podstawowe nawożenie mineralne składało się z siarczanu amonu (20,5% N), superfosfatu (47,5% P_2O_5), chemicznie czystego K_2SO_4 i $MgSO_4.7H_2O$. Mikroelementy wprowadzono w formie roztworu wodnego. Prócz tego w celu zmiany właściwości popiołów stosowano w poszczególnych obiektach różne zabiegi i substancje, a mianowicie:

— siarkę w formie czystej w ilości 10 g/wazon, co odpowiada 3,0 tonom na hektar,

— gips w ilości 3,1 g/wazon, tj. 1,0 tona/ha, jako wodny roztwór,

— zakwaszenie popiołu 1 N H_2SO_4 w ilości 125 ml/wazon, tj. 40 m^3/ha,

— torf niski silnie rozłożony i zamulony substancją mineralną w 2 dawkach: 31,4 g/wazon, tj. 10 ton/ha i 314 g/wazon, tj. 100 ton/ha masy powietrzno-suchej,

— torf wysoki słabo rozłożony, włóknisty sfagnowy w dawkach jak torf niski,

— rozdrobnioną na sieczkę masę roślin zbożowych (jęczmień jary w początkowej fazie strzelania w źdźbło) w 2 dawkach: 80,5 g/wazon, tj. 25 ton/ha zielonej masy, i 320 g/wazon, tj. 100 ton/ha.

— zieloną masę roślin motylkowych (nostrzyk biały w fazie kwitnienia) zastosowano w dawkach jak nawóz zielony z roślin zbożowych,

— ił poznański charakteryzujący się obojętnym odczynem, brakiem $CaCO_3$ i zawartością minerałów hydromikowo-montmorylonitowych [10].

Wszystkie dodawane składniki wprowadzono do każdego wazonu oddzielnie i mieszano z całą jego zawartością (tab. 1). Jedynie w obiekcie XX powierzchnię popiołu w wazonie pokryto jednocentymetrową warstwą iłu. W kombinacjach XV i XXVII dodawano glebę i jałowy piasek stosowane w obiektach kontrolnych.

Doświadczenie wykonano przy wilgotności podłoża stanowiącej 70%

Tabela 1

Schemat doświadczenia wazonowego na popiołach węgla kamiennego
Scheme of the pot experiment on hard coal ashes

Nr obiektu Treatment No.	Podłoże podstawowe Basic substrate	Nawożenie mineralne podstawowe na 1 wazon /g/: Basic mineral fertilization per pot: N - 1,0, K_2O - 1,2, P_2O_5 - 0,8, MgO - 0,5	Mikroelementy na 1 wazon /mg/: Minor elements per pot: Mo - 1,0, B - 3,0, Cu - 3,0, Zn - 5,0, Mn - 20,0, Fe - 30,0	Dodatki neutralizujące lub stymulujące wzrost roślin Neutralizing or plant growth stimulating additives	Łączny ciężar w wazonie /sucha masa/ kg Total weight in a pot /dry matter/ kg
1	2	3	4	5	6
I kontrola control	gleba lekka light soil	NPK Mg	+	-	6,4
II kontrola control	piasek rzeczny jałowy poor river sand	NPK Mg	+	-	6,9
III	popiół - ash	-	-	-	2,3
IV	popiół - ash	NPK Mg	-	-	2,3
V	popiół - ash	2/NPK/Mg/	-	-	2,3
VI	popiół - ash	NPK Mg	+	-	2,3
VII	popiół - ash	NPK Mg	+	torf niski /31,4 g/wazon/ low peat /31.4 g per pot/	2,3
VIII	popiół - ash	NPK Mg	+	torf niski /31,4 g/wazon/ + siarka /10 g/wazon/ low peat /31.4 g per pot/ + sulphur /10 g per pot/	2,3
IX	popiół - ash	2/NPK Mg/	+ +	torf niski /31,4 g/wazon/ low peat /31.4 g per pot/	2,3
X	popiół - ash	NPK Mg	+	torf wysoki /31,4 g/wazon/ raised peat /31.4 g per pot/	2,3
XI	popiół - ash	NPK Mg	+	torf wysoki /31,4 g/wazon/ + siarka /10 g/wazon/ raised peat /31.4 g per pot/ + sulphur /10 g per pot/	2,3
XII	popiół - ash	2/NPK Mg/	+ +	torf wysoki /31,4 g/wazon/ raised peat /31.4 g per pot/	2,3
XIII	popiół - ash	NPK Mg	+	zielona masa z roślin zbożowych - 80,5 g/wazon green matter of cereal plants - 80.5 g per pot	2,4

cd. tabeli 1

1	2	3	4	5	6
XIV	popiół - ash	NPK Mg	+	zielona masa z motylkowych - 80,5 g/wazon green matter of leguminous plants - 80.5 g per pot	2,4
XV	popiół - ash	NPK Mg	+	gleba lekka /25% objęt./ light soil /25 vol. %/	3,9
XVI	popiół - ash	NPK Mg	+	gips /3,14 g/wazon/ gypsum /3.14 g per pot/	2,4
XVII	popiół - ash	NPK Mg	+	kwas siarkowy jednonormalny /125 ml/wazon/ 1 N sulphuric acid /125 ml per pot/	2,4
XVIII	popiół - ash	NPK Mg	+	80% maksymalnej pojemności wodnej 80% maximum water capacity	2,4
XIX	popiół - ash	NPK Mg	+	silne ugniatanie strong compression	2,4
XX	popiół - ash	NPK Mg	+	warstwa /1 cm/ iłu na powierzchni 1 cm clay layer on surface	2,4
XXI	popiół - ash	NPK Mg	+	torf niski /31,4 g/wazon/ low peat /31.4 g per pot	2,7
XXII	popiół - ash	NPK Mg	+	torf wysoki /31,4 g/wazon/ raised peat /31.4 g per pot/	1,9
XXIII	popiół - ash	NPK Mg	+	zielona masa z roślin zbożowych /322 g/wazon/ green matter of cereal plants /322 g per pot/	2,0
XXIV	popiół - ash	NPK Mg	+	zielona masa z motylkowych /322 g/wazon/ green matter of leguminous plants /322 g per pot/	2,4
XXV	popiół - ash	-	-	torf niski /31,4 g/wazon/ low peat /31.4 g per pot/	3,6
XXVI	popiół - ash	-	-	torf wysoki /31,4 g/wazon/ raised peat /31.4 g per pot	3,6
XXVII	popiół - ash	-	-	25% piasku rzecznego 25% of river sand	5,4

+ - jedna dawka mikroelementów - one dose of minor elements

maksymalnej pojemności kapilarnej. Tylko obiekt XVIII miał wyższą wilgotność (80% maksymalnej kapilarnej pojemności wodnej). W obiekcie XIX popiół był silnie ugniatany.

Okres wegetacyjny gorczycy trwał od 16 sierpnia (wschody) do 14 października 1974 r. (zbiór).

W okresie wschodów temperatura powietrza (tab. 2) była wysoka

Tabela 2

Średnie temperatury i niedosyt wilgotności powietrza w okresie wykonywania doświadczeń wazonowych na Stacji Swojec, VIII - X.1974 r.
Mean air temperatures and air moisture saturation deficits in the period of pot experiments at the Station Swojec, VIII - X.1974

Dekada – Ten-day	Średnia dobowa temperatura powietrza na wysokości 2 m od terenu w °C Mean daily air temperatures at the level of 2m above the surface in °C			Średni dobowy niedosyt wilgotności powietrza w milibarach Mean daily air moisture saturation deficit in millibars		
	miesiące - months					
	VIII	IX	X	VIII	IX	X
1	2	3	4	5	6	7
I	18,3	16,0	7,2	6,7	6,0	2,1
II	20,0	14,6	6,3	6,1	4,7	1,2
III	17,4	9,6	5,3	4,2	2,9	1,4
Średnia miesięczna Monthly mean	18,6	13,4	6,2	5,6	4,5	1,6

(średnia dobowa 26,8 do 20,3°C) przy równocześnie wysokim niedosycie wilgotności (do 11,3 milibarów), co wpłynęło niekorzystnie na wschody gorczycy. Pod koniec września i w październiku temperatura powietrza obniżyła się (średnie dobowe 6,0 do 9,0°C) przy niskim niedosycie wilgotności (0,7 do 3,0 milibarów). W pierwszej dekadzie października wystąpiły przygruntowe przymrozki. Nie miały one wpływu na wegetację gorczycy, gdyż wazony znajdowały się 60 cm nad ziemią pod szkłem hali wegetacyjnej. W obawie przed większymi przymrozkami rośliny ścięto 14 października.

PRZEBIEG DOŚWIADCZENIA WAZONOWEGO

Wschody. Gorczycę zasiano 13 sierpnia po 30 sztuk nasion na wazon, na głębokość 2 cm. Siła kiełkowania nasion wynosiła 98–100%.

Wschody rozpoczęły się w trzy doby po wysiewie, tj. 16 sierpnia (tab. 3). W pierwszym dniu wschodów najwięcej roślin stwierdzono w wazonach, w których nie stosowano nawożenia mineralnego, to jest na popiele z dodatkiem torfu niskiego (obiekt XXV), na popiele z torfem wysokim (obiekt XXVI) i na popiele z dodatkiem piasku rzecznego (obiekt XXVII). W pozostałych obiektach w następnych dwóch dniach

Tabela 3

Dynamika wschodów gorczycy. Średnia z 4 powtórzeń - szt/wazon
White mustard sprouting dynamics. Mean for 4 replications in plants per pot

Nr obiektu Treatment No.	Data oznaczeń - Determination date		
	16.8.1974 /3 dzień/ - /3rd day/	17.8.1974 /4 dzień/ - /4th day/	19.8.1974 6 dzień/ - /6th day/
I	2	22	26
II	0	10	21
III	17	27	28
IV	21	28	28
V	20	27	28
VI	20	28	30
VII	19	28	29
VIII	18	28	28
IX	17	27	26
X	18	27	28
XI	13	28	29
XII	22	28	29
XIII	14	26	27
XIV	17	26	27
XV	15	28	29
XVI	16	28	29
XVII	15	27	29
XVIII	14	26	28
XIX	14	26	28
XX	0	13	21
XXI	9	25	28
XXII	23	24	24
XXIII	4	15	20
XXIV	7	16	20
XXV	28	30	30
XXVI	27	28	28
XXVII	26	28	29

wschody przeważnie się wyrównały, oprócz obiektów II, XX, XXIII i XXIV, gdzie wzeszło zaledwie $^2/_3$ nasion.

W okresie wschodów kiełkujące nasiona zostały wypchnięte na głębokość 0,5 do 1 cm od powierzchni, słabo trzymały się podłoża i przy podlewaniu przewracały się. Trwało to aż do silniejszego ukorzenienia się roślin.

Bezpośrednio po pełnych wschodach w dniu 20 sierpnia wyrównano liczbę roślin we wszystkich wazonach do 20 sztuk (biorąc za podstawę najmniejszą ilość wschodów w doświadczeniu). 2 września zebrano pierwszy, a 11 września — drugi plon kontrolny. Od tego czasu aż do zbioru rosło w wazonach po 8 roślin gorczycy.

Dynamika wzrostu i fazy rozwojowe. Począwszy od 22 sierpnia co około 10 dni mierzono po 4 przeciętne rośliny w wazonie (tab. 4).

Najszybciej rosła gorczyca na popiele z dodatkiem dużej dawki torfu wysokiego przy pełnym nawożeniu mineralnym (obiekt XXII). Również

Tabela 4

Dynamika wzrostu rośliny testowej - Średnie wysokości roślin w cm
Test plant growth dynamics. Mean height of plants in cm

Nr obiektu Treatment No.	Daty pomiarów - Measurement dates					
	22.8.74	1.9.74	11.9.74	23.9.74	4.10.74	14.10.74
I	1,7	11,7	19,2	37,6	57,9	64,5
II	1,1	6,2	7,5	10,6	13,5	14,2
III	2,5	11,2	14,2	17,2	21,3	27,0
IV	2,8	12,3	19,4	35,2	46,8	56,3
V	2,4	6,8	13,2	29,6	44,4	53,1
VI	3,3	11,5	18,8	36,6	41,7	60,1
VII	3,4	12,2	20,6	36,7	52,9	62,7
VIII	3,7	9,1	11,8	19,7	35,0	42,9
IX	3,2	7,7	8,8	18,3	32,0	43,2
X	3,6	12,4	18,9	32,7	49,6	57,6
XI	3,7	10,3	13,4	25,2	39,8	45,7
XII	3,2	9,7	14,2	28,6	47,6	56,4
XIII	2,8	10,8	14,4	28,0	49,0	58,8
XIV	3,4	12,0	17,2	32,0	53,0	62,3
XV	2,7	13,2	19,5	35,3	54,8	62,2
XVI	3,0	11,4	16,4	31,6	46,8	51,7
XVII	2,8	12,0	18,7	30,5	45,0	49,4
XVIII	2,8	12,7	21,0	41,4	57,6	62,2
XIX	2,6	11,8	19,3	36,6	52,2	57,4
XX	1,8	11,9	20,8	39,2	53,8	60,8
XXI	1,9	10,3	18,3	38,8	57,4	63,6
XXII	2,8	20,2	28,8	41,2	59,5	69,7
XXIII	1,2	5,5	8,4	17,4	30,8	37,1
XXIV	1,4	4,6	6,5	11,8	21,7	24,9
XXV	2,9	17,1	25,3	29,8	40,2	49,4
XXVI	3,0	15,7	23,2	30,8	45,9	51,8
XXVII	2,6	15,1	20,0	28,2	46,1	56,4

bardzo intensywny wzrost w początkowym okresie wegetacji stwierdzono na popiele z dodatkiem torfu niskiego i wysokiego bez nawożenia mineralnego (obiekty XXV i XXVI). Jednak rośliny były tu o wiele słabiej ulistnione i mniej zielone. Przy końcu wegetacji wzrost roślin na tych obiektach był słabszy. Podobną dynamiką wzrostu odznaczały się rośliny na popiele z dodatkiem piasku (obiekt XXVII). Bardzo korzyst-

nie na wzrost gorczycy wpłynął dodatek 25% gleby mineralnej lekkiej z pełnym nawożeniem makro- i mikroskładnikami (obiekt XV). Rośliny tego obiektu były silnie ulistnione i intensywnie zielone.

Nawozy zielone w małej dawce (obiekty XIII i XIV) korzystnie wpłynęły na wzrost gorczycy. Te same nawozy w dawce czterokrotnie większej (obiekt XXIII i XXIV) wyraźnie zahamowały wzrost i rozwój roślin.

Na popiele bez dodatków (obiekt III) gorczyca tylko początkowo rosła intensywnie. Po około 2 tygodniach od wschodów zaobserwowano dość gwałtowne zahamowanie wzrostu.

Podwójna dawka nawozów mineralnych (obiekt V, IX i XII) zahamowała wzrost roślin w początkowym okresie. Później na przełomie września i października rośliny rosły lepiej, ale do sprzętu nie osiągnęły wysokości roślin najwyższych.

Dodatek siarki (obiekt VIII i IX) wpłynął zdecydowanie hamująco na wzrost i rozwój gorczycy.

W momencie zbioru (14 października) gorczyca była w różnej fazie rozwojowej, zależnie od wariantu doświadczenia. Przekwitła lub zawiązała łuszczyny na glebie mineralnej (obiekt I), na dużej dawce torfu wysokiego z nawozami (obiekt XXII), na małej dawce torfu wysokiego bez nawozów (obiekt XXVI) i na popiele z piaskiem (obiekt XXVII). W pełni kwitnienia była gorczyca na czystym popiele (obiekt III) i z warstwą iłu (obiekt XX) oraz na torfie niskim bez nawozów mineralnych (obiekt XXV). Zaczynała kwitnąć na popiele z pojedynczą dawką NPKMg (obiekt IV), na popiele z makro- i mikroelementami (obiekt VI), na torfie niskim i wysokim z pojedynczą dawką makro- i mikroskładników (obiekty VII i X), na popiele z glebą mineralną i nawozami (obiekt XV), na popiele przy 80-procentowej maksymalnej pojemności wodnej (obiekt XVIII), na popiele silnie ugniatanym (obiekt XIX) i na dużej dawce torfu niskiego z nawozami (obiekt XXI). Z pozostałych obiektów zebrano gorczycę w fazie wiązania pąków kwiatowych.

ZDROWOTNOŚĆ ROŚLIN

Na wszystkich obiektach bez makroskładników obserwowano wcześniejsze żółknięcie i zasychanie dolnych liści gorczycy (obiekty III, XXV, XXV, XXVII). Liście tych roślin były drobniejsze, jaśniejsze i rzadsze.

W doświadczeniu z dodatkami siarki (obiekt VIII i XX) już od wschodów rośliny chorowały. Łodygi ich miały odcień fioletowy, przy czym barwa ta utrzymała się aż do zbioru. Wzrost tych roślin był wyraźnie zahamowany. Na liściach wystąpiła żółtozielona mazaika, a później ne-

krotyczne plamy. Rośliny z opóźnieniem wiązały pąki kwiatowe — drobniejsze i w mniejszej ilości.

Dodatek nawozów zielonych (obiekty XIII, XIV, XXIII i XXIV) wywołał objawy karłowacenia już w pierwszym okresie rozwoju roślin. Gorczyca rosła tu słabo, była pokurczona, z małymi zmarszczonymi liśćmi. Część roślin zginęła w początkowym okresie wegetacji. Szczególnie ostro objawy te wystąpiły na dużej dawce nawozów zielonych (obiekty XXIII i XXIV), gdzie wschody były najsłabsze, a rośliny bardzo małe. Natomiast na małej dawce nawozów zielonych (obiekty XIII i XIV) po przechorowaniu rośliny rosły dobrze i były silnie ulistnione.

ZUŻYCIE WODY

Okres wegetacyjny trwał 60 dni. W tym czasie zużycie wody na transpirację i parowanie z powierzchni popiołów było dość zróżnicowane (tab. 5).

Największe zużycie wody notowano w wazonach, gdzie utrzymywano 80% maksymalnej kapilarnej pojemności wodnej (obiekt XIII), najniższe zaś na piasku (obiekt II). Brak nawozów mineralnych (obiekt III) lub dodatek siarki (obiekty VIII i XI) powodowały nie tylko spadek zużycia wody, ale i obniżenie plonów. Natomiast dodatek małych dawek nawozów zielonych (obiekty XIII i XIV), a w szczególności zbożowych (obiekt XIII), spowodował obniżenie ewapotranspiracji mimo stosunkowo wysokich plonów gorczycy.

PLONY GORCZYCY

Najwyższe plony gorczycy (tab. 6) uzyskano na kontrolnej glebie mineralnej (obiekt I). Plony z czystego popiołu bez nawożenia (obiekt III) były wyjątkowo niskie. Dodanie już pojedynczej dawki NPKMg (obiekt IV) spowodowało siedmiokrotny wzrost plonów w stosunku do obiektu III. Uzupełnienie makroskładników mikroelementami (obiekt VI) dało dalszy wzrost plonów zielonej masy o około 6%.

Zwiększenie wilgotności popiołu do 80% maksymalnej pojemności kapilarnej (obiekt XVIII) wpłynęło na zwiększenie plonu zielonej masy o około 29% w stosunku do obiektu IV. Na serii wazonów uzupełnianych wyłącznie nawozami mineralnymi najwyższe plony uzyskano przy podwójnej dawce NPKMg (obiekt V), mimo że początkowo rośliny rosły tu słabiej, a przy sprzęcie nie były najwyższe.

Z torfów lepszy okazał się wysoki. Dodatek siarki (obiekty VIII i XI) przy obydwu rodzajach torfu działał niekorzystnie na plony gorczycy. Przy dużych dawkach torfu korzystniej wpływał torf niski (obiekt XXI),

Tabela 5

Zużycie wody w litrach na wazon w okresie wegetacji gorczycy białej
Water use in litres per pot in the white mustard growth period

Nr obiektu - Treatment No.	Woda w litrach - Water in litres
I	9,26
II	3,79
III	6,74
IV	9,28
V	9,04
VI	8,90
VII	9,43
VIII	8,69
IX	8,58
X	9,61
XI	6,98
XII	9,40
XIII	8,69
XIV	9,16
XV	9,76
XVI	9,66
XVII	9,48
XVIII	10,46
XIX	9,70
XX	9,13
XXI	9,50
XXII	9,80
XXIII	6,89
XXIV	6,27
XXV	9,39
XXVI	9,41
XXVII	9,21

przy którym rośliny były bogato ulistnione, a kolor ich intensywnie zielony. Dodatek torfów bez nawożenia mineralnego (obiekt XXV i XXVI) nie zabezpieczał potrzeb roślin.

Korzystniej niż torfy wpłynął dodatek nawozów zielonych w małych dawkach. Plony gorczycy były tu najbardziej zbliżone do plonu uzyskanego z gleby mineralnej. Natomiast duże dawki tych nawozów wpływały ujemnie na plonowanie.

Dodatek gleby lekkiej i nawozów mineralnych (obiekt XV) wpłynął dość wyraźnie na zwyżkę plonów w stosunku do większości wariantów doświadczenia.

Przy dodatku gipsu (obiekt XVI), przy silnym ugnieceniu popiołu

Tabela 6

Plony gorczycy na popiele węgla kamiennego - Średnie z 4 powtórzeń
White mustard yields on hard coal ashes - Means for 4 replications

Nr obiektu Treatment No.	Plon zielonej masy Green matter yield			Plon suchej masy Dry matter yield			Procent suchej masy Dry matter yield
	g/wazon g per pot	stosunek do in relation to: próby kontrolne I control sample I	stosunek do in relation to: próby kontrolne II control sample II	g/wazon g per pot	stosunek do in relation to: próby kontrolne I control sample I	stosunek do in relation to: próby kontrolne II control sample II	
I	239,8	1,00	21,04	35,4	1,00	13,62	14,8
II	11,4	0,05	1,00	2,6	0,07	1,00	22,8
III	20,6	0,09	1,81	4,4	0,13	1,69	21,4
IV	150,6	0,63	13,21	25,7	0,73	9,88	17,0
V	175,9	0,73	15,43	26,3	0,75	10,12	15,0
VI	160,2	0,67	14,05	24,8	0,70	9,54	15,5
VII	169,8	0,71	14,90	29,0	0,82	11,16	17,1
VIII	119,9	0,50	10,52	16,9	0,48	6,50	14,1
IX	125,5	0,53	11,10	15,0	0,42	5,77	11,8
X	179,9	0,75	15,78	28,2	0,80	10,85	15,7
XI	141,9	0,59	12,45	19,2	0,54	7,38	13,5
XII	194,4	0,81	17,06	25,4	0,72	9,77	13,0
XIII	218,9	0,91	19,20	26,7	0,76	10,27	12,2
XIV	230,1	0,96	20,18	27,8	0,79	10,69	12,1
XV	199,4	0,83	17,49	28,6	0,81	11,00	14,3
XVI	171,4	0,71	15,04	23,7	0,67	9,11	13,8
XVII	148,1	0,63	12,99	24,3	0,69	9,35	16,4
XVIII	205,4	0,85	18,02	30,3	0,86	11,65	14,7
XIX	176,4	0,73	15,47	28,8	0,81	11,10	16,3
XX	173,1	0,72	15,18	31,6	0,89	12,15	18,2
XXI	226,5	0,94	19,87	34,8	0,99	13,39	15,4
XXII	131,5	0,55	11,54	27,8	0,78	10,69	21,1
XXIII	104,5	0,44	9,16	12,1	0,34	4,66	11,6
XXIV	46,2	0,19	4,05	4,8	0,14	1,85	10,4
XXV	64,8	0,27	5,68	13,6	0,38	5,23	21,6
XXVI	59,5	0,25	5,22	11,6	0,33	4,46	19,4
XXVII	52,2	0,22	4,58	11,8	0,34	4,54	21,4

(obiekt XIX) i przy pokryciu powierzchni jednocentymetrową warstwą iłu (obiekt XX) plony gorczycy były na poziomie uzyskanym na popiele nawożonym zwiększoną dawką makroelementów.

Zakwaszenie popiołu kwasem siarkowym wpłynęło na obniżkę plonów. Dość ciekawie wypadła kombinacja z dodatkiem piasku rzecznego

do popiołu (obiekt XXVII). W stosunku do czystego popiołu (obiekt III) rośliny były tu wyższe, a ich plon dwukrotnie większy.

Najwyższe plony suchej masy uzyskano na glebie mineralnej (obiekt I). Natomiast na popiele nie nawożonym (obiekt III) plon gorczycy był najniższy. Dodatek nawozów mineralnych w obu dawkach oraz mikroelementów (obiekty IV, V i VI) spowodował około 6-krotny wzrost suchej masy w stosunku do obiektu III. Wysoki plon suchej masy uzyskano na popiele z małymi dawkami torfów (obiekty VII i X) oraz z pojedynczą dawką makro- i mikroelementów (obiekt VI).

W kombinacjach z torfami gorsze rezultaty uzyskano przy dużych dawkach makro- i mikroskładników (obiekt IX), gdzie plon i procent suchej masy były niskie (11,8% w stosunku do zielonej masy gorczycy). Przy dużych dawkach torfu najwyższy plon uzyskano na popiele z torfem niskim (obiekt XXI). Sucha masa stanowiła tu 15,4% masy zielonej gorczycy. Na obiekcie XXII sucha masa gorczycy stanowiła aż 21,1% masy zielonej, przy czym rośliny zawiązały już łuszczyny, miały zdrewniałe łodygi i dużo liści zeschniętych. Podobne wyniki otrzymano na popiołach z torfami bez nawożenia mineralnego (obiekty XXV i XXVI) oraz na popiele z piaskiem (obiekt XXVII), gdzie sucha masa wynosiła około 20% masy świeżych roślin.

Najniższy procent suchej masy gorczycy otrzymano na popiołach z nawozami zielonymi (obiekty XIII, XIV, XXIII, XXIV). Na małej dawce wynosił on 12,1–12,2%, a na dawce dużej zaledwie 11,6% na nawozie zbożowym (obiekt XXIII) i 10,4% na motylkowym (obiekt XXIV).

SKŁAD CHEMICZNY ROŚLIN

Gorczyca rosnąca na samym popiele (obiekt III) zawierała więcej azotu niż rośliny na piasku (tab. 7), ale znacznie mniej niż na glebie (obiekt I). Dodatek makroskładników nieznacznie podwyższył zawartość azotu (obiekt IV). Podwojenie dawki NPKMg (obiekt V) podwyższyło zawartość N do 3,6%. Zastosowanie nawozów zielonych (obiekty XIII i XIV) podwyższyło ilość azotu w roślinach, szczególnie na obiekcie z nawozem z roślin motylkowych. Przy dużej dawce torfu wysokiego (obiekt XXII) nastąpiło obniżenie plonu i zawartości azotu, co tłumaczy się intensywnym rozkładem substancji organicznej, połączonym z wydzielaniem szkodliwych dla roślin produktów w środowisku alkalicznym. Podobne wyniki uzyskano przy dużych dawkach nawozów zielonych (obiekty XXIII i XXIV).

Zawartość fosforu w roślinach gorczycy była w słabszym stopniu zróżnicowana niż zawartość azotu. Świadczyłoby to, że w popiele fosfor nie przechodził w połączenia trudno dostępne dla roślin. Najniższe zawar-

Tabela 7

Zawartość niektórych składników pokarmowych w gorczycy z doświadczenia wazonowego na popiele węgla kamiennego w % suchej masy
Content of some nutrient elements in white mustard plants from the pot experiment on hard coal ashes in % of dry matter

Nr obiektu Treatment No.	N	P_2O_5	K_2O	CaO	Na_2O	MgO	S ogółem Total S
I	6,15	1,36	2,09	2,71	0,57	0,63	-
II	1,91	1,96	3,20	1,87	0,19	1,91	-
III	2,78	0,93	3,64	1,86	0,48	1,71	-
IV	2,96	0,99	4,14	2,01	0,26	2,01	-
V	3,60	0,99	5,31	1,60	0,34	1,68	-
VI	2,55	1,04	4,88	1,79	0,28	1,36	1,08
VII	3,89	0,96	4,56	1,64	0,67	1,51	1,15
VIII	4,15	0,84	3,92	2,18	0,81	2,47	1,04
IX	4,98	1,03	6,64	1,95	0,73	1,89	-
X	2,89	1,00	4,37	1,79	0,39	1,71	0,99
XI	4,14	1,00	5,14	2,08	0,73	2,44	1,06
XII	4,07	1,09	6,22	2,00	0,53	1,87	-
XIII	4,56	0,96	6,23	2,07	0,64	2,27	-
XIV	5,52	1,04	6,43	1,90	0,45	2,27	-
XV	2,91	0,96	4,75	1,79	0,47	1,70	-
XVI	3,61	1,08	4,95	1,90	0,50	1,70	1,13
XVII	2,73	0,93	4,00	1,49	0,37	1,87	0,99
XVIII	2,77	0,94	4,28	1,79	0,45	1,64	-
XIX	2,89	0,97	4,35	1,78	0,47	1,61	-
XX	2,51	0,86	4,27	1,67	0,39	1,66	-
XXI	3,55	0,83	4,14	2,10	0,83	1,51	-
XXII	1,92	0,89	3,00	1,67	0,25	0,91	-
XXIII	5,27	1,02	7,62	2,02	0,50	2,17	-
XXIV	4,17	1,01	5,38	1,51	0,76	2,16	-
XXV	1,81	0,95	3,33	1,83	0,25	1,21	-
XXVI	1,70	0,94	3,40	1,39	0,20	0,98	-
XXVII	1,73	0,95	2,99	1,85	0,22	1,23	-

tości tego składnika były w kombinacjach z torfem niskim i siarką (obiekt VII) oraz z dużą dawką torfu niskiego (obiekt XXI) i wysokiego (obiekt XXII).

We wszystkich kombinacjach rośliny zawierały duże ilości potasu,

znacznie wyższe niż rośliny z gleby i piasku rzecznego. Na samym popiele (obiekt III) rośliny zawierały 3,6% K_2O, natomiast rośliny z różnych wariantów nawozowych wykazywały o wiele większą zawartość, przekraczając nawet 7% w kombinacjach z wysoką dawką nawozów zielonych zbożowych (obiekt XXIII). Wyższe zawartości K_2O obserwowano w kombinacjach z dodatkami organicznymi z wyłączeniem torfu wysokiego.

Niska zawartość CaO w gorczycy świadczy, że jego głównym źródłem był wapń dodany w nawozach. Zdecydowanego zróżnicowania w zawartości CaO nie stwierdzono, gdyż wszystkie kombinacje zebrane były na zielono.

Najwyższą ilość sodu (0,83 i 0,82% Na_2O) zawierały rośliny z kombinacji z dodatkiem torfu niskiego przy nawożeniu makro- i mikrcelementami (obiekty XXI i VIII). Niższa zawartość sodu w roślinach wiąże się z reguły z niższą zawartością azotu; świadczy to o tym, że przy słabszym pobieraniu azotu rośliny pobierały mniej sodu.

Najwyższymi zawartościami magnezu (powyżej 2% MgO) charakteryzowały się rośliny z wariantów z nawożeniem mineralnym, a także z dodatkami torfów, siarki i nawozów zielonych. Świadczy to o tym, że dodatek substancji organicznej znacznie ułatwiał pobieranie magnezu. W przypadku torfu dodatek siarki miał duży wpływ na zwiększenie magnezu w roślinach. W kombinacjach z torfem bez siarki zawartość Mg była znacznie niższa.

Rośliny z badanych kombinacji zawierały duże ilości siarki (0,99 do 1,15%). Nie stwierdzono wpływu dodatku siarki czystej, kwasu siarkowego i gipsu na ogólną zawartość siarki w roślinach.

WNIOSKI

Uzyskane wyniki z przeprowadzonych wstępnych badań pozwalają na sformułowanie następujących wniosków.

1. Produkcyjność popiołów pochodzących ze spalania energetycznych węgli z zagłębia górnośląskiego jest bardzo niska. Plony zielonej masy gorczycy uzyskane na popiele z elektrowni Halemba były prawie 13-krotnie niższe od plonów uzyskanych na nawożonej lekkiej glebie mineralnej.

2. Z porównywanych wariantów doświadczenia najwyższe plony gorczycy uzyskano po zastosowaniu makro- i mikroskładników mineralnych oraz nawozów zielonych (w szczególności pochodzących z roślin motylkowych) zastosowanych w ilości odpowiadającej w przeliczeniu 25 tonom na hektar oraz torfu niskiego — 100 ton/ha.

3. Zastosowanie tylko podstawowych makroskładników mineralnych

wpływało w istotnym stopniu na wzrost plonów gorczycy. Decydujące znaczenie miał azot, fosfor, potas. Mikroelementy nie miały wyraźnego znaczenia.

4. Większe dawki NPK w początkowym okresie wegetacji wpływały hamująco na wzrost gorczycy, prawdopodobnie wskutek zwiększenia koncentracji roztworu glebowego. Zastosowanie 10 ton/ha torfu wysokiego niwelowało to niekorzystne zjawisko.

5. Zwiększenie wilgotności popiołu z 70 na 80% maksymalnej kapilarnej pojemności wodnej istotnie zwiększyło efektywność nawożenia mineralnego.

6. Zastosowane nawozy mineralne fizjologicznie zasadowe działały w popiele z Halemby podobnie jak nawozy fizjologicznie kwaśne.

7. Wyraźnie szkodliwie wpłynęło na wzrost, zdrowotność i wysokość plonu nawożenie siarką w każdej postaci.

8. Bardzo wysokie dawki nawozów zielonych lub torfu wysokiego wpływały ujemnie na wzrost i plonowanie roślin.

9. W składzie chemicznym gorczycy we wszystkich kombinacjach doświadczenia stwierdzono dużą ilość potasu, a na kombinacjach popiołu z nawożeniem makro- i mikroelementami oraz dodatkiem torfu, siarki i nawozów zielonych również dość dużą zawartość magnezu.

LITERATURA

[1] Barber E. G.: Win back the acres. The treatment and cultivation of PFA sulfaces. London, Central Elektrificity Generating Board, 1972.

[2] Dębowski J.: Biologiczne metody ochrony przed pyleniem i rekultywacją składowisk popiołów paleniskowych. Składowanie i zagospodarowanie odpadów energetycznych i hutniczych. Wyd. geolog. 1973, 261–274.

[3] Hryncewicz Z., Balicka N., Giedrojć B., Małysowa E.: Badania nad utrwaleniem i zagospodarowaniem hałdy popiołowej w elektrowni Halemba. W: XIX Ogólnopolski Zjazd Naukowy PTG. Komunikaty. Wyd. PTG Puławy, 1972, 452–460.

[4] Maly V.: Volba schodnych travin pro czeleneni zlozist elektraren. Ochranarsky pruzkum. nr 10/1973 (Prilocha cosopisu Ochrana prirody), s. 37–40.

[5] Materiały sympozjum "Fly Ash Utilization", Pittsburgh 1970. Wyd. US Department of the Interior, Bureau of Mines, Pittsburgh 1967, 345 s.

[6] Materiały II Sympozjum „Ash Utilization , Pittsburgh 1970. Wyd. US Department od the Interior, Ptitsburgh Pa. 1970, 351 s.

[7] Third International Ash Utilization. Sympozjum, Pittsburgh 1973, Wyd. US Department of the Interior, Pittsburgh 1973, 317 s.

[8] Wagner E.: Die Wiedernutzbarmachung von Aschehelden und Absetzanlagen der Warmekraftwerken. Neue Bergbautechnik nr 1/1974, s. 30–34.

[9] Wysocki W.: Reclamation of coal-fired power plant ash piles. Sympozjum polsko-amerykańskie w Denver Co. USA, 1975 (w druku).

[10] Wysocki W.: Test biologiczny w ocenie przydatności rekultywacyjnej gruntów. Górnictwo Odkrywkowe nr 7, 19/73, 259–262.

[11] Wysocki W.: Właściwości fizyczno-chemiczne i biologiczne popiołów z Rybnickiego Okręgu Węglowego. W: „Składowanie i zagospodarowanie odpadów energetycznych i hutniczych". Sympozjum, Częstochowa 1973, Wyd. geolog. 1973, 83–92.

[12] Żak M.: Sposoby przeciwdziałania wtórnemu pyleniu i przyspieszenia rekultywacji biologicznej składowisk odpadów paleniskowych. W: „Składowanie i zagospodarowanie odpadów energetycznych i hutniczych". Sympozjum, Częstochowa 1973. Wyd. geolog. 1973, 275–282.

Р. КРЕНЖЕЛЬ, Я. БОРКОВСКИ, В. НОВАК, В. ВЫСОЦКИ

ИЗУЧЕНИЕ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОЙ ПРИГОДНОСТИ КАМЕННО-УГОЛЬНОЙ ЗОЛЫ

Сельскохозяйственная академия во Вроцлаве

Резюме

В области работ по рекультивированию отвалов каменноугольной золы проведена была серия вегетационных опытов. Цель этих исследований заключалась в установлении влияния удобрений, а также нейтрализирующих веществ и добавок изменяющих состав и свойства золы, на развитие исследуемого растения, которыми была белая горчица (*Sinapsis alba* L.).

Урожаи белой горчицы полученные на золе были около 13 раз ниже чем урожаи получаемые на удобренной легкой почве.

Внесение только минеральных удобрений (NPK) в золу положительно повлияло на рост и урожай белой горчицы. Повышение влажности золы с 70 на 80% максимальной капилярной влагоемости отчетливо повысило эффактивность минеральных удобрений.

Самые благоприятные условия для плодоношения горчицы были получены в варианте, где золу удобряли макро- и микроэлементами с прибавкой зеленых удобрений и низового торфа. Однако очень высокие дозы зеленого удобрения или верхового (олиготорфного) торфа отрицательно повлияли на рост и урожай белой горчицы. Отмечено тоже отрицательное влияние удобрения серой.

В химическом составе горчицы всех удобрительных вариантов опыта обнаружено высокое количество калия, а в вариантах золы с внесением макро- и микроэлементов и с прибавкой торфа, серы и зеленых удобрений также довольно высокое содержание магния.

R. KRĘŻEL, J. BORKOWSKI, W. NOWAK, W. WYSOCKI

INVESTIGATIONS ON AGRICULTURAL USEFULNESS OF ASHES FROM HARD COAL COMBUSTION

Agricultural University of Wrocław

Summary

In the investigations on recultivation of ash dumps from hard coal combustion a series of pot experiments was carried out. The aim of the investigations was to determine the effect of fertilization as well as of neutralizing substances and additives changing the composition and properties of the ashes on white mustard (*Sinapis alba L.*) as a test plant.

The white mustard yields on ashes were by about 13 times lower than those obtained on the fertilized light soil.

The mineral fertilization (NPK) alone of the ashes affected favourably the growth and yields of white mustard. An increase of moisture of the ashes from 70 to 80% of maximum capillary water capacity resulted in a distinct growth of the mineral fertilization effectiveness. However, the best results in the white mustard cultivation were obtained in the treatment where the ashes were fertilized with major and minor elements at an addition of green manure and low peat.

On the other hand, very high green manure or raised peat rates affected unfavourably the growth and yielding of white mustard. A negative effect of the fertlization with sulphur was observed as well.

In the chemical composition of white mustard in all experiment treatments high potassium amounts and in treatments of the ash fertilization with major and minor elements and with the peat, sulphur and green manure addition also high magnesium amounts were found.

Doc. dr hab. Roman Krężel
Akademia Rolnicza we Wrocławiu
Wrocław, ul. Norwida 25