

시설재배논에서 석탄회, 석고, 패각시용이 토양화학성과 배추의 생육에 미치는 영향

하호성, 강위금¹⁾, 이협, 이용복
경상대학교 농화학과, ¹⁾농촌진흥청 영남농업시험장

Effects of Fly Ash, Gypsum, and Shell on the Chemical Properties of Soil and Growth of Chinese Cabbage in Plastic Film Housed Paddy

Ho-Sung Ha, Ui-Gum Kang¹⁾, Hyub Lee, Yong-Bok Lee(Dept. of Agricultural Chemistry, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea ; ¹⁾National Yeongnam Agricultural Experiment Station, RDA, Milyang 627-130, Korea)

Abstract : In order to evaluate the utility of bituminous coal fly ash, gypsum, oyster shell as soil amendments, acidic clay-loam paddy soils with low calcium content were amended in the upper 15cm with amendments, and then chinese cabbage was cultivated under plastic film house. Amendments treated were, in metric tons per hectare, i) none(Check) ; ii) 80 fly ash(FA) ; iii) 4 shell(SH) ; iv) 56 fly ash + 24 gypsum(FG) ; v) 40 fly ash + 24 gypsum + 0.8 shell(FGS). On the whole, soil chemical properties were improved by amendments treatments. Amongst treatments, FA prominently neutralized soil pH and increased contents of Av. P₂O₅, Ex. K, and Av. B in soils. Besides, it showed the highest ratio in bacteria/fungi and (bacteria+actinomycetes)/fungi. FGS also affected the neutralization of soil pH and the increment of Ex. Mg. Amendments plants appeared alkaline damages only at early growing stage, but showed positive responses in fresh weight yields : 23% for FGS ; 21% for FG ; 19% for FA ; 18% for SH. At harvesting, leaves both of FA and FGS plants had higher values in contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, B, reducing-sugar, and vitamin-C than of others. In especial, Check plants appeared the heart rot symptoms owing to calcium deficiency differently from amendments plants. Taken together, FGS was an effective combination enable to maximize the utility of fly ash, gypsum, shell as soil amendments, especially in cabbage yield and quality.

Key words : Fly ash, Gypsum, Shell, Amendments, Paddy, Chinese cabbage.

서론

석탄회(Fly ash)와 석고, 패각은 작물의 필수원소를 다량 함유하면서 토양내 고정양분을 가용화시켜 주므로 이들을 토양개량제로 활용하려는 연구가 활발히 이루어졌다¹⁻⁶⁾. 석탄회는 화력발전소에서 부산물로 생성되는 알칼리성 미분탄으로 2000년도에는 국내에서 500만톤 정도 생성될 것으로 예상된다⁷⁾. 석탄회 중에는 Si와 Al이 80% 이상을 차지하지만 작물생육에 바람직한 P₂O₅, K, Ca, S, B 등도 상당량 함유되어 있어 작물증수에 대한 석탄회의 시용효과가 많이 확인되었다^{1,3,8,9)}. 그러나 석탄회는 종류에 따라서 농작물에 붕소독성피해를 유발하기도 하며^{10,11)}, 연용할 경우에는 유해 중금속의 토양축적 가능성이 높은 것으로 알려져¹²⁾ 있어 석탄회의 사용에 주의가 요망된다. 석고는 비료공정의 부산물로서 연간 220만톤 이상 생산되며 간척지나 염기포화도가 높은 알칼리토양의 개량효과가 기대된다. 또한 석고중의 유황은 유탄질에서의 작물의 단백질 대사와 상품성향상에 바람직한 역할을 하는 것으로 알려졌다¹³⁾. 패각은 굴을 수확할 때 얻어지며 생굴량의 9배 가량이 생성된다. 그리고 패각은 칼슘함량이 높아 산성토양의

개량효과가 우수함에도¹⁴⁾ 불구하고 대부분이 대량으로 매립 또는 야적방치되고 있어 환경오염을 가중시키고 있는 상황이다¹⁵⁾.

그러므로 본 시험에서는 토양개량제로서 석탄회, 석고, 패각의 효율적인 활용방안을 모색코자 칼슘함량이 낮은 토양에서 배추재배시 이들의 단용 및 혼용효과를 검토하였다.

재료 및 방법

시험재료

본시험에 사용된 토양개량제는 석탄회와 석고, 패각이며, 이들의 화학적 특성은 Table 1과 같았다. 석탄회는 삼천포 화력발전소에서 배출되는 유연탄회로서 pH가 높고 인산과 붕소, 구리, 아연 등을 많이 함유하였다. 석고는 진해화학(주)의 비료 제조과정에 배출되는 부산물로 pH가 3.9로 매우 낮은 특징을 보였다. 패각은 남해안 굴 양식장 주변에서 수집하여 60메쉬(mesh)로 분말화 한 것으로 pH가 9.5이었으며 석회와 마그네슘을 다량 함유하였다. 시험토양은 경남 밀양시 하남읍에 위치한 식양질 논토양으로 유기물과 붕소함량은 보통수준이었으나 pH를 비롯한

Table 1. Chemical properties of industrial by-products as soil amendments used for experiment*

Amend-ments	pH	P ₂ O ₅	(mg/kg)					(g/kg)				
			CaO	MgO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	ZnO	Cu	Pb	B ₂ O ₃	Cd
Fly ash	9.9	19.5	4.5	1.6	0.8	5.4	91.5	55.9	9.9	19.5	152.0	nd ^b
Gypsum	3.9	3.5	97.4	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Shell	9.5	0.75	258.5	2.2	0.9	0.7	nd	nd	nd	nd	nd	nd

* Data were from amendments solublized by 0.5N HCl.

^b Not detected.

Table 2. Properties of soils used for experiment

Soils	pH		O.M. (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.-cations(cmol+/kg)			Fe	Mn	Zn	B	Texture
	H ₂ O	N-KCl			K	Ca	Mg					
Top	5.2	4.6	38.0	87.9	1.11	2.40	1.35	166.8	20.3	1.66	0.50	Clay Loam
Sub	5.0	4.9	27.0	66.0	0.56	2.60	1.49	202.6	21.2	4.82	0.38	

인산과 치환성양이온 함량은 적정치 보다 낮은 다소 척박한 토양이었다(Table 2). 그리고, 재배된 배추의 품종은 흥농황색배추였다.

배추 재배

배추는 정식하기 2주전에 대조구와 함께 개량제 시용구로서 석탄회 80톤/ha, 폐각 4톤/ha, 석탄회 56톤/ha(석탄회 단용구의 70%)+석고 24톤/ha, 석탄회 40톤/ha(석탄회 단용구의 50%)+석고 24톤/ha+폐각 0.8톤/ha(폐각 단용구의 20%)구로 구분하여 총 5처리를 3반복 난괴법으로 두어서 재배하였다. 3요소 비료는 배추의 정식 하루전에 질소와 인산(P₂O₅), 칼리(K₂O)를 310, 170, 270kg/ha 수준으로 시비하였다. 재식밀도는 30,000주/ha로 하였고 기타 재배법은 농가의 하우스배추 관행재배법에 준하였다. 시험토양에서의 배추 재배기간은 1995년 2월 27일부터 동년 5월 2일까지였다.

토양 및 식물체 분석

시험된 토양과 배추의 지상부식물체 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법¹⁶⁾에 준하였다. 특히, 토양붕소는 열수침출법으로, 식물체의 환원당은 Somogyi법, 비타민-C는 Hydrazin 비색법으로 분석하였다. 토양미생물상은 세균과 방선균의 경우 agar albumin배지에서, 사상균은 rose bengal배지에서 최확치법으로 각각 분석하였다. 기타 생육조사는 농촌진흥청 농사시험연구조사기준¹⁷⁾에 준하였다.

결과 및 고찰

토양화학성 및 미생물상 변화

표토의 화학성은 Table 3과 같이 처리된 개량제의 화학성에 많은 영향을 받은 경향이였다. pH(1:5 H₂O)는 대조구의 경우 5.0 안팎의 수준이었으나, 석탄회+석고 혼용구를 제외한 모든 개량제 시용구에서는 배추의 전재배기간에 걸쳐 6.0 이상을 보였다. 그리고 수확기 토양의 N-KCl pH는 석탄회 단용구와 석탄회+석고+폐각 혼용구에서만 6.0수준을 보였고 분해가 느린¹⁸⁾ 폐각 단용구와 황산기가 함유된 석탄회+석고 혼용구에서는 대조구와 비슷하게 낮은 경향이였다. 유효인산은 전반적으로 인산함량이 적었던(Table 1참조) 폐각의 단용구와 산도교정력이 낮으면서 석회용출량이 많은

(Table 3참조) 석탄회+석고 혼용구에서 적정치 200 mg/kg 보다 낮았으나 석탄회 단용구와 석탄회+석고+폐각의 혼용구에서는 산도교정효과와 함께 인이 다량 공급된 까닭으로 농경지 적정치를 크게 상회하였다. 배추의 생육시기별로는 대조구와 폐각 단용구, 석탄회+석고+폐각 혼용구에서는 생육 후기로 갈수록 높은 인산함량을 보였으나, 석탄회 단용구와 석탄회+석고 혼용구에서는 생육초기에 더 높았다.

치환성 칼슘은 대조구에서는 적정치 5~7cmol⁺/kg의 40% 수준인 2.1~2.8cmol⁺/kg에 불과하였으나 개량제 시용구에서는 적정치의 3배 수준인 15cmol⁺/kg이상의 성적을 보였다. 특히, 석탄회+석고 또는 석탄회+석고+폐각 혼용구 토양에서는 22cmol⁺/kg이상의 높은 칼슘함량을 보였는데, 이는 Table 1에서 나타난 바와 같이 개량제 자체중에 칼슘이 다량 함유되었기 때문이었다. 그리고 석탄회+석고 혼용구에서는 다른 처리구와 달리 배추 수확기에 칼슘의 증가량이 많았다.

열수 침출법으로 분석된 유효붕소는 대조구에서는 0.5mg/kg의 붕소함량을 보였고 석탄회+석고+폐각 혼용구에서는 수확기까지 줄곧 5mg/kg내외의 높은 성적을 보였다. 석탄회 단용구는 배추의 생육초기에 2.5mg/kg의 낮은 붕소량을 보였으나 중기 이후에는 6.8mg/kg으로 증가되어 시험구 중에서 가장 높은 값을 나타내었다. 그리고 붕소함량이 높은 석탄회를 시용했을지라도 석고의 혼용에 의하여 표토의 pH가 6.0이하로 감소된 석탄회+석고 혼용구에서는 석탄회 단용 및 석탄회+석고+폐각 혼용구 성적의 절반정도에 불과하였다.

그리고 석탄회 단용구에서는 치환성 칼리의 증가와 아연의 감소가 가장 돋보였고 석탄회+석고+폐각의 혼용구에서는 마그네슘의 증가와 철, 망간의 감소가 돋보였다.

한편, 배추수확기에 분석된 심토의 화학성은 Table 4와 같았는데, pH(1:5H₂O)의 경우 개량제 시용에 의해서 증가되긴 했으나 표토에서처럼 처리간에 큰 차이를 보이지는 않았다. 그리고 인산을 비롯한 석회와 고토 등은 표토에서의 처리간 성적경향과 유사한 결과를 보였다. 특히, 칼리함량의 증가에 있어서 개량제 시용효과는 표토(Table 3참조)에서 보다 심토에서 더 뚜렷하였다. 붕소는 또 배추 생육시기별 표토성적(Table 3)과 비교해 볼 때 석탄회+석고+폐각 혼용구에서의 후기용탈이 심한 경향임을 알 수 있었다.

Table 3. Chemical properties of top-soil according to treatments

Treatments	Sam- ples ^a	pH		O.M. (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.-cations(cmol/kg)			Fe	Mn	Zn (mg/kg)	B
		H ₂ O	N-KCl			K	Ca	Mg				
None	1st	5.1	4.4	39.0	101.0	0.64	2.10	1.00	423.1	30.5	4.91	0.51
	2nd	4.9	4.3	24.0	105.1	0.63	2.72	1.30	591.2	66.5	5.23	0.50
	3rd	5.3	4.3	25.0	128.2	0.72	2.78	1.37	398.5	46.9	5.24	0.52
Fly ash	1st	6.6	6.0	46.0	394.0	0.92	15.2	5.31	208.8	23.2	4.33	2.50
	2nd	6.5	6.0	39.0	339.2	0.88	13.2	3.48	209.5	41.6	3.40	6.78
	3rd	6.7	6.0	38.0	344.6	0.92	17.8	3.52	198.6	40.7	3.24	6.76
Shell	1st	6.7	6.1	39.0	137.0	0.78	18.9	4.10	225.4	21.7	3.99	0.90
	2nd	6.2	5.8	25.0	165.3	0.76	17.7	4.21	519.3	42.5	4.23	0.58
	3rd	5.9	4.5	28.0	174.5	0.78	18.3	4.51	295.4	40.5	4.20	0.59
Fly ash + Gypsum	1st	5.3	4.3	46.0	293.0	0.88	22.2	4.51	270.5	29.3	5.57	1.04
	2nd	5.2	4.9	32.0	224.0	0.69	39.9	3.70	381.2	48.6	4.75	2.64
	3rd	5.8	4.4	32.0	172.6	0.78	42.6	4.92	365.7	44.8	4.65	2.55
Fly ash + Gypsum + Shell	1st	6.6	5.9	49.0	311.0	0.73	26.9	6.11	196.5	19.7	3.98	5.00
	2nd	6.3	5.9	34.0	302.5	0.72	23.9	4.54	217.6	40.8	3.99	5.15
	3rd	6.8	6.1	34.0	358.7	0.87	25.8	3.85	192.6	37.8	3.79	5.12

^a 1st, 24days after transplanting ; 2nd, 47days after transplanting ; 3rd, 62days after transplanting.

Table 4. Chemical properties of sub-soil after harvesting the chinese cabbage

Treatments	pH (1:5H ₂ O)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex.-cations(cmol/kg)			B (mg/kg)
			K	Ca	Mg	
None	5.1	110.3	0.43	1.75	1.18	0.69
Fly ash	6.2	312.8	0.69	10.4	3.45	1.93
Shell	5.5	132.4	0.58	13.5	3.83	0.92
Fly ash + Gypsum	5.5	215.7	0.62	33.3	4.48	1.89
Fly ash + Gypsum + Shell	6.1	289.5	0.75	25.2	3.56	3.45

수확기 토양의 미생물상은 Table 5와 같이 세균과 방선균, 진균 모두 개량제를 사용하므로써 증가되었다. 이 가운데 세균과 방선균의 밀도는 석탄회 단용구에서 가장 많았고 다음으로 석탄회+석고+패각 혼용구에서 많았다. 사상균은 석탄회+석고+패각구 > 석탄회+석고구 > 패각구 > 석탄회구 순으로 많은 분포를 보여 석고를 첨가한 구에서 뚜렷이 증가하였음을 알 수 있었다. 그 결과, 토양의 전전성과 관련된¹⁸⁾ 세균수/진균수 또는 (세균수+방선균수)/진균수 비는 석탄회 단용구에서만 대조구 보다 높게 나타났다.

식물 생육

개량제 시용에 따른 배추생육은 Table 6과 같았다. 생육초기인 정식 24일째는 pH가 높았던(Table 3참조) 패각 단용구와 석탄회 단용구의 배추가 다소 불량한 경향이었으나 석고가 첨가된 석탄회+석고 혼용구와 석탄회+석고+패각 혼용구에서는 개량제를 사용하지 않은 대조구보다 양호하였다. 그러나 정식 47일째인 생육중기 이후부터는 개량제를 시용한 모든 구에서 대조구보다 양호한 생육을 보이면서 정식 62일째인 수확기의 배추수량이 대조구 수량(135.3t/ha) 대비 18~23% 가량 더 많았다. 처리별로는 영양분이 고르게 공급된 석탄회+석고+패각 혼용구가 23%

Table 5. Populations of microorganisms in soils after harvesting the chinese cabbage

Treatments	Bacteria (A)	Actinomycetes (B)	Fungi (C)	A/C	(A+B)/C
None	2,040	1,120	33	61.8	95.8
Fly ash	3,260	4,140	45	72.4	164.4
Shell	2,540	2,190	50	50.8	94.6
Fly ash + Gypsum	2,110	2,770	530	4.0	9.2
Fly ash + Gypsum + Shell	3,040	3,330	970	3.1	6.6

Table 6. Yields of chinese cabbage at different growth stages

Treatments	Early(24DAT) ^a	Middle(47DAT)	Harvesting(62DAT)
	Fresh weight(ton/ha)		
None	19.1	56.8	135.3(100.0)
Fly ash	17.4	63.2	161.0(119.0)
Shell	15.2	61.2	159.9(118.2)
Fly ash + Gypsum	19.6	62.7	163.5(120.8)
Fly ash + Gypsum + Shell	22.8	73.1	167.0(123.4)
LSD(0.05)	02.6	3.0	13.4

^a Days after transplanting

중수효과를 보이면서 최고수량을 나타내었고, 다음으로 석탄회+석고 혼용구(21% 증수) > 석탄회 단용구(19% 증수) > 패각 단용구(18% 증수) 순이었다.

Table 7. Contents of minerals, reducing-sugar, and vitamin-C in the leaves of chinese cabbage according to treatments

Treatments	Samples ^a	N	P	K (g/kg)	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn (mg/kg)	B	Reducingsugar	Vitamin-C (mg/100g)
None	1st	39.2	5.1	42.4	29.4	2.6	1,214	23.6	17.2	42.8	na ^b	na
	2nd	32.1	7.2	38.7	12.0	4.0	1,206	25.4	18.6	43.2	na	na
	3rd	28.1	7.5	27.6	8.0	3.7	1,220	27.9	33.1	49.8	1.52	82.6
Fly ash	1st	38.2	5.4	46.6	33.4	3.3	1,114	18.7	15.9	62.5	na	na
	2nd	37.6	8.3	40.1	13.4	5.2	2,647	36.7	21.3	55.4	na	na
	3rd	33.2	9.3	32.5	13.1	6.8	3,754	61.8	41.6	66.1	1.58	90.7
Shell	1st	37.4	5.0	45.7	32.6	3.1	1,036	20.3	14.6	52.7	na	na
	2nd	36.5	7.3	38.6	12.3	4.3	1,436	27.9	19.7	48.6	na	na
	3rd	31.7	8.4	31.8	12.9	5.5	2,427	28.9	33.1	49.8	1.53	86.4
Fly ash + Gypsum	1st	39.8	5.8	48.8	33.7	3.6	1,583	26.5	19.2	68.1	na	na
	2nd	36.6	7.5	39.3	12.6	4.9	1,786	29.5	23.6	52.3	na	na
	3rd	29.2	8.0	31.7	10.3	3.9	2,544	37.8	37.5	54.6	1.57	88.7
Fly ash + Gypsum + Shell	1st	39.9	6.0	50.8	33.1	3.5	1,456	24.3	19.6	68.4	na	na
	2nd	35.7	7.7	39.1	12.4	5.2	1,841	30.6	22.4	53.7	na	na
	3rd	31.4	8.4	31.8	13.8	6.8	2,670	44.1	33.5	56.0	1.58	88.2

^a1st, 24days after transplanting ; 2nd, 47days after transplanting ; 3rd, 62days after transplanting.

^b not analyzed.

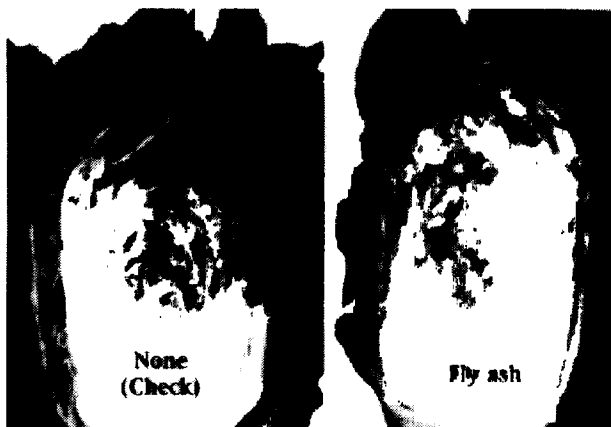


Fig. 1. Growth status of chinese cabbage depending on the application of fly ash. (Pictures show a heart rot symptom for Check plant ; normal growth for Fly ash plant)

식물체 무기성분과 환원당, 비타민 C 함량

배추의 생육시기별 식물체내 무기성분과 환원당, 비타민 C의 함량은 Table 7과 같았다. 전반적으로 질소와 칼륨, 칼슘은 생육초기에 높았고 인과 마그네슘, 철, 망간, 아연은 생육후기에 높았으며 붕소는 뚜렷한 흡수변화 경향이 없었다. 또 개량제를 사용하므로써 식물체내 질소, 인, 칼리, 칼슘, 마그네슘, 철, 망간, 아연, 붕소, 환원당과 비타민 C의 함량이 높아지는 경향이였으며 개량제 사용구 중에서는 특히 석탄회 단용구에서 높은 편이었다. 그리고, 석탄회와 석고 및 폐각을 혼용한 구에서는 식물체내 인과 철, 망간, 붕소, 환원당 등이 석탄회 단용구 다음으로 높았다. 배추의 품질과 관련되는 환원당과 비타민 C 함량에 있어서 개량제 사용효과는 또 환원당 보다 비타민 C에서 더 크게 나타났다. 일반적으로 배추의 무기성분 함량은 질소(N) 25~39g/kg, 인(P) 2~4g/kg, 칼리(K) 18~28g/kg, 칼슘(Ca) 15~30g/kg, 마그네슘(Mg) 4~5g/kg, 붕소(B) 20~50mg/kg 수준인데, 이에 비하면 질소와 마그네슘, 붕소는 대체로 비슷

한 범위에 속하였고 인과 칼리는 많았으나 칼슘은 적은 편이었다. 특히 칼슘의 경우, 개량제를 사용하지 않은 대조구의 배추에는 8g/kg정도 함유되었지만 개량제 사용구에서는 10.3(석탄회+석고)~13.8g/kg(석탄회+석고+폐각) 이상 함유되어 개량제 사용여부간에 많은 차이를 보였다. 그 결과, 개량제 무시용 구의 배추는 Fig. 1에서 처럼 칼슘결핍에 의한 심부병을 보였으나¹⁹⁾ 개량제 사용구에서는 양호한 생육을 나타내었다. 그리고 인은 처리간 토양성적(Table 3 참조)의 차이만큼 배추체내에서의 함량차이를 보이지 않았다. 이와 같이 비옥도가 다소 불량한 식양질 논에서의 석탄회, 석고, 폐각 사용효과는 토양개량에 의한 배추의 수량증대로 나타났음을 알 수 있었다. 시험된 개량제 중에서 석탄회는 특히, 토양화학적성과 미생물상의 개선 그리고 배추의 환원당과 비타민 C 증가에 효과를 보였으나 이 보다 석고, 폐각과 함께 혼용처리했을 때 배추증수에 더 효과적이었다. 일반적으로 농경지에서의 석탄회 사용효과는 석탄회에 함유된 K, Ca, Mg, P₂O₅, S 등의 필수원소에 기인하는 것으로 알려져 있으며^{15,6)} 석탄회 종류별로 유연탄이 무연탄 보다 효과가 큰 경향이이다²⁰⁾. 물론 본 시험에서와 같이 토양반응이 낮고 척박한 시험지에서의 양분함량 증가가 석탄회 사용구에서 뚜렷하였던 것은 석탄회 사용으로 토양 pH가 상승되어 고정양분의 가용화를 촉진시킨 결과로도 볼 수 있었다. 김 등²⁰⁾은 벼 재배논에서의 유연탄회 사용으로 유효인산 및 칼리의 증가를 확인하였는데, 석탄회사용은 치환성 칼리를 증가 시킴으로써 토양의 염기비 조절에도 효과적인 것으로 믿어졌다. 석탄회는 또 다량사용했을 때 붕소독성 피해가 우려되는 것으로 보고되었다^{10,11,21)}. 본 시험지에서는 붕소함량이 Hollis et al.²²⁾이 보고한 붕소피해 한계농도 20mg/kg보다 훨씬 낮은 6.8mg/kg 이하였기 때문에 붕소과다 피해가 발생되지 않았고 정식 24일째의 배추에서 알카리피해만이 부분적으로 확인되었다. 이처럼 석탄회 사용구에서 붕소피해가 없었던 것은 석탄회 원재의 원산지 영향때문이었다²³⁾. 그리고, 본 시험에서는 토양 중의 철, 망간, 아연함량이 석탄회를 사용하므로써 감소되었는데, 이는 김 등²⁰⁾의 보고와 반대

되는 경향이였다.

이상의 결과로 볼 때 석탄회, 석고, 폐각 중에서 석탄회는 단용하여도 토양개량제로서의 효과가 컸지만 이 보다 석고, 폐각 등과 적당량 혼용하는 것이 석탄회 시용량을 다소 줄이면서 석고, 폐각 중의 유험과 칼슘을 더 보충할 수 있어 토양개량 및 작물증수에 효과적임을 알 수 있었다.

요 약

토양반응이 산성이고 칼슘함량이 낮은 식양질 논에서 토양개량제인 석탄회와 석고, 폐각을 석탄회80, 폐각4, 석탄회56+석고24, 석탄회40+석고24+폐각0.8톤/ha 시용하여 시설 봄배추를 재배했을 때, 이들의 토양개량 및 작물증수 효과를 검토하였다. 전반적으로 석탄회, 석고, 폐각 시용은 토양화학성을 개선하였다. 개량제 중 석탄회 단용구에서는 토양의 산도중화능이 우수하였고 유효인산과 치환성 칼리 및 붕소의 증가와 아연의 감소가 뚜렷하였다. 석탄회+석고+폐각 혼용구에서는 토양산도의 중화와 함께 마그네슘의 증가와 철, 망간의 감소가 뚜렷하였다. 배추 수확기 토양에서의 세균수/진균수와 (세균수+방선균수)/진균수 비는 석탄회 단용구에서 가장 높았다. 그리고, 개량제시용에 따른 배추의 생육은 초기에만 알카리장해로 부진하였고 중기 이후에는 대조구와 달리 칼슘결핍 없이 증수된 경향이였다. 처리별 증수효과는 대조구 수량 135.3t/ha을 기준으로 석탄회+석고+폐각 혼용구에서 23%, 석탄회+석고 혼용구에서 21%, 석탄회 단용구에서 19%, 폐각 단용구에서 18%였다. 수확된 배추체내 N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, B, 환원당, 비타민-C는 석탄회 단용구와 석탄회+석고+폐각 혼용구에서 높았다.

참고 문헌

1. Devaras, L.A., Escalada, R.E., and Quirol, B.F.(1988). Effect of fly ash on the growth and yield of sweet potato, *Ann. Trop. Res.*, 4: 85-91.
2. 김재정, 홍순달, 최병선, 박종현(1992). 석탄회 시용이 콩의 생육에 미치는 영향, 한국토양비료학회지, 25:143-148.
3. 김연제, 양재의, 조병욱, 최병선, 박종현(1992). 석탄회 (Fly ash) 시용이 옥수수 생육 및 수량에 미치는 영향, 한국토양비료학회지, 25: 249-254.
4. 김종균, 이한생, 조재규, 이영한(1995). 굴겉질분(粉)의 화학성 및 작물에 대한 시용효과, 한국토양 비료학회지,

- 28: 350-355.
5. Martens, D.C., Schnappinger, Jr., M.G., and Zelanzy, L.W. The plant availability of potassium in fly ash, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, (1970). 34: 453-456.
6. 신제성, 임동규, 성기석(1990). Fly ash 비료화 연구 II. 대두에 대한 Fly ash의 가리효과, 한국토양 비료학회지, 23: 204-207.
7. 경영통계(1995). 한국전력공사 경영정보처.
8. 김재정(1995). 토양중 石炭灰시용이 수수의 생육에 미치는 영향, 한국토양비료학회지, 28: 334-339.
9. 김복진, 백준호, 김영석(1997). 석탄회(Fly ash) 시용이 배추의 수량 및 토양특성에 미치는 영향, 한국토양비료학회지, 30: 161-167.
10. Aitken, R. L. and Bell, L.C. (1985). Plant uptake and phytotoxicity of boron in Australian fly ashes, *Plant Soil*, 84: 245-256.
11. Plant, C.O. and D.C. Martens(1974). Boron availability as influenced by application of fly ash, 38: 974-977.
12. 김복영, 임선욱, 박종현(1994). 석탄회 시용이 토양중 중금속함량에 미치는 영향 II. 연용에 따른 함량변화, 한국토양비료학회지, 27: 71-77.
13. 이숙희, 김창배, 박노권, 박선도, 최부술(1993). 유험시용이 배추품질과 수량에 미치는 영향, 한국토양비료학회지, 26: 253-258.
14. 김종균, 이한생, 조재규(1994). 폐각석회의 중화능 및 폐각의 암거재료 활용시험, 경남농시연보 p.535-545.
15. 노낙현(1979). 굴폐각 처리방안, 도정 연구평가 보고서 (경남) p.402-426.
16. 농촌진흥청(1988). 토양화학분석법.
17. 농촌진흥청(1995). 삼정 농사시험연구조사기준.
18. 竹下 純則(1977). 施設園藝の連作障害に對する土壤微生物の研究, 土の微生物 p.19-28.
19. 高橋 英一, 吉野實, 前田正男(1980). 新版原色 作物の要素缺乏過剩症, 農山漁村文化協會, 松榮堂.
20. 김용웅, 윤종희, 김광식(1994). Fly ash시용이 수도의 수량과 논토양의 유효규산 함량에 미치는 영향, 한국토양 비료학회지, 27: 275-283.
21. 신제성, 임동규, 성기석(1993). Fly ash 비료화 연구 III. Fly ash의 붕소 독성, 한국토양비료학회지, 26: 299-303.
22. Hollis, J.F., R. Keren, and M. Gal(1988). Boron release and sorption by fly ash as affected by pH and particle size, *J. Environ. Qual.*, 17: 181-184.