

石炭灰의 施用이 콩의 生育에 미치는 影響

金才正* · 洪淳達* · 崔秉先** · 朴棕鉉**

The Growth of Soybean Affected by the Application of Fly Ash to Soil

Jai-Joung Kim, Soon-Dal Hong, Byung-Seon Choi, and Jong-Hyun Park

SUMMARY

Fly ash treatment on soil had a strongly positive effect on the growth of soybean. Treatment of fly ash to the soil made soil pH improved and available phosphate content increased. Consequently yield of soybean increased.

From germination to early growth stage, growth status and weight of the plant were unfavorably affected by fly ash and its effects on the leaf was quite serious specially in the plots treated with more than 10 MT/10a of bituminous fly ash. However after early stage, plant growth became vigorous in the order of 0 (control plot) < 5 < 10 MT/10a. But at the late maturing stage, deteriorative symptoms such as leaf burn and drying were appeared from the plant treated with 10MT/10a and its symptoms were more serious with 15MT/10a.

By anthracite fly ash treatment, the plant growth was greatly improved. As a result plant height and dry matter were in the order of 0 < 5 < 10 < 15MT/10a.

Grain yield was in the order of 0 < 15 < 5 < 10MT/10a treatment with bituminous fly ash and 0 < 5 < 10 < 15MT/10a treatment with anthracite fly ash.

As a conclusion, recommendable amount of fly ash treatment for soybean would be 5 - 10 MT/10a with anthracite fly ash and 5 MT/10a with bituminous fly ash.

緒 言

石炭灰는 石炭의 미분탄을 연료로 사용하는 燃燒爐의 煙道로 부터 배출되는 排氣가스중에 섞여 나오는 미세한 粒狀의 물질인데, 이것은 高溫에서 石炭이 연소될 때 그중의 灰分이 용융되어 煙道를 통과하는 過程에서 급냉되면서 生成된 遊離狀態의 球狀物質이다. 石炭灰의 성분함량은 유연탄과 무연탄에 따라 差異가 있으나 대체로 SiO₂가 55% 이상이며 그 다음으로 Al₂O₃와 Fe₂O₃가 多量으로 含有되어 있고 CaO, MgO, K₂O, Na₂O 및 微量元素들도 含有되어 있다.^{3, 4, 5)} 最近 産業化에 따른 電力需要의 증대는 火力발전

소로 부터의 石炭灰 배출을 점점 더 증대시키므로 石炭灰의 處理方法은 환경오염과 관련되어 많은 문제점을 가지고 있는 실정이다. 매년 放出되는 막대한 양의 石炭灰를 環境汚染 없이 유용한 물질로서 활용될 수 없을가 하는 것이 懸案의 과제이다.

石炭灰는 그 內容成分에 있어서 土壤의 構成成分과 유사성을 가지므로 이 물질을 토양에 施用한다 해도 큰 부작용은 없으리라 생각되며 또한 石炭灰중에 함유되어 있는 여러가지 微量元素들은 土壤의 肥沃度를 증진시킬 수 있을 것으로 추측되며, 실제로 石炭灰를 이용한 肥料를 開發하여 作物의 施肥反應을 검토한 報告도 있다.^{6, 7)} 그리고 石炭灰는 微細한 粒徑

* 忠北大學校 農科大學 (College of Agriculture, Chungbuk National University)

** 韓國電力公社 技術研究院 (Research Center, Korea Electric Power Corporation)

을 가지므로 粗粒質의 土壤에 施用할 경우는 物理化學的 性質을 改善시킬 수 있을 것이라는 假說의 設定이 가능하다.

이와 같은 觀點에서 本 研究는 石炭灰를 土壤에 投與할 수 있는 材料로서의 可能性을 검토하고 農業的 활용에 관한 基礎的인 자료를 얻기 위하여 콩의 생육에 미치는 石炭灰의 影響에 관하여 調査하였으 며 그 結果를 보고하는 바이다.

材料 및 方法

本 試驗은 1990년 4월 부터 忠北 清州市 開新洞 所在 試驗圃場에서 콩(黃金)을 供試品種으로 하여 遂行하였으며 供試土壤의 理化學性은 표 1과 같다.

표 2에서 Citric acid 可溶性 成分으로 나타난 石炭灰의 成分含量은 대체로 磷酸, 칼륨, 고토, 알루미늄 및 철 등이 多量 含有되어 있고 그 이외에 기타 微量元素들도 含有되어 있는데 無煙炭보다는 有煙炭에서 成分含量이 많은 傾向이었다.

施肥量은 콩에 대한 농촌진흥청의 推薦 施肥量에 準하여 질소-인산-칼륨의 分量을 각각 4-7-8

kg/10a씩 요소, 중과석 및 황산칼륨으로 全量 基肥로 施用하였다. 石炭灰는 영월 火力發電所의 無煙炭灰(Anthracite Fly Ash)와 보령 火力發電所의 有煙炭灰(Bituminous Fly Ash)로 구분하여 處理水準을 0, 5, 10 및 15 MT/10a의 4개 水準으로 각각 施用하였다. 試驗區 面積은 12m²로 하여 4반복 난괴법으로 배치하였다.

콩(黃金)의 播種은 1990년 5월 21일에 하였고 播種後에 선택성 제초제 Alachlor(상품명, 라쏘)를 2kg/10a량으로 土壤表面에 撒布하였다. 또한 發芽후 鳥類의 被害를 방지하기 위하여 방조망을 設置하였다.

콩의 생육조사는 播種後 약 1개월부터 10일간격으로 초장, 간경, 및 엽수등의 生長량을 調査하였고 6월 14일, 7월 23일 및 8월 10일에 각각 植物體 試料를 채취하여 乾物重을 조사하고 分析試料로 조제하였다. 콩의 收穫은 처리간의 生長量 차이로 인한 성숙시기까지의 기간이 相異하여 最初 수확시기 9월 18일에서 最終 수확시기 10월 6일의 分布를 보였다. 收穫物은 잎자루를 제외한 地上部 식물체의 乾物량을 조사하였으며 콩의 種實 收量은 별도로 測定하였다.

Table 1. Physico-chemical properties of experimental soil

Texture	pH (1:5)	O.M. (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	CEC me/100g	Esch.-Cation (me/100g soil)			
					K	Ca	Mg	Na
Silt Loam	5.7	0.8	133	5.4	0.30	2.98	1.03	0.04

Table 2. Physico-chemical properties of fly ash

Fly Ash	Surface Area (cm ² /g)	Density (g/cm ³)	2% Citric Acid Soluble Components				
			P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O (ppm)	Na ₂ O (%)	CaO (ppm)	MgO (ppm)
Anthracite	3680	2.19	611	85.0	0	0.91	173
Bituminous	9780	2.42	3227	81.7	7.3	1.07	3631

	2% Citric Acid Soluble Components							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn (ppm)	Cu	Zn	Mo	Cr
Anthracite	11.8	824	400	13.7	0.3	3.6	1.1	3.2
Bituminous	35.7	4712	781	72.2	10.1	12.6	7.2	27.6

結果 및 考察

發芽後 초기의 生育狀態에서 無煙炭灰를 施用한 處理는 外形의으로 정상적 발아와 성장을 보였으나, 有煙炭灰를 施用한 경우 특히 시용량이 많은 10MT/10a 및 15MT/10a 처리구에서는 發芽初期부터 잎의 가장자리가 갈변되며 오그라들고 말라 부스러지는 生育障害를 나타냈다. 이러한 障害現狀은 有煙炭灰의 施用量이 가장 많은 15MT/10a 처리구에서 가장 심하게 나타났는데 10MT/10a 이상의 有煙炭灰 施用은 콩의 發芽 및 初期生育을 억제한다는 것을 보여주고 있다. 播種後 23일째(6월 14일)인 生育初期의 株當 乾物重(표 4)으로 비교해 볼 때 無煙炭灰의 경우는 OMT/10a>10MT/10a>5MT/10a>15MT/10a의 順이었고, 有煙炭灰의 경우는 OMT/10a>5MT/10a>10MT/10a>15MT/10a의 順으로 乾物重이 감소되었다. 이러한 결과는 無煙炭灰를 시용한 경우에도 외관적인 障害 症狀이 발현되지 않았을 뿐 初期生育이 억제되었음을 보여주고 있으며 특히 有煙炭灰의 試用은 콩의 發芽 및 初期生育에 심한 장애를 주는 것으로 나타났다. 綜合的으로 石灰灰의 施用은 콩의 初期生育에 해로운 影響을 미치고 있다는 것을 보여주었다.

표 3에서 콩의 栽培期間동안 초장 및 엽수로서 生育상태를 비교해 볼 때, 全 生育期間동안 초장은 無煙炭灰 處理區의 경우 15MT/10a>10MT/10a>5MT/10a>OMT/10a의 順이었고 有煙炭灰 處理區는 5MT/10a>10MT/10a>OMT/10a>15MT/10a의 順이었다. 無煙炭灰를 처리한 경우는 施用水準이 증가함에 따

라 초장이 커지는 경향을 보였으나, 有煙炭灰를 처리한 경우는 15MT/10a 水準이 OMT/10a 水準보다 오히려 초장이 적은 경향을 나타내어 有煙炭灰의 過量 施用은 콩의 生育을 阻害함을 보여주고 있다. 生育期間동안 葉數의 變化에서도 초장에서와 비슷한 傾向을 나타냈으나 그 경향은 초장에서처럼 뚜렷하지 못하였다.

표 4에서 줄기직경으로 비교해 볼 때 無煙炭灰 處理區는 초장이나 엽수에서와 같은 경향으로 施用量을 증가시키에 따라 直徑은 증가되는 경향을 보였으나, 有煙炭灰 처리구의 경우 生育初期에는 阻害作用에 의하여 施用量이 많을수록 직경이 감소되는 경향을 보였고 生育 中半期 以後에는 장해증상이 빠르게 회복되어 15MT/10a 처리구를 除外한 모든 施用水準에서 差異를 보이지 않았다. 그러나 有煙炭灰를 많이 施用한 15MT/10a 처리구에서 生育 中반기 이후까지도 阻害作用이 지속되는 경향을 보여 주었다.

生育 中半期 및 成熟期의 乾物重(표 4)에서도 無煙炭灰 처리구는 사용량이 증가함에 따라 乾物重이 증가하는 경향을 보여 生育초기의 경우와 相反되었는데 이는 無煙炭灰의 사용에 따른 生育 阻害作用이 初期에서 後期로 갈수록 없어지면서 오히려 양호한 影響을 미친 것으로 생각된다. 반면에 有煙炭灰 처리구의 경우 건물중은 10MT/10a>5MT/10a>15MT/10a>OMT/10a의 順으로 나타났는데, 이는 10MT/10a 이하의 有煙炭灰 시용수준일 때 無煙炭灰의 경우와 마찬가지로 초기의 生育 阻害작용이 後期로 갈수록 克服되며 오히려 양호한 影響을 주었음을 보여주고

Table 3. Successive change of plant height and number of leaves a plant

Treatment	Application Level (MT/10a)	Height					Number of Leaves				
		June	July			August	June	July			August
		22	4	20	31	13	22	4	20	31	13
Anthracite Fly Ash	0	20.9	30.4	48.7	60.0	60.4	5.3	5.5	10.5	17.8	17.3
	5	22.5	31.4	54.1	67.4	67.7	5.4	5.6	11.7	19.3	18.4
	10	26.2	35.0	59.2	71.2	71.1	6.1	5.5	12.9	17.9	18.3
	15	26.6	37.1	61.4	77.6	77.9	6.4	5.7	13.6	18.7	18.2
Bituminous Fly Ash	0	25.2	36.1	59.0	74.6	76.9	6.1	5.8	11.5	17.9	17.6
	5	27.9	39.0	67.6	87.6	88.2	6.3	5.8	14.3	20.2	20.2
	10	26.4	36.0	64.1	83.5	84.7	5.5	5.6	14.4	20.1	18.4
	15	25.4	34.0	57.8	74.6	75.0	5.5	5.5	13.2	18.8	17.6

Table 4. Growth characteristics of soybean plant

Treatment	Application Level (MT/10a)	Dry Weight(g/plant)			Diameter of Stem(mm)			Number of Pod August 10
		June 14	July 23	August 10	July 4	July 31	August 13	
Anthracite Fly Ash	0	0.66	5.7	10.7	4.5	6.1	6.5	16.7
	5	0.53	6.6	13.1	4.6	6.6	7.1	19.6
	10	0.58	8.6	16.8	4.7	6.5	6.7	23.0
	15	0.49	8.6	18.5	4.9	6.9	7.3	22.3
Bituminous Fly Ash	0	0.77	7.6	14.6	5.0	6.9	7.3	22.4
	5	0.67	9.5	19.1	4.9	7.1	7.4	22.8
	10	0.49	10.1	23.1	4.5	6.7	7.1	35.0
	15	0.42	7.9	15.5	4.2	5.9	6.4	22.6

Table 5. Yield characteristics of soybean plant

Treatment	Application Level (MT/10a)	Dry Weight (g/plant)			Dry Matter (kg/10a)	Grain Yield (kg/10a)	Number of Pod
		Pod	Stem	Total			
Anthracite Fly Ash	0	9.4	2.7	12.1	254.8	125.9	17.6
	5	11.0	3.3	14.3	289.0	150.2	20.5
	10	10.3	3.5	13.8	312.2	158.8	18.4
	15	11.9	4.1	16.0	359.4	182.3	20.5
Bituminous Fly Ash	0	9.7	3.2	12.9	269.7	237.9	19.6
	5	14.0	5.4	19.4	430.9	209.-	24.5
	10	15.8	4.5	20.3	414.9	225.2	26.9
	15	12.1	3.6	15.7	343.6	184.6	21.1
LSD 0.05				78.2	39.9		
LSD 0.01				105.9	54.1		

Table 6. Inorganic components in the soybean plant at the 63rd day after planting

Treatment	Application Level (MT/10a)	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O CaO MgO Na ₂ O (%)			
				K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
Anthracite Fly Ash	0	2.92	0.41	1.59	0.97	0.51	0.03
	5	3.24	0.43	1.61	1.13	0.50	0.04
	10	2.93	0.43	1.67	1.00	0.50	0.03
	15	3.15	0.42	1.59	1.02	0.46	0.04
Bituminous Fly Ash	0	3.19	0.44	1.64	0.99	0.47	0.04
	5	3.47	0.54	1.68	1.25	0.50	0.04
	10	3.41	0.54	1.68	1.25	0.54	0.04
	15	3.51	0.52	1.61	1.27	0.60	0.03

있다.^{1, 2, 6)} 그러나 15MT/10a 처리구에서는 줄기직경
에서와 마찬가지로 생육 후반기까지도害작용이持

續되어 건물중이 무시용구와 비슷하였다. 그리고 種
實收量과 밀접한 관계를 가지는 주당 莢數의 경우도

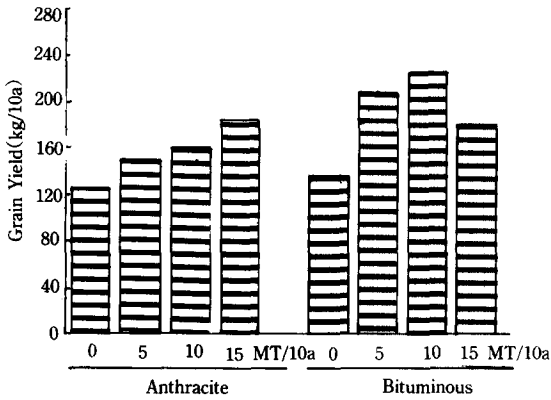


Fig 1. Grain yield of soybean.

건물중에서와 같은 경향을 보였다. 또한 有煙炭灰를 10MT/10a 이상 施用한 처리에서는 生育後期에 앞에 붉은 반점이 생기는 症狀을 보였으며 그 정도는 15 MT/10a 처리구에서 顯著하였다.

콩의 種實數량은 표 5에 나타낸 바와 같이 收量 構成要素인 주당건물중 및 주당 莢數에서와 같은 경 향으로 無煙炭灰 처리구는 施用량이 증가될 수록 收 량이 증가되었고, 有煙炭灰 처리구는 10MT/10a > 5 MT/10a > 15MT/10a > 0MT/10a의 順이었다(그림 1). 또한 收穫時期의 地上部 乾物重도 그림 2에 나타낸 바와 같이 種實水量과 같은 경향으로 無煙炭灰는 施 用量이 많을수록 增加하였고, 有煙炭灰는 10MT/10a

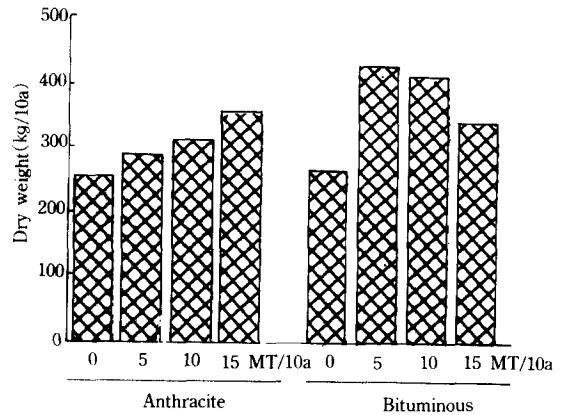


Fig 2. Dry weight of soybean at harvesting time.

까지는 施用量이 많아질수록 乾物重이 增加되었으나 15MT/10a 施用했을 경우 害作用에 의한 生長阻害로 因하여 乾物重은 크게 減少되었다.

播種후 63일째 地上部 식물체중의 無機成分들을 표 6에서 비교해 볼 때 석탄회의 施用에 따른 무기 성분들의 含量變化에는 일정한 傾向을 보이지 않았 으며, 단지 유연탄 처리구의 경우 材料중의 含量에 起因되어 磷酸含量이 약간 증가되는 傾向을 보였다.

콩을 收穫한 후 시험포장 土壤의 化學性を 표 7에 나타냈다. 石炭灰의 施用에 따른 토양 化學性 變化는 특히 pH의 上昇과 有效인산 含量的 增加가 현저한 것으로 나타났다. 그림 3에서 石炭灰 施用水準에 따

Table 7. Some properties of experimental soils after harvesting of soybean

Treatment	Application Level (MT/10a)	pH (1 : 5)	O.M. (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	Exch.-Cation (me/100g)				CEC (me/100g)
					K	Ca	Mg	Na	
Anthracite Fly Ash	0	5.4	0.7	133	0.40	3.7	1.29	0.05	5.38
	5	5.7	1.2	143	0.34	3.5	1.10	0.04	4.92
	10	6.0	2.4	176	0.29	3.4	0.91	0.04	4.66
	15	6.0	2.4	176	0.29	3.4	0.91	0.04	4.66
Bituminous Fly Ash	0	6.0	0.8	151	0.36	4.0	1.14	0.04	5.51
	5	6.4	1.2	273	0.40	5.2	1.36	0.04	7.02
	10	6.6	1.9	433	0.30	5.4	1.10	0.04	6.79
	15	7.0	2.0	559	0.28	6.5	1.18	0.04	8.02

른 pH와 有效인산 含量的 變化를 비교해 볼 때 土壤 pH는 石炭灰의 施用에 따라 7.0의 範圍까지 增加 되었다. 즉 석탄회의 施用량이 증가될수록 土壤 pH

는 증가되었으며 增加程度는 無煙炭灰보다는 有煙炭灰의 처리구에서 더욱 顯著하였다. 석탄회 施用에 의한 pH 증가와 함께 土壤中 有效인산 含量 또한 施

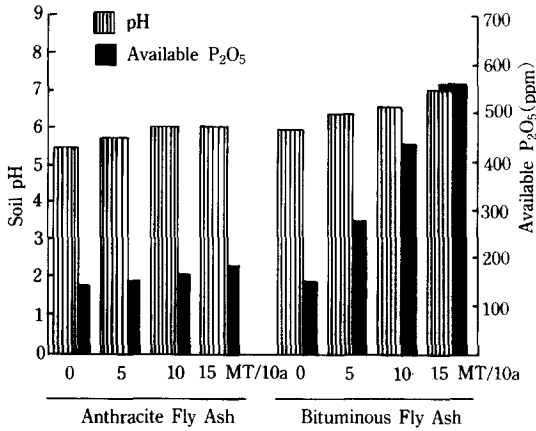


Fig 3. Soil pH and amount of P₂O₅ in soil after harvesting.

用水準이 많을수록 크게 증가되는 傾向을 나타냈다. 이러한 結果는 토양중 인산의 有效度를 增大시키므로서, 즉 낮은 토양 pH 조건에서 不溶性 상태인 인산염이 石炭灰의 施用으로 pH가 矯正되므로서 가용성 상태로 轉換됨에 따라 有效磷酸 含量이 증가된 것으로 생각된다. 石炭灰 施用에 의한 토양중 有效磷酸의 增大効果는 식물체중의 인산 含量이 증가된 結果와 關聯되었으며 결국 콩의 生長과 收量을 증가시킨 要인이 된 것으로 생각된다.

摘 要

石炭灰의 過量施用은 콩의 發芽 및 初期生育에 해로운 影響을 주었으며 특히 有煙炭灰를 10MT/10a 以上 施用한 경우는 잎에 뚜렷한 毒症을 나타냈고 生育後半期까지도 콩의 生長에 해로운 效果를 주었다. 그러나 초기생육 段階에서의 害作用은 생육이 進展되면서 점차로 減少되어 없어지고 오히려 생육을 增進시키는 效果를 나타내어 無煙炭灰의 경우 施用 水準을 15MT/10a까지 增加시킬수록 초장 및 乾物重

이 증가되었다. 그러나 有煙炭灰의 경우 10MT/10a 以下 水準에서는 無煙炭灰의 경우와 마찬가지로 生育後半期로 갈수록 害작용이 없어지며 콩의 生育에 양호한 影響을 주었지만, 10MT/10a 以上 施用했을 경우는 生育後期에도 잎에 붉은 반점이 생기며 말라 버리는 症狀이 發現되었다. 石炭灰의 施用은 토양 pH를 增加시키는 傾向을 보였으며 無煙炭灰보다는 有煙炭灰에서 그 效果가 더 顯著하였다. 石炭灰 施用에 의한 토양 pH 矯正效果는 토양중 有效磷酸의 含量을 增大시켰으며 이는 콩의 生長 및 收量을 증대 시키는데 寄與한 것으로 생각된다. 綜合的으로 考察 해 볼 때 石炭灰의 사용은 土壤의 物理化學性을 改 善시켜 콩의 生育을 增進시키는 것으로 나타났으며 콩의 生長促進을 위한 石炭灰의 適正 施用水準은 無 煙炭灰의 경우 5MT-10MT/10a, 有煙炭灰의 경우는 5MT/10a 程度가 바람직할 것으로 생각된다.

引用 文 獻

1. Furr, A.K., G.S. Stoewsand, C.A. Bache, W.H. Gutenmann, and D.J. Lisk. 1975. Arch Environ. Health, 30 : 244
2. Furr, A.K., W.C. Kelly, C.A. Bache, W.H. Gutenmann, and D.J. Lisk. 1976. Multielement uptake by vegetables and millet grown in pots on fly ash amended soil. J. Agric. Food Chem. vol 24(4) : 885~888
3. Gutenmann, W.H., C.A. Bache, W.D. Youngs, and D.J. Lisk. 1975. Science 191 : 966
4. 韓國 動力資源研究所. 1989. 石炭의 熔融 燃焼 시스템에 관한 연구. 한국과 학기술처 KE-89(B)-29
5. 懷齊成, 林東圭, 成者錫, 金萬壽. 1987. Fly Ash의 肥料化 研究 1. Fly Ash의 礦物學的 特性. 韓國土壤肥料學會誌 vol 20(4) : 309-314
6. 懷齊成, 林東圭, 成者錫. 1990. Fly Ash의 肥料化 研究 2. 大豆에 대한 Fly Ash의 加里效果. 韓國土壤肥料學會誌 vol 23(3) : 204~207
7. 青木正則. 1990. 石炭灰를 利用した 肥料의 開發. 燃料協會誌 vol 69(11) : 1008~1016