

토마토 생산성과 토양개량에 미치는 석탄회 시용의 영향

이철희*

충북대학교 원예과학과 & 생물건강산업개발연구센터

Effect of Fly Ash on Productivity of Tomato and Improvement of Soil

Cheol Hee Lee*

Dept. of Horticultural Science & Research Center for Bioresource and Health,
Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Korea

Abstract - In the present experiment, fly ash application to soil generally improved soil pH condition. The improvement of soil pH was greater with bituminous fly ash than with anthracite fly ash. Treatment of fly ash also made available phosphate content increased. But phosphate content in cultivated tomato plants was in inverse proportion to content in soil due to high pH of experimental soil as well as hot and dry weather. Amount of phosphate in plants had a strong positive effect on the yield of tomato. Number and weight of harvested fruits was greatest from July 21 to July 30, the time considered as peak harvesting period of second fruit truss. In conclusion, the application of fly ash improved physico-chemical properties of experimental soil.

Key words - Bituminous fly ash, Anthracite fly ash, Physico-chemical properties

서 언

석탄회는 고온 가루상태로 된 석탄을 고온으로 연소하는 과정에 배출되는 배기가스 중에 있는 미세한 입상의 물질로서 그 중의 용융되어 있는 회분이 연도를 통과하는 과정에 급랭되면서 생성된다. 석탄회의 성분 함량은 원재료의 종류에 따라 차이가 있으나 대체로 SiO₂가 55% 이상을 차지하며, Al₂O₃과 Fe₂O₃도 다량 함유되어 있다. P₂O₅의 함량도 높아 본 시험에 사용한 무연탄회에는 611ppm이, 유연탄회에는 3,227ppm이 함유되어 있으며(김 등, 1992), 그 외에 MgO, K₂O, Na₂O, CaO 및 기타 미량원소들의 순으로 함유되어 있다(한국동력자원연구소, 1989; 신 등, 1987).

최근 산업의 발달로 전력의 수요가 증대되면서 연소 과정에서 부산물로 생성되는 석탄회의 처리에 환경보호 차원에서 막대한 예산을 소모해야 하는 실정이다. 그러나 이와 같은 수동적인 방안으로는 현안을 해결하는데 많은 어려움이 있어 산업 폐기물의 일종인 석탄회를 비료로 개발하고자 하는 노력(신 등, 1990; 靑木, 1990)들이 행해지고 있다. 실제로 석탄회 중에는 여러 종류의 미량원소들이 함유되어 있어 토양의 비옥도를 증진시켜 줄

수 있을 뿐만 아니라 미세한 입자로 된 석탄회를 이용하여 토양의 물리화학성을 개선하는 것도 가능하리라 생각된다. 이와 같은 관점에서 석탄회의 농업적 활용방안에 관한 기초자료를 얻고, 석탄회 시용이 토마토의 생산성과 토양개량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 본 시험을 실시하였다.

재료 및 방법

본 실험은 5월부터 충북 청주시 내덕동 소재 시험포장에서 비옥도가 균일하고 일년간 휴경한 곳을 택하여 토마토 품종으로 미숙 토마토이고 바이러스 및 역병에 강하다고 알려진 '아스사'(일본 무사시노 교배)를 실험품종으로 하여 수행하였다. 실험에 사용한 토양의 이화학성은 Table 1과 같다.

석탄회 및 시비처리

시비량은 유기질 비료 400kg/10a과 복합비료(17 : 21 : 17) 40kg/10a를 기비로 사용하였다. 석탄회는 영월 화력발전소의 무연탄회(anthracite fly ash)와 보령 화력발전소의 유연탄회(bituminous fly ash)로 구분하여 처리수준을 0, 2, 4 및 6 MT/10a의 4개 수준으로 하였고, 석회도 15kg/10a를 각각 사용하였다. 시험구 면적은 12m²로 하여 난괴법 3반복으로 배치하였다.

*교신저자(E-mail) : leech@chungbuk.ac.kr

Table 1. Physico-chemical properties on experimental soil

Texture	pH (1 : 5)	O.M. (%)	Av.-P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch.-cation (cmol/kg)			CEC (cmol/kg)	EC (ds/m)
				K	Ca	Mg		
Silt loam	7.3	1.2	884	0.98	6.2	0.3	13.4	1.00

식물 재료

토마토 종자는 72공의 육묘용판(28×55cm)에 3월 5일 파종하여 25~30℃의 발아상에서 관리하다가 발아후 주간 23~25℃, 야간 13~15℃로 조절된 온실로 옮겨 관리하였다. 초기에는 85~90%의 높은 습도로 관리하다가 정식 2주전부터 75% 정도로 유지하며 70일 플러그 육묘한 약 25cm의 묘를 사용하였다.

각 시험구에 중간 고랑폭을 40cm로 하여 이랑을 남북방향으로 0.9×5m의 2개씩 만든 후 두께 0.03mm의 투명 polyethylene(P.E.) 필름을 이용하여 멀칭하였고, 처리간의 간격은 90cm 이상이 되도록 하였다. 늦서리 위험기를 지난 5월 16일에 지면의 수광량을 많게 하기 위하여 40×45cm 간격으로 한 줄에 10주씩 두줄로 정식한 후 충분히 관수하였다. 정식 후 높이 90cm, 폭 40cm의 U자형 지주와 높이 170cm의 일자형 지주를 설치하여 묘를 유인하였다. 외대 가꾸기로 하여 식물이 생장함에 따라 유인하여 주며, 엽액에서 나오는 모든 액아를 일찍 제거하였고, 4단적심을 하였다. 중경제초와 그 외 식물의 관리는 관행에 준하여 실시하였다.

조사 방법

토마토의 생육조사는 7월 8일과 8월 20일에 2회 실시하였는데, 시험구당 10주씩 채취하여 경직경(제 1과방 바로 위), 지상부 생체중을 조사하였고, 3과방 바로 위에 있는 복엽의 엽장, 엽폭, 복엽당 소엽의 수 및 생체중과 건물중을 조사하였다. 엽색의 정도는 Chlorophyll meter(Minolta)를 사용하여 제 1과방 바로 위에 위치한 복엽의 선단부에서 측정하였다. 생산량은 수확 적기가 된 토마토를 8월 19일까지 매일 오전에 수확하여 과일의 수와 무게를 측정하여 분석하였다. 식물체의 무기물 분석을 위

하여 7월 8일과 8월 20일 각각 3과방 바로 위에 있는 복엽을 선택, 건조하여 분석하였다. 공시토양의 이화학성의 변화는 정식 전(5월 16일), 재배 중(7월 8일) 및 재배 후(8월 20일)의 3단계로 나누어 각 시험구로 부터 3반복으로 10군데 이상씩 무작위로 시료를 채취, 혼합, 음건하여 분석하였다.

결과 및 고찰

석탄회 시용이 토마토 생산성에 미치는 영향

정식 후 초기생육은 모든 처리구에서 외형적으로 정상적인 생장을 보였다. 생육 중반기의 생육상태를 알아보기 위하여 영양생장에서 생식생장으로 전환된 후 11.7~14.8개 정도의 토마토가 착과된 7월 8일에 생육 상태를 나타내는 지표인 초장, 경직경, 주당 생체중, 3과방 위 첫 복엽의 엽장 및 생체중 및 엽색도를 조사하였다. 초장, 경직경 및 3과방 위 첫 복엽장의 경우에는 무연탄회와 유연탄회 공히 6MT/10a 처리구를 제외하고 무처리구에 비하여 큰 경향이였다(본 논문에 상세한 데이터를 수록하지는 않았음). 이러한 결과는 두 종류의 석탄회 공히 시용량이 많은 6MT/10a 처리구에는 외관적인 장애증상이 발현되지 않았을 뿐 초기생육이 약간 억제되었음을 보여주고 있다. 그러나 생체중과 복엽중은 모든 처리구에서 무처리에 비해 무거웠으며, 엽색도는 반대의 경향으로 무처리구에서 제일 진한 녹색을 나타냈다.

마지막 수확을 끝낸 8월 20일에 토마토의 최종 생육정도를 조사하였다. 경직경 및 생체중으로 생육상태를 비교해 볼 때, 경직경의 경우는 석탄회의 시용수준이 증가함에 따라 굵어지는 경향을 보였으나, 생체중은 오히려 모든 처리구에서 무처리에 비

Table 2. Growth characteristics of tomato plant

Treatment	Application level (MT/10a)	Stem diam. (mm)	Fresh wt.(g)	Compound leaf above third fruit truss					
				Length (cm)	Width (cm)	No. leaflet / compound leaf	Fresh wt. (g)	Dry wt. (g)	Degree of color ^c
Anthracite fly ash	0	18.1±1.8 ^y	770.6±88.1	43.3±1.3	45.8±0.7	48.3±5.8	33.7±4.1	7.3±1.3	64.8±2.7
	2	18.6±0.8	697.5±98.2	41.8±2.6	45.5±7.8	50.7±6.1	29.0±4.8	6.7±0.4	64.3±6.4
	4	18.5±0.8	689.3±94.2	43.6±1.2	47.6±4.9	46.3±3.3	31.8±4.5	7.6±0.5	61.7±2.8
	6	18.9±0.9	736.4±37.9	41.8±0.9	43.8±2.8	49.4±6.1	28.6±7.2	7.1±0.9	61.2±0.3
Bituminous fly ash	2	18.3±0.3	736.8±88.2	43.1±1.5	46.0±1.2	49.6±0.7	27.4±1.9	6.9±0.1	64.6±4.5
	4	18.7±0.9	749.8±22.8	45.3±1.5	46.7±1.5	51.4±5.9	31.4±5.2	8.3±2.4	68.2±6.8
	6	18.7±0.4	703.9±29.8	43.4±3.6	46.2±5.0	50.3±7.3	32.3±5.8	7.5±1.4	60.0±1.1
Lime	0.015	18.7±0.3	721.7±67.4	45.3±3.7	49.3±1.4	51.5±3.2	34.8±7.3	7.9±0.1	57.9±0.6

^a Measured using Chlorophyll meter (Minolta).

^y Mean ± SE.

해 감소하였다(Table 2). 광합성과 밀접한 관련이 있는 잎의 생육정도를 알아보기 위하여 3과방 위 첫 복엽의 생육정도를 조사하였는데, 복엽의 생육상태도 전체 식물체와 비슷한 경향을 나타내어, 석탄회 처리구에서 전반적으로 복엽의 길이와 폭이 큰 경향이고, 단위 복엽당 소엽들의 수가 많았으나 생체중은 무처리에 비해 가벼웠다. 반면에 건물중의 경우에는 무연탄회 4MT/10a 및 유연탄회 4, 6MT/10a 처리구에서 오히려 무거운 경향을 보였다. 엽색도의 경우에도 유연탄회 4MT/10a 처리구를 제외하고 낮아 전체적으로 진녹색을 띠나 무처리에 비해 약간 연한색을 나타냈다.

토마토의 수확량은 수확된 과실의 수와 무게에 의해 결정된다. 주당 수확된 토마토의 수는 유연탄회 4, 6MT/10a 처리구를 제외한 모든 처리수에서 무처리에 비해 많았다(Fig. 1). 무연탄회의 경우에는 시용량이 증가될수록 과실의 수가 증가되었으나, 유연탄회 처리구는 반대의 경향이었다. 본 시험은 4단적실에 의해 4개의 화방으로부터 토마토를 수확할 목적으로 실시하였으므로 각 화방의 대략적인 속기에 맞추어 매일 수확한 과실의 수를 7월 20일, 7월 30일, 8월 9일, 8월 19일의 10일 간격으로 4차례 통계 처리하였다. 수확기별 과실의 수는 제 2과방의 주된 수확기인 7월 21일~7월30일 사이가 5.2~6.4개로 가장 높았으며, 다음이 제 3과방의 주된 수확기인 7월 31일~8월 9일 이었다(Fig. 2).

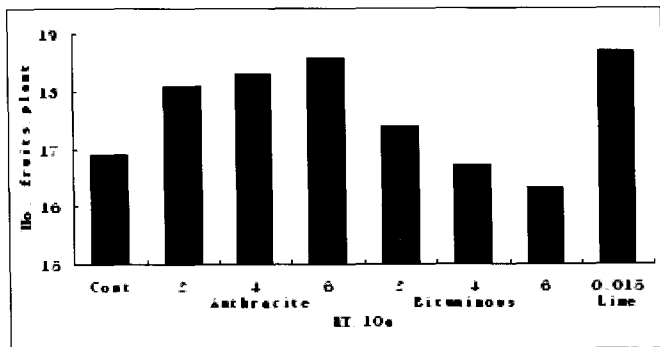


Fig. 1. Effect of fly ash on number of harvested fruits per plant in tomato.

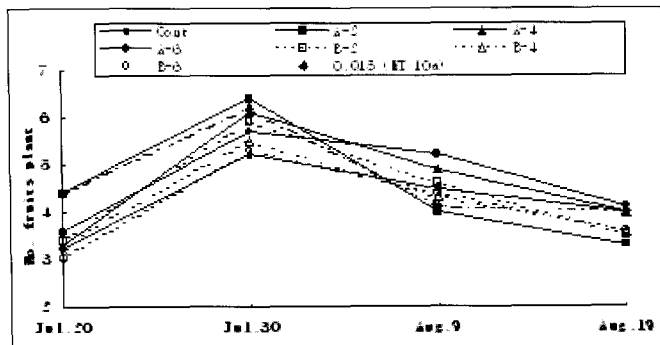


Fig. 2. Successive change of harvested fruit number per plant in tomato. A: Anthracite, B: Bituminous

수확된 과실의 개별 무게는 토마토의 품질을 결정하는 중요한 요소이다. 석탄회의 종류에 관계없이 공히 시용량을 증가시키면 과실의 크기는 작아졌으며, 모든 석탄회 처리구에서 무처리에 비해 작은 크기의 과실이 수확되었다(Fig. 3). 석탄회의 종류별로 보면 수확한 과실의 수가 많았던 무연탄회 처리구의 과실이 더 작은 경향이였다. 한편 시기별 수확되는 과실의 크기는 과실의 수와 같은 경향을 보여 7월 21일~7월 30일에 가장 큰 과실들이 수확되었다(Fig. 4).

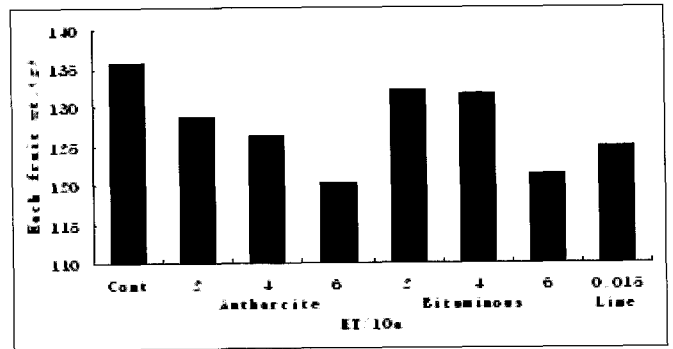


Fig. 3. Effect of fly ash on harvested each fruit weight in tomato.

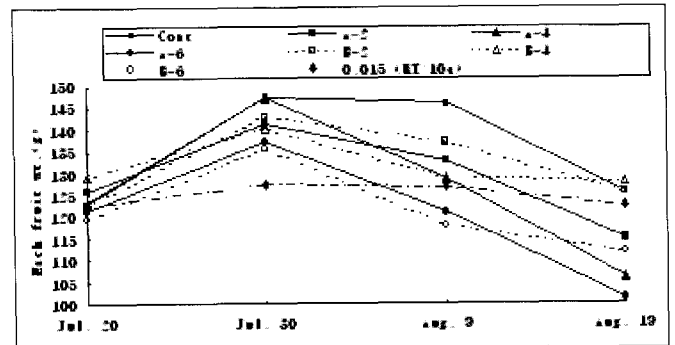


Fig. 4. Successive change of harvested each fruit weight in tomato. A: Anthracite, B: Bituminous

실질적인 수량의 기준인 주당 수확된 전체 과실의 무게는 석탄회의 종류에 관계없이 전반적으로 시용량이 증가함에 따라 수확량이 감소하는 경향을 보였다(Fig. 5). 토마토의 수량은 무연탄 2, 4MT/10a, 유연탄 2MT/10a 및 석회 시용구에서 무처리에 비해 약간 많은 경향으로 무연탄 2MT/10a > 무연탄 4MT/10a > 석회 > 유연탄 2MT/10a > 무처리의 순으로 나타났는데, 이는 주당 과실의 수가 수량에 많은 영향을 미쳤기 때문으로 생각된다. 그러나 수확된 과실의 수(18.6개/식물)가 많았던 유연탄 6MT/10a 처리구에서는 가장 작은 과실의 크기(120.1g/과실)로 인하여 수량은 무처리에 비해 적었다. 시기별 수량을 보면 처리에 관계없이 주당 수확된 과실의 수가 많고, 무거웠던 7월 21일~7월 30일 사이의 수량이 가장 많았다(Fig. 6).

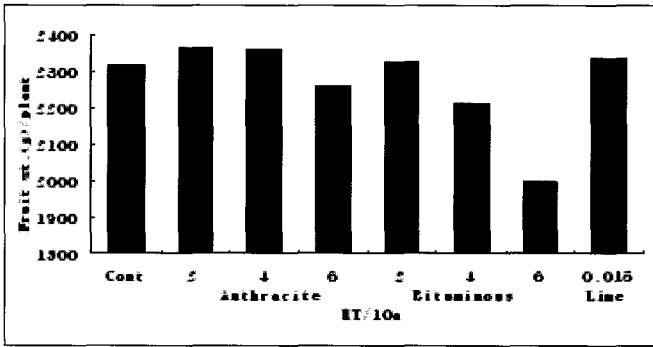


Fig. 5. Effect of fly ash on harvested total fruit weight per plant in tomato.

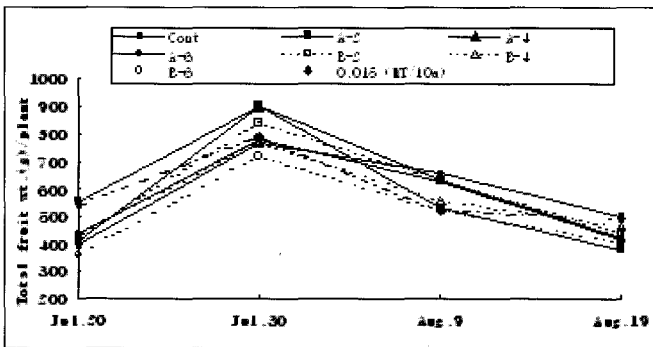


Fig. 6. Successive change of harvested total fruit weight per plant in tomato.

A: Anthracite, B: Bituminous

본 시험을 실시하는 동안 매우 고온, 건조하였는데, 토마토는 심근성 작물로서 비교적 적은 관수량을 요하기는 하지만, 지나치게 건조하면 생육이 매우 억제되는 경향이 있다(Boon, 1973). 또한 본 실험에서는 잡초 발생을 억제하기 위하여 플라스틱 멀칭을 사용하였는데, 플라스틱은 태양광선을 잘 투과시키므로 나지에 비해 지온이 상당히 높아지고, 밤에도 지표면으로부터의 열발산을 억제하여 지온이 상승하는 경향이 있다. 플라스틱 멀칭은 지면의 수분 증발을 억제하여 토양수분을 보전하는 데 유효하므로 고온 건조가 지속된 이상 기온하에서 어느 정도나마

가뭄의 피해를 경감시키는데는 효과가 있었던 것으로 생각되나 지온을 상승시킴으로써 전반적으로 토마토의 생육과 결실에 악영향을 미치는 것으로 생각된다. 그러므로 본 시험은 토마토의 성숙기에 이와 같은 고온, 건조한 조건에서 노지재배를 실시하였으므로 전반적으로 토마토의 수량이 낮아지는 결과가 초래되었다(Boon, 1973).

토마토의 착과는 묘의 소질, 즉 육묘 기간 중의 온도, 광선, 무기 영양 등 환경의 영향으로 이룩된 식물체의 내적 조건과 개화 직후의 환경 즉 외적 조건에 의해서 결정된다. 고온에 의해 화분관의 신장이 중단되면 에너지 소모가 많았기 때문에 그 뒤 적온이 되어도 정상적 신장을 하지 못한다. 대체로, 평균기온이 25℃, 최고 기온이 30℃를 넘는 날이 계속되면 젊고 초세가 좋은 개체가 아니면 착과는 매우 어렵다(岩堀, 1963). Moore와 Thomas(1952)는 밤낮의 최고 평균 온도가 32.2℃ 이상이고, 밤의 최저 평균 온도가 21.1℃ 이상이면 착과율이 낮았다고 한다. 토양수분 건조에 의한 꽃의 발육 불량, 개화의 불완전으로 낙화되는 수가 있다. 본 연구에서도 고온장해에 의해 착과불량이 일부 발생한 것으로 생각된다.

석탄회 사용이 토양개량에 미치는 영향

토마토를 수확한 후 시험포장 토양의 화학성을 Table 3과 같다. 석탄회의 사용에 따른 토양 화학성 변화는 사용량의 증가에 따라 성분별로 각기 다른 경향을 보였으나, pH의 상승과 유효 인산 함량의 증가는 현저한 것으로 나타났다. 석탄회의 사용수준에 따른 pH와 유효 인산 함량의 변화를 비교해 볼 때 토양 pH는 석탄회의 사용에 따라 8.7의 범위까지 증가하였다(Fig. 7~8). 즉 석탄회의 사용량이 증가될수록 토양 pH는 증가되었으며 증가정도는 무연탄회보다는 유연탄회의 처리구에서 더욱 현저하였다. 이와 같은 pH 증가와 함께 토양중 유효인산 함량 또한 사용수준이 많을수록 크게 증가하는 경향을 나타냈는데, 이러한 결과는 석탄회의 사용이 토양의 이화학적성을 작물의 생육에 적합하도록 개선하는데 유효하게 사용될 수 있음을 보여준다.

Table 3. Physico-chemical properties of experimental soils after harvesting

Treatment	Application level (MT/10a)	pH (1 : 5)	O.M. (%)	Av.-P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch.-cation (cmol/kg)			CEC (cmol/kg)	EC (ds/m)
					K	Ca	Mg		
Anthracite fly ash	0	7.1	1.1	881	1.07	7.3	0.5	8.8	1.53
	2	7.4	1.2	898	0.96	8.0	0.5	10.1	0.92
	4	7.5	1.3	913	0.97	10.2	0.6	12.6	0.97
	6	7.5	1.4	914	1.00	10.8	0.6	12.4	0.93
Bituminous fly ash	2	7.4	1.2	1075	1.04	14.2	0.9	16.2	1.18
	4	7.5	1.4	1212	1.06	14.3	0.8	16.9	1.15
	6	7.7	1.5	1259	1.00	14.9	0.9	17.2	1.00
Lime	0.015	7.5	1.2	903	1.06	19.3	0.4	20.5	1.38

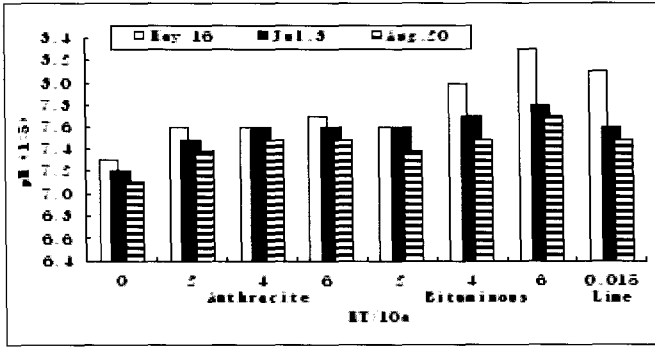


Fig. 7. Successive change of pH in experimental soils.

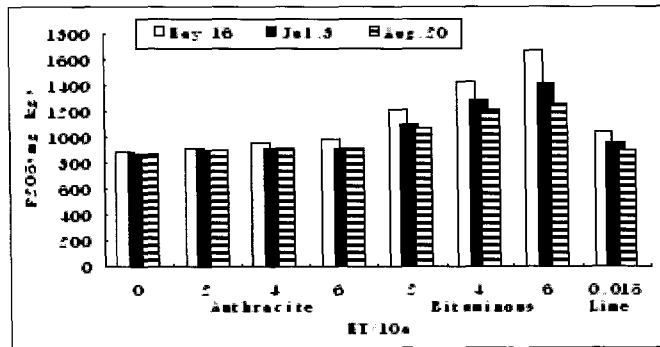


Fig. 8. Successive change of available P₂O₅ content in experimental soils.

본 시험의 경우 공시한 토양의 pH가 7.3(Table 1)으로 보통의 재배토양에 비해 pH가 매우 높는데, 이에 높은 수준의 석탄회 사용은 더욱더 pH의 증가를 초래하여 토마토의 생육 및 수량에 오히려 악영향을 끼친 것으로 생각된다. 그러나 우리나라의 토양은 보통 산성으로 이러한 산성토양에 석탄회를 사용하는 경우 토양 중의 인산의 유효도를 증대시키므로, 즉 낮은 토양 pH 조건에서 불용성 상태의 인산염이 석탄회의 사용으로 pH가 교정됨으로써 가용성 상태로 전환됨에 따라 유효인산 함량이 증가될 수 있을 것으로 생각된다.

토마토의 경우 일반적으로 비료 흡수량은 칼리가 가장 많은데 칼리는 흡수량은 많으나, 직접적으로 수량에 미치는 영향은

적은 편이고, 내병성, 품질 등에 영향을 끼치는 것으로 생각된다 (Locascio and Roa, 1972; Trudel and Ozbun, 1971; Winsor et al., 1967). 질소는 칼리의 절반 내지 비슷한 양을 흡수하고, 인산은 질소의 약 1/5 정도밖에 흡수하지 않는다. 인산의 증수에 미치는 효과는 일정하지 않으나, 과실의 품질과 묘의 발육에 효과적으로 작용하는 것으로 알려져 있다(Cotter, 1961; Sharma and Mann, 1971).

마지막 수확을 끝낸 8월 20일에 지상부 식물체 중의 무기성분들을 분석해 본 결과는 Table 4와 같이 석탄회의 사용에 따른 무기성분들의 함량변화에는 일정한 경향을 보이지 않았다. 특이한 점은 석탄회의 사용량이 증가하여 토양 중의 인산함량이 높을수록(Table 3, Fig. 7-8 참조) 식물체에 함유된 인산의 함량이 오히려 낮아지는 경향을 보였다. 이는 석탄회 사용에 의한 토양 중 유효인산의 증대효과를 식물체 중의 인산함량의 증가를 초래하는 보통의 결과와는 반대되는 경향으로 본 시험에 공시한 토양의 pH가 보통의 재배토양에 비해 매우 높는데 기인한 것으로 생각된다. 기존 토양의 높은 pH에 석탄회의 사용량이 증가할수록 pH가 더욱 증가되어 석탄회의 사용량이 많은 처리구에서 인산의 흡수가 저해되거나 착과 및 과실의 비대가 억제되어 수량이 감소된 것으로 생각된다. 그러나 식물체내의 인산함량이 높은 처리구의 토마토 수량이 높은 것을 보면 식물체 중의 인산함량의 증가가 결국 식물의 수량을 증가시키는 요인이 된 것으로 생각된다. 석탄회 사용량이 많은 구의 인산함량의 자연감소는 식물에 의한 흡수라기 보다는 강우에 의해 유실된 것이 많은 것으로 생각된다(Went, 1945).

여러 가지의 환경요인에 의해 결과가 좌우되는 재배시험의 특성상 한 번의 실험에 의해 완벽한 결론을 내릴 수는 없으나 석탄회의 토양 개량제로써의 이용 가능성은 높은 것으로 생각된다. 본 시험의 특이한 토양 및 환경조건으로 인하여 토마토의 생산성에 미치는 석탄회 사용의 효과는 분명한 결론을 내릴 수가 없으므로 다른 토양조건에서의 시험토양을 공시하여 반복 시험을 실시하여야 정확한 결론을 내릴 수 있을 것으로 생각된다.

Table 4. Inorganic components in the tomato plant after harvesting

Treatment	Application level (MT/10a)	Contents (%)				
		T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Anthracite fly ash	0	1.86	0.62	1.57	3.24	1.15
	2	2.47	0.83	1.55	2.80	0.96
	4	2.66	0.65	1.56	2.35	0.97
	6	1.86	0.52	1.50	2.27	1.35
Bituminous fly ash	2	1.83	0.65	1.56	2.97	1.03
	4	2.26	0.58	1.56	2.42	0.73
	6	2.00	0.53	1.52	2.22	0.77
Lime	0.015	2.00	0.59	1.57	3.17	0.83

적 요

석탄회의 시용은 토양의 pH를 증가시키는 경향을 보였으며, 무연탄회 보다는 유연탄회에서 그 효과가 더 현저하였다. 석탄회 시용에 의한 토양 pH 교정효과는 토양중 유효인산의 함량을 증대시켰으나 공시토양의 높은 pH와 고온, 건조한 환경으로 인하여 석탄회의 시용량이 증가하여 토양 중의 인산함량이 높을수록 식물체에 함유된 인산의 함량이 오히려 낮아지는 경향을 보였다. 토마토의 수량은 식물체내의 인산함량이 높은 처리구에서 많아 식물체 중의 인산 함량의 증가가 식물의 수량을 증가시키는 요인이 된 것으로 생각된다. 수확기별로 보면 모든 처리구에서 제 2과방의 주된 수확시기인 7월 21일에서 7월 30일 사이에 주당 수확된 과실의 수가 많았고, 과실의 개별 무게가 무거워 수량이 가장 많았다. 결론적으로 석탄회의 시용은 토양의 물리화학을 개량시키는데 기여하는 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 산업자원부 · 한국산업기술평가원지원의 지역협력 연구센터인 충북대학교 생물건강산업개발연구센터의 지원에 의한 것입니다.

인용문헌

Boon, J. van Der. 1973. Influence of K/Ca ratio and drought on physical disorders in tomato. *Netherland J. Agr. Sci.* 21: 56-67.

Cotter, D.J. 1961. The influence of nitrogen, potassium, boron and tobacco mosaic virus on the incidence of internal training and other fruit quality factors of tomatoes. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 77: 474-479.

한국동력자원연구소. 1989. 석탄의 용융 연소 시스템에 관한 연

구. 한국과학기술처. KE-89(B)-29.

김재정, 홍순달, 최병선, 박종현. 1992. 석탄회의 시용이 콩의 생육에 미치는 영향. *한국토양비료학회지* 25: 143-148.

Locascio, S.T. and M.V.R. Roa. 1972. Tomato and cabbage response to N, P and K fertilization on a clay soil in Guyana. *Proc. of the Tropical Region, Amer. Soc. Hort. Sci.* 16: 247-253.

Moore, E.L. and W.O. Thomas. 1952. Some effect of shading and para-chlorophenoxy acetic acid on fruitfulness of tomatoes. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 60: 289-294.

Sharma, C.B. and H.S. Mann. 1971. Effects of phosphatic fertilizers at varying levels of nitrogen and phosphate on the quality of tomato fruits. *Ind. J. Hort.* 28: 228-233.

신제성, 임동규, 성기석, 김만수. 1987. Fly Ash의 비료화 연구 1. Fly Ash의 광물학적 특성. *한국토양비료학회지* 20: 309-314.

신제성, 임동규, 성기석. 1990. Fly Ash의 비료화 연구 2. 대두에 대한 Fly Ash의 가리효과. *한국토양비료학회지* 23: 204-207.

青木正則. 1990. 石炭灰な利用した肥料の開発. *燃料協會誌* 69: 1008-1016.

Trudel, M.J. and J.L. Ozbun. 1971. Influence of potassium on carotenoid content of tomato fruit. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96: 763-765.

Went, F.W. 1945. Plant growth under controlled conditions. VI: Comparison between field and air-conditioned greenhouse culture of tomatoes. *Amer. J. Bot.* 32: 643-654.

Winsor, G.W., J.N. Davis and M.I.E. Long. 1967. The effect of nitrogen, phosphorus potassium, magnesium and lime in factorial combination on the yield of greenhouse tomato. *J. Hort. Sci.* 42: 277-288.

岩堀修一等. 1963-1966. トマトの高温障害に関する研究(第1-5報). *園學雜*. 32-35.

(접수일 2006.12.19; 수락일 2007.2.14)