

음식물찌꺼기 퇴비의 시용에 따른 토양의 화학성 변화 및 작물체내 염류의 흡수

이상석, 장기운

충남대학교 농과대학 농화학과 식물영양학 실험실

Changes of Soil Chemical Properties and Uptake of Salts by the Plants according to the Application of the Food Waste Compost

Sang-Suk Lee, Ki-Woon Chang

Department of Agricultural Chemistry, Chungnam National University,
Taejon, 305-764, Korea

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the changes of soil chemical properties and uptake of salts by the plants(*Raphanus* and *Lactuca*) according to the application of the food waste compost(FWC), which was produced on a large scale at a pilot plant.

Generally, FWC has a high electrical conductivity(EC) and contains much salts, such as Na, K, Ca, and Mg, and because of these when FWC are applied to soils there is a possibility of salt accumulation in soils and growth inhibition on plants.

The FWC were applied at the rates of 0, 20, 40, 80, and 160 Mg/ha in the 1/5,000a pots on the basis of dry weight, and the plants were cultivated for 60 days. And then, changes of pH and EC in soils and uptake of salts by the plants were investigated. The results obtained are summarized as follows:

1. After the cultivation of the *Raphanus* and *Lactuca*, pH increased and EC decreased in the soils.
2. Uptake rates of Na and K were slightly increased with the application of the FWC. In uptake rate of Ca, *Raphanus* and *Lactuca* was decreased, increased, respectively. In *Raphanus*, uptake rate of Mg was highest with the application of the FWC at 40 Mg/ha, and in *Lactuca*, con-

tinuously increased with application of the FWC.

Key words : Food waste compost, Electrical conductivity(EC), *Raphanus*, *Lactuca*

초 록

이 연구는 대규모의 pilot plant에서 생산된 음식물찌꺼기 퇴비의 시용에 따른 작물(열무, 상추)에 의한 염류의 흡수와 토양의 화학적 특성 변화를 조사하기 위하여 수행되었다. 일반적으로 음식물찌꺼기 퇴비(FWC)는 전기전도도(EC)가 높고 Na, K, Ca 그리고 Mg와 같은 많은 염류를 함유하고 있다. 이러한 FWC가 토양에 시용될 경우 토양의 염류집적과 작물의 생육저해 가능성을 검증하지 않으면 안된다.

FWC를 건물중으로 1/5,000a pot에 0, 20, 40, 80 그리고 160 Mg/ha의 비율로 시용한 후 60일 동안 작물을 재배하여 토양의 pH와 EC, 작물에 의한 염류의 흡수를 조사하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 열무와 상추를 재배한 후 토양의 pH는 증가하였으며, EC는 감소하였다.
2. Na와 K의 흡수량은 FWC의 시용에 의해 약간 증가하였다. Ca의 흡수량에 있어서, 열무와 상추는 각각 감소, 증가하였다. 열무에서 Mg의 흡수량은 40 Mg/ha 시용했을 때 가장 높았으며, 상추에서는 FWC의 시용에 따라 지속적으로 증가하였다.

핵심용어 : 음식물찌꺼기 퇴비, 전기전도도, 열무, 상추

1. 서 론

국내에서 발생하는 음식물찌꺼기는 '95년도 통계에 따르면 일일 15,075 ton으로 생활폐기물 발생량 47,774 ton의 약 30%를 차지하고 있으며, 생활폐기물중에서 음식물찌꺼기의 점유비율은 '91년도의 28.5%에 비해 크게 증가하였다(신, 1997). 이를 선진 OECD 국가인 미국(90) 25%, 영국(90) 19% 및 독일('89) 28%와 비교할 때 국내의 음식물찌꺼기 점유비율은 높은 편이다.

1995년 1월 1일 부터 전국적으로 실시된 쓰레기 종량제 시행결과 생활쓰레기의 배출량은 감소하였다. 음식물찌꺼기는 그릇된 우리의 식생활 때문에 크게 감소되지 않고 있어 이에 대한 관리 및 처리의 필요성이 제기되고 있다.

생활폐기물 중에서도 음식물찌꺼기는 원료의 특

성상 수분함량이 80% 이상으로서 쉽게 부패되어 수거나 운반시에 악취 및 오수가 발생된다. 그리고 과량의 염분(2~3%)을 함유하고 있으며, 매립시에는 침출수로 인해 지하수질 및 주변환경 악화 등의 2차오염을 유발시킨다. 또한, 침출수를 처리하는데 시설 및 비용이 소요될 뿐만 아니라 매립지의 감소와 지역 이기주의(NIMBY) 현상으로 매립지 확보에도 어려움이 많다. 소각할 경우에도 낮은 발열량과 높은 수분함량 때문에 소각온도를 저하시켜 추가의 보조연료를 사용해야 하는 문제점이 있다.

1996년 11월 수도권 매립지 등에서 젖은 음식물찌꺼기의 반입제한으로 이에 대한 처리의 심각성이 전국적으로 확대되었지만 현재까지 뚜렷한 해결책이 없는 실정이다.

이러한 시점에서 처리 방법의 하나로 국내에서도 퇴비화 방법에 의한 해결책을 모색하기 위하여 활

발한 연구가 진행되고 있다.

퇴비화는 폐기물을 이용하여 토양개량제 등으로의 재활용 및 매립처리시의 비용감소 등의 장점이 있으나, 퇴비화 과정중 악취의 발생으로 위생상의 문제가 있다. 특히, 음식물찌꺼기의 경우는 과다한 염분 때문에 최종적으로 생산된 퇴비의 적절한 수요처가 보장되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 음식물찌꺼기 퇴비를 사용하여 토양의 화학성 변화와 작물체내 염류의 흡수 및 염류간의 길항·상조작용을 조사하여 최종적으로 음식물찌꺼기 퇴비의 농업적 이용 가능성을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

본 실험에 사용된 퇴비는 서울 난지도 퇴비화 연구시설에서 생산된 음식물찌꺼기 퇴비이며, 토양은 충남대학교 부속농장의 나지 밭토양으로 토성은 양토(loam)였다.

공시작물인 열무(*Raphanus sativus L. f.*)와 상추(*Lactuca sativa L.*)는 H중묘에서 생산된 것을 이용하였다. 본 실험에 사용한 퇴비와 토양의 화학적 성질 및 중금속과 미량원소 함량은 표 1, 2와 같다.

Table 1. Chemical properties of the food waste compost and soil used in the pot experiment

Samples	pH (1:5)	EC (dS/m)	T-N (%)	T-C (%)	C/N ratio	P	K	Ca	Mg	Na
Compost	7.4	51.6	2.9	44.4	15.3	0.93	1.13	0.59	0.33	1.12
Soil	6.6	0.35	0.05	3.2	64.0	0.05	0.62	0.43	0.16	0.15

Table 2. Contents of heavy metals and microelements of the food waste compost and soil used in the pot experiment

Samples	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Fe	Zn
	mg/kg							
Compost	0.6	0.9	ND	10.9	ND	6.4	1,936	38.1
Soil	1.4	ND	4.1	5.3	ND	20.5	1,461	63.5

ND : Not detected

2.2 방법

(1) Pot 조성 및 처리구

퇴비 처리구는 1/5,000a Wagner pot에 건조량으로 토양 3 kg에 대하여 퇴비를 0, 20, 40, 80, 160 Mg/ha을 시용하였다. 열무와 상추는 N-P 205-K2O를 각각 28-5.9-15.4 kg/10a, 20-5.9-12.8 kg/10a를 시용하여 표준시비구로 하였으며, 각 처리구는 토양과 균일하게 혼합하였고, 처리구 모두 3반복으로 수행하였다.

(2) 이식, 시료채취 및 조제

열무와 상추는 육묘상자에 파종한 후 5일째 크기가 균일한 묘를 선택하여 시비처리된 1/5,000a pot에 이식하여 비닐하우스 내에서 재배하였으며, 시들음 현상이 생기거나 초기 생육이 불량한 묘는 교체하였다. 재배기간중 비닐하우스 내의 평균온도와 습도는 약 31℃와 72%였다.

이식후 15일 간격으로 60일까지 토양을 채취하여 pH와 EC를 측정하였으며, 열무와 상추도 동일한 시기에 수확하여 작물체내 염류의 흡수량을 조사하였다.

식물체의 화학성분 분석을 위해 수확한 열무와 상추는 증류수로 이물질을 제거한 후 60℃에서 신속히 건조하였다. 그리고, 토양은 음지에서 풍건한 후 2 mm 체를 통과하는 것을 분석에 이용하였다.

(3) 분석방법

토양의 pH는 증류수를 이용하여 1:5법 (Jackson, 1958)으로 측정하였으며, EC는 1:5법 (농촌진흥청, 1995)으로 물추출하여 측정값에 희석배수인 5를 곱하여 계산하였다.

토양과 식물체의 Na, K, Ca, Mg 분석을 위해 HNO₃:H₂SO₄:HClO₄(10:1:4) 혼합용액과 HClO₄로 각각 분해한 후 Na와 K는 Flame Photometer(Corning Flame Photometer 410), Ca와 Mg는 원자흡광기(ANALAB-9100A, SUN-

IL DEVELOPED ENG. Co. Ltd.)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 퇴비 시용후 열무와 상추를 재배한

토양의 pH 변화

상추와 열무를 재배한 후 토양의 pH 변화를 살펴 보면 대조구와 NPK 처리구는 재배일수가 경과됨에 따라 미미하게 증가하였다. 그러나 퇴비 처리구에서는 15일째 일시적으로 감소하였다가 이후 다시 증가하는 경향을 보였다. 15일째 열무와 상추에서 pH의 감소율은 각각 3.9~4.1, 1.3~1.9%로서 열무에서의 감소는 현저하게 나타났다.

또한, 퇴비 시용량이 증가됨에 따라 pH도 증가하였다. 작물 재배전과 재배후의 증가율을 비교해 보면, 열무는 약 2.6~5.4%, 상추는 2.6~4.1% 증가되었다.

3.2 퇴비 시용후 열무와 상추를 재배한 토양의

EC 변화

염류(salts)란 산(acid)의 수소이온(H⁺)이 금속 또는 금속성 이온으로 치환된 화합물, 즉 HCl,

H₂SO₄, HNO₃, H₂CO₃의 수소이온이 Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺ 등과 치환되어 생성되는 NaCl, K₂SO₄, CaSO₄, MgCl₂, (NH₄)₂SO₄ 등의 화합물을 말한다. 따라서 이들 화합물은 비료의 일종인 식물영양원이지만 과다할 경우 토양이나 작물에 악영향을 미치기 때문에 문제가 되는 것이다.

토양중의 염류농도는 전기전도도(Electrical conductivity: EC)로 나타내는데 이는 저항(resistance)의 단위인 ohms 또는 mhos의 역수로서 단위는 dS/m 또는 mmhos/cm로 표시된다(Hinrich et al., 1979).

그림 2에서 음식물찌꺼기 퇴비를 사용한 후 토양의 EC 변화를 보면 열무와 상추를 재배한 토양 모두 재배일수가 경과함에 따라 점차 낮아지는 것을 볼 수 있었다.

이와 같이 EC 값이 낮아진 것은 토양중의 염류가 일부 작물체내로 흡수되었거나 관수에 의해 용탈 또는 세탈되었기 때문이다. 과량 처리구(160 Mg/ha)를 볼 때 60일째에 열무보다는 상추를 재배한 토양의 EC 값이 높다는 것을 알 수 있으며, 열무의 염류 흡수량이 많다는 증거이다.

일반적으로 열무와 같은 halophytes(salt-lov-

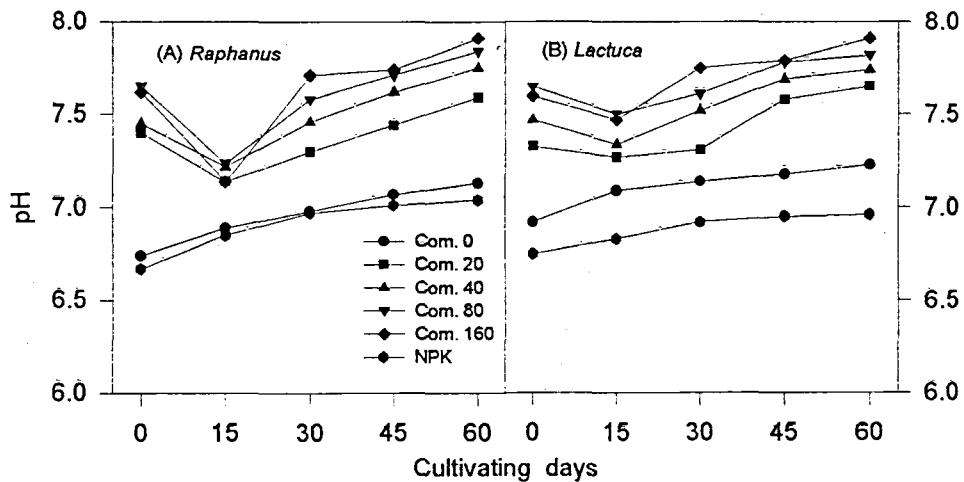


Fig. 1. Changes of pH in soils after application of the compost.

(A) Raphanus, (B) Lactuca

ing plants)는 뿌리세포에 의해 염류를 배제(exclusion)하거나 염분비선(salt glands)에 의해 흡수된 염류를 배출시키거나 또는 염류를 흡수하더라도 대사작용이 일어나는 장소까지는 도달하지 못하게 하는 기작을 통해 염류에 대한 내성을 갖게 된다(Gorham et al., 1985).

이와 반대로 glycophytes(non-halophytes)는 토양용액의 삼투압이 2기압 이상일 때 염류 토양용액에서 잘 자라지 않는 식물로 정의되고 있다(Herren and Donahue, 1991). 이러한 glycophytes는 외부의 염농도 변화에 대해 halophytes 처럼 적응하지 못하고 결국 위조(necrosis) 또는 고사하게 된다. 상추의 경우 60일 이전에 고사하였는데 이것은 상추가 glycophytes 이기 때문이다.

이와 같이 염류는 과량일 경우 문제가 되지만 적정량일 때는 작물의 양분으로 흡수되어 생육 및 수량증진에 효과적이다. 그러므로 토양에 퇴비를 시용할 경우에는 적정량을 균형있게 사용하는 것이 중요하다.

3.3 퇴비 시용후 열무와 상추의 뿌리 및 잎에서의 Na, K, Ca 및 Mg 함량

(1) Na의 함량

퇴비 시용후 열무의 Na 흡수량을 보면 뿌리와 잎에서 모두 시용량이 증가될수록 흡수량도 증가하는 것으로 나타났다(그림 3). 다만 뿌리에서 60일째 40 Mg/ha 시용하였을 때까지는 Na의 흡수량이 증가되었지만 이후 감소하다가 거의 변화가 없었다.

내염성이 약한 대부분의 식물은 생육초기에 염에 의해 생육저해를 받는데 상추의 경우도 과량 시용구인 80, 160 Mg/ha에서 생육저해 현상이 뚜렷하게 나타났다. 15일째 뿌리에서 Na의 흡수량은 40 Mg/ha를 시용할 경우 최고의 흡수량을 보였고 그 이상을 시용하였을 경우 점차 감소하였다. 반면 60일째는 퇴비 시용량이 증가될수록 지속적으로 증가되었는데 이로 인해 상추가 60일 이전에 고사하였다. 또한, 뿌리에서 흡수된 Na는 열무와는 달리 15일째 보다 60일째에 더 높았다. 그리고 잎에서의 Na 흡수량은 15, 60일째 모두 퇴비 시용량의 증가와 함께 지속적으로 증가하였다.

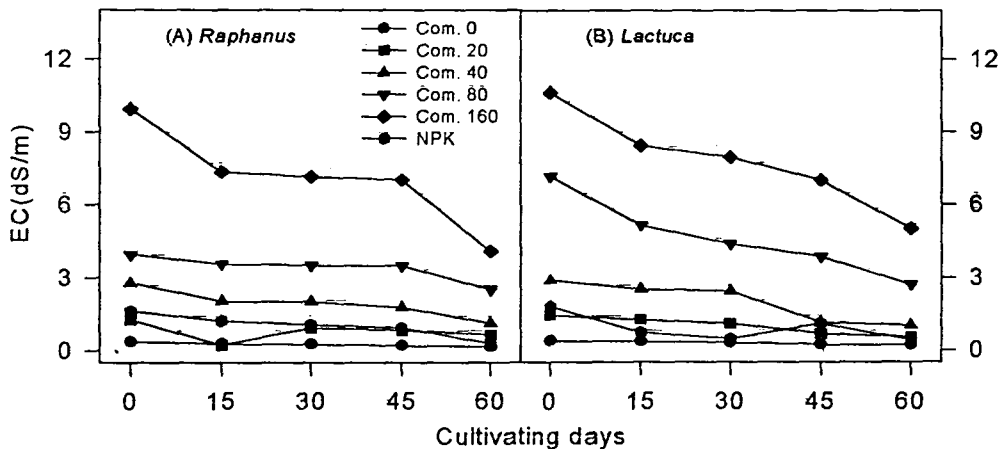


Fig. 2. Changes of EC in soils after application of the compost.

(A) Raphanus, (B) Lactuca

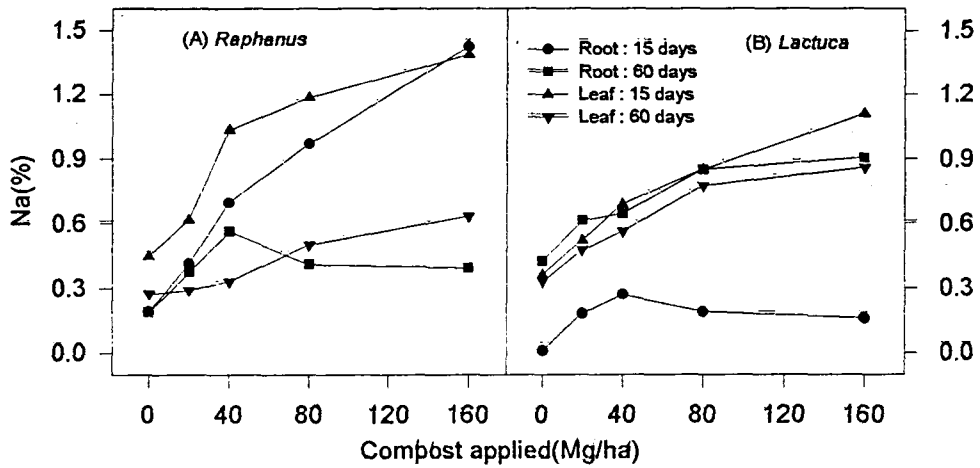


Fig. 3. Changes of Na content in root and leaf of *Raphanus* and *Lactuca* after application of the compost. (A) *Raphanus*, (B) *Lactuca*

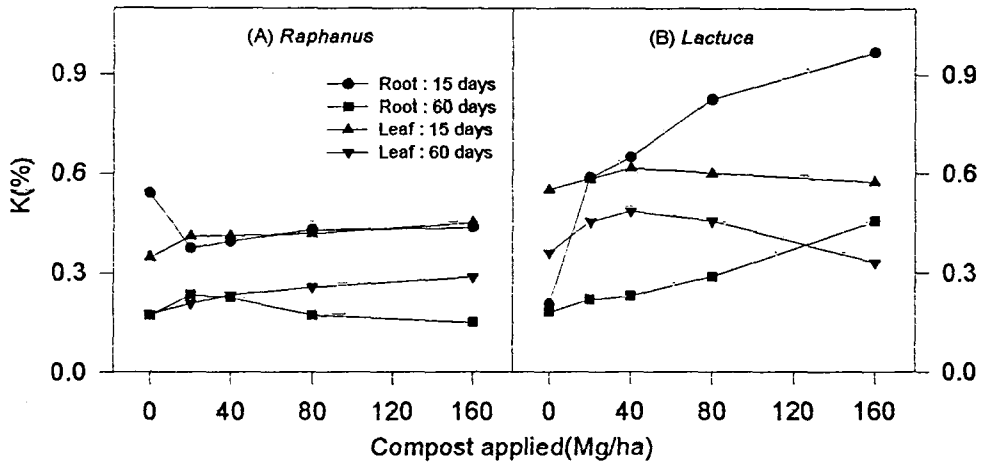


Fig. 4. Changes of K content in root and leaf of *Raphanus* and *Lactuca* after application of the compost. (A) *Raphanus*, (B) *Lactuca*

(2) K의 함량

K와 Na는 길항작용(antagonism)이 있어 외부의 Na 농도가 높을 때 상대적으로 식물체로 흡수되는 K는 적어진다(Zekri and Lawrence, 1992; He and Grant, 1992).

즉, 염농도가 증가하게 되면 앞에서 흡수되는 Na의 농도는 증가하게 되고 K의 농도는 감소하게

된다.

그림 4에서 볼 수 있듯이 열무의 경우 15일째 뿌리에서 K의 흡수량은 완만한 증가의 경향을 보였으며, 퇴비 시용구 보다는 대조구에서 K의 흡수가 높았다. 이는 Na 때문에 K의 흡수가 저해된 것으로 판단된다. 반면, 60일째는 20 Mg/ha 시용하였을 때 최고의 흡수량을 보였고 이후 점차 감소하였다.

그리고 잎에서 K의 흡수량은 퇴비 사용량이 증가됨에 따라 완만한 증가의 양상을 보였다.

상추의 경우 K는 뿌리에서 생육초기인 15일째의 흡수량이 후기인 60일째 보다 현저히 높게 나타났다. 잎에서는 15, 60일째 모두 유사한 경향을 보이고 있었으며 40 Mg/ha 사용시에 최고의 흡수량을 나타내었고, 퇴비 사용량이 증가될수록 흡수되는 K는 점차 낮아졌다.

K/Na 비율이 높을수록 식물의 내염성이 강해진다(Porcelli et al., 1995). 상추의 경우 대조구의 60일째 뿌리에서는 K/Na 비율이 약 2, 160 Mg/ha 처리구에서는 약 0.5로서 퇴비 사용량이 증가될수록 즉, 외부의 Na의 농도가 증가될수록 K/Na 비율이 점차 낮아지고 있는 것을 볼 때 상추는 열무보다 내염성이 약하다는 것을 알 수 있다.

(3) Ca의 함량

K와 마찬가지로 Ca도 Na와 길항작용(antagonism)을 하는데 Na 농도가 증가되면 배추의 잎에 흡수되는 Ca의 양이 감소된다(He and Grant, 1992). 그림 5에서 열무의 뿌리와 잎에서의 Ca 흡수량을 보면 40 Mg/ha 사용할 경우 최고의

흡수량을 나타내었고, 그 이상 사용할 때에는 감소하였다. 그리고, 60일째는 퇴비 사용량의 증가에 따라 Ca의 흡수량에 큰 변화가 없었다.

상추의 경우 80 Mg/ha 사용하였을 때 최고의 흡수량을 보였으며, 그 이상 사용할 경우 점차 감소하였다. 이것은 음식물찌꺼기 퇴비에 함유된 Na에 의해서 퇴비 처리구에서는 Ca의 흡수가 저해된 것으로 인정되었다(Porcelli et al., 1995). 뿌리에서 흡수된 Ca는 생육초기인 15일째가 높았으며, 잎에서는 60일째가 높게 나타났다.

(4) Mg의 함량

He 등은 Mg와 Na 사이에 상호작용(synergism)이 있어 외부의 Na 농도가 높을 경우 식물체로 흡수되는 Mg의 양이 높아진다고 하였다. 그러나 열무에 있어서는 그러한 경향을 볼 수 없었고, 뿌리와 잎에서 40 Mg/ha 사용하였을 때 최고의 흡수량을 나타내었고 그 이상을 사용할 경우 점차 감소하였다.

열무와는 달리 상추의 뿌리에서 Mg의 흡수량은 퇴비 사용량이 증가될수록 점차 증가하였는데 이는 Na와 Mg가 상호작용을 한다는 연구결과와 일치하

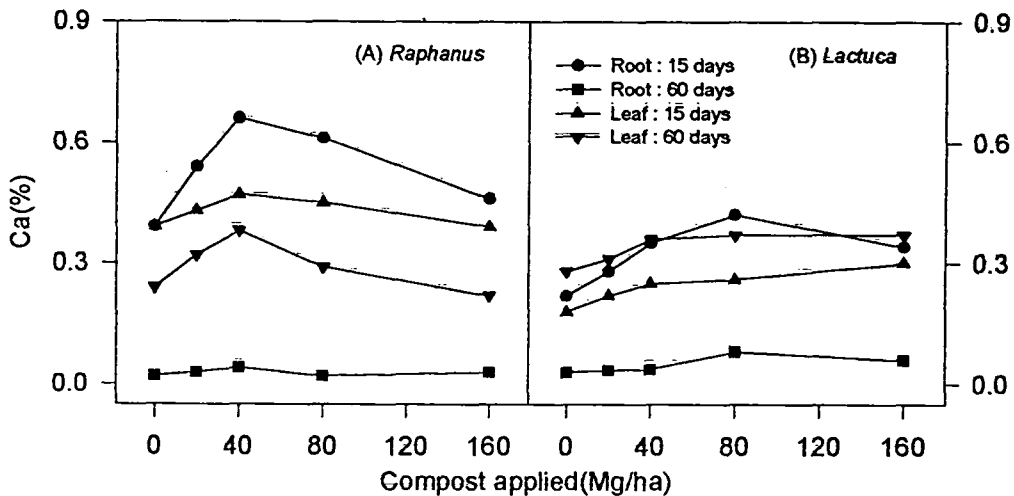


Fig. 5. Changes of Ca content in root and leaf of *Raphanus* and *Lactuca* after application of the compost. (A) *Raphanus*, (B) *Lactuca*

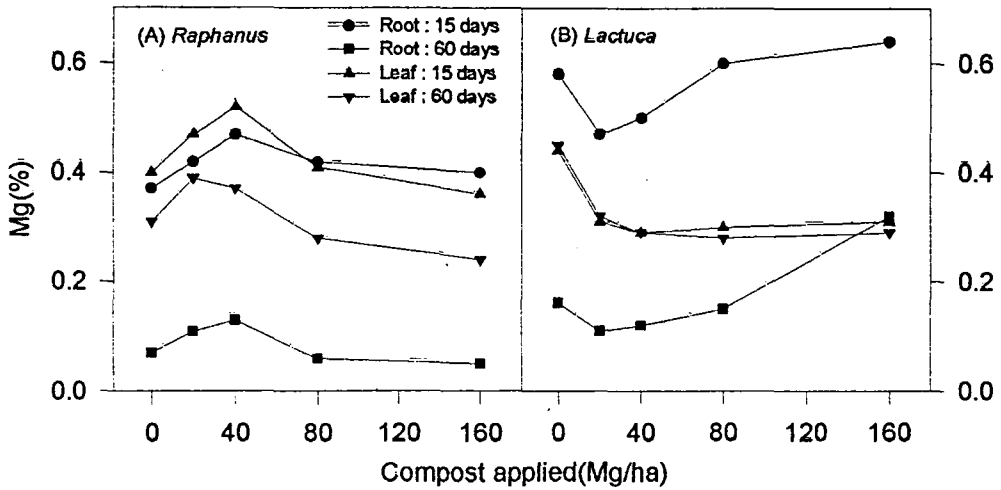


Fig. 6. Changes of Mg content in root and leaf of *Raphanus* and *Lactuca* after application of the compost. (A) *Raphanus*, (B) *Lactuca*

였다(He and Grant, 1992). 반면 잎에서의 Mg 흡수량 변화를 보면 대조구에서 가장 높았고, 퇴비 사용량이 증가될수록 감소하다가 80 Mg/ha 이상을 사용하였을 때 거의 변화가 없었다. 결국 Mg와 Na 사이의 상호작용도 작물에 따라 상이한 양상을 보였다.

4. 결 론

이상의 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 퇴비를 사용하였을 때 열무와 상추를 재배한 후 토양의 pH는 증가하였다.
2. 토양의 EC는 토양중의 염류가 작물체내로 일부 흡수되거나 관수에 의해 토양 하층으로 이동되었기 때문에 작물을 재배하기 전 보다 작물을 재배한 후 감소 하였다.
3. FWC를 사용하였을 때 작물체내 Na의 흡수량은 열무와 상추 모두 사용량이 증가될수록 뿌리와 잎에서 증가되었다. 특히, 상추에서 K의 흡수량은 FWC의 사용에 의해 뿌리에서는 증가하였고, 잎에서는 감소하였다. Ca의 흡수량에 있어

서, 열무와 상추는 각각 감소, 증가하였다. 열무에서 Mg의 흡수량은 40 Mg/ha 사용했을 때 가장 높았으며, 상추에서는 FWC의 사용에 따라 지속적으로 증가하였다.

감사의 글

이 연구는 한국자원재생공사와 한국유기성폐기물자원화기술개발연구조합의 연구비 지원에 의하여 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 농촌진흥청 (1995), 농사시험연구조사기준.
 신관호 (1997), "음식물 및 유기성폐기물의 퇴비화 처리기술(심포지움)". pp. 169~178.
 장기운, 이인복, 임재신, 김영한, 이상석, 임현택 (1996), "정수장슬러지의 사용이 대두 및 당근의 수량과 화학성에 미치는 영향". 한국토양비료학회지. Vol. 29, No. 3, pp. 275~281.
 Ashraf, M. and Nagvi, M. I. (1991), "Growth

- and Ion Uptake of Four Brassica species as affected by Na/Ca Ratio in Saline Sand Culture". *Z. Pflanzenernahr. Bodenkd.* Vol. 155, pp. 101~108.
- Benlloch, M., Ojeda, M. A., Ramos, J. and Rodriguez, A. (1994), "Salt Sensitivity and Low Discrimination between Potassium and Sodium in Bean Plants", *Plant and soil.* Vol. 166, pp. 117~123.
- Bernstein, L. and Hayward, H. E. (1958), "Physiology of Salt Tolerance". *Ann. Rev. Plant Physiol.* Vol. 9, pp. 25~46.
- Cheesman, J. M. (1988), "Mechanism of Salinity Tolerance in Plants". *Plant Physiol.* Vol. 87, pp. 547~550.
- Chhipa, B. R. and Lal, P. (1995), "Na/K ratio as the basis of Salt Tolerance in wheat". *Aust. J. Res.* Vol. 46, pp. 533~539.
- Cooper, W. C. (1961), "Toxicity and Accumulation of Salts in Citrus Trees on Various Rootstocks in Texas". *Proc. Fla State Hortic. Sci.* Vol. 74, pp. 95~104.
- Cramer, G. R. (1997), "Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants".
- Dutt, S. K. (1979), "Tolerance of Rice Varieties at the Germination Stage to Salt Levels in the Tidal Water of Sunderban Region". *Indian J. Agric. Sci.* Vol. 49, No. 5, pp. 374~377.
- Gorham, L., Wyn Jones, R. G., and McDonnell, E. (1985), "Some Mechanisms of Salts Tolerance in Crop Plants". *Plant and Soil.* Vol. 89, pp. 15~40.
- Greenway, H. and Munns, R. (1980), "Mechanisms of Salt Tolerance in Nonhalophytes". *Annu. Rev. Plant Physiol.* Vol. 31, pp. 149~190.
- He, T. and Cramer, G. R. (1992), "Growth and Mineral Nutrition of Six Rapid-cycling Brassica species in response to Seawater Salinity". *Plant and soil.* Vol. 139, pp. 285~294.
- Herren, R. V. and Donnahue, R. L. (1991), "The Agriculture Dictionary". p. 217.
- Hinrich, L. B., Mcneal, B. L., and O'connor, G. A. (1979), *Soil Chemistry.* pp. 222~224.
- Jackson, M. L. (1958), "Soil Chemistry Analysis". Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J.
- Lazof, D. and Cheesman, J. M. (1988), "Sodium and Potassium Compartmentation and Transport in the Roots of Intact Lettuce plants". *Plant Physiol.* Vol. 88, pp. 1279~1284.
- Porcelli, C. A., Flavio, H. G. B., and Raul, S. L. (1995), "The K/Na and Ca/Na Ratios and Rapeseed Yield, under Soil Salinity or Sodicity". *Plant and soil.* Vol. 175, pp. 251~255.
- Zekri, M. and Parsons, L. R. (1992), "Salinity Tolerance of Citrus Rootstocks: Effects of Salt on Root and Leaf Mineral Concentrations". *Plant and soil.* Vol. 147, pp. 171~181.