시설재배지 토양에서 유기자재 투입이 염류활성도에 미치는 영향

이슬비¹⁾ · 이창훈²⁾ · 홍창오³⁾ · 김상윤¹⁾ · 이용복⁴⁾ · 김필주^{1,5)*}

¹⁾경상대학교 응용생명과학부(BK 21 Program), ²⁾University of Illinois, ³⁾South Dakota State University

⁴⁾국립농업과학원, ⁵⁾경상대학교 농업생명과학원

(2009년 12월 11일 접수, 2009년 12월 26일 수리)

Effect of Organic Residue Incorporation on Salt Activity in Greenhouse Soil

Seul Bi Lee¹⁾, Chang Hoon Lee²⁾, Chang Oh Hong³⁾, Sang Yoon Kim¹⁾, Yong Bok Lee⁴⁾, and Pil Joo Kim^{1,5)*} ¹⁾Division of Applied Life Science, Graduate School (Brain Korea 21 Program), Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, South Korea, ²⁾Department of Crop Sciences, University of Illinois, 1102 S. Goodwin Avenue, Urbana, IL 61801, USA, ³⁾Plant Science Department, South Dakota State University, 1110 Rotunda Lane North, Brookings, SD 57007, USA, ⁴⁾National Academy of Agricultural Science, Suwon, 441-857, South Korea, ⁵⁾Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, South Korea

ABSTRACT: In Korea, salt stress is one of the major problems limiting crop production and eco-environmental quality in greenhouse soil. The objective of this study was to evaluate the effectiveness of organic residues (Chinese milk vetch, maize stalk, rice straw, and rye straw) for reducing salt activity in greenhouse soil. Organic residues was incorporated with salt-accumulated soil (EC, 3.0 dS m⁻¹) at the rate of 5% (wt wt⁻¹) and the changes of electrical conductivity (EC) was determined weekly for 8 weeks under incubation condition at 30°C. The EC, microbial biomass carbon (MBC), and water soluble ions in soil was strongly affected by C/N ratio of organic residues. After 8 weeks incubation, the concentration of water soluble NO₃⁻, Ca²⁺, and Mg²⁺ was significantly decreased in organic residues having high C/N ratio (maize stalk, rice straw, and rye straw) incorporated soil compared to organic residues having lower C/N ratio (Chinese milk vetch) incorporated soil. The EC value in Chinese milk vetch incorporated soil was higher than control treatment. In contrast, maize stalk, rice straw, and rye straw amended soil was highly decreased the EC value compared to control and Chinese milk vetch applied soil after 4 weeks incubation. Our results indicated that incorporation of organic residues having high C/N ratio (>30) could reduce salt activity resulting from reducing concentration of water soluble ions.

Key Words: Electrical conductivity (EC), Green manure, Salt accumulation, Salt activity

서 론

우리나라에서 시설재배지 면적은 국민소득 증대에 의한 신선채소의 요구도가 증가하면서 1980년 약 18천 ha에서 1995년 약 82천 ha까지 크게 확대되어 왔다. 이후 난방용 유류 값의 상승으로 일정수준의 재배면적을 유지하고 있으나 2006년 총 농경지(약 1824천 ha)의 약 4.5% (약 81.5천 ha)에 해당만큼 우리농업의 중요한 영농형태로 자리잡고 있다^{1,2)}.

시설재배지 토양은 일반 노지토양과 달리 내부가 년 중 고온으로 과량의 시비가 행해지고 있어 우리나라 토양 중 대표적인 염류 집적지(saline soil)로 분류되고 있다. 전국 시설재배 토양의 평균 전기전도도가 1970년대부터 이미 농촌진흥청의 작물재배 적정수준 2 dS m⁻¹를 초과하였으며, 1980년대 최고 3.7 dS m⁻¹까지 높아진바 있다³⁾. 시설재배지 토양에 과다시비에 의해 필요이상 투입된 양이온(K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺ 등)과 음이온(NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, HPO₄²⁻ 등)이 침전형태로 표층토에 집적되어 EC 값을 크게 높게 된다⁴⁾. 1990년 이후 시설재배지의 시비현황은 작물에 따라 다소 차이는 있지만, 노지재배 보다 평균 질소 21%, 인산 52%, 칼리 34% 정도가 과잉시비 되고 있으며, 화학비료와 병행하여 사용되고 있는 퇴비 역시 40-89 ton ha⁻¹의 많은

*연락처:

Tel: +82-55-751-5466; Fax: +82-55-757-0178

E-mail: pjkim@gnu.ac.kr

양이 투입되고 있는 것으로 조사된 바 있다⁵⁾. 토양 내 집적염류는 작물의 발아억제와 유효성장에 가장 큰 장애를 유발할 수 있으며⁶⁻⁸⁾, 작물 성장과정에서도 삼투압현상에 의한 수분과 양분흡수 저해, 불균형적 양분흡수 등으로 주로 근권신장의 장애를 유발하고 지상부의 생육을 불량하게 하여 생산성과 품질을 저하시키는 것으로 알려져 있다⁹⁾.

시설재배지 토양의 합리적 양분관리방안은 토양의 비옥도와 작물의 양분 요구도에 근거한 적절한 시비관리가 이상적인 것으로 받아들여지고 있다. 그러나 이러한 양분관리 시스템의 완벽한 구현을 위해서는 각 작물의 생육과 양분흡수 특성에 대한 정확한 이해가 필요하며, 토양과 양분의 상호반응 특성 등과 같은 관련 요인의 완벽한 자료확보가 전제되어야 할 것이다. 그러나 현재까지 작물의 생리 및 양분흡수특성 그리고 적정 시비관리방안 등에 대해 수많은 연구가 수행되어 왔으나 작물의 생육조건을 이상적으로 만족시키면서 토양 내 염류집적을 방지할 수 있는 완벽한 양분관리시스템 구축까지는 요원한 것으로 평가되고 있다. 일반적으로 작물의 시비 양분흡수 이용률은 양분과 작물의 종류, 토양의 이화학적 특성 등에 따라 큰 차이가 있으나, 시비 질소와 인산의 양분 이용률은 각각 30%와 10%을 채 넘지 못하는 것으로 보고 되고 있다¹⁰⁾. 자연스럽게 농민은 작물의 생산성을 높이기 위해 많은 량의 시비를 실시하고, 잉여 양분은 토양 내 집적되는 악순환이 집약적 농업의 농경지에서는 흔히 되풀이되는 문제로 인식되고 있다. 특히 강우 유입이 차단되어 있는 시설재배지 토양은 일반 노지토양에 비해 과잉양분으로 인한 염류집적에 보다 취약한 여건이다.

시설재배지 내 집적된 염류를 제거하기 위해 현재 많은 농가에서는 토양세척, 제염식물 재배, 객토 등의 고전적인 방법을 사용해오고 있다. 특히 시설재배지가 많은 부산 경남지역에서는 하절기 벼를 재배하거나, 벼 재배 없이 1-2개월의 반복적인 환수를 실시하고 있다. 그러나 이러한 제염방식은 염류제거에 우수한 효과를 가지고 있으나, 세척된 염은 2차 수질오염을 유발하고 귀한 양분의 손실이 발생한다는 측면에서 문제가 될 수 있다.

현재 많은 시설재배지 농가에서 염류피해를 완화하고 토양 내 유기물 함량을 증진시키기 위해 수확 후 작물 잔재물과 다양한 청초 녹비작물을 많은 량 투입하고 있다. 농민들 사이에 이러한 유기자재 투입은 염류피해 경감에 좋은 효과가 있는 것으로 예기되고 있으나, 이에 대한 과학적 조사자료는 아직 보고되지 못하고 있다.

본 연구에서는 현재 우리나라 시설재배지 여건에서 토양의 염류활성도 저감을 위해 투입 가능한 네 가지 식물잔재를 선발하였으며, 처리시간에 따른 토양 내 염류활성도 변화를 조사하였다. 그리고 염류집적지 토양에서 염류활성도 저감을 위한 투입 가능한 최적의 유기잔재물을 선발하고자 한다.

재료 및 방법

토양 및 유기자재 선발

유기자재 투입이 시설재배지 토양 내 염류의 활성도에 미치는 영향을 조사하기 위해 경남 진주시 수곡면의 시설 딸기 재배지 표층토에서 미사질 양토를 공시토양으로 채취하여 자연건조 후 2 mm 이하로 사분하여 실험에 이용하였다 (Table 1). 본 시설재배지는 10년 이상 연속적으로 딸기를 재배하고 있으며, EC 값이 3.0 dS m⁻¹ 로 우리나라 1990년대 평균 정도의 염류집적도를 가지고 있는 토양이었다.

공시 유기자재로는 우리나라 농가에서 토양 유기질 원료로 많이 사용되고 있고 탄질율(C/N ratio)이 서로 다른 4가지 식물잔재(자운영, 옥수수대, 벼짚, 호밀짚)를 선발하였으며 (Table 2), 건조 후 2 mm 이하로 사분하여 분석 및 Incubation 실험에 이용하였다.

Table 1. Chemical properties of the soil used in the incubation test

Parameters	Mean	SD
pH (1:5, H ₂ O)	6.1	0.02
Electrical Conductivity (dS m ⁻¹)	3.0	0.04
T-C (g kg ⁻¹)	35	7.2
T-N (g kg ⁻¹)	5.9	0.72
Available P (mg kg ⁻¹)	331	13.1
Ex. Cations (cmol ⁺ kg ⁻¹)		
K	1.9	0.04
Ca	9.5	0.08
Mg	5.2	0.08
Water soluble cations (mg kg ⁻¹)		
K	155	8.9
Ca	131	2.9
Mg	80	3.7
NH ₄	88	16.0
Water soluble anions (mg kg ⁻¹)		
NO ₃	817	48.5
SO ₄	294	18.7
PO ₄	124	3.7
Cl	147	3.9
Soil texture	Silt loam	

Table 2. Total carbon, nitrogen and phosphorus concentration of the selected plant residues

Plant residue	Total concentration (% wt wt ⁻¹)			Ratio		
	C	N	P	C/N	C/P	N/P
Chinese milk vetch	43.2	2.57	0.14	16.8	308.6	18.4
Maize stalk	38.1	1.30	0.09	29.3	423.3	14.4
Rice straw	40.8	0.65	0.04	62.8	1020.0	16.3
Rye straw	43.2	0.53	0.09	81.5	480.0	5.8

Incubation 실험

선발된 4가지 식물잔재가 시설재배지 토양의 염류활성도에 미치는 영향을 평가하기 위해, 선발된 건조 토양 500 g에 식물잔재를 5 % ($wt\ wt^{-1}$) 을 각 각 3 반복씩 완전 혼합하여, 암조건의 30°C ($\pm 2^\circ C$) 항온조건에서 8주간 Incubation하면서 EC 값의 변화를 정기적으로 조사하였다. 이때 토양은 증류수를 이용하여 수분함량을 포장용수량의 70% ($wt\ wt^{-1}$) 수준으로 실험 전기간 동안 일정하게 유지하였다.

토양 및 식물체 분석

Incubation test 과정 중 총 4번(1, 2, 4, 8주째)에 걸쳐 습도 상태의 토양 EC 값 변화를 조사하였다. 기타 토양의 이화학적 특성은 농촌진흥청의 토양화학분석법(RDA, 2000)에 의거 다음과 같이 분석하였다. 토양의 pH와 EC 값은 1:5 물 침출법, 유기물 함량은 Wakley and Black 법¹¹⁾, 총 질소함량은 킬달중류법, 유효 인산함량은 Lancaster 법, 치환성 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) 함량은 1 M NH_4 -acetate 용액 (pH 7.0)로 침출 후 ICP-AES (Inductively coupled plasma absorption emission spectrophotometer, GBC model X-100, Australia)로 정량 하였다. 수용성 양이온(K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})과 음이온(NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} and HPO_4^{2-}) 함량은 1:5법에 의해 30분간 물로 침출한 다음 0.45 μm cellulose acetate membrane filter로 여과 후 각각을 ICP와 IC (Ion chromatography, Ionpac AS14 column, Dionex 3000, Camberley, UK)를 이용하여 정량 하였다. 수용성 NH_4^+ 의 함량은 Indophenol blue법으로 667 nm에서 UV-VIS(Spectronic 20, Genesys, USA)을 이용하여 측정하였다.

공시 식물잔재는 70°C 항온건조기에서 72시간 동안 건조 후 사분하여 총 무기양분함량 분석에 이용하였다. 이때 질소와 탄소함량은 원소분석기(CHNS-932, Leco, USA)로 인산과 칼륨은 Ternary solution ($HNO_3:H_2SO_4:HClO_4 = 10:1:4, v\ v^{-1}$) 분해 후 ICP-AES로 정량 하였다.

결과 및 고찰

염류집적 토양에 선발된 4가지 공시 식물잔재를 5% ($wt\ wt^{-1}$) 비율로 혼합 처리한 토양과 무처리 토양을 30°C 항온에서 유지하면서 토양 내 염류활성도(EC 값) 변화를 조사하여 Fig. 1과 같은 결과를 얻었다.

유기물 잔재의 투입 없이 수분만 가했던 무처리 토양(control)의 EC 값은 약 8주간의 Incubation 기간 동안 시간이 경과함에 따라 일정하게 높아지는 경향을 보였다. 시험 전 본토양의 EC 값이 약 3.0 $dS\ m^{-1}$ 이었으나, Incubation이 진행되면서 서서히 높아져 8주 경과 후에는 EC 값이 약 215% (6.44 $dS\ m^{-1}$) 까지 높아지는 것을 확인 할 수 있었다. 이와 같은 현상은 시설재배지 현장에서 실제 충분히 일어날 수 있는 현상으로 판단되며, 각종 작물의 재배초기 종자발아

및 유묘의 근권발달 등에 염류피해를 유발할 수 있는 수준으로 판단된다. US Salinity Laboratory의 염류집적지 분류기준에 따르면 EC 값이 4 $dS\ m^{-1}$ 이상의 토양을 Saline soil로 분류하고 있으며¹²⁾, 염에 대해 민감한 작물들에 대해 염해를 나타낼 수 있을 만큼의 높은 염 농도로서 받아들여 진다. 특히, 감자, 딸기, 양파, 무, 오이, 토마토, 양상추 등은 EC값이 4 $dS\ m^{-1}$ 이상에서 염에 의한 피해가 나타나는 민감한 종류로 알려져 있다¹³⁾.

이상과 같이 Incubation 과정 중 무처리 토양의 EC 값이 꾸준히 높아지는 것은 다음의 몇 가지 원인이 작용한 것으로 판단된다. 첫 번째 토양의 이화학적 특성의 분석에 이용되고 있는 토양분석법의 토양시료 제조법에서 기인하는 것으로 생각된다. 일반적으로 추천되고 있는 토양제조법은 토양의 건조 후 사분하여 사용할 것을 권하고 있다¹⁴⁾. 이러한 건조과정에서 습도 내 존재하는 많은 양의 활성 무기이온들이 불용성 염으로 전환될 수 있고, 일부는 토양입자와 강하게 흡착 고정될 가능성이 높게 된다¹⁵⁾. 따라서 건조토양을 약 30분 정도의 물 추출에 의한 수용성 염의 함량만을 조사하게 되는 기존의 토양 EC 분석법은 현장 습도가 가지는 본래 EC값 보다 다소 낮게 분석될 가능성이 높은 것으로 평가된다. 건조 토양 내 존재하는 불용성 염이 포장용수량 수준의 수분공급과 30°C 고온으로 유지되면서 그 용해도가 크게 증가하여 EC 값을 크게 높였을 것으로 판단된다. 이외에도 처리토양의 Incubation 과정 중 토양 내 포함되어있던 미분해성 유기물이 무기화 되면서 질산태 질소와 같은 무기이온으로 전환되어 토양 내 EC 값 증가에 영향을 준 것 역시 하나의 원인으로 판단된다.

토양 내 염류활성도, EC 값을 낮추기 위해 투입된 식물잔재의 투입효과는 투입자재의 탄질율(C/N 율)에 따라 다소 다른 경향을 볼 수 있었다(Fig. 1와 Fig. 2). 탄질율이 낮은

Fig. 1. Changes of EC values in soil amended with 5% ($wt\ wt^{-1}$) of plant residues during the incubation at 30°C under dark condition.

Table 3. Concentrations of water soluble ions in soil amended with 5 % organic residues on the 8th week of incubation

	Control	Chinese milk vetch	Maize stalk	Rice straw	Rye straw	LSD _{0.05}
Anions (mg kg ⁻¹)						
Cl ⁻	152	339	309	334	276	56.3
NO ₃ ⁻	3032	2590	1239	914	1094	428.4
SO ₄ ²⁻	63	70	266	294	410	70.3
PO ₄ ³⁻	98	108	122	114	114	15.4
Cations (mg kg ⁻¹)						
K ⁺	230	603	342	432	326	31.6
Ca ²⁺	305	238	156	124	162	36.5
Mg ²⁺	174	137	104	77	93	21.4
NH ₄ ⁺	138	207	166	150	159	44.8
Sum (anion+cation)	4192	4292	2704	2439	2634	490.0

자운영 (C/N 율 16.8)은 토양 EC 값이 투입 1주차부터 무처리구 토양에 비해 월등히 높았으며, Incubation이 진행됨에 따라 EC 값은 더 크게 높아지는 현상을 볼 수 있었다. 결과적으로 자운영의 투입은 염류집적지 토양내 염류활성 저감에는 효과가 없는 것으로 평가된다. 이는 미생물 분해성이 높은 자운영이 토양에서 무기화되면서 질산태 질소와 같은 자유형태의 무기이온의 함량을 크게 증대되었기 때문으로 해석된다. 본 실험에서 자운영 5% 처리 토양을 8주간 Incubation 실시한 후 수용성 이온함량을 조사한 결과 (Table 3), 질산태 질소를 포함한 전체 이온의 함량이 무처리구 및 타 유기물 처리구에 비해 월등히 높아진 것을 볼 수 있었다.

자운영과 달리 탄질율이 높은 식물잔재(C/N 율 약 30 이상) 투입은 무처리구와 비교하여 Incubation 전기간 내내 토양의 염류활성도를 낮추는 효과가 우수한 것으로 확인되었다. 그러나 탄질율에 있어 큰 차이가 나는 3가지 식물잔재(옥수수대 벚짚 호밀짚) 간 토양 EC 값 저감효과는 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다. 결과적으로 탄질율 30 이상의 유기성 잔재 투입은 토양 내 염류활성도 저감에 거의 비슷한 효과를 가지고 있는 것으로 판단된다.

이상과 같이 높은 탄질율의 유기물 투입이 토양 내 염류의 활성도를 낮추는 것은 다음의 몇 가지 원인으로 반응기작을 고려할 수 있다. 일차적으로 투입 식물잔재의 무기이온의 흡착효과가 염류농도 저감에 부분적으로 기여했을 것으로 기대된다. 일반적으로 수용성 음이온의 농도가 EC에 가장 많은 영향을 미치지만 비닐하우스 토양과 같이 염이 집적된 토양에서는 양이온도 EC에 많은 영향을 미친다¹⁶⁾. 본 시험에서 염류농도 저감에 효과를 보인 옥수수대, 벚짚, 호밀짚 처리구의 수용성 Ca와 Mg 농도가 control 처리구에 비해 유의성 있게 감소되었다 (Table 3). 이는 유기물의 분해과정에서 생성된 organic ligands가 용액중의 다가 양이온을 흡착시킨 결과로 해석할 수 있을 것이다¹⁷⁾.

또 한가지 중요하게 생각할 수 있는 반응기작으로서 유기물 투입에 의한 미생물 증식효과를 생각할 수 있다. 유기물의 분해과정에서 유출되는 무기태 질소는 투입되는 유기물의

Fig. 2. Changes of microbial biomass carbon (MBC) concentration in soil amended with 5% (wt wt⁻¹) of plant residues during the incubation at 30°C under dark condition.

C/N 율과 토양의 질소 함량에 따라 차이는 있지만 상당량이 미생물에 의해 부동화가 일어난다¹⁸⁾. 특히, C/N 율이 25 이상인 유기물의 투입은 미생물의 생육에 필요한 질소를 토양으로부터 흡수하기 때문에 미생물과 식물간에 질소경쟁이 발생되는 것으로 알려져 있다¹⁹⁾. 따라서 C/N 율이 낮은 자운영 처리는 무기화에 의한 질소 공급량이 미생물에 의한 부동화량 보다 높았기 때문에 Incubation 과정에서 질산태 질소 함량이 증가되어 EC를 증가 시킨 것으로 해석된다. 반면, C/N 율이 높은 식물잔재 (옥수수, 벚짚, 호밀짚) 처리구는 미생물의 생육과 증식에 필요한 질소원을 유기물 분해 과정에서 유출되는 질소 보다 토양 중 무기태 질소를 더 많이 이용하여 EC를 감소 시킨 결과로 판단된다. 실제 본 연구에서도 유기잔재 투입에 따른 토양 내 Microbial biomass carbon 함량의 큰 증가를 확인할 수 있었으며 (Fig. 2), Microbial biomass carbon 함량과 EC값 간에 부의 상관관계를 확인할 수 있었다 (Table 4).

무처리와 자운영 처리구의 토양 EC 값은 Incubation 개

Table 4. Correlation between soil EC value and soluble ion and microbial biomass C (MBC) concentrations in soil amended with 5% organic residues on the 8th week of incubation

	Correlation coefficient (r)
	EC (dS m ⁻¹)
Soluble anions (mg kg ⁻¹)	
Cl ⁻	-0.260
NO ₃ ⁻	0.956***
SO ₄ ²⁻	-0.831***
PO ₄ ³⁻	-0.519*
Soluble cations (mg kg ⁻¹)	
K ⁺	0.270
Ca ²⁺	0.896***
Mg ²⁺	0.889***
NH ₄ ⁺	0.171
MBC (mg kg ⁻¹)	-0.654**

*, **, *** denote significance at 5.0, 1.0, 0.1% level, respectively.

시 후 시간이 경과 함에 따라 다소 지속적으로 증가하는 경향이 보였다. 그러나 상대적으로 탄질율이 높은 식물잔재 (옥수수대, 벧짚, 호밀짚) 처리구의 토양 EC 값은 초기 4주까지는 급격하게 증가하였으나 이후 일정한 수준이 유지되었다. 본 결과를 통해 염류가 집적된 시설재배지 토양에서 염류의 활성을 낮추기 위한 유기질원의 투입은 가급적 탄질율이 30 이상의 식물잔재를 선별하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 작물이 염에 대해 가장 민감한 시기인 발아 및 근권 안정화를 위해 염의 활성도를 낮추기 위해서는 작물의 파종과 정식 약 1달 이전에 투입하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

요 약

시설재배지 염류집적지 토양에서 염류 활성도 저감과 유기물 함량 증진을 위해 농가에서 투입하고 있는 유기성 자재가 토양의 EC 값에 미치는 영향을 조사하기 위해, 탄질율 (C/N 율)이 다른 자운영 옥수수대 벧짚과 호밀짚을 투입하여 항온조건에서 토양 EC 값 변화를 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

탄질율이 낮은 자운영의 투입은 무기화 과정 중 생성되는 무기태 질소에 의해 토양 EC 값을 무처리 토양에 비해 크게 높이는 효과가 있었으며, 탄질율이 30 이상인 나머지 3개의 식물잔재는 토양의 EC 값 저감에 효과가 우수하였다. 결론적으로 염류집적지의 염류활성도 저감을 위해서는 탄질율 30 이상의 고탄질율 식물잔재를 작물의 파종과 정식 최소 한달 전에 투입하는 것이 바람직한 것으로 조사되었다.

감사의 글

본 연구는 경남지역환경기술개발센터에서 시행한 환경기술연구개발사업(06-2-30-33)의 지원을 받아 수행되었으며, 참여연구원인 이슬비와 김상윤은 교육과학기술부 BK 21 Program에 의해 지원 받았습니다. 이에 대해 감사드립니다.

참고문헌

- MAF (Ministry of Agriculture and Forestry). (1981~1998) Statistical yearbook of agriculture and forestry. Republic of Korea.
- MAF (Ministry of Agriculture and Forestry). (2007) Statistical yearbook of agriculture and forestry. Republic of Korea.
- RDA (Rural Development Authority, Korea). (1999) Fertilization Standard of Crop Plants. Rural Development Administration (RDA). Suwon (in Korean).
- Jung, G. B., Ryu, I. S. and Kim, B. Y. (1994) Soil texture, electrical conductivity and chemical components of soils under the plastic film house cultivation in northern central areas of Korea. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 27(1), 33-40 (in Korean with English summary).
- Park, B.G., Jeon, T.H., Kim, Y.H. and Ho, Q.S. (1994) Status of farmers' application rates of chemical fertilizer and farm manure for major crops. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 27, 238-246.
- Bernstein, L. (1962) Salt affected soils and plants. *Proceedings of the Paris Symposium, UNESCO May 1960. Arid Zone Res.* 18, 139-174.
- Garg, B.K. and Gupta, I.C. (1997) *Saline Wastelands Environment and Plant Growth*, Scientific Publishers, Jodhpur, India.
- Ramoliya, P.J. and Pandey, A.N. (2002) Effect of increasing salt concentration on emergence, growth and survival of seedlings of *Salvadora oleoides* (Salvadoraceae). *J. Arid Environ.* 51, 121-132.
- Mer, R.K., Prajith, P.K., Pandya, D.M. and Pandey, A.N. (2000) Effect of salts on germination of seeds and growth of young plants of *Hordeum vulgare*, *Triticum aestivum*, and *Brassica juncea*. *J. Agro. Crop Sci.* 185 (4), 209-217.
- Shenoy, V.V. and Kalagudi, G.M. (2005) Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. *Biotech. Adv.* 23, 501-513.

11. Allison, L.E. (1965) Organic carbon. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E., Clark, F.E. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society for Agronomy, Madison, WI, 1367-1378.
 12. United States Salinity Laboratory Staff. (1954) *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Handbook 60.
 13. Maas, E.V., and Grattan, S.R. (1999) Crop yields as affected by salinity, Chap.3 in R.W. Skaggs and J. van Schilfgaarde (eds.), *Agricultural Drainage*, Agronomy Monograph No. 38 (Madison, Wis.: ASA, CSSA, SSSA).
 14. RDA (Rural Development Authority, Korea). (2000) *Analytical method for soil and plant samples*. Suwon (in Korean).
 15. Zhanfei, L. and Lee, C. (2006) Drying effects on sorption capacity of coastal sediment: The importance of architecture and polarity of organic matter, *Geochim Cosmochim Acta*. 70, 3313-3324.
 16. Ha, H.S., Lee, Y.B., Sohn, B.K. and Kang, U.G. (1997) Characteristics of soil electrical conductivity in plastic film house located in southern part of Korea. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 30, 345-350.
 17. Anderson, J.S. and Sposito, G. (1992) Proton surface-charge density in soils with structural and pH-dependent charge. *Soil Sci. Soc. Of Amer. J.* 56, 1437-1443.
 18. Mueller, T., Jensen, L.S., Nielsen, N.E. and Magie, J. (1998) Turnover of carbon and nitrogen in a sandy loam soil following incorporation of chopped maize plants, barley straw, and blue grass in the field. *Soil Biol. Biochem.* 30, 561-571.
 19. Wagner, G.H. and Wolf, D.C. (1999) Carbon transformations and soil organic matter formation. In: Sylvia, D.M., Fuhrmann, J.J., Hartel, P.G., Zuberer, D.A. (Eds.), *Principles and Applications of Soil Microbiology*. Prentice Hall, NJ, 218-258.
-