

## 시설채소재배지의 토양특성과 흡착제 종류별 염류경감 효과

옥용식 · 양재의\* · 유경열 · 김유범 · 정덕영<sup>1)</sup> · 박용하<sup>2)</sup>

강원대학교 자원생물환경학과, <sup>1)</sup>충남대학교 생물환경화학학과, <sup>2)</sup>한국환경정책·평가연구원  
(2005년 7월 12일 접수, 2005년 8월 17일 수리)

### Screening of Adsorbent to Reduce Salt Concentration in the Plastic Film House Soil under Continuous Vegetable Cultivation

Yong-Sik Ok, Jae E. Yang\*, Kyung-Yoal Yoo, Yoo-Bum Kim, Doug-Young Chung<sup>1)</sup>, and Yong-Ha Park<sup>2)</sup> (Division of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea, <sup>1)</sup>Department of Bioenvironmental Chemistry, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea, <sup>2)</sup>Korea Environment Institute, Seoul 122-706, Korea)

**ABSTRACT:** Salt accumulation in the plastic film house soils under continuous cultivation condition causes problems such as salt damages to plants, nitrate accumulation in vegetables, groundwater contamination, etc. due to excess application of fertilizers. Objective of this research was to find an optimum adsorbent to reduce salt concentration in the soil solution of plastic film house soils, where crop injuries have been observed due to the salt accumulation. The soils were significantly high in available P (1,431~6,516 mg kg<sup>-1</sup>), NO<sub>3</sub>-N (117.60~395.73 mg kg<sup>-1</sup>), exchangeable Ca (4.06~11.07 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) and Mg (2.59~18.76 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), as compared to those of the average upland soils in Korea. Soils were treated with each of adsorbent such as ion-exchange resin, zeolite, rice bran, etc. at 2% level and prepared into saturated-paste samples. After equilibrium, soil solution was vacuum-extracted from the soil and measured for changes of the pH, EC, and concentrations of Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Rice bran effectively removed PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in the soil solution up to 100%. Efficiency was decreased in the orders of rice bran > ion-exchange resin > zeolite. Removal efficiencies of zeolite and ion-exchange resin for Ca<sup>2+</sup> were ranged from 1 to 65% and from 7 to 61%, respectively. Ion-exchange resin was also effective for removing Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Overall results demonstrated that rice bran and ion-exchange resin could be applicable for salt accumulated soil to remove the respective anion and cation.

**Key Words:** Salt accumulation, Plastic film house, Adsorbent, Saturated-paste, Soil solution, Quantity/intensity relationship

### 서 론

국민소득의 증가와 농산물 소비 패턴의 변화에 따라 과거의 미곡에 편중된 작부방식에서 고소득의 특용작물 또는 시설채소 재배로 작부체계가 전환되고 있다. 또한 우리나라의 시설원예는 1951년 김해지역에 열화비닐하우스가 시작된 이래 폴리에틸렌의 국내생산과 더불어 급속도로 성장하여 왔고 2003년을 기준으로 한 시설작물의 재배면적은 약 100,400 ha에 달하고 있다<sup>1,2)</sup>.

시설하우스의 집약적인 재배특성으로 인하여 화학비료와

퇴비의 사용량이 증가하게 되었고 과잉 시비된 비료 성분은 토양에 집적되어 염류 농도를 증가시킴으로써 토양관리를 어렵게 하고 있다. 또한 비료의 과잉시비는 자원의 낭비와 함께 환경오염 문제를 가중시키게 되었다<sup>3,4)</sup>. 특히, 시설 채소재배지의 경우 연중 다작에도 불구하고 1년 1작을 위한 표준시비량을 매 작기마다 적용하고 있는 실정이며 적정시비량을 상회하는 무분별한 화학비료나 유기자원을 투입하여 질소나 인산 등에 의한 토양과 지하수의 오염뿐만 아니라 농작물의 가식 부위로의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 집적이 우려 된다<sup>5,6)</sup>. 특히 유기자원의 대부분을 가축분뇨를 주재료로 제조한 퇴비로 이용하고 있어 염류집적은 더욱 가중되고 있다. 과다하게 시비된 양분의 경우 그 이용률은 매우 낮아 일반적으로 질소 40~60%, 인산 10~20%, 칼리 30~40% 정도만이 작물에 이용되며 나머지 양분은 관개수에 의해 하층으로 이동되어 집적되거나 휘산

\*연락처:

Tel: +82-33-250-6446 Fax: +82-33-241-6640  
E-mail: yangjay@kangwon.ac.kr

등에 의해 손실되는 것으로 알려져 있다<sup>7,8)</sup>.

시설재배지의 염류집적은 토양의 삼투포텐셜(osmotic potential)을 변화시켜 수분흡수 장애를 유발하며 이외에도 양분간의 경쟁 작용으로 인한 작물의 흡수장애, 영양장애, 가스장애 및 품질저하 등을 초래하게 된다. 일례로 시설하우스에서 재배되는 딸기의 경우 EC 1.0 dS m<sup>-1</sup>에서의 수확량을 100%로 볼 때 EC가 2.4 dS m<sup>-1</sup>로 증가되는 경우 수확량이 약 50% 이상 감소하는 것으로 보고되었다<sup>3)</sup>. 이외에도 시설재배지는 제한된 면적 내에서 연작을 반복해야 하므로 토양병해의 증가와 양분의 불균형을 초래하고 있으며 특정 염류의 과다 축적으로 인한 작물의 생육장애가 문제시된다<sup>1)</sup>.

작물은 토양용액으로부터 무기태 영양소를 흡수하며 토양의 액상에는 염류이온, 미량원소, 유기물 및 기타 화합물 등의 다양한 용질이 용해되어 있다. 토양용액은 토양과 평형상태에 도달했을 때의 액상을 지칭하며 토양용액에 존재하는 양이온은 토양의 표면에 흡착되어 있는 치환성 양이온과 평형을 이루고 있다. 또한 토양용액 중의 양이온은 음이온과 일정한 몰 비율을 유지하려는 동적 평형상태에 있다<sup>9,10)</sup>. 따라서 토양에 집적된 염류의 총 함량인 용량 인자(quantity factor, Q) 보다는 토양용액에 존재하는 염류의 농도 즉, 강도 인자(intensity factor, I)가 식물 영양소의 유효도를 결정한다<sup>11-13)</sup>.

현재까지 시설재배지의 염류장애를 경감시키기 위하여 제안된 기술로는 관수제염, 심토반전, 심토파쇄, 객토, 표토제거, 미생물제제 처리, 흡비작물(cleaning crop) 재배, 유공압거배수관 설치, 이분해성 탄수화물의 공급을 통한 탄질율의 조절 및 염류농도에 맞는 작물재배와 합리적인 시비조절 등이 있다<sup>3,9,10)</sup>. 그러나 관수제염법의 경우 물의 소모가 많고 수직배수가 양호한 토양에만 적용가능한 단점이 있으며, 심토반전법의 경우 단기적인 효과와 표토의 재염화가 문제시된다. 또한 심토파쇄의 경우 경반층(hard pan)이 파괴됨으로 인해 염류의 이동은 양호해지나 지하수오염이 유발될 수 있으며 수분이동이 양호한 상황에 제한적으로 적용 가능하다. 객토와 표토제거법의 경우 근본적인 대책으로는 미흡하며 흡비작물의 이용은 농가의 소득 감소와 직결되어 적용성이 문제시된다. 미생물제제의 경우 현재까지는 현장적용 시에 그 실효성이 극히 미비한 것으로 알려져 있다<sup>3)</sup>.

고농도의 염류가 집적되어 있는 시설재배지에 염류 성분을 강하게 흡착·고정화시키는 개량제를 투입하는 경우 이는 토양용액에 존재하는 고농도의 염류이온에 의한 작물의 장애를 경감시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 흡착된 영양소 성분은 시간이 경과함에 따라 재 평형을 유지하기 위하여 토양용액으로 방출되어 재공급될 수 있게 된다. 이러한 용량 인자와 강도 인자 또는 급원(source)과 수용체(sink) 관계에 미치는 토양개량제 처리의 영향에 관한 연구는 미비한 실정이다<sup>7,10,11)</sup>.

본 연구는 염류집적에 의한 연작장애가 문제시 되는 시설채소재배지 토양의 물리화학적 특성을 평가하고 염류성분의 흡착·고정화 능력을 보유한 토양 개량물질(흡착제)을 처리함으로써 토양용액 내에 존재하는 염류성분을 제거할 수 있는

최적의 흡착제를 선별하고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 공시토양의 특성 및 분석방법

염류장애로 인한 피해사례가 보고 된 바 있는 강원도 철원군 소재 토마토 및 오이재배 시설하우스 5동에서 표토(0~15 cm)와 심토(15~30 cm)를 구분하여 채취하였다. 토양은 풍건 후 2 mm 체를 통과시켜 실험에 사용하였으며 토양의 물리화학적 특성은 Table 1과 같다.

토성은 pipette 방법으로 입경분포를 조사한 후 미국 농무성(USDA)의 토양 분류체계에 준하여 토성을 결정하였으며, pH와 EC는 풍건토양 10 g에 증류수 50 ml를 가하여 30분간 진탕하고 Whatman No.2로 여과시킨 후 pH meter와 EC meter를 이용하여 각각 측정하였다<sup>14)</sup>. ECE는 포화반죽을 조제한 후 24시간 평형시킨 후 진공펌프를 이용하여 토양용액을 추출한 후 EC meter를 이용하여 측정하였으며<sup>11,12)</sup> 유기물 함량은 Walkely-Black 방법에 따라 1N K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>을 가하여 반응시킨 후 UV/Vis Spectrophotometer(UV 240, Shimadzu, Japan)로 파장 610 nm에서 비색 정량하였다. 유효인산 함량은 Bray No.1 방법으로 추출하여 ammonium paramolybdate로 발색시킨 후 파장 720 nm에서 UV/Visible Spectrophotometer를 이용하여 비색 정량하였다. 전질소 함량은 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 존재 하에 block digester에서 분해한 후 Kjeltex system(Kjeltex Auto 2300 Analyzer; Foss Tecator, Sweden)을 이용하여 측정하였고 암모니아성 및 질산성 질소는 2M KCl 용액으로 추출한 후 MgO로 알칼리화 후 증류·적정하였다<sup>14)</sup>. 치환성 양이온은 1M NH<sub>4</sub>OAc(pH 7.0) 용액으로 침출 후 AAS(Atomic Absorption Spectrometer, Shimadzu AA-6500, Japan)를 이용하여 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>의 함량을 측정하였으며<sup>14)</sup> 모든 이화학성 항목은 3반복으로 수행하였다.

### 토양개량제 종류 및 처리방법

시설재배지의 토양용액 중 염류농도 경감을 위한 토양개량물질로는 분말형 제올라이트(Zeobuilder Co., Korea), 입상 제올라이트(Baekkwang Chemical Co., Korea), 분말형 및 입상 활성탄(Nature Science Industry Co., Korea), 혼합이온교환수지(H<sup>+</sup>/OH<sup>-</sup> form 및 Na<sup>+</sup>/OH<sup>-</sup> form, Rohm and Haas Co., Philadelphia, USA), 액상부식물질(E&A Tech Co., Korea) 및 미강(rice bran)을 선정하였다.

분말형 제올라이트는 4A 타입으로 입자크기는 1~3 μm(평균 2.3 μm)이었으며 입상 제올라이트는 D 타입이었다. 이온교환수지는 H<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>와 OH<sup>-</sup>로 포화된 강산성의 양이온수지와 강알칼리성의 음이온수지를 1:1 당량으로 혼합하여 사용하였다<sup>13)</sup>. 액상부식물질은 탄소함량이 3,000 mg L<sup>-1</sup>인 제품을 사용하였고, 미강은 유기질 비료의 원료로 사용되는 제품을 춘천시에 소재한 정미소에서 구입하여 사용하였다.

토양 개량제 처리 전·후 토양용액 중 염류성분의 경감효과를 평가하기 위하여 포화반죽 시료를 조제하였다. Polyethylene 용기에 2 mm 체를 통과한 토양 100 g을 충전한 후 현장적용 시의 경제성을 감안하여 각 처리별로 2%(w/w) 비율로 토양개량제를 처리하였으며 증류수를 이용하여 포화반죽 상태로 조제하였다. 토양 및 흡착제가 채워진 용기는 밀봉하여 incubator에 넣은 후 25°C에서 96시간 동안 평형을 유지하였다<sup>12)</sup>. 무처리를 포함한 모든 실험은 3반복으로 수행하였으며 SAS Version 8.02(SAS Institute, USA)를 이용하여 각 처리구에 대한 분산분석(ANOVA)을 수행하였다.

**토양용액의 추출 및 분석**

토양개량제를 처리한 토양용액의 조성변화를 분석하기 위하여 vacuum extractor(Centurion International Model 24, Lincoln, USA)를 사용하여 포화반죽 시료로부터 토양용액을 추출하였다<sup>11,12)</sup>. pH와 EC는 pH meter(Orion model 921A, USA)와 EC meter(Orion model 50, USA)를 이용하여 토양용액을 추출한 후 즉시 측정하였고 토양용액 중 양이온(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>)과 음이온(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)의 농도는 0.45 μm membrane filter에 여과시킨 후 AAS, Auto Analyzer(LACHAT Quik-Chem 8000, USA) 및 Ion Chromatograph(Dionex DX-320, USA)를 이용하여 측정하였다.

**결과 및 고찰**

**시설재배지의 토양특성**

본 연구에서 사용한 시험 토양은 토마토 혹은 오이를 8년~10년간 연속하여 염류장해가 보고 된 시설하우스 토양이었다. 토양은 염류 성분의 과다 축적으로 인해 건조한 경우 표토 층에 백색의 침전물이 집적되어 있었으며 습한 경우에는 조류가 발생되어 있는 현상을 육안으로 관찰할 수가 있었다. 토양은 주로 사양토였으며, pH는 5.43~7.07의 범위를 보였고, EC<sub>1.5</sub>는 0.16~1.18 dS m<sup>-1</sup>, ECe는 1.08~6.20

dS m<sup>-1</sup>, 유기물 함량은 47~97 g kg<sup>-1</sup>이었다(Table 1). 유효인산 함량은 1431~6516 mg kg<sup>-1</sup>, 총 질소 함량은 2856~9216 mg kg<sup>-1</sup>, 질산성 질소는 117.60~395.73 mg kg<sup>-1</sup>, 암모니아성 질소는 27.63~38.83 mg kg<sup>-1</sup>로서 염류가 다량 집적된 결과를 보여주고 있다(Table 1). 그리고 치환성 Ca (4.06~11.07 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) Mg(2.59~18.76 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), K(1.34~5.28 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), 및 Na(0.21~0.92 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) 함량도 일반 밭 토양보다 매우 높은 수준이었다. 시설재배지의 토양 화학성 개량 목표인 pH 6.0~6.5, 유기물 함량 2.0~3.0%, 유효인산 300~500 mg kg<sup>-1</sup>, 치환성 양이온 Ca 2.5~3.0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, Mg 0.8~1.0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, K 0.5~0.75 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>을 기준으로 볼 때 본 연구에서 조사한 토양의 경우 pH를 제외한 모든 항목에서 토양 화학성 개량을 위한 목표 수준을 초과하는 것으로 나타났다<sup>7)</sup>.

Cho<sup>7)</sup>는 강원도 지역에 위치한 시설채소 재배지 토양 169점을 수집하여 토양의 물리화학성을 분석한 결과 유기물 및 유효인산은 최대 93 g kg<sup>-1</sup>, 4111 mg kg<sup>-1</sup>이었으며, 치환성양이온은 평균 Ca 7.56 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>(최대 25.7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), Mg 2.16 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>(최대 6.1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), K 1.57 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>(최대 10.5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)로 보고한 바 있다. 본 연구에서 사용된 토양의 경우 Cho<sup>7)</sup>가 보고한 범위 내에 있는 것으로 나타났다. 또한 최<sup>15)</sup>는 염류장해 지역 토양 192점을 수집하여 분석한 결과 질산성 질소 및 유효인산 함량이 각각 134 ± 74 mg kg<sup>-1</sup>, 1,069 ± 714 mg kg<sup>-1</sup>로 나타나 적정 범위를 초과하여 염류집적의 원인이 되는 것으로 보고한 바 있다<sup>5)</sup>. 타 연구자의 결과<sup>3,7,15,16)</sup>와 비교해 볼 때 시험 토양의 경우 유효인산, 질산성 질소, 치환성 칼슘, 치환성 마그네슘의 함량이 기준치를 과도하게 초과하여 염류장해를 유발하는 주요 요인으로 작용하는 것으로 판단되었다.

토양의 염류 농도는 흔히 풍건토양과 증류수를 1:5의 비율로 조제한 현탁액의 전기전도도로 표시하며 이를 EC<sub>1.5</sub>로 표기한다. 그러나 EC<sub>1.5</sub>는 희석 조작과 이에 동반되는 화학반응이 가해지기 때문에 토양용액의 EC를 직접적으로 표현한 것은 아니며 또한 토양 간에 상당한 차이가 있는 것으로 알려져

**Table 1. Physical and chemical properties of the selected plastic film house soils used in the experiment**

Soil I.D.	Vegetable	Cultivation (year)	Texture	pH (1:5)	EC			OM <sup>d)</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TKN <sup>e)</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Exchangeable (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			
					EC <sub>1.5</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	EC <sub>e</sub> <sup>f)</sup>	EC <sub>s</sub> <sup>g)</sup>						Ca	Mg	K	Na
C8-1	Cucumber	8	SL <sup>a)</sup>	5.43	0.23	1.66	47	1444	2856	34.72	145.60	4.06	2.59	1.34	0.30	
C8-1-1 <sup>9)</sup>	Cucumber	8	SL	5.99	0.16	1.08	54	1431	4474	27.63	117.60	5.07	3.16	1.37	0.21	
C8-2	Cucumber	8	SL	6.71	1.18	6.20	53	1562	3993	34.07	395.73	6.91	7.17	2.85	0.92	
C8-3	Cucumber	8	SL	6.90	0.52	3.43	51	1899	4199	38.83	318.27	7.06	8.10	1.70	0.33	
T8	Tomato	8	SL	7.07	0.23	1.16	72	2527	5901	33.04	250.13	11.07	12.40	2.17	0.29	
T10	Tomato	10	L <sup>b)</sup>	6.73	0.88	4.31	97	6516	9216	35.09	332.27	10.30	18.76	5.28	0.82	
Optimum range	-	-	-	6.0~6.5	-	-	20~30	300~500	-	-	-	2.5~3.0	0.8~1.0	0.5~0.75	-	

<sup>a)</sup>Sandy loam, <sup>b)</sup>Loam, <sup>c)</sup>Saturated paste, <sup>d)</sup>Organic matter, <sup>e)</sup>Total Kjeldahl Nitrogen, <sup>f)</sup>Subsoil (15~30 cm).

있다. 이로 인하여 Tanji<sup>17)</sup>를 비롯한 많은 연구자들은 작물생육에 대한 염류의 한계농도를 포화용액의 EC 즉, ECe로 표기하는 것이 바람직한 것으로 주장하였으며, 시설재배지의 경우 ECe를 기준으로 한 염류농도는 토마토 2~4 dS m<sup>-1</sup>, 당근 2~3 dS m<sup>-1</sup>을 적정 수준으로 보고하였다<sup>7,17)</sup>. 본 연구에서 조사한 하우스 토양의 경우 ECe 4 dS m<sup>-1</sup>를 초과하는 지역이 33%로 나타나 채소의 생육을 저해할 것으로 판단되었다.

본 시험에 사용한 토양의 전기전도도(EC<sub>1:5</sub>)는 포화반죽으로 조제한 시료로부터 구한 전기전도도(ECe)와 통계적으로 유의성이 있는 상관관계(R<sup>2</sup> = 0.974\*\*\*; P < 0.01)를 나타내었으며 ECe는 EC<sub>1:5</sub>에 비해 약 5배 정도 높은 수치를 나타내었다(Fig. 1). 이는 Yoon et al.<sup>18)</sup>이 시설재배지를 포함한 우리나라의 경작지 토양 38점을 대상으로 조사한 결과인 ECe와 EC<sub>1:5</sub> 사이의 관계 즉, ECe = 5.74EC<sub>1:5</sub> - 0.005(r<sup>2</sup> = 0.95\*\*\*)의 결과와 유사하였다<sup>18,19)</sup>. 그러나 Jung et al.<sup>19)</sup>의 보고에 의하면 ECe와 EC<sub>1:5</sub>의 관계는 토양의 종류에 따라 상이하고 특히 양이온치환용량(CEC)에 의해 큰 영향을 받으므로 토양의 종류에 따라 상이한 결과가 나타날 수 있을 것으로 판단되었다.<sup>7,18,19)</sup>

**염류흡착제의 처리효과**

시설재배지에서 염류집적으로 인한 작물의 생육장애를 평가하기 위해서는 토양 중에 존재하는 양분의 총량 분석 혹은 특정 용액으로 추출한 유효성분의 농도 분석 결과를 이용하는 것이 일반적이다. 그러나 이 방법은 토양의 양분을 측정하기 위하여 화학용액을 사용해야 하고 분석과정이 복잡하거나 측정 항목에 따라 추출액과 분해방법을 달리해야 함에도 불구하고 식물유효도를 반영하지 못하는 경우가 있다<sup>11-13)</sup>. 일례로 인산은 토양에 흡착되거나 Ca 및 Fe와 결합하여 난용성의 형태로 존재하나 토양에 과잉으로 투입된 인산의 일부만이 물에 용해되어 나오게 되며 결과적으로 토양 및 작물생육에 영향을 미치게 된다<sup>20)</sup>.

과거 시설재배지의 인산 검정은 주로 토양의 유효인산 측정에 관한 연구에 초점이 맞추어져 있었으나 최근 들어 수용

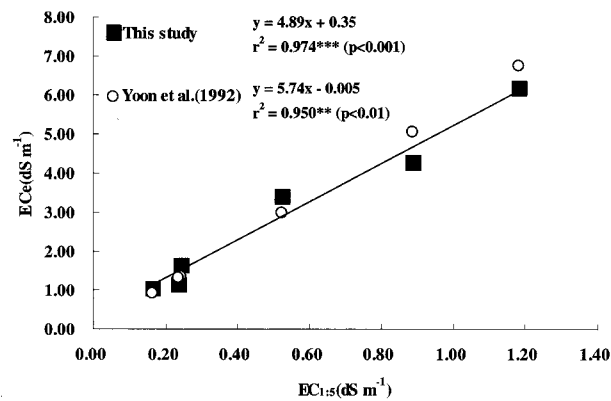


Fig. 1. Linear correlation between electrical conductivities (EC) measured by different methods of 1:5 batch (EC<sub>1:5</sub>) and saturated-paste (EC<sub>e</sub>).

성 인산 혹은 토양용액 중의 인산에 대한 관심이 증가되었다<sup>7,20)</sup>. 즉, 식물에 의한 양분의 흡수는 화학용액에 의한 추출량과 밀접하게 관련되기 보다는 토양의 화학적 반응과 식물근권의 활성에 의해 큰 영향을 받는다<sup>21,22)</sup>. 토양에 존재하는 양분 중 작물에 유효한 원소는 무기이온의 형태로 토양용액에 존재해야 하고, 토양용액 중의 양분은 토양에 흡착·고정되어 있는 양분과 동적 평형상태에 있다. 따라서 흡착제를 이용하여 토양용액 중에 존재하는 과량의 양분을 고정화하는 경우 과잉의 비료성분을 제거하지 않고도 작물의 염류장해를 경감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

토양의 집적된 염류농도 경감에 관한 문헌조사에 따라<sup>4,11-13,15)</sup> 염류에 대한 흡착능력이 있을 것으로 판단되는 제올라이트, 활성탄, 부식산, 혼합이온교환수지 등 총 8종류의 개량제를 선별하였고, 이들의 처리에 따른 토양용액 중의 인산 및 질산 이온의 농도 변화를 측정하였다(Fig. 2). 미강처리는 토양용액의 인산 이온을 약 100% 감소시키는 처리 효율을

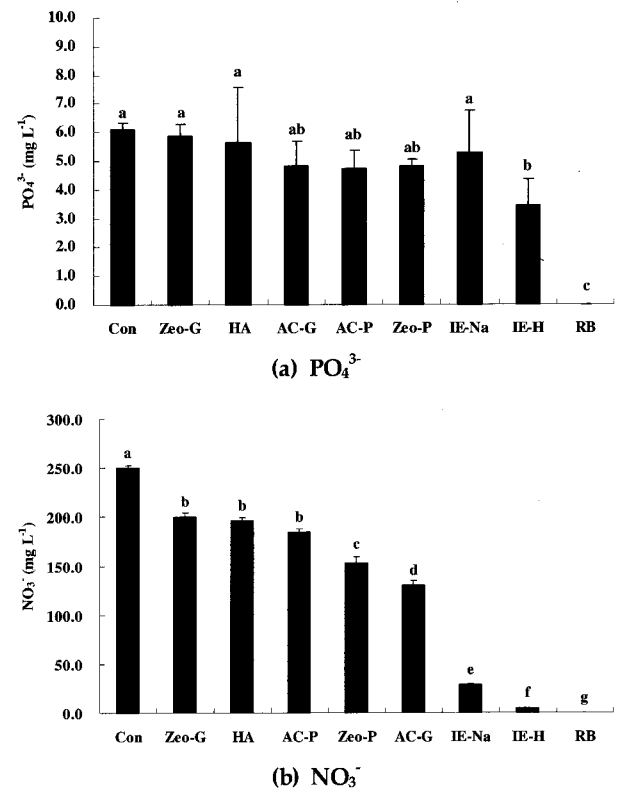


Fig. 2. Effect of adsorbent treatments on PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentrations in soil solution from plastic film house soil cultivating cucumber continuously for 8 years (Con: Control; Zeo-G: Granulated zeolite; HA: Humic acid; AC-G: Granulated activated carbon; AC-P: Activated carbon powder; Zeo-P: Zeolite powder; IE-Na: Na<sup>+</sup>/OH<sup>-</sup> form ion-exchange resin; IE-H: H<sup>+</sup>/OH<sup>-</sup> form ion-exchange resin; and RB: Rice bran. Means with the same letters are not significantly different by Tukey's studentized range test).

나타내었으며 미강 > 혼합이온교환수지 > 분말형 제올라이트 순으로 처리효율이 감소되었다. 질산 이온의 경우에도 미강 처리구에서 토양용액에 존재하는 질산 이온이 모두 제거되었으며 미강 > 혼합이온교환수지 > Na<sup>+</sup>형 이온교환수지 > 입상형 활성탄 > 분말형 제올라이트 순으로 처리효율이 감소하였다. 이상의 실험 결과를 바탕으로 미강, 혼합이온교환수지, 분말형 제올라이트 3종을 시설재배지 토양의 염류장애 경감을 위한 개량제로 선별하였으며 앞서 조사한 공시토양을 대상으로 개량제의 투여효과를 조사하였다.

선별된 3종의 개량제를 2% 수준으로 처리한 시설재배지 토양용액의 pH 변화는 Fig. 3과 같다. 미강을 제외한 모든 처리구에서는 pH 7.98~8.11의 범위를 나타내었고 각 처리구에는 통계적 유의성이 없는 것으로 조사되었다. 반면 미강 처리구에서는 토양의 평균 pH가 처리 전에 비해 pH 6.61로 감소되었는데 이는 미강 자체가 pH 5.60으로 산성을 나타내었기 때문인 것으로 판단되었다.

Figures 4와 5는 제올라이트, 혼합이온교환수지 및 미강의 처리에 따른 토양용액 중의 인산 및 질산 이온의 농도 변화를 나타내었다. 미강 처리구의 경우 토양의 종류에 따른 차이는 있었으나 인산과 질산 이온에 대하여 평균적으로 93% 및 100%에 가까운 처리효율을 나타내어 음이온에 대한 흡착능력이 매우 뛰어남을 알 수 있었다. Choi<sup>15)</sup>는 농업용 소재 7종, 일반 공업용 소재 2종, 세제 및 소취제 각 1종을 대상으로 양이온과 음이온의 흡착력을 측정하였고 이들의 입자 크기, 단위무게에 대한 표면적과 공극률을 측정하여 비교·평가한 후 시설재배지에 실제 적용이 가능한 염류 흡착제로 제올라이트, 이탄(peat), lignocell(coconut peat), 미강 및 vermiculite 등을 보고하였다. 또한 제올라이트의 경우 양이온에 대한 흡착력이 높으나 질산 및 인산 이온에 대한 흡착 용량은 낮으며 인산염에 대해서는 섬유질 재료가 뛰어난 흡착력을 보임을 증명하였다<sup>15,23)</sup>.

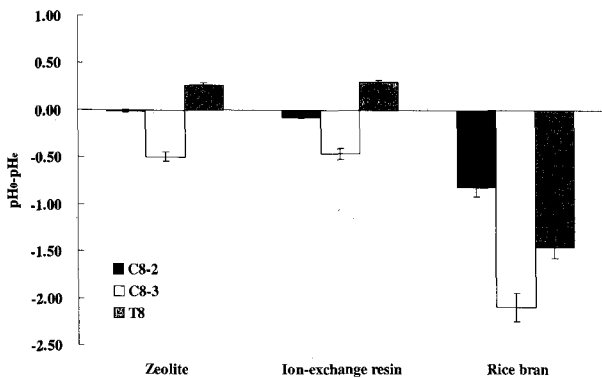


Fig. 3. Changes of pH ( $\Delta pH = pH_0 - pH_e$ ) of soil solution extracted from three plastic film house soils as influenced by adsorbent treatments ( $pH_0$ : pH before adsorbent treatment;  $pH_e$ : pH after adsorbent treatment. + and - stand for the increment and decrement, respectively, description of the plastic film house soils was shown in Table 1).

최<sup>15)</sup>는 미강의 질산 이온에 대한 흡착 비율(absorption rate)을 3.72  $cmol_a kg^{-1}$ 로 보고하였고 이는 제올라이트 0.16~0.18  $cmol_a kg^{-1}$ , vermiculite 0.21  $cmol_a kg^{-1}$  및 이탄 0.12  $cmol_a kg^{-1}$ 에 비해 음이온치환용량(AEC: Anion Exchange Capacity)이 뛰어난 것으로 보고하였으며, 이는 본 실험의 결과와 유사하였다. 특히, 우리나라 경작지 토양의 경우 중성 부근의 pH에서는 음이온치환용량이 거의 발현되지 않는 것으로 보고 된 바 있어<sup>24)</sup> 미강의 경우 시설재배지 토양의 음이온 흡착제로 이용 가능성이 매우 높을 것으로 판단되었고 경제적 측면에서도 타 흡착제와 비해 볼 때 그 활용성이 높을 것으로 판단되었다.

Figure 6과 7은 제올라이트, 혼합이온교환수지 및 미강의 처리에 따른 토양용액 중의 칼슘 및 마그네슘 이온의 농도 변화를 나타내었다. 토양용액 중의 칼슘 이온에 대한 제거효율은 제올라이트 1~65%, 혼합이온교환수지 7~61%의 범위를 나타냈다. 반면 미강의 경우 일부 토양에서는 토

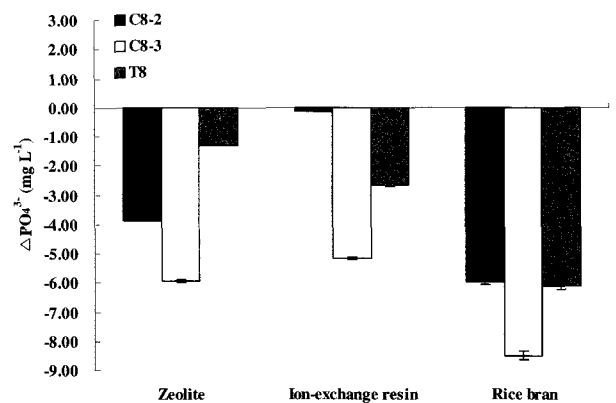


Fig. 4. Changes of  $PO_4^{3-}$  concentration ( $\Delta PO_4^{3-}$ ) in soil solution extracted from three plastic film house soils ( $\Delta PO_4^{3-} = [PO_4^{3-}]_a - [PO_4^{3-}]_b$ ,  $[PO_4^{3-}]_a$ :  $PO_4^{3-}$  concentration after adsorbent treatment;  $[PO_4^{3-}]_b$ :  $PO_4^{3-}$  concentration before adsorbent treatment. - stand for the decrement, description of the plastic film house soils was shown in Table 1).

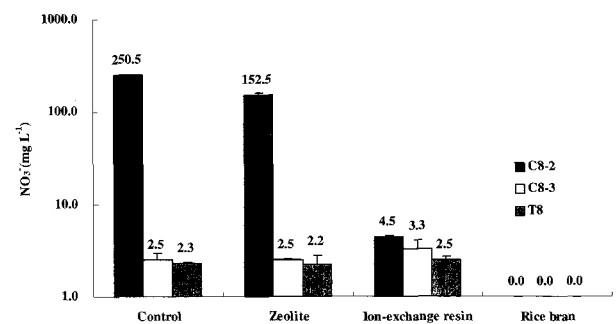


Fig. 5. Effect of adsorbent treatments on  $NO_3^-$  concentration in soil solution extracted from three plastic film house soils (description of the plastic film house soils was shown in Table 1).

양용액 중의 칼슘 농도를 증가시키는 것으로 나타나 칼슘 이온의 흡착제로는 적절하지 못한 것으로 판단되었다. 이는 최<sup>15)</sup>가 제올라이트의 K<sup>+</sup> 흡착능력이 미강에 비해 11배 이상 높은 것으로 보고한 연구결과와 유사한 것으로 판단되었고, Bernal and Lopez-Real<sup>25)</sup>도 제올라이트가 양이온에 대한 흡착능력이 우수함을 보였다. 마그네슘의 경우 모든 토양에서 혼합이온교환수지의 제거효율이 가장 높은 것으로 평가되었으며 평균 57%의 제거율로 나타나 시설재배지의 염류집적 개량을 위한 양이온 흡착제로 적용 가능할 것으로 판단되었다. 양이온교환수지의 경우 암모니움 이온과 칼륨 및 나트륨 이온에 대해서도 가장 뛰어난 흡착특성을 나타내었으며 Lee and Lee<sup>26)</sup>도 수질 중의 암모니아성 질소의 제거에 있어 이온교환수지가 활성탄 혹은 제올라이트에 비하여 월등한 효과가 있음을 보였다. 또한 이온교환수지는 약산성 보다는 강산성이, 동일한 형(form)의 수지에서는 이온교환용량이 클수록 효과적이었으며 암모니아의 제거에 있어 온도의 영향은 미세함을 보였고<sup>26)</sup> 이는 본 연구결과에서 사용된 강산성 및 강알칼리성의 혼합이온교환

수지가 양이온에 대한 뛰어난 흡착능을 보여준 것과 유사한 결과를 나타내고 있다.

대부분의 시설재배지의 경우 토양의 질산성 질소, 인산, 칼슘 및 마그네슘의 집적으로 인한 연작장애가 문제시되고 있다<sup>3,5,7,10,15,27)</sup>. 본 연구에서 조사한 8종의 염류집적 개량제 중 양이온의 경우 혼합이온교환수지, 음이온의 경우 미강이 토양용액의 염류흡착·제거에 뛰어난 효과가 있는 것으로 평가되었으며 경제적인 측면에서도 적용이 가능할 것으로 판단되었다. 향후 포장시험을 통해 혼합이온교환수지와 미강의 토양시용에 따른 토성 및 작물별 토양용액 중의 염류흡착 경감과 식물유효도 변화와의 관계에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

요 약

국내 시설하우스의 경우 화학비료를 비롯한 각종 농자재의 투입으로 인하여 비료 성분이 집적되었고 이는 작물의 수분흡수 장애를 유발하여 영양장애와 품질저하를 초래하고 있다. 또한 일부 지역에서는 농작물 가식 부위로의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 축적과 질소 및 인의 용탈로 인한 수질 오염이 우려 된다. 본 연구에서는 연작장애가 발생한 시설채소재배지 토양의 물리화학적 특성을 평가하고 염류성분을 흡착·고정화할 수 있는 흡착제를 처리하여 토양용액에 존재하는 염류성분을 경감시킬 수 있는 최적의 흡착제를 선별하고자 하였다. 실험에 사용된 토양은 유효인산(1431~6516 mg kg<sup>-1</sup>), 질산성 질소(117.60~395.73 mg kg<sup>-1</sup>), 치환성 칼슘(4.06~11.07 cmolc kg<sup>-1</sup>) 및 마그네슘(2.59~18.76 cmolc kg<sup>-1</sup>) 성분이 기준치를 과도하게 초과하여 염류장애를 유발하는 요인으로 작용하였다. 염류집적 토양에 대한 미강처리는 토양용액 내의 인산과 질산 이온을 93~100% 감소시켰으며 처리효율은 미강 > 혼합이온교환수지 > 분말형 제올라이트 순으로 나타났다. 미강을 제외한 모든 처리구는 pH 7.98~8.11의 범위를 나타내었으며 미강 처리구에서는 토양의 pH가 6.61로 감소되었다. 미강 처리구의 경우 토양의 종류에 따른 차이는 있었으나 음이온에 대한 흡착능력이 매우 뛰어난 것을 알 수 있었다. 토양용액 중의 칼슘 이온에 대한 제거효율은 제올라이트 1~65%, 혼합이온교환수지 7~61%의 범위를 나타냈으며 미강의 경우 일부 토양에서는 토양용액 중의 칼슘 농도를 증가시키는 것으로 나타났으며 양이온교환수지의 경우 암모니움 이온과 칼륨 및 나트륨 이온에 대해서도 가장 뛰어난 흡착특성을 나타내었다. 이상의 결과를 통하여 양이온의 경우에는 혼합이온교환수지 처리가 그리고 음이온의 경우 미강 처리가 토양용액 중의 염류성분의 흡착·제거에 뛰어난 효과가 있는 것으로 평가되었으며 경제적인 측면에서도 적용 가능할 것으로 판단되었다.

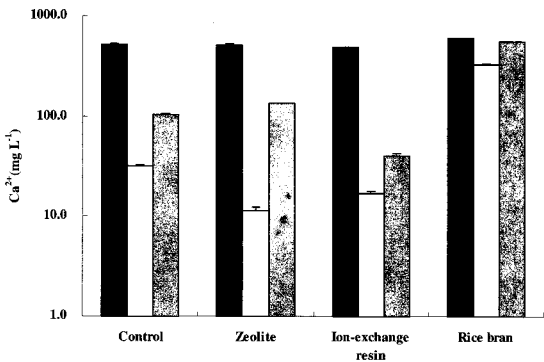


Fig. 6. Effect of adsorbent treatments on Ca<sup>2+</sup> concentration in soil solution extracted from three plastic film house soils (description of the plastic film house soils was shown in Table 1).

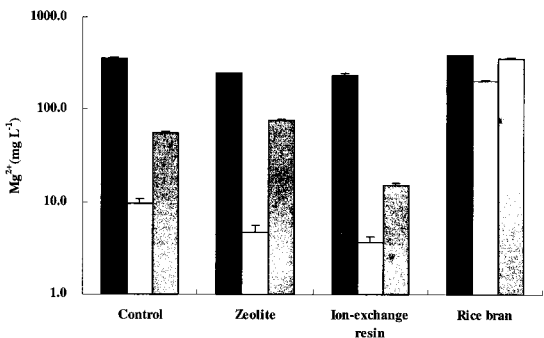


Fig. 7. Effect of adsorbent treatments on Mg<sup>2+</sup> concentration in soil solution extracted from three plastic film house soils (description of the plastic film house soils was shown in Table 1).

### 감사의 글

본 연구는 2005년도 농림계특성화대학지원 도비출연 연구 과제 “철원지역 하우스 활용 분질 시설재배 및 연작장해 경감 연구”의 지원과 강원대학교 농업과학연구소의 지원으로 수행 되었음.

### 참고문헌

- Kim, J. H., Lee, J. S., Kim, W. I., Jung, G. B., Yun, S. G., Jung, Y. T. and Kwun, S. K. (2002) Groundwater and soil environment of plastic film house fields around central part of Korea, *Korean J. Environ. Agric.* 21(2), 109-116.
- Park, C. J., Yang, J. E., Kim, K. H., Yoo, K. Y. and Ok, Y. S. (2005) Recycling of hydroponic waste solution for red pepper (*Cassicum annum* L.) growth, *Korean J. Environ. Agric.* 24(1), 24-28.
- Kim, D. S. (2004) Effects of the perforated under-drainage pipe installment on the salt removal in the plastic film house soil, MS Thesis, Kangwon National University, Chuncheon, Korea, p.1-28.
- Yang, J. E., Park, C. J., Ok, Y. S., Yoo, K. Y. and Kim, K. H. (2005) Fate of nitrogen and phosphorous in hydroponic waste solution applied to the upland soils, *Korean J. Environ. Agric.* 24(2), 132-138.
- Kwak, H. K., Seong, K. S., Lee, N. J., Lee, S. B., Han, M. S. and Roh, K. A. (2003) Changes in chemical properties and fauna of plastic film house soil by application of chemical fertilizer and composted pig manure, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(5), 304-310.
- Ok, Y. S., Lim, S. and Kim, J. G. (2002) Electrochemical properties of soils: principles and applications, *Life Sci. Nat. Resour. Res.* 10, 69-84.
- Cho, S. H. (2000) Soil testing for available phosphorous and electrical conductivity of saturated extract of the green house soils, MS Thesis, Kangwon National University, Chuncheon, Korea, p.1-44.
- Mansel, R. S., Fiskell, J. G. A., Calvert, D. V. and Rogers, J. S. (1986) Distribution of labelled nitrogen in the profile of a fertilized sandy soil. *Soil Sci.* 141, 120-126.
- Pierzynski, G. M., Sims, J. T. and Vance, J. F. (2000) Soil and environmental quality, CRC Press, Florida, USA, p.1-418.
- McLaren, R. G. and Cameron, K. C. (1996) Soil science: sustainable production and environmental protection, Oxford University Press, Auckland, New Zealand, p.178-285.
- Yang, J. E., Skogley, E. O., Georgitis, S. J., Schaff, B. E. and Ferguson, A. H. (1991) Phytoavailability soil test: development and verification of theory, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 1358-1365.
- Yang, J. E. and Skogley, E. O. (1992) Diffusion kinetics of multinutrient accumulation by mixed-bed ion-exchange resin, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 408-414.
- Yang, J. E., Park, C. J., Kim, D. K., Ok, Y. S., Ryu, K. R., Lee, J. Y. and Zhang, Y. S. (2004) Development of mixed-bed ion-exchange resin capsule for water quality monitoring, *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.* 47(3), 344-350.
- NIAST (1988) Methods of soil chemical analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Choi, W. Y. (1997) Development of absorbent-microbe mixture for desalination of green house soils, MOA, Gwacheon, Korea, p.1-105.
- Ok, Y. S., Yang, J. E., Park, Y. H., Jung, Y. S., Yoo, K. Y. and Park, C. S. (2005) Framework on soil quality indicator selection and assessment for the sustainable soil management, *Environ. Policy Res.* 4(1), 71-88.
- Tanji, J. (1990) Agricultural salinity assessment and management, ASCE, p.487.
- Yoon, J. H., Hwang, K. S. and Park, P. K. (1992) Comparison of salinity measurement method of soil solution, Research Report, NIAST, p.196-199.
- Jung, Y. S., Joo, J. H., Hong, S. D., Lee, I. B. and Ro, H. M. (2001) Discussion on dilution factor for electrical conductivity measured by saturation-paste and 1 : 5 soil to water extract, and CEC of Korean soils, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34(1), 71-75.
- Yoon, Y., Ok, Y. S., Kim, D. Y. and Kim, J. G. (2004) Agricultural recycling of the by-product concentrate of livestock wastewater treatment plant processes with VSEP RO and bio-ceramic SBR, *Water Sci. Technol.* 49(5-6), 405-412.
- Ok, Y. S., Lee, H., Jung, J., Song, H., Chung, N., Lim, S. and Kim, J. G. (2004) Chemical characterization and bioavailability of cadmium in artificially and naturally contaminated soils, *Agric. Chem. Biotechnol.* 47(3), 143-146.
- Lee, W. Y., Yang, J. E., Park, C. J., Zhang, Y. S. and Ok, Y. S. (2004) Relationship between chemical properties of forest soil solutions and element

- concentrations in needles of *Pinus thunbergii* in industrial complexes, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37(5), 322-328.
23. Lim, S. K., Chung, C. Y., Ok, Y. S. and Kim, J. G. (2002) Competitive adsorption of Cd and Cu on surface of humic acid extracted from peat, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35(6), 344-351.
24. Ok, Y. S., Choi, Y. S., Lee, S. E., Lim, S. K., Chung, N. H. and Kim, J. G. (2001) Effects of soil components and index ion on the surface charge characteristics of some Korean arable soils, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34(4), 237-244.
25. Bernal, M. P. and Lopez-Real (1993) Natural zeolites and sepiolite as ammonium and ammonia adsorbent materials, *Bioresource Technol.* 43, 27-33.
26. Lee, D. H. and Lee, M. G. (2002) Ammonia nitrogen removal by cation exchange resin, *J. Environ. Sci.* 11(3), 263-269.
27. Song, Y. S., Kwak, H. K., Huh, B. L. and Lee, S. E. (1996) Use efficiency of nitrate nitrogen accumulated in plastic film house soils under continuous vegetable cultivation, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29(4), 347-352.
-