

Research Article



CrossMark

Open Access

휴경기 후작물 재배에 의한 참외 장기연작 비닐하우스 토양의 제염 효과

변일수, 정종배*

대구대학교 생명환경대학 생명환경학부

Desalinization Effect of Off-season Crop Cultivation in Long-term Oriental Melon Cultivated Plastic Film House Soils

Il-Su Byeon and Jong-Bae Chung* (Division of Life and Environmental Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea)

Received: 2 August 2015 / Revised: 19 October 2015 / Accepted: 27 October 2015

Copyright © 2015 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Jong-Bae Chung

<http://orcid.org/0000-0002-5284-2272>

Abstract

BACKGROUND: During the off-season, the cultivation of Chinese cabbage and water dropwort is often used to desalinate plastic film house soils. The objective of this study was to verify the effect of double-cropping systems on the salt removal in oriental melon cultivated plastic film house soils.

METHODS AND RESULTS: Electrical conductivity (EC) and soluble salt contents were measured in soils collected from plastic film houses of oriental melon cultivation before and after the off-season crop cultivation. Also the same measurements were performed in the next oriental melon season to estimate the desalinization effect of double-cropping systems. During the cultivation of Chinese cabbage under open-field condition, EC_e of surface soil was reduced from 6.0 to 0.8 dS/m. Double-cropping of water dropwort in flooded soil was also efficient in removing the salts accumulated during oriental melon cultivation. In the house soils where salts were removed during the off-season crop cultivation, soil EC_e was maintained below 3 dS/m during the next oriental melon cultivation season.

CONCLUSION: The off-season cropping under open-field or flooded condition was effective in desalinization of plastic film house soils. Since the salt removal effect is not expected to last for several years, the double-cropping system should be introduced every season to maintain soil EC below the critical level.

Key words: Desalinization, Off-season cropping, Oriental melon, Plastic film house soil, Soil salt

서론

우리나라 참외 재배면적은 2013년 기준으로 5,515 ha이며, 그 중에서 시설재배 면적은 5,380 ha로서 전체의 97.6%를 차지하고 있다(2014년 농림축산식품 통계연보). 시설재배 참외는 일반적으로 12-1월경에 정식하여 3월부터 7월까지 수확하는데, 그 후 원줄기로부터 다시 순을 키워 10월까지 연장하여 재배하기도 한다. 시설농업은 기술집약적이며 여러 농가가 밀집하여 주산지를 형성하여 특정 작물을 재배하므로 동일 포장에서 다년간 연작을 하게 된다. 따라서 참외를 비롯한 각종 시설재배 작물 주산지에서는 염류의 과다한 집적과 뿌리혹선충 밀도의 증가 등 연작에 따른 피해가 심각하다(Kang *et al.*, 1996; Ha *et al.*, 1997; Cho *et al.*, 2000; Jun and Park, 2001; Kim, 2001). 전국의 시설재배지를 대상으로 조사된 결과를 보면(2004년 농촌진흥청 농업환경조사 보고서), 전기전도도(electrical conductivity, EC)는 표토와 심토에서 평균적으로 각각 3.5 및 2.2 dS/m로 심토에 비해

*Corresponding author: Jong-Bae Chung
Phone: +82-53-850-6755; Fax: +82-53-850-6759;
E-mail: jbachung@daegu.ac.kr

표토에 염류가 많이 집적되어 있는 것으로 나타났고, 분포비율은 2 dS/m 이하가 41%, 2-4 dS/m 32%, 4 dS/m 이상이 27%로서 장해기준인 2 dS/m를 초과하는 비닐하우스가 59%였다. 작물별로는 오이, 참외, 호박 등 과채류 재배지에서 염류집적현상이 더욱 심한 것으로 조사되었다.

강우의 유입이 차단된 비닐하우스 토양에 염류가 집적되는 것은 불가피한 현상이며, 화학비료와 퇴비의 과다 시용, 작물생육에 필요한 수준의 제한된 관수 등으로 인해 재배 연수가 길어질수록 토양의 염류집적현상이 가중된다 (Jung et al., 1994; Jung et al., 1998; Jun and Park, 2001; Kim et al., 2006b). 비닐하우스 토양에 축적되는 주요 이온은 Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ 등의 양이온과 NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} 등의 음이온이다 (Jung et al., 1994; Ha et al., 1997; Chung et al., 2005; Kim et al., 2006b; Oh et al., 2010). 토양에 과다하게 염류가 집적되면 주로 토양용액의 삼투포텐셜 저하로 인한 작물의 수분흡수 장해, 양분상호간 농도 차이에서 따른 길항적 양분흡수장해, 식물체내의 양분불균형에서 나타나는 각종 영양생리장해 등으로 인해 작물의 생육이 저해된다 (Marschner, 1986; Sparks, 1995; Kang et al., 1996).

하우스시설을 철거하고 일정기간 버나 기타 노지작물을 재배한 후 다시 시설재배로 전환하는 것이 토양에 집적된 염류를 충분히 제거할 수 있는 방법이지만 재배 용지의 확보와 시설이전에 따른 비용 문제가 제한요인이 된다. 염류집적 경감 대책으로 표토 제거, 객토, 심토반전, 암거배수, 담수, 녹비작물재배 등이 이용되고 있으나, 처리와 시설에 따른 노동력과 비용이 농가에 부담이 되며 염류 재집적 등 문제점을 가지고 있는 실정이다 (Kim et al., 2001; Jun et al., 2002; Kim et al., 2006a; Lee et al., 2013). 담수 또는 토양세척을 통해 시설재배 토양의 염류를 효과적으로 제거할 수 있는 것으로 보고되어 있는데 (Jung and Yoo, 1975; Chung et al., 2008; Oh et al., 2010), 작은 토주를 이용한 실험이나 비닐

하우스 내에서 수행된 소규모 모형실험의 결과이다. 담수는 1회에 100 mm 내외로 2회 이상 반복해야 염류제거 효과 있는 것으로 알려져 있으며, 물 소요량이 많고 배수나 하층으로 물의 침투가 원활한 토양에만 적용할 수 있는 단점이 있다. 토양을 물로 세척하는 방법이 염류제거에 매우 효과적이라고 하는데 (Chung et al., 2008), 실제로 농가에서 작토층의 토양 전체를 세척하는 것은 불가능하다. 한편 주 작물을 수확한 후 휴경기에 옥수수, 수단그라스, 호밀 등의 녹비작물이나 기타 작물을 재배하여 시설 내 토양층의 잔류 양분을 제거함으로써 토양 염류집적을 10-60% 저감시키는 효과를 거둘 수 있다 (Hwang et al., 1993; Kim et al., 2013; Lee et al., 2013). 최근 전국적으로 농업기술지도기관에서 연작장해와 염류제거를 위해 휴경기에 녹비작물을 재배하도록 시설재배 농가에 권장하고 있으며, 염류의 집적 정도가 심한 경우에는 재배작물을 수거하여 반출하는 것이 바람직하다.

지금까지 제시된 여러 가지 염류제거 방법 가운데 실제 농가에서 쉽게 활용할 수 있는 효과적인 방법은 없으며, 적정시비를 통해 과다한 염류의 투입을 사전에 차단하고 농가별로 활용 가능한 다양한 방법을 통해 염류집적문제를 해결해야 한다.

휴경기에 토양을 담수상태로 유지하거나 강우에 노출시킨 조건에서 녹비작물 등을 재배하면 용탈작용과 함께 작물의 흡수작용을 통해 더욱 효과적으로 비닐하우스 토양의 염류를 제거할 수 있을 것이다. 경북 경산시 압량면 지역의 참외 시설재배단지에서는 집적된 염류를 제거하기 위해 휴경기에 후작으로 비닐하우스에서 담수상태로 미나리를 재배하거나 천창비닐을 걷어내고 노지환경에서 배추를 재배한다. 개별 농가에서 실행하고 있는 이러한 염류제거 노력이 얼마나 효과적인지 그리고 그 효과가 얼마나 지속될 수 있는지에 대한 검토가 필요하다.

본 연구에서는 참외재배 비닐하우스에서 휴경기에 담수조건에서 후작물을 재배하거나 노지조건에서 후작물을 재배할

Table 1. Description of the cropping systems included in the experiment, and the numbers of plastic film house where soil samples were collected

Cropping system	Description	No. of plastic film house or field
Oriental melon single cropping	• Long-term (more than 10 years) continuous oriental-melon single cropping exclusively under plastic film house conditions	5
Oriental melon - Chinese cabbage double cropping	• Oriental melon - Chinese cabbage double cropping in long-term melon growing plastic film houses • Oriental melon was grown under plastic film house conditions from DECEMBER to July, and off-season crop Chinese cabbage was grown under open-field conditions from September to November.	4
Oriental melon - water dropwort double cropping	• Oriental melon - water dropwort double cropping in long-term oriental melon growing plastic film houses • In plastic film houses, oriental melon was grown from December to July, and off-season crop water dropwort was grown from November to January under completely flooded conditions.	4
Soybean single cropping	• Soybean single cropping system under open field conditions for more than 5 years	3

Table 2. Characteristics of soils collected after season of oriental melon single cropping system in plastic film houses and soybean single cropping system in open fields

Cropping system	Depth	pH	EC _e *	Organic matter	Available P
	cm		dS/m	g/kg	mg P ₂ O ₅ /kg
Melon single cropping	0-20	7.63 ± 0.44	4.23 ± 1.55	28.3 ± 2.50	557.9 ± 104.3
	20-40	7.64 ± 0.37	1.79 ± 0.64	14.4 ± 1.93	221.1 ± 81.34
Soybean single cropping	0-20	6.41 ± 0.83	1.08 ± 0.80	19.4 ± 6.68	371.9 ± 84.21
	20-40	6.48 ± 0.63	0.84 ± 0.71	8.2 ± 5.94	100.7 ± 19.41
LSD _{0.05}		0.79	1.31	10.9	182.2

* EC_e: Electrical conductivity of the saturation extract

경우 잔류양분의 흡수와 용탈을 통한 토양 염류 제거 효과를 실제 포장조건에서 조사하였으며, 이러한 작부체계가 장기 연작 시설재배토양에 대한 효과적인 염류제거 수단으로 활용될 수 있는지를 평가하였다.

재료 및 방법

작부체계와 토양 시료 채취

경북 경산시 압량면 지역 참외 재배단지에서 Table 1과 같이 다년간 참외를 단작으로 재배해온 비닐하우스, 참외와 노지상태에서 배추를 재배한 비닐하우스 및 참외와 담수상태에서 미나리를 이모작한 비닐하우스에서 단기 윤작의 토양 염류제거효과를 조사하였다. 그리고 배추나 미나리 재배를 통한 염류제거효과가 다음 작기 참외 재배기간에 지속될 수 있는지를 조사하였다.

조사 대상 참외 단작 비닐하우스 5개소에는 참외-배추 이모작 농가와 참외-미나리 이모작 농가에서 동일한 조건으로 관리하는 참외 단작 비닐하우스 1개소씩을 포함시켜 참외 단작의 경우와 비교하여 이모작체계의 염류제거효과를 조사하였다.

참외 단작 비닐하우스와 콩 재배 노지포장의 토양시료는 참외와 콩 재배가 종료된 후인 2011년 10월 초순에 조사대상 비닐하우스 및 포장 별로 3개 지점을 선정하여 0-20 cm 및 20-40 cm 깊이 별로 500 g 정도의 토양을 채취하였다. 참외-배추 및 참외-미나리 이모작체계의 경우는 각각 배추재배가 종료된 2011년 12월 초순 및 미나리 재배가 종료된 2012년 1월 말에 참외 단작 비닐하우스의 경우와 동일하게 토양 시료를 채취하였다.

참외-배추 및 참외-미나리 이모작체계에서 다음 작기 참외 재배기간 동안 토양 염류집적 변화를 조사하기 위하여 참외 단작, 참외-배추 이모작 및 참외-미나리 이모작체계를 이용한 농가의 비닐하우스에서 2012년 4월부터 7월까지 월 1회 0-20 cm 깊이 토양시료를 조사대상 비닐하우스 별로 3개 지점에서 채취하였다.

채취한 토양시료는 각각 잘 혼합한 후 일부를 NH₄⁺과 NO₃⁻의 분석을 위해 냉장 보관하였으며, 나머지는 풍건시킨 후 2 mm 체에 통과시켜 분석용 시료로 사용하였다.

토양 분석

pH는 토양시료와 증류수의 1:5 현탁액을 이용하여 유리 전극 pH meter(Mettler Delta 350, Mettler-Toledo GmbH, Urdorf, Switzerland)로 측정하였다. 토양 포화침출액의 전기전도도(EC_e)는 토양시료 250 g 정도를 500 mL 비커에 담고 증류수를 가하여 포화반죽 상태로 만든 다음 10시간 후 원심분리기를 이용하여 토양용액을 추출하여 conductivity meter(Mate 90, Corning Co., Corning, New York, USA)로 측정하였다(Rhoades, 1982). 유기물 함량은 Walkley-Black 방법으로 측정하였고(Nelson and Sommers, 1982), 유효인산은 Bray No. 1 침출용액으로 추출한 후 몰리브덴 청법으로 발색시켜 spectrophotometer (UV-1800, Shimadzu, Japan)로 정량하였다(Olsen and Sommers, 1982). 토양의 가용성 염류를 구성하는 이온은 토양시료와 증류수를 1:5 비율로 혼합하여 60분간 진탕한 다음 membrane filter(0.45-μm pore size)로 여과하여 추출하였다(Rhoades, 1982). Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺는 ICP atomic emission spectrometer(Varian 720-ES Series, Varian, USA)로 측정하였다. 그리고 Cl⁻과 SO₄²⁻는 ion chromatograph (DX-120, Dionex, Germany)로, NH₄⁺과 NO₃⁻는 flow injection autoanalyzer(FIAstar-5000, FOSS Tecator, Höganäs, Sweden)로 측정하였다.

결과 및 고찰

참외 연작 비닐하우스와 노지 콩 재배 포장 토양 특성 비교

참외 연작 비닐하우스 토양의 특성을 인근의 노지 콩 재배 포장과 비교하여 조사한 결과는 Table 2와 같았으며, 토성은 비닐하우스별로 대부분 미사질식토이었고 일부 미사질식양토인 경우도 있었다.

참외를 재배하는데 적당한 토양 pH는 6.0-6.5 정도인데(고품질 참외 표준재배 매뉴얼, 한국참외생산자협의회), 참외 연작 비닐하우스 토양의 pH는 7.5 내외로 높게 나타났다. 참외 연작 비닐하우스 토양에서 pH가 이와 같이 높은 것은 염류의 집적과 함께 퇴비 사용량이 많고 참외 재배 후 잔류 작물체를 태워서 그 재를 토양에 혼입시키거나 석회물질을 이용한 토양 열소독 등에 기인하는 것으로 판단된다.

Table 3. Water-extractable ion contents in surface soils (0-20 cm) after season of oriental melon single cropping system in plastic film house and soybean single cropping system in open field

Cropping system	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
	----- cmol/kg -----							
Melon single cropping	0.38	1.11	0.66	0.43	0.17	0.41	1.19	0.62
Soybean single cropping	0.25	0.30	0.15	0.19	0.09	0.08	0.79	0.28

Table 4. Comparison of soil characteristics after season of oriental melon single cropping system and oriental melon-Chinese cabbage double cropping system

Cropping system	Depth	pH	EC _e [*]	Available P
	cm		dS/m	P ₂ O ₅ mg/kg
Melon single cropping	0-20	7.57 ± 0.02	6.04 ± 0.31	562.6 ± 187.5
	20-40	7.42 ± 0.05	2.24 ± 0.11	202.1 ± 69.40
Melon-Chinese cabbage double cropping	0-20	7.15 ± 0.13	0.80 ± 0.22	331.9 ± 16.50
	20-40	7.06 ± 0.25	0.83 ± 0.18	67.90 ± 42.18

* EC_e: Electrical conductivity of the saturation extract

참외 연작 비닐하우스의 표토에서 토양 EC_e는 최고 6.0 dS/m까지 조사되었으며, 노지 콩 재배포장의 표토에 비해 평균값으로 4배 정도 높았다. 참외 연작 비닐하우스 표토의 평균 EC_e 값은 참외 표준재배 매뉴얼에서 제시한 적정 EC의 상한 값 2 dS/m를 2배 이상 초과하였다. 심토의 EC_e 평균 값은 노지 콩 재배 포장에서 1 dS/m 이하로 조사되었고, 참외 연작 비닐하우스에서는 2 dS/m에 근접한 수준으로 높게 조사되었다. 이러한 결과를 보면, 비닐하우스 환경에서 다년간 연작함으로써 참외 재배에 적절한 토양 EC 범위를 훨씬 초과하는 수준으로 토양에 염류가 집적된 것이다.

유기물은 참외 연작 비닐하우스의 표토와 심토에서 평균 함량이 각각 2.83 및 1.44%로 노지 콩 재배포장에 비해 훨씬 높았는데, 이는 참외 재배 토양에는 퇴비 등 유기물을 지속적으로 시용하기 때문일 것이다.

유효인산은 참외 연작 비닐하우스 포장 표토에서 평균 557.9 mg/kg이고 최대 785.7 mg/kg까지 측정되었는데, 노지 콩 재배포장의 유효인산 함량과 비교하면 거의 2배에 해당된다. 참외에 대한 토양 유효인산 적정함량은 300-500 mg/kg인데, 경북 성주군 과채류 재배지 토양의 경우에 유효인산 함량이 평균 413 mg/kg으로 조사되어 있다(성주과채류시험장 자료). 본 연구에서 조사한 경산지역 참외 연작 비닐하우스 토양의 유효인산 함량은 평균적으로 적정치를 초과하는 수준이며, 인산을 포함한 시비량의 조절이 필요할 것으로 판단된다.

참외 연작 비닐하우스 토양과 노지 콩 재배 토양의 수용성 이온 함량은 Table 3과 같았으며, EC와의 관계를 고려하여 cmole 단위로 나타내었다. 조사 대상 이온들의 함량은 모두 콩 재배 노지토양에 비해 참외 연작 비닐하우스 토양에서 높았으며, 비닐하우스 토양에서는 Ca²⁺와 SO₄²⁻의 함량이 가장 높았으며, Mg²⁺, Cl⁻, Na⁺, NO₃⁻ 등도 노지 토양에 비해 많

이 집적된 것으로 나타났다. 시설재배지 토양에 집적되어 작물에 장애를 유발하는 염류는 주로 Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ 등의 양이온과 Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻ 등의 음이온으로 구성되어 있으며, 조사대상 비닐하우스에 따라서 다소 차이는 있으나 Ca²⁺, Mg²⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻의 함량이 높고 EC와의 상관관계도 높은 것으로 밝혀져 있다 (Yuk *et al.*, 1993; Jung *et al.*, 1994; Ha *et al.*, 1997; Jung *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2006b). 대구 근교 상추재배 비닐하우스 토양에서는 여러 이온들 중에서 NO₃⁻가 가장 높은 농도로 축적되어 있다 (Chung *et al.*, 2005). 해수의 영향을 받지 않는 노지환경의 염류토양에서는 가용성 염류를 구성하는 이온이 주로 Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻이며, K⁺, Na⁺, Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻는 소량 포함되어 있다 (Richards, 1954; Sparks, 1995). 이러한 노지환경의 염류토양과 비교하면 우리나라 시설재배지 토양에서는 NO₃⁻ 형태의 질소와 인산의 축적현상이 뚜렷한데, 시설재배지 토양의 염류집적현상이 상당 부분 화학비료와 퇴비의 과다사용에 따른 잔류양분의 축적에 기인함을 의미하는 것이다.

참외-배추 및 참외-미나리 이모작에 따른 염류제거 효과

비닐하우스에서 참외 재배 후 천창비닐을 제거한 노지상태로 배추를 이모작으로 재배한 비닐하우스 토양과 참외를 단작으로 재배한 비닐하우스 토양 특성을 비교하였다 (Table 4).

참외 재배 후 노지상태로 배추를 재배한 경우 참외 단작 비닐하우스 토양에 비해 pH는 소폭 낮아졌으며, 노지상태로 배추를 재배함으로써 염류가 제거되었기 때문인 것으로 추정된다.

비닐하우스에서 참외를 재배한 후 천창을 제거하고 노지상태에서 배추를 재배한 경우 토양의 EC_e 평균값은 표토와 심토에서 모두 1 dS/m 이하로 측정되었으며, 비닐하우스 환

Table 5. Comparison of soil characteristics after season of oriental melon single cropping system and oriental melon-water dropwort double cropping system

Cropping system	Depth	pH	EC _e *	Available P
	cm		dS/m	mg P ₂ O ₅ /kg
Melon single cropping	0-20	7.71 ± 0.16	3.26 ± 0.02	327.9 ± 102.0
	20-40	7.83 ± 0.10	1.88 ± 0.03	102.7 ± 31.20
Melon-water dropwort double cropping	0-20	7.63 ± 0.37	0.75 ± 0.29	216.3 ± 80.56
	20-40	7.77 ± 0.33	0.64 ± 0.27	163.1 ± 19.20

* EC_e: Electrical conductivity of the saturation extract

Table 6. Water-extractable ion contents in soils after season of oriental melon single cropping system and oriental melon-Chinese cabbage double cropping system

Cropping system	Depth	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
	cm	cmol/kg							
Melon single cropping	0-20	0.60	2.37	1.03	0.54	0.33	0.56	2.50	0.66
Melon-Chinese cabbage double cropping	0-20	0.14	0.25	0.39	0.34	0.25	0.16	0.22	0.31

Table 7. Water-extractable ion contents in soils after season of oriental melon single cropping system and oriental melon-water dropwort double cropping system

Cropping system	Depth	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
	cm	cmol/kg							
Melon single cropping	0-20	0.54	2.40	0.88	0.39	0.29	0.74	1.53	0.97
Melon-water dropwort double cropping	0-20	0.11	0.52	0.19	0.32	0.26	0.32	0.30	0.40

경을 계속 유지한 참외단작 토양에 비해 EC가 현저히 낮아졌다. 이러한 결과를 보면, 천창비닐을 제거하고 노지 상태에서 배추를 재배함으로써 참외 재배기간 동안 축적된 염류의 상당부분이 용탈과 후작물의 흡수에 의해 제거된 것으로 판단된다. 유효인산 측정 결과에서도 노지상태에서 배추를 재배함으로써 참외 재배기간에 토양에 축적된 유효인산의 50% 정도가 제거되는 것으로 나타났다. 배추를 재배한 9월부터 11월 사이의 강수량은 200 mm 내외이었다 (대구 및 영천기상대 자료).

참외 재배 후 하우스시설을 그대로 유지한 채 토양 전체를 담수하고 이모작으로 미나리를 재배한 경우를 보면 (Table 5), 참외 단작 비닐하우스 토양에 비해 pH의 차이는 없었으나 표토와 심토에서 모두 EC_e는 1 dS/m 이하로 현저히 낮아졌고 표토의 유효인산 함량 역시 미나리를 후작물로 재배한 후 크게 낮아졌다. 미나리 이모작 비닐하우스에서 심토의 유효인산 함량은 참외 단작 비닐하우스 토양에 비해 높게 조사되었는데, 이는 담수상태가 2-3개월 지속되면서 표토에서 용탈된 후 심토에 집적되었거나 환원조건에서 불용성 인산화합물의 가용화에 따른 결과로 추정된다.

비닐하우스에서 참외를 재배한 후 천창을 제거하고 노지 상태로 배추를 재배하거나 하우스환경에서 토양 전체를 담수하고 미나리를 재배한 포장에서 조사한 토양의 수용성 이온 함량 변화는 Table 6 및 7과 같았다. 천창비닐을 제거하고 배추를 이모작으로 재배한 포장의 경우, 참외 단작 후 하우스

시설을 그대로 유지한 포장에 비해 주요 염류 구성 이온인 Ca²⁺과 SO₄²⁻가 90% 정도 제거되었다. Na⁺과 NH₄⁺의 제거율이 상대적으로 낮았지만 나머지 이온들도 40-80% 범위에서 제거되었다. 참외 재배 후 미나리를 재배한 포장의 경우에도 참외 단작 하우스 토양과 비교하여 Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, SO₄²⁻가 80% 정도 제거되었으며, 배추를 후작물로 재배한 경우와 마찬가지로 Na⁺과 NH₄⁺의 제거율은 낮았다.

참외 재배 후 천창을 제거하고 배추를 재배한 경우와 하우스시설을 유지한 채로 담수상태로 미나리를 재배한 경우를 비교하면, 작물의 흡수와 용탈에 따른 염류 구성 주요 이온들의 제거 효율은 거의 동일하였다. 그리고 각각의 이모작체계에서 주요 가용성 염류의 제거 효율과 EC 저감효과는 각각 80-90%로 서로 잘 일치하였다.

비닐하우스의 천창을 개방하고 녹비작물을 재배하였을 때 토양의 EC는 4 dS/m에서 2 dS/m 이하로 낮아졌으며 (시설원예연구소 미발표 자료), 담수 처리한 토마토 재배 비닐하우스에서 표토의 EC가 2.80 dS/m에서 0.38 dS/m로 낮아지는 것으로 보고되어 있다 (Oh *et al.*, 2010). 그리고 담수 처리에 따른 염류 제거율은 토성에 따라서 차이가 있지만 1회에 100 mm씩 2회 처리하였을 때 표토의 염류를 40-55% 제거할 수 있는 것으로 밝혀져 있다 (Jung and Yoo, 1975). 이러한 여러 선행연구들의 결과와 본 연구의 결과를 보면, 염류집적 비닐하우스 토양을 자연강우에 노출시키거나 담수처리를 하고 이모작 작물을 재배함으로써 다음 작기 주 작물에

Table 8. Changes in electrical conductivity of soil during the oriental melon growing season with oriental melon-Chinese cabbage double cropping system and oriental melon-water dropwort double cropping system

Cropping system	Before melon cropping	April	May	June	July
	----- dS/m -----				
Melon-Chinese cabbage double cropping	0.80 ± 0.22	2.15 ± 0.58	3.16 ± 1.31	2.97 ± 1.43	2.89 ± 0.22
Melon-water dropwort double cropping	0.75 ± 0.29	1.78 ± 0.77	1.91 ± 0.83	2.28 ± 1.41	2.63 ± 1.95

염류장해를 유발하지 않는 수준까지 염류를 제거할 수 있는 것으로 판단된다. 그리고 투수성이 불량하거나 작토층 아래에 경반층이 존재하는 토양에서는 용출된 염류를 하우스 외부로 배출시킬 수 있는 암거배수시설 등을 갖추면 자연강우나 관수 또는 담수처리를 통한 염류제거 효율을 더욱 증대시킬 수 있을 것이다 (Kim *et al.*, 1997; Oh *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2006a)

이모작 후 참외 재배기간 중 토양 EC의 변화

참외-배추 및 참외-미나리 이모작 하우스에서 다음 작기의 참외를 재배하는 동안 토양 EC 변화를 4월부터 7월까지 4회 조사한 결과는 Table 8과 같았다.

배추를 이모작한 하우스에서는 노지상태로 배추를 재배한 후 0.80 dS/m 수준으로 낮아졌던 EC가 다음 작기 참외를 재배하면서 4월에 염류장해기준인 2 dS/m를 상회하였고 5월부터 7월까지 3 dS/m 내외로 유지되었다. 참외-미나리 이모작 하우스에서도 마찬가지로 미나리 재배 후 0.75 dS/m 수준으로 낮아졌던 EC가 참외를 재배하면서 4월에 1.78 dS/m로 증가하였고 이후 계속 증가하여 2 dS/m를 훨씬 상회하는 수준으로 조사되었다.

이러한 결과를 보면, 비닐하우스에서 참외를 재배한 후 후작물로 노지 배추나 담수 미나리 재배를 도입하더라도 단기적으로 이전 참외 재배기간에 축적된 염류를 EC 1 dS/m 이하 수준으로 제거할 수 있었지만 다음 작기 참외를 재배하는 동안 이모작 재배 이전과 비슷한 수준으로 염류 농도가 다시 높아지는 것으로 나타났다. 이는 화학비료와 퇴비를 기비로 과다 시용하고 재배기간 동안 관행적으로 수용성 비료를 관수 시스템을 통해 수시로 공급하는데 기인할 수 있으며 (Ha *et al.*, 1997), 또한 이모작 기간에 자연강우 노출이나 담수 처리를 통해 하층 토양으로 용탈되었던 염류들이 참외 재배기간에 다시 표층 토양으로 상승하기 때문일 것이다 (Kim *et al.*, 1997; Oh *et al.*, 2010). 따라서 토양검정을 통한 적정시비와 함께 매년 지속적으로 노지 배추 재배와 담수 미나리 재배 등의 이모작체계를 도입함으로써 비닐하우스 장기연작 토양의 과다한 염류집적문제를 해소할 수 있을 것으로 판단된다.

결론

비닐하우스에서 작물을 재배할 경우 토양에 염류가 집적되는 현상은 피할 수 없는데, 경비나 부지의 문제로 하우스시설의 이전이 어려운 실정에서는 다양한 방법을 통해 장기 연작에 따른 염류집적 문제를 해결해야 한다.

비닐하우스 참외재배 농가에서 활용하고 있는 참외-노지 배추 또는 참외-담수 미나리 이모작체계는 자연강우나 담수를 통해 참외 재배기간에 집적된 하우스 토양의 염류를 후작물을 재배하는 동안 EC_e 1 dS/m 이하로 제거할 수 있었으며, 다음 작기 참외를 재배하는 동안 EC_e는 2-3 dS/m 수준으로 유지되어 과다한 염류집적에 따른 피해를 방지할 수 있었다. 그러나 이러한 이모작체계의 염류제거효과는 다년간 지속될 수 없는 것으로 추정되었으며, 참외 재배기간에 집적된 염류를 매년 제거하도록 이모작 작부체계를 지속적으로 유지하는 것이 바람직한 염류장해 해결 수단으로 판단된다. 자연강우나 담수를 통해 표층 토양에서 용탈된 염류가 하층 토양에 집적되었다가 다음 작기 참외 재배기간에 다시 표층으로 상승하는 염류 재집적현상을 해결하기 위해서는 염류를 하우스 외부로 배출시킬 수 있는 암거배수시설을 도입하는 방안도 적극적으로 고려해야 한다.

물론 비닐하우스 토양에 집적된 염류를 제거하는 노력에 앞서 토양검정에 의한 적정수준의 시비관리와 관개용수의 관리를 통해 과다한 염류의 유입을 사전에 차단하는 노력이 먼저 필요할 것이다.

Acknowledgment

This research was supported by the Daegu University Research Fund in 2013.

References

- Cho, M. R., Lee, B. C., Kim, D. S., Jeon, H. Y., Yi, M. S., & Lee, J. O. (2000). Distribution of plant-parasitic nematodes in fruit vegetable production areas in Korea and identification of root-knot nematodes by enzyme phenotypes. *Korean Journal of Applied Entomology*, 39(2), 123-129.
- Chung, J. B., Jin, S. J., & Cho, H. J. (2005). Low water potential in saline soils enhances nitrate accumulation of lettuce. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36(13-14), 1773-1785.
- Chung, B. Y., Lee, K. S., Kim, M. K., Choi, Y. H., Kim, M. K., & Cho, J. Y. (2008). Salt accumulation and desalinization of rainfall interception culture soils of *Rubus* sp. in Gochang-gun, Jeollabuk-do. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 41(5), 310-317.

- Ha, H. S., Lee, Y. B., Sohn, B. K., & Kang, U. G. (1997). Characteristics of soil electrical conductivity in plastic film house located in southern part of Korea. *Journal of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer*, 30(4), 345-350.
- Hwang, S. W., Kim, Y. S., Yeon, B. Y., Lee, Y. J., & Park, Y. D. (1993). The effect of several desalting methods applied to vinyl house soils. *Rural Development Administration Journal of Agricultural Science*, 35(1), 276-280.
- Jun, H. S., & Park, W. C. (2001). Soil chemical characteristics and comparison with infested status of nematode (*Meloidogyne* spp.) in plastic house continuously cultivated oriental melon in Songju. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 20(2), 127-132.
- Jun, H. S., Park, W. C., & Jung, J. S. (2002). Effects of soil addition and subsoil plowing on the change of soil chemical properties and the reduction of root-knot nematode in continuous cropping field of oriental melon (*Cucumis melo* L.). *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 21(1), 1-6.
- Jung, Y. S., & Yoo, S. H. (1975). Effect of watering on eluviation of soluble salts in the vinyl house soils. *Journal of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer*, 8(2), 53-60.
- Jung, G. B., Ryu, I. S., & 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. *Journal of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer*, 27(1), 33-39.
- Jung, B. G., Choi, J. W., Yun, E. S., Yoon, J. H., Kim, Y. H., & Jung G. B. (1998). Chemical properties of the horticultural soils in the plastic houses in Korea. *Journal of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer*, 31(1), 9-15.
- Kang, B. G., Jeong, I. M., Min, K. B., & Kim, J. J. (1996). Effect of salt accumulation on the germination and growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer*, 29(4), 360-364.
- Kim, D. G. (2001). Distribution and population dynamics of *Meloidogyne arenaria* on oriental melon (*Cucumis melo* L.) under greenhouse conditions in Korea. *Russian Journal of Nematology*, 9(2), 61-68.
- Kim, P. J., Lee, D. K., & Chung, D. Y. (1997). Vertical distribution of bulk density and salts in a plastic film house soil. *Journal of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer*, 30(3), 226-233.
- Kim, L. Y., Cho, H. J., Hyun, B. K., & Park, W. P. (2001). Effects of physical improvement practices at plastic film house soil. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 34(2), 92-97.
- Kim, D. S., Yang, J. E., Ok, Y. S., & Yoo, K. Y. (2006a). Effect of perforated PVC underdrainage pipe on desalting of plastic film house soils. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 39(2), 65-72.
- Kim, J. J., Kang, S. S., Kim, K. I., & Hong, S. D. (2006b). Relationship among chemical properties of soils with different texture taken from plastic film house of Chungbuk area. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 39(3), 144-150.
- Kim, S. H., Seo, D. C., Park, J. H., Lee, S. T., Lee, S. W., Kim, H. C., Cho, J. S., & Heo, J. S. (2013). Effects of green manure crops on growth and yield of carrot for reduction of continuous cropping injury of carrot through crop rotation. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 32(4), 279-286.
- Lee, B. J., Yoon, T. H., Cho, W. T., Jun, H. S., & Cho, Y. S. (2013). Effects of green manure cropping on soil biomass-C and soil fertility in greenhouse soil. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 21(4), 647-657.
- Marschner, H. (1986). Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, New York, USA.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil chemical analysis, Part 2* (Ed. Page, A. L.), pp. 167-179. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Oh, S. E., Son, J. S., Ok, Y. S., & Joo, J. H. (2010). A modified methodology of salt removal through flooding and drainage in a plastic film house soil. *Korean J. Soil Science and Fertilizer*, 43(5), 443-449.
- Olsen, S. R., & Sommers, L. E. (1982). Phosphorus. *Methods of soil chemical analysis, Part 2* (Ed. Page, A. L.), pp. 167-179. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Richards, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook No. 60, US Government Printing Office, Washington D.C., USA.
- Rhoades, J. D. (1982). Soluble salts. *Methods of soil chemical analysis, Part 2* (Ed. Page, A. L.), pp. 167-179. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Sparks, D. L. (1995). Environmental soil chemistry. Academic Press, San Diego, USA.
- Yuk, C. S., Kim, J. J., Hong, S. D., & Kang, B. G. (1993). Salt accumulation in horticultural soils of PE film house in Chungbuk area. *Journal of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer*, 26(3), 172-180.