

시설재배지 유공관 암거배수에 의한 염류집적 경감효과

김대수 · 양재익* · 옥용식¹ · 유경열¹

양평군 농업기술센터, ¹강원대학교 자원생물환경학과

Effect of Perforated PVC Underdrainage Pipe on Desalting of Plastic Film House Soils

Dae-Su Kim, Jae E. Yang^{1*}, Yong-Sik Ok¹ and Kyung-Yoal Yoo¹

Yangpyeong Agricultural Development & Technology Center, Yangpyeong 476-801, Korea
¹Division of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Objective of this research was to remove the accumulated salts in the plastic film house soils by installing the perforated PVC (ϕ 10 cm) underdrainage pipes at 50 cm depth of soils with cultivating vegetables. Efficiency of the underdrainage pipes was assessed based on the changes of soil chemical properties such as pH, EC, and cations, and growth and yield parameters of the vegetables between the two treatments; the control and the underdrainage pipe treatments. The EC of the underdrainage pipes installed soils after two growing seasons were in the ranges of 1.42-2.88 dS m^{-1} but those of the control were in the ranges of 3.86-4.53 dS m^{-1} , indication the underdrainage pipes effectively removed the accumulated salts in soils. The pHs of the control soils and the underdrainage pipe installed soil were in the ranges of 7.2-7.5 and 6.9-7.3, respectively. There was a significant correlation between pH and cation exchange capacity (CEC) of the soils ($\text{CEC} = 17.107 \times \text{pH} - 106.2$, $r^2 = 0.759$, $P < 0.05$). The ECs of the soils at different depths were compared between the two treatments after cultivating vegetables with lettuce-lettuce-garland chrysanthemum rotation systems. The ECs of the control soils at depths of 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, and 40-50 cm were 3.45, 3.47, 3.03, 2.03, and 2.28 dS m^{-1} , respectively, with decreasing with soil depths. On the other hand, the respective ECs of the underdrainage pipes installed soils were 2.43, 2.52, 2.28, 4.00, and 4.23 dS m^{-1} with increasing with soil depths. This might be derived from the salts moved downward with the draining water into the subsoil. The order of cations moved downward was $\text{Mg} > \text{Ca} > \text{K}$, based on the ratios of cations at specific depth over those at the surface soil. The survival rates of lettuce after 15 days of transplanting in the underdrainage pipe installed soils were 98.2% as compared to 86.6% of the control. The underdrainage pipe treatment also increased the diameter of the lettuce stalk from 12.9mm of the control to 13.7mm. Overall results demonstrated that the installment of the underdrainage pipes in the subsoils of the salt accumulated plastic film house soil effectively removed the salts by leaching downward, resulting in lowering soil EC and enhancing the growth and yield of vegetables.

Key words : Plastic film house, Salt accumulation, Underdrainage pipe, Leaching, EC

서 언

우리나라는 1970년대부터 농업이 급속히 발전하기 시작하였고 1980년대 이후 비닐농사의 보급으로 채소의 연중 생산이 가능하게 되면서 식탁의 혁명이 일어났다. 이후 시설재배는 농가소득 증대에 중요한 수단이 되었으며 그 재배면적은 급격히 증가하여 1970년 기준 4,000 ha에서 2002년에는 83,000 ha로 약 20배 이상 증가하였다 (Kim, 2004).

그러나 시설재배 농가에서는 작물의 생산수량을 높이기 위하여 화학비료와 가축분뇨 퇴비를 다량 투입하였고 이로 인하여 토양의 염류 농도가 지속적으로 증가하였다. 시설재배지의 염류집적과 관련하여 Park et al. (1998)은 경기지역의 시설재배지 토양조사에서 EC가 일반 노지토양에 비하여 월등히 높으며 가축분뇨 퇴비의 경우 계분, 돈분, 우분의 순으로 EC의 증가에 영향을 미치며 이외에 EC를 증가시키는 요인으로 Mg, K, P_2O_5 , 유기물, Ca, SO_4^{2-} 등이 있음을 지적하였다. 또한 Ha et al. (1997)은 우리나라 남부지방에 위치한 시설채소 및 화훼류 주산지의 토양 EC가 표토

접 수 : 2006. 1. 20 수 리 : 2006. 3. 8

*연락처 : Phone: +82332506446,

E-mail: yangjay@kangwon.ac.kr

는 5.84 dS m⁻¹ 그리고 심토는 2.49 dS m⁻¹로 나타났고 표토가 심토보다 2배 이상 높으며 71개 포장 중 작물이 정상 생육할 수 있는 EC 값인 2.0 dS m⁻¹ 이하의 지역이 표토 기준으로 11% 및 심토 기준으로 51% 임을 보고하였다. 이외에 Hur and Song (1995)은 우리나라 시설재배지 토양의 EC에 대한 수준별 분포비율이 EC 5.1 dS m⁻¹ 이상은 11%, 원예작물재배 안전선인 EC 2.0 dS m⁻¹ 이상은 47%로 나타나 향후 시비 관계에 있어 특별한 노력을 기울여야 할 것을 보고하였다. 토양염류는 작물생육에 있어서도 부정적인 영향을 미치게 되는데 일례로 토양 염농도에 약한 딸기의 경우 토양의 EC가 1.0 dS m⁻¹에서의 수확량을 기준으로 하여 EC 1.6 dS m⁻¹에서 수확량은 75%, 2.4 dS m⁻¹일 때 50%, 3.2 dS m⁻¹인 경우 25%로 감소함을 보였다 (Ok et al., 2005). 토양의 염류집적은 간척지와 같이 바닷물에 있는 각종 염류성분인 NaCl, MgCl₂, MgSO₄ 및 KCl 등에 기인하기도 하며 강우가 적고 일조가 많은 조건에서 증발에 의해 하층에 있던 가용성 염류가 물과 함께 표층으로 이동하는 과정에서 집적되기도 한다.

시설재배지는 인위적으로 사용한 비료성분 및 부성분 중 작물이 흡수 이용하고 남는 것이 강우가 차단된 시설의 특수조건에서 작토층에 집적되는 인위적인 염류집적 현상이다 (Choi, 1997; Kwak et al., 2003).

우리나라 농경지의 경우 일반적으로 EC 1 dS m⁻¹ 이하의 값을 가지며 EC 2 dS m⁻¹ 이상은 염류토양으로 분류되며 4 이상에서는 대부분의 작물 수량이 현저히 감소하게 되므로 이를 작물생육의 한계 값으로 정하고 있다 (Yang et al., 2001). 또한 토양 중 염류가 과다하게 집적되면 수분장애, 양분흡수 장애, 영양장애, 가스장애, 품질저하 등이 나타날 수 있다. 이 중 수분장애의 경우 수분이 충분하더라도 염류농도가 높으면 삼투압이 높게 나타나므로 염류집적이 많은 토양에는 초기에 물을 충분히 주어 염류가 근권층 이하로 이동하게 하는 것이 장애를 줄이는 한 방법이다. 토양이 과습하게 되면 NO₃-N이 환원되어 NH₄-N로 되고 이는 EC가 높아지면 NO₃-N로 되지 못하고 암모니아에 의한 장애를 발생한다 (McLaren and Cameron, 1996; Song et al., 1996; Kim et al., 2002).

표토에서는 NO₃-N가 지하로 이동될 때 마그네슘이 동반이동으로 행동하기 때문에 노지에서는 잘 나타나지 않은 마그네슘 과다현상이 발생하기도 한다 (Hur and Song, 1995; Ok et al., 2005).

토양 염류를 경감시키는 방법으로는 관수제염, 심토반전, 심토파쇄, 객토, 표토제거, 미생물제 시용, 청정작물 재배, 염류농도에 맞는 작물재배와 합리적인 시비조절 등이 있다. 이들 방법들은 각각 장단점을 지니고 있는데 관수제염법의 경우 제염노력이 적게 들고 고르게 제염이 된다는 장점이 있는 반면 물의 소모량이 많고 수직배수가 양호한 토양에만 적용이 가능하다는 단점이 있다. 심토반전법은 기계를 이용하여 간편하게 실시할 수 있으나 표토에 염류재집적이 쉽게 되어 단기적인 효과밖에 없으며, 심토파쇄는 경반층(hard pan)을 파쇄되므로 통기성이 좋아지고 염류가 지하로 이동이 쉬워 표층의 염농도를 낮게 유지하는데 효과적인 방법으로 제시하고 있으나 수분이동이 좋게 될 때만 가능하다 (Tani, 1990; Kim, 2004). 또한 객토법이나 표토제거법도 일시적인 대책일 뿐 근본적인 대책으로는 미흡하다. 미생물제 시용법은 이론적으로 가능한 방법이므로 최근 이에 대한 연구가 시도되고 있으나 실용효과가 미확실한 형편이며, 청정작물 재배는 근본적인 대책으로서 가능한 방법이긴 하나 농가의 수익성이 감소할 수 있는 단점이 있다. 마지막으로 염류농도에 맞는 작물재배와 시비조절 방법이 있는데 이는 가장 안정적인 방법이며 토양오염을 방지할 수 있는 최선의 방법이지만 계획생산에 차질이 발생할 수 있다.

본 연구에서는 염류집적이 문제시되는 시설재배지에 유공관 암거배수를 설치함으로써 토양에 과량 존재하는 염류성분을 작토층으로부터 배수시킬 수 있는 기술을 확립하여 토양에 집적된 염류를 제거하는 방법을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

시험포장 시험포장은 경기도 양평군 양평읍 원덕리에 소재한 포장을 선정하였다. 본 포장은 수년 전 성토 후 연작 재배하여 토양염류 집적문제가 발생된 지점으로 유공배수관을 설치한 시험구와 설치하지 않

Table 1. Chemical properties of plastic film house soils used in the experiment.

| Treatment | pH | EC | OM | Available P ₂ O ₅ | Exchangeable cations | | | CEC |
|------------------------------|-----|--------------------|--------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------|------|-----|------|
| | | | | | K | Ca | Mg | |
| | 1:5 | dS m ⁻¹ | g kg ⁻¹ | mg kg ⁻¹ | ----- cmol _e kg ⁻¹ ----- | | | |
| Control | 7.5 | 3.86 | 33 | 1,158 | 0.53 | 14.7 | 7.5 | 23.4 |
| Underdrainage pipe treatment | 7.4 | 3.26 | 33 | 1,261 | 0.65 | 14.3 | 6.9 | 21.9 |

은 대조구를 서로 이웃하는 비닐하우스에 조성하였다. 시험구와 대조구 포장의 면적은 각각 330 m²이었다. 공시토양은 강서토, 세사양토로 토심은 50-100 cm이며 배수상태는 약간 양호한 토양으로 성토로 인한 표토의 토성은 암황갈색의 자갈이 있는 양토이다. Table 1은 시험 전 공시토양의 화학성을 나타내며 P₂O₅, Ca, Mg 등의 염류가 집적되어 있었고 pH 및 EC가 매우 높게 나타났다 (Table 1).

유공관 설치 및 작물재배 유공관은 표면에 작은 구멍들이 뚫려있는 지름 10 cm의 PVC 관으로 토양의 표면으로부터 50 cm 깊이에 매설하였으며 폭 6 m인 비닐하우스를 두 두둑으로 나누어 한 두둑 밑에 4줄씩 모두 8줄을 매설하였다. 매설 작업은 소형 포크레인을 이용하여 유공관을 매설할 굴착작업을 하였으며 유공관의 배수를 원활하게 유도하기 위하여 집수조쪽은 45 cm 깊이로 그 반대쪽은 55 cm로 하여 양극 간에 구배를 약 10 cm 정도 두어 집수조에 침출수가 모일 수 있도록 하였다. 집수조는 비닐하우스 입구쪽 지하에 1,000 L 원통을 설치하여 유공관을 통하여 배출되는 침출수를 수거할 수 있도록 하였다. 비닐하우스 중앙 측면의 양쪽으로는 지상 2 m 높이로 통풍구를 지하매설 유공관과 연결 설치하여 통풍이 잘 되도록 하였다. 공시작물은 이 지역에서 주로 재배하는 작물 중 농가가 선택한 작물로 하였으며, 1년차에는 상추 (*Lactuca sativa* L.)와 썩갯 (*Chrysanthemum coronarium* L.)을 재배하였고, 2년차에는 겨자 (*Brassica juncea* L.)와 셀러리(*Apium graveolens* L.)를 재배하였다. 시비방법은 농가자율에 따르되 시비구와 대비구에 동일한 방법을 사용하도록 하였다. 비료시용은 돈분뇨 발효퇴비로 10a 당 2.5톤 정도를 밑거름으로 시용하였으며, 덧거름으로 화학비료를 약간 시용하였다.

시료채취 및 분석방법 유공관을 설치한 후 염류 집적 경감효과가 나타나는지를 구명하기 위하여 유공관을 설치하기 전과 설치 직후에 토양화학성을 분석하였고, 그 후 2년에 걸쳐 매년 공시작물의 재배가 끝날 때 마다 토양화학성을 조사하였다. 토양시료는 시험포장을 대각선 방향으로 5개 지점에서 시료를 채취하여 실내에서 풍건한 후 모래나 자갈이 깨어지지 않도록 고무망치로 분쇄한 후 2 mm 체로 쳐서 분석시료로 하였고 분석은 농촌진흥청의 토양화학분석법 (1988)에 준하여 실시하였다. 토양 pH 및 EC는 1:5 법으로 측정하였고 EC는 측정값에 5를 곱하고 온도 보정을 하여 EC 값을 얻었다. 유기물함량은 Tyurin 법, 유효인산은 Lancaster법으로 분석하였다. 치환성 양이온은 1N NH₄OAc 용액 (pH 7.0)으로 침출하여

ICP로 측정하였고 CEC는 Brown법으로 양이온 총량을 구하였다. 재배작물의 생육상황의 조사는 1년차에는 상추의 발아시 생존율과 지체부위의 줄기직경을 조사하였으며 10a당 수량도 조사하였다. 또한 썩갯은 10a당 수량성을 조사하였다. 조사방법은 발아후 생존율은 정식후 15일 경 정식 본수에 대한 생존개체수를 백분율로 취하였으며, 생육의 질적 수준을 판단하기 위하여 줄기의 직경 조사를 수확 완료직후 실시하였다. 그리고 수확량조사는 시험구 및 대조구에서 생산되어 시장 출하한 전체 수량을 조사하여 10a당 생산수량으로 환산하여 구하였다.

결과 및 고찰

유공관 암거설치 토양의 화학성 변화 유공배수관을 지하에 설치한 후 토양 EC의 변화를 조사한 결과는 Table 2와 같다. 처리구 토양의 EC는 본 실험 전인 4월 20일 조사에서 3.26 dS m⁻¹이었으나 설치 직후인 5월 6일에는 1.42 dS m⁻¹로 2배 이상 낮아졌다. 또한 유공관 설치 후 공시작물인 상추 (1기작)를 재배하고 난 직후인 6월에는 1.04 dS m⁻¹, 2기작으로 상추를 재배한 후 10월에는 2.08 dS m⁻¹이었고, 다음해 6월에 2.41 dS m⁻¹, 10월에 2.88 dS m⁻¹로 조사되어 같은 시기에 조사한 무처리구의 3.86, 3.04, 3.74, 4.07, 4.53 dS m⁻¹에 비해 약 2배 정도 낮게 나타났다 (Jung et al., 2001).

본 실험에서 처리구의 EC가 유공배수관 설치직후 큰 폭으로 감소한 이유는 유공관을 설치하는 과정에서 염농도가 높은 표층의 토양과 염농도가 낮은 심층의 토양이 상호 혼합되면서 희석효과로 인하여 염농도가 낮게 나타난 것으로 판단되었다. 이 후 염농도는 1년차 1기작재배 직후인 6월에는 1.04 dS m⁻¹로 낮아졌으나 그 이후는 2.08, 2.41, 2.88 ds m⁻¹로 다소 높아지는 경향을 나타내었다 (Fig. 1). 이는 농가에서 사용하는 비료와 퇴비의 잔류농도에 기인된 것으로 판단되었으며 무처리구와 유공배수관 설치구에서 모두 유사한 경향을 나타내었다.

토양 pH는 그 자체가 작물 생육에 영향을 주는 것이 아니라 토양용액에서 여러 가지 이온들의 화학반응에 대한 동적평형 관계에 영향을 미쳐 작물생육에 영향을 주는 요인으로서 시설재배지 토양에서는 EC와 함께 매우 중요한 의미를 갖는다. 토양 pH의 경우 대조구에서는 pH 7.2-7.5의 수준으로 알칼리성을 나타내었으나 유공배수관을 설치한 처리구에서는 대조구보다 다소 낮은 pH 6.9-7.3으로 나타났다 (Table 2). 토양 pH는 염기포화도와 일정한 함수관계가 있는 것으로 알려져 있는데 Fig. 2는 pH와 양이온치환용량 (CEC)과의 상관관계를 나타낸 것으로 $y = 17.107x$

Table 2. Effect of underdrainage pipe treatment on chemical properties of soils during cultivation period.

| Treatment | Date | pH | EC | OM [†] | Ava. P ₂ O ₅ | Exch. cations | | | CEC | BS [‡] |
|------------------------------|-----------|---------|--------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|---------|---------|-------|-----------------|
| | | | | | | K | Ca | Mg | | |
| | | 1:5 | dS m ⁻¹ | g kg ⁻¹ | mg kg ⁻¹ | ----- cmol _c kg ⁻¹ ----- | | | % | |
| Control | 2003. 05. | 7.5 | 3.86 | 33 | 1,158 | 0.53 | 14.7 | 7.5 | 23.4 | 97.1 |
| | 2003. 06. | 7.5 | 3.04 | 32 | 1,028 | 0.49 | 13.8 | 6.7 | 21.0 | 99.9 |
| | 2003. 10. | 7.3 | 3.74 | 31 | 1,004 | 0.52 | 14.2 | 7.2 | 20.1 | 109.1 |
| | 2004. 06. | 7.2 | 4.07 | 32 | 860 | 0.31 | 14.7 | 7.6 | 23.5 | 96.2 |
| | 2004. 10. | 7.2 | 4.53 | 32 | 849 | 0.32 | 15.0 | 7.7 | 25.6 | 89.9 |
| Underdrainage pipe treatment | 2003. 05. | 7.0 | 1.42 | 19 | 481 | 0.26 | 9.5 | 4.8 | 13.2 | 110.3 |
| | 2003. 06. | 7.3 | 1.04 | 20 | 455 | 0.30 | 8.7 | 4.3 | 13.7 | 97.1 |
| | 2003. 10. | 6.9 | 2.08 | 20 | 475 | 0.35 | 10.8 | 4.9 | 13.9 | 115.5 |
| | 2004. 06. | 7.1 | 2.41 | 21 | 413 | 0.31 | 10.6 | 5.5 | 20.5 | 80.0 |
| | 2004. 10. | 7.0 | 2.88 | 21 | 407 | 0.30 | 10.3 | 5.3 | 21.1 | 75.4 |
| Optimum range | | 6.0-6.5 | 2.00 | 20-30 | 350-500 | 0.70-0.80 | 5.0-6.0 | 1.5-2.0 | 10-15 | |

[†] OM: Organic Matter

[‡] BS: Base Saturation

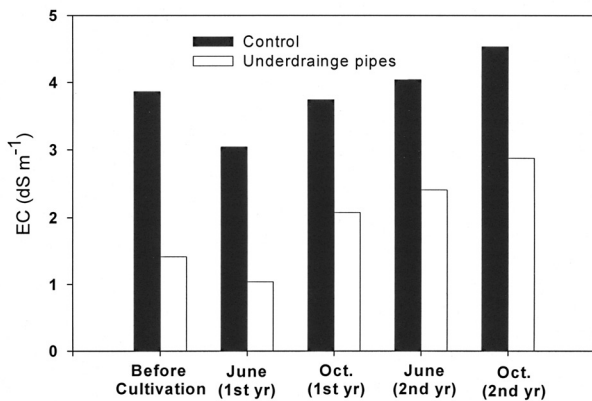


Fig. 1. Comparison of soil EC between the control and the underdrainage pipe treatment.

- 106.22 (단, $y = \text{CEC}$, $x = \text{pH}$)의 함수관계가 있었고 높은 상관관계 ($r^2=0.759^{**}$)를 나타내었다. 일반적으로 작물생육에 알맞은 pH는 6.0-6.5 수준인데 본 시험포장의 경우 이보다 높은 pH 6.9-7.5 수준을 나타내었다. 이는 다수확을 위하여 농가가 많은 양의 비료를 투입하여 토양의 염기포화도가 높아졌기 때문으로 판단되었다.

토양에 가해진 유기물은 여러 가지 미생물의 분해 작용을 받아 원조적이 변질되거나 새롭게 합성된 갈색 또는 암갈색의 일정한 형태가 없는 교질상의 복잡한 물질, 즉 부식이 되어 분해에 대해 어느 정도 저항성을 지니는 혼합물이 된다. 이러한 부식은 염기치환용량이 200-250 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 으로 점토의 10-50 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 보다 약 7배 높으며 부식질 자신의 무게의 4-6배의 물을 흡수할 뿐만 아니라 Cu와 같은 중금속이온의 유해 작용을 감소시키고, 미생물의 활동을 활발하게 하는 등 토양에 유용한 작용을 하는 물질이다 (Lim

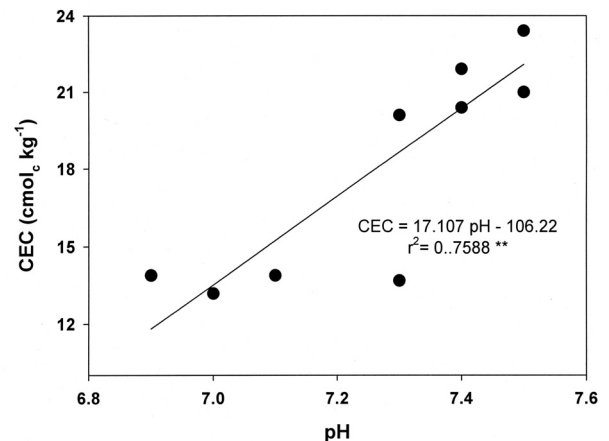


Fig. 2. Correlation between pH and CEC of the soils used in the experiment.

et al., 2002; Ok et al., 2002). Table 2에서 보는 바와 같이 유기물 함량은 무처리구에서는 33-31 g kg^{-1} 로 비슷한 수준에서 감소하는 경향이였다. 그러나 처리구에서는 유공배수관 설치 직후에는 19 g kg^{-1} 로 낮았지만 2년간 재배가 거듭되면서 21 g kg^{-1} 까지 서서히 증가하는 추세를 나타냈다.

Table 2에서 보면 무처리구에서는 인산함량이 849-1,158 mg kg^{-1} 이었으나 유공관 처리구에서는 407-481 mg kg^{-1} 을 나타내어 역시 유공배수관 설치토양에서 낮은 수준을 나타냈다. 이 시험결과에서 대조구는 시험초기의 인산함량에 비하여 2차년도 10월에는 73.3% 수준으로 감소하였으며 처리구에서도 유공관 설치 직후의 인산함량 481 mg kg^{-1} 에 비하여 2년차 10월에는 407 mg kg^{-1} 로 84.6%의 수준으로 감소하였다. 이러한 이유는 시험에 참여한 농가가 표준시비량을 준수하여 과거보다 비료 사용량을 줄였기 때문인 것으로

판단된다.

한편 토양 또는 교질물에 부착되어 있는 치환성양이온의 총량을 하전(+)량으로 표시한 것을 양이온치환용량(cation exchange capacity)이라고 한다. 이러한 양이온치환용량은 토양의 pH나 완충력에 영향을 주므로 토양의 작물생산성과 매우 밀접한 관계가 있다(Ok et al., 2001). Table 2에서 보는 바와 같이 대조구의 치환성 K는 시험초기 0.53 cmolc kg⁻¹이었던 것이 시험이 완료된 시점에서는 0.32 cmolc kg⁻¹로 감소되었으나 치환성 Ca과 Mg는 각각 14.7 cmolc kg⁻¹, 7.5 cmolc kg⁻¹에서 15.0 cmolc kg⁻¹, 7.7 cmolc kg⁻¹로 거의 변화가 없었다. 반면 유공관 처리구에서는 치환성 K, Ca 및 Mg가 각각 시험초기에 0.28, 9.5, 4.8 cmolc kg⁻¹로 대조구보다 낮은 수준을 나타냈으나 시간이 경과되면서 증가되는 경향을 보여 시험이 완료되는 시점에서는 교환성 K, Ca, Mg가 각각 0.30, 10.3, 5.3 cmolc kg⁻¹을 나타냈다. 또한 CEC 함량은 무처리 토양에서는 20.1-25.6 cmolc kg⁻¹사이에서 변화한 반면 처리구에서는 이보다 낮은 13.2-21.1 cmolc kg⁻¹을 나타내었다.

치환성 양이온들의 함량의 합에 대하여 염기포화도

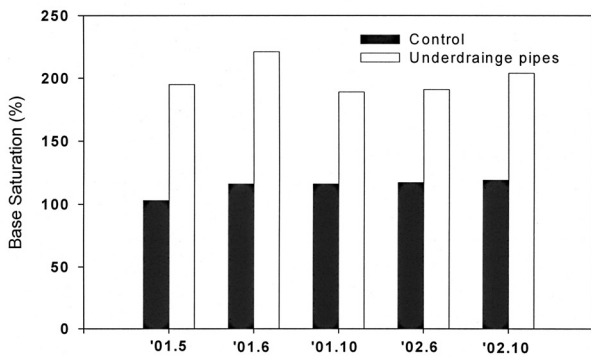


Fig. 3. Changes in the base saturation of the soils during cultivation period.

를 구한 결과는 Fig. 3과 같았다. 무처리구에서는 적정수준으로 알려진 80%보다 높은 103-119%를 나타냈으나 유공배수관을 설치한 시험포장에서는 이보다 훨씬 높은 169-221%의 범위를 나타냈다. 이와 같이 처리구에서 염기포화도가 더 높게 나타난 이유는 유공배수관 설치 시 CEC가 낮은 심토와 표층의 토양이 섞이는 과정에서 표층으로 옮겨온 토양의 CEC는 낮은 반면 표층에 존재하던 치환성양이온은 상대적으로 감소의 폭이 적은데서 온 결과라고 판단된다.

토양의 깊이별 화학적 특성의 변화 유공배수관 설치구와 무처리구간의 토양 깊이별 EC의 분포는 무처리구의 경우 0-10, 11-20, 21-30, 31-40, 41-50 cm 구간에서 3.45, 3.47, 3.03, 2.93, 2.28 dS m⁻¹로 하층으로 갈수록 낮아졌으나 처리구에서는 2.43, 2.52, 2.28, 4.00, 4.23 dS m⁻¹로 무처리구에 비하여 작토층에서 낮은 염농도를 보였으며 심층으로 갈수록 높은 염농도를 나타내고 있어 토양염류가 하층으로 이동됨을 알 수 있었다 (Table 3).

토양 깊이별 pH는 무처리구와 처리구에서 동일하게 깊이 20 cm 이내의 표토에서는 pH 7.1-7.3으로 약알칼리성을 나타내었으나 30 cm 이하의 심토에서는 무처리구 pH 4.8-4.9, 처리구 pH 6.7-6.9로 표토보다 낮아지는 경향이였다 (Table 3). 이는 노지토양의 경우도 토양의 깊이가 깊어질수록 pH가 낮아지는 경우와 일치하는 경향을 보여주고 있다 (Yang et al., 2005). 유기물함량은 무처리구 20 cm 위의 토양에서는 33-35g kg⁻¹, 20 cm 밑의 토양에서는 15-16 g kg⁻¹로 대조를 보여 20 cm를 중심으로 다짐층이 형성되어 있는 것으로 보인다. 그러나 유공배수관설치 토양에서는 전층에서 24-26 g kg⁻¹로 고르게 분포된 것으로 나타났다 (Table 3). 유효인산함량의 경우에도 유기물함

Table 3. Effect of underdrainage pipe treatment on chemical properties of soils with depths.

| Treatment | Soil depth | pH | EC | OM [†] | Ava. P ₂ O ₅ | Exch. cations | | | CEC |
|------------------------------|------------|-----|--------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|------|-----|------|
| | | | | | | K | Ca | Mg | |
| | cm | 1:5 | dS m ⁻¹ | g kg ⁻¹ | mg kg ⁻¹ | ----- cmolc kg ⁻¹ ----- | | | |
| Control | 0-10 | 7.3 | 3.45 | 35 | 1,093 | 1.08 | 11.7 | 6.5 | 19.4 |
| | 11-20 | 7.2 | 3.47 | 33 | 1,042 | 1.03 | 11.4 | 6.3 | 19.1 |
| | 21-30 | 6.0 | 3.03 | 16 | 137 | 0.25 | 6.6 | 4.7 | 14.1 |
| | 31-40 | 4.9 | 2.93 | 15 | 48 | 0.19 | 5.0 | 3.7 | 12.8 |
| | 41-50 | 4.8 | 2.28 | 16 | 31 | 0.17 | 4.3 | 3.5 | 12.1 |
| Underdrainage pipe treatment | 0-10 | 7.1 | 2.43 | 25 | 671 | 0.44 | 11.4 | 4.9 | 17.4 |
| | 11-20 | 7.2 | 2.52 | 24 | 660 | 0.44 | 11.0 | 5.0 | 17.2 |
| | 21-30 | 7.3 | 2.28 | 24 | 756 | 0.44 | 11.4 | 5.0 | 17.0 |
| | 31-40 | 6.9 | 4.00 | 25 | 715 | 0.31 | 12.4 | 5.4 | 18.9 |
| | 41-50 | 6.7 | 4.23 | 26 | 804 | 0.25 | 12.3 | 6.0 | 20.0 |

[†] OM: Organic Matter

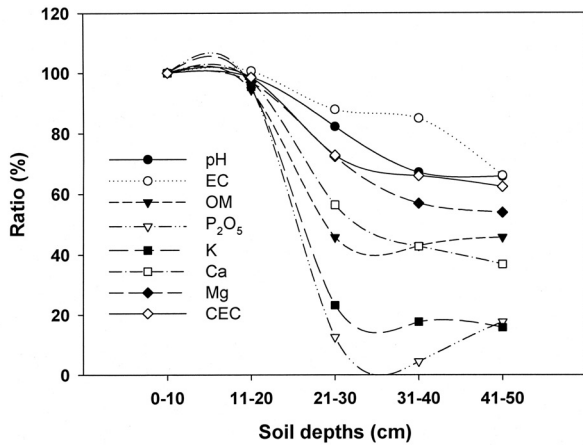


Fig. 4. Ratios of the soil chemical properties at different soil depths over those of the surface soil (0-10 cm) of the control.

량의 분포와 비슷한 양상을 보였으며 무처리구에서는 20 cm 이내의 표층에서는 1,042-1,093 mg kg⁻¹, 그보다 깊은 층에서는 31-137 mg kg⁻¹로 큰 차이를 보였으나 유공배수관 설치토양에서는 671-804 mg kg⁻¹로 전층에서 비슷한 수준을 나타내었다 (Mansel et al., 1986; Cho, 2000; Pierzynski et al., 2000).

치환성 양이온의 함량도 무처리구에서는 다짐층을 중심으로 표층부는 높은 함량이 하층에는 상대적으로 낮은 함량을 보여주고 있다. Fig. 4와 Fig. 5는 무처리구와 유공배수관설치구에서 표토 (0-10 cm) 내의 함량에 대한 토양의 깊이별로 분포한 각각의 치환성 양이온과 기타 토양화학성의 상대적인 변화량을 백분율로 표시하였다. 유공배수관을 설치한 시험구에서는 토양의 깊이에 따른 함량의 변화가 무처리구에 비하여 매우 낮은 것을 알 수 있다. 치환성양이온들의 토양 깊이별 상대적 분포량을 비교하면 Mg > Ca > K 순으로 하향이동성이 큰 것으로 나타났다. 이는 Kim et al. (1997)이 Mg는 Ca 이온에 비하여 하향 이동되는 특성이 비교적 높은 것으로 보고한 연구결과와 일치하였다.

공시작물의 생육상황 및 수량 토양의 염류농도 (EC)는 작물 생육에 큰 영향을 미치며 충북지역의 시설재배지 토양 조사 결과 대부분의 토양 EC가 3-9 dS m⁻¹ 분포되어 있다고 보고한 Kang et al. (1996)은

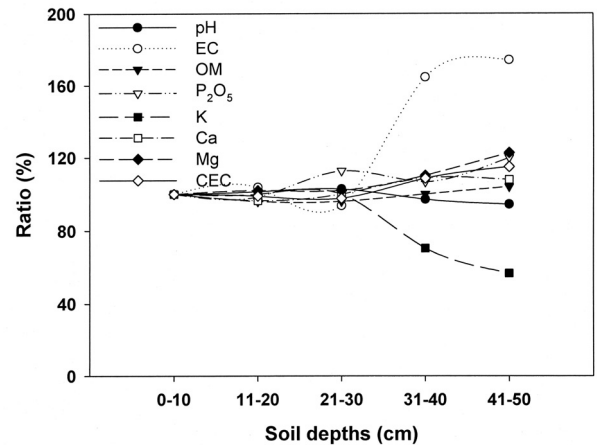


Fig. 5. Ratios of the soil chemical properties at different depths over those of the surface soil (0-10 cm) of the perforated PVC underdrainage pipe treatment.

과비와 연작에 의한 염류집적 토양에서 상추의 입모율은 토양 EC와 고도의 부의 상관관계 ($r = -0.9057$)가 있고 EC 6 dS m⁻¹ 이하의 토양에서는 60% 이하의 입모율을 보였다고 보고하였다.

본 시험을 수행한 양평지역에서는 대부분의 시설재배 농가가 육묘이식재배를 하고 있으므로 본 시험에서도 육묘한 상추 모종을 정식하고 15일 후 생존율을 조사하였으며 또한 재배가 완료되는 시점에서 상추 줄기의 하단부위 (지제부)의 직경을 측정하여 생육의 충실도를 비교 조사한 결과는 Table 4와 같다. 정식 후 생존율은 무처리구 86.8%, 처리구 98.2%로 유공배수관 암거설치구에서 11.4% 더 높은 생존율을 보였다. 수확이 완료된 직후 조사한 줄기 하단부는 대조구에서 12.9 mm, 처리구에서 13.7 mm로 유공관 설치구에서 0.8 mm 더 증가된 결과를 보였다.

Table 4. Effect of underdrainage pipe treatment on growth parameters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in plastic film house soils.

| Treatment | Survival ratio [†] | Stem diameter [‡] |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | % | mm |
| Control | 86.8 | 12.9 |
| Underdrainage pipe treatment | 98.2 | 13.7 |

[†] 15 days after transplanting

[‡] Diameters of the lowest part of lettuce stem immediately after harvest

Table 5. Effect of underdrainage pipe treatment on crop yields.

| Treatment | 1st year | | 2nd year | | Average |
|-------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|--------|---------|
| | Lettuce | Garland chrysanthemum | Green leaf mustard | Celery | |
| | kg 10a ⁻¹ | | | | |
| Control (a) | 3,384 | 1,650 | 1,470 | 4,050 | 2,639 |
| Underdrainage pipes (b) | 3,580 | 1,800 | 1,600 | 4,320 | 2,825 |
| Ratio (b/a) | 106 | 109 | 109 | 107 | 107 |

생존율조사 및 줄기직경 조사결과에서 유공배수관 설치구에서 좋은 생육상태를 보인 바와 같이 수확량을 조사한 경우에서도 같은 결과가 나타났다. 본 시험기간 중 시험 1차년도에는 상추/상추/썩갓을, 2차년도에는 겨자/셀러리를 재배하였다. 수확량의 비교는 대조구와 시험구가 동일한 면적이었으므로 전체 수확량을 총량 조사하여 10a 당 수량으로 환산하였으며 각 작물별로 유공배수관 설치구가 무처리구의 수확량에 비하여 6-9% 높게 나타났으며 전체작물의 평균수량은 7.1% 높게 나타났다 (Table 5).

적 요

시설재배지는 노지에 비하여 상대적으로 시비량이 많아 토양의 염류집적이 우려되고 EC가 높아지는 경우 양분과 수분의 흡수가 저해되며 일부 양분은 비유효태로 존재하게 되어 작물에 의한 영양소의 흡수가 저해된다. 본 연구는 연작으로 인하여 염류집적이 발생한 시설하우스 토양을 대상으로 50 cm 깊이 PVC 유공배수관 (Ø10 cm)을 암거배수로 설치함으로써 토양염류를 적정수준으로 제어하고자 수행되었다. 토양의 염류제거 효과를 pH, EC, 양이온 등의 화학성 변화와 작물생육에 근거하여 판정하였다. 유공 암거배수관 설치 후 2년 동안 토양의 화학성을 분석한 결과 EC는 무처리구에서 3.86-4.53 dS m⁻¹이었으나 유공 암거배수관 설치구에서는 1.42-2.88 dS m⁻¹을 나타내어 유공 암거배수관 설치가 토양의 EC를 약 2배까지 감소시킴을 알 수 있었다. 유공 암거배수관 처리구 및 무처리구의 pH는 각각 pH 6.9-7.3 및 pH 7.2-7.5로 나타나 처리구가 다소 낮았으나 시설하우스 토양의 pH에 비하여 전반적으로 높은 수준이었다. 또한 토양의 pH와 양이온치환용량 사이에는 $CEC = 17.107 \times pH - 106.2$ ($r^2 = 0.759^{**}$)의 상관관계를 나타내었다. 상추/상추/썩갓을 재배한 후 토양의 EC를 깊이별로 조사한 결과 무처리구에서는 0-10, 11-20, 21-30, 31-40, 41-50 cm 깊이에서 각각 3.45, 3.47, 3.03, 2.93, 2.28 dS m⁻¹로 나타나 심층으로 갈수록 EC가 낮아졌으나 유공 암거배수관을 설치한 처리구에서는 2.43, 2.52, 2.28, 4.00, 4.23 dS m⁻¹로 심층으로 갈수록 EC가 증가하였다. 이는 유공관 설치 시 염류가 집적된 표층과 비교적 염류농도가 낮은 심층의 토양이 상호 혼합되었기 때문으로 판단되었다. 토양깊이별 치환성 양이온의 농도 변화를 조사한 결과 표층에 존재하는 함량에 대한 비율로 보면 Mg > Ca > K 순으로 하양이동성이 큰 것으로 나타났다. 유공 암거배수관 설치에 대한 작물 재배시험에서 상추를 정식하고 15일 후 생존율은 98.2%로 나타나 무처리구의 86.6%에 비해 생존율이 11.4% 증가함을 알 수 있었다. 또

한 상추의 생육상태를 평가하기 위해 줄기의 지체부 직경을 조사한 결과 무처리구는 12.9 mm이었으나 유공 암거배수관 처리구의 경우 13.7 mm로 증가하여 작물생육에 긍정적인 영향을 주는 것으로 평가되었다. 이상의 결과로부터 염류가 집적된 시설재배지 토양의 심토에 암거배수관을 설치할 경우 표토의 집적된 염류를 지하부위로 용탈시켜 토양의 EC를 낮추고 작물의 생육과 수량을 증가함을 알 수 있었다.

사 사

본 연구의 일부는 강원대학교 농업과학연구소의 지원으로 수행되었음.

인 용 문 헌

- 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.
- Choi, W.Y. 1997. Development of absorbent-microbe mixture for desalination of green house soils. MOA, Gwacheon, Korea. p.1-105.
- Ha, H.S., M.S. Yang, H. Lee, Y. B. Lee, B. K. Sohn, and U. G. Kang. 1997. Soil chemical properties and plant mineral contents in plastic film house in southern part of Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 30:272-279.
- Hur, B.L., and Y.S. Song. 1995. Salt accumulation and amendment counterplan of soil under economic crop cultivation. Proceeding of Symposium on the Agriculture and Environment. p.44-63.
- Jung, Y.S., J.H. Joo, S.D. Hong, I.B. Lee, and H.M. Ro. 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. 34:71-75.
- Kang, B.G., I.M. Jeong, K.B. Min, and J.J. Kim. 1996. Effect of salt accumulation on the germination and growth of lettuce (*Lactuca Sativa*, L.). Korean J. Soil Sci. Fert. 29:360-364.
- Kim, D.S. 2004. Effects of the perforated underdrainage pipe installment on the salt removal in the plastic film house soil. MS Thesis, Kangwon National University, Chuncheon, Korea. p.1-28.
- Kim, J.H., J.S. Lee, W.I. Kim, G.B. Jung, S.G. Yun, Y.T. Jung, and S.K. Kwun. 2002. Groundwater and soil environment of plastic film house fields around central part of Korea. Korean J. Environ. Agric. 21:109-116.
- Kim, P.J., D.Y. Chung, and D.K. Lee. 1997. Effects of soil bulk density on saturated hydraulic conductivity and solute elution patterns. Korean J. Soil Sci. Fert. 30:234-241.
- Kwak, H.K., K.S. Seong, N.J. Lee, S.B. Lee, M.S. Han, and K.A. Roh. 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. 36:304-310.
- Lim, S.K., C.Y. Chung, Y.S. Ok, and J.G. Kim. 2002. Competitive adsorption of Cd and Cu on surface of humic acid extracted from

- peat. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35:344-351.
- Mansel, R.S., J.G.A. Fiskell, D.V. Calvert, and J.S. Rogers. 1986. Distribution of labelled nitrogen in the profile of a fertilized sandy soil. *Soil Sci.* 141:120-126.
- McLaren, R.G., and K.C. Cameron. 1996. *Soil science: sustainable production and environmental protection.* Oxford University Press, Auckland, New Zealand. p.178-285.
- NIAST. 1988. *Methods of soil chemical analysis.* National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Ok, Y.S., Y.S. Choi, S.E. Lee, S.K. Lim, N.H. Chung, and J.G. Kim. 2001. Effects of soil components and index ion on the surface charge characteristics of some Korean arable soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34:237-244.
- Ok, Y.S., S.Lim, and J.G. Kim. 2002. Electrochemical properties of soils: principles and applications. *Life Sci. Nat. Resour. Res.* 10:69-84.
- Ok, Y.S., J.E. Yang, K.Y. Yoo, Y.B. Kim, D.Y. Chung, and Y.H. Park. 2005. Screening of adsorbent to reduce salt concentration in plastic film house soil under continuous cultivation. *Korean J. Environ. Agric.* 24:253-260.
- Park, C.G., Y.S. An, J.S. Yang, and C.S. Kang. 1998. Soil chemical properties under plastic film house of Kyunggi districts. *Kyunggi Agriculture Research* 9:169-176.
- Pierzynski, G.M., J.T. Sims, and J.F. Vance. 2000. *Soil and environmental quality.* CRC Press, Florida, USA. p.1-418.
- Song, Y.S., H.K. Kwak, B.L. Huh, and S.E. Lee. 1996. Use efficiency of nitrate nitrogen accumulated in plastic film house soils under continuous vegetable cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29:347-352.
- Tanji, J. 1990. *Agricultural salinity assessment and management.* ASCE. p.487.
- Yang, J.E., D.Y. Chung, J.G. Kim, and J.B. Chung. 2001. Soil contamination and agriculture environment. p.82-125: In Yang, J. E. and Lee, G. S. (ed.) *Agriculture environment.* The Korean Society of Agriculture and Environment.
- Yang, J.E., C.J. Park, Y.S. Ok, K.Y. Yoo, and K.H. Kim. 2005. Fate of nitrogen and phosphorous in hydroponic waste solution applied to the upland soils. *Korean J. Environ. Agric.* 24:132-138.