

입지조건이 다른 시설재배지에서 담수처리에 따른 양분 용탈량 평가

김민경 · 노기안 · 고병구 · 박성진 · 정구복 · 이덕배 · 김철수^{1*}

국립농업과학원 농업환경부 기후변화생태과, ¹경북대학교 이공대학 토목공학과

Evaluation of Nutrient Discharges from Greenhouses with Flooding Soil Surface at Two Different Locations

Min-Kyeong Kim, Kee-An Roh, Byong-Gu Ko, Seong-Jin Park, Goo-Bok Jung, Deog-Bae Lee, and Chul-Soo Kim^{1*}

Climate Change & Agroecology Division, Department of Agricultural Environment, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon 441-707, Korea

¹*Dept. of Civil Engineering, College of Science & Engineering, Kyungpook National University, Sangju 742-711, Korea*

Greenhouse soil cultivated with excessive compost and chemical fertilizer has been an issue to deteriorate soil and water quality in the environment. The objective of this study was to evaluate the nutrient outflow by desalting method, flooding soil surface, after vegetable cropping in greenhouse soils. Field experiment from July to September 2008, was conducted to quantify greenhouse locations, i.e. alluvial plain and local valley. The changes of desalinization in both locations were higher as the amounts of irrigated and drained water were increased. Particularly, the ratio of desalinization in alluvial plain was much higher (66.7%) than the one in local valley (45.6%). However, $\text{NH}_4\text{-N}$ contents of local valley soil during the flooding were higher than in those of alluvial plain. This was caused by high total nitrogen and organic matter in local valley soil than those in alluvial plain soil. With comparing to the input and output loads of T-N and T-P in greenhouses with local valley and alluvial plain soils, the output loads of nutrients were larger than the input loads of nutrients. This result showed that the flooding soil surface can be a good treatment to desalinize greenhouse soils. However, this conclusion remained that the flooding water containing high N and P concentrations might cause the secondary effect on the quality of streams and groundwater since excessive nutrient concentrations can be the main cause of eutrophication problem in aquatic environment.

Key words: Greenhouse soil, Desalinization, Flooding soil surface, Nutrient balance, Nitrogen, Phosphorous

서 언

최근 시설원예는 생활수준 향상으로 신선한 채소와 화훼 수요의 급격한 증가에 따라 전국적으로 빠른 속도로 재배면적이 증가되고 있으며, 대부분 고정시설로 규모화 및 집산화되면서 경쟁력이 있는 산업으로 발전하고 있다 (Lee et al., 2005).

하우스내의 토양재배는 자연환경과 차단된 조건에서 작물을 집약적으로 재배하기 때문에 시비량의 과다로 어떤 성분이 부족하기보다는 양분 상호간의 불균형으로 오는 문제가 많고, 비료의 사용량에 비해 식물이 흡수 이용하는 양이 적으므로 비료성분이 토양에 집적되는

양이 많다. 시설재배지 토양은 경작연수가 경과함에 따라 유기물, 유효인산, 치환성 칼륨 함량이 많아진다는 연구 결과가 많이 나와 있다 (Ha et al., 1997; Hong et al., 1998; Jung et al., 1998; Ko et al., 2005). 또한, 양분이 집적되면서 토양환경이 불량해지므로 유용미생물의 활성이 저하되고 비료성분의 유효화가 지연되며 흡수력도 약화되어 작물생육이 불량하게 된다. 이러한 문제를 개선하여 생산성과 품질을 향상시키기 위해서는 염류가 적정 농도 이상으로 집적되지 않도록 합리적인 토양관리와 시비량 조절이 필요하다 (Suh et al., 1999; Park et al., 2003).

우리나라의 시설재배는 대부분 배수가 잘되는 하천주변과 관개용이한 지역을 중심으로 발달되어 있기 때문에 관수를 통해 연중 다비상태로 재배되고 있는 시설하우스에서는 계절에 관계없이 용탈이 일어날 수 있다.

접수 : 2010. 3. 30 수리 : 2010. 5. 24

*연락처 : Phone: +82545301259

E-mail: csk@knu.ac.kr

지역에 따라 차이는 있지만, 시설재배 농가에서는 장마철인 7월과 8월 사이의 휴작기에 비닐을 제거하여 빗물에 의해 유거수로 혹은 용탈수로 집적된 염류를 용탈시키고 있다. 따라서 표토에 집적된 염류들이 유거수 및 침투수에 의해 이동됨으로서 주변 하천수와 지하수를 오염시키고 비점오염원의 잠재성을 지니게 된다 (Kang et al., 2001; Lee et al., 2005).

또한, 우리나라 농업지대 중 시설재배지에서 주로 사용하는 지하수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 오염에 대한 연구는 이미 보고된 바 있으며, 이는 시설재배지가 위치한 토양, 지형, 지하수 깊이 등의 입지적 조건과 투입자원에 따른 시비 및 재배방법 등의 영농조건에 따라 차이가 날 수 있다 (Jung et al., 1997; Kang et al., 2001; Di and Cameron, 2002; Ko et al., 2005).

그러나, 최근의 연구들은 시설재배지내 토양의 양분 집적과 농업용 지하수의 수질관리에 대한 문제제기를 하고 있을 뿐 이에 관한 원인분석과 이를 바탕으로 한 문제 해결 방안을 제시하지는 못하고 있는 실정이다. 또한, 시설재배지의 영농관리 및 환경을 고려한 측면에서 수질환경을 평가한 연구 결과는 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 입지조건이 다른 시설재배지에서 작물 생산 이후 토양 중 집적된 염류를 제거하기 위해 담수처리를 하게 되는데, 이 때 토양 중 염류가 지표유출 및 용탈을 통하여 주변 수질에 영향을 직접 미치고 있어서 이에 대한 정량적인 평가를 하였다.

재료 및 방법

조사지점 및 조사내용 시설재배지 토양에 집적된 양분이 지표유출 및 용탈을 통하여 주변 하천 수질에 미치는 영향을 평가하기 위하여 2008년 7월 중순부터 9월 중순까지 경북 상주시 서곡동에 위치한 하성평탄지와 곡간지의 시설재배 하우스 각 1지점 (하성평탄지; $36^\circ 23' 21.28'' \text{ N}$, $128^\circ 09' 49.54'' \text{ E}$, 곡간지; $36^\circ 22' 50.68'' \text{ N}$, $128^\circ 10' 32.57'' \text{ E}$)을 대상으로 본 연구를 수행하였다. 조사지역인 상주는 시설오이 산업이 시설재배 전국 7위, 노지재배 전국 10위의 차지하고 있으며 연간 400억원의 고소득 작물로 정착된 우수 농산물이다. 특히 시설하우스

재배면적이 128 ha 로 겨울철 백다다기 오이 전국 생산량의 60%를 차지하고 있으며 매년 9~10월경 정식을 하여 이듬해 5~6월까지 수확하는 재배작형이다.

시설하우스에서 오이 재배시 가장 큰 무제가 되고 있는 연작장해를 방지하기 위해 수확이 끝난 7월부터 다음 작기가 들어가기 전인 9월까지 하우스 비닐을 제거하고 곡간지에 위치한 시설하우스에서는 담수를 통한 지하배수 하성평탄지에 위치한 시설하우스에서는 담수를 통한 지하배수 및 지표배수를 시키고 있었다. 따라서, 본 연구에서 이에 따른 수질영향을 평가하기 위한 주요 조사내용으로는 시험 잔후의 토양 (표토, 0~20 cm) 화학성, 관개량 및 관개수질, 침투수량 및 침투수질, 표면수질, 그리고 조사기간 동안 주변 하천 수질을 조사하였다.

조사지역의 토양은 곡간지에 분포한 사촌통과 하성평탄지에 분포한 석천통이었고, 토성은 미 농무성의 삼각좌표 분류법에 의해 사양토 (Sandy Loam)였으며, 토양 (표토 10 cm)의 화학적 특성은 Table 1과 같다.

pH는 우리나라 시설재배지 표토의 평균인 6.3 (국립농업과학원, 2006)보다 높았고, 우리나라 시설재배지의 EC (Electrical Conductivity) 평균값은 2.9 dS m^{-1} 인데, 시험토양은 이보다 낮았다. 유효인산 함량은 우리나라 시설재배지 평균 함량인 966 mg kg^{-1} 보다 모두 높았으며, 치환성 칼슘은 우리나라 평균함량인 8.3 mg kg^{-1} 보다 훨씬 높았다. 그러나, 치환성 칼리와 마그네슘은 우리나라 평균함량과 비슷하였다. 따라서, 시설재배 토양은 외부환경과 차단되어 강우의 영향이 없고 시설내 기온이 높고 작토의 지온도 보통 토양보다 높으며 수분특성도 일반 논토양과 다르며 또한 농자재의 과도한 투입으로 일반 논토양과 달리 양분의 집적과 불균형이 심하다는 연구결과 (Jung et al., 1998)와 같았다.

시험포장의 토양은 오이 수확이 완전히 끝난 7월 20일부터 제염을 목적으로 담수하였다. 관개수는 지하 10 m와 20 m 깊이의 지하수를 이용하였는데, 물을 공급하는 관 입구에 계량기를 설치하여 관개수량을 측정하였고, 관개수질은 총 3회 채취하여 분석하였다. 침투수량은 담수 후 시험포장에 수위계 (Automation Sensors, SU, USA)를 설치하여 측정하였으며, 표토에서 60 cm 깊이까지 20 cm 간격으로 porous cup을 매설하여 7일 간격으로 침투수를 채취하여 분석하였다. 표면수의 농도

Table 1. General properties of the soil in the experimental area.

Topography	Soil series	Cropping year	pH	EC	Av. P_2O_5	Ex. Cations		
						K	Ca	Mg
			(1:5)	dS m^{-1}	mg kg^{-1}	----- $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ -----		
Local valley	Sachon	11	7.0	0.68	1,653	1.21	9.9	2.4
Alluvial plain	Seogcheon	15	6.4	1.11	986	1.15	10.9	2.4

는 담수 후부터 후작기를 위해 담수를 중단할 때까지 2 일 간격으로 채취하여 분석하였다.

또한, 시설재배지의 제염으로 인한 주변 하천 수질에 미치는 영향을 평가하고자 시설재배지 조사 포장 주변을 흐르는 병성천의 상부와 하부를 영농 전인 4월부터 영농 후인 10월까지 영양염류를 중심으로 조사하였다.

시료분석 토양분석은 국립농업과학원의 토양화학 분석법 (NIAST, 2000)에 준하였는데, 토양 pH와 EC는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 희석하여 초자 전극법과 EC meter (150, Orion, USA)를 각각 사용하여 분석하였다. 유효인산은 Lancaster법으로, 치환성 양이온인 K, Ca, Mg는 1N NH₄OAc으로 침출시켜 ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy, GBC, Integra XMP)를 이용하여 분석하였다. 또한, 토양의 제염률은 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{제염률 (\%)} = \frac{(\text{시험전 EC} - \text{시험후 EC})}{\text{시험전 EC}} \times 100$$

수질분석은 Standard Methods (APHA-AWWA-WPCF, 1998)와 환경부의 수질분석법 (MOE, 2004)에 준하였다. pH와 EC는 전극법으로 분석하였고, 암모늄태 질소 (NH₄-N)는 여과한 시료를 Indophenol method 법으로 분석하였고, 질산태 질소 (NO₃-N)와 인산이온 (PO₄-P)은 시료를 0.45-μ m nylon membrane filter로 여과한 후 Ion Chromatography (DX-100, Ion Chromatograph, Dionex Corp.)로 분석하였다. T-N은 alkaline persulfate 분해 후에 cadmium reduction법과 T-P는 persulfate 분해 후에 ascorbic acid 법으로 분석하였다.

결과 및 고찰

시설재배지 담수처리에 따른 토양 및 수질 특성

동일한 지역에서 입지조건이 곡간지와 하성평탄지에 위치한 시설재배지에서 전작이 끝난 후 제염을 위해 담수처리를 하는데 이를 통해서 토양에 집적된 양분의 지표 유출 및 용탈량을 평가하였다.

곡간지와 하성평탄지에서 담수에 의한 표토의 EC와 제염률의 변화는 Fig. 1과 같은데, 곡간지에서 담수직후의 제염률은 29.4%이었으나 담수가 계속되면서 63.8%까지 높아졌다가 후작을 위해 물을 빼고 나서 약간 낮아져 후작직전의 제염률은 45.6%이었다. 하성평탄지에서는 담수직후의 제염률은 60.4%로 곡간지에 비해 훨씬 높았으며 76.6%까지 높아졌다가 후작직전에는 66.7%이었다.

후작 직전에 제염율이 낮아진 이유는 후작을 위해 담수를 중단한 후 토양내 잔존해 있던 양분이 모세관 현상에 의해 표토로 올라왔기 때문으로 생각된다. 또한, 곡간지에서는 지하용탈만으로 제염을 실시하였으나, 하성평탄지에서는 지하용탈 뿐만 아니라 지표용탈을 실시하여 그 효과가 훨씬 컸다고 생각된다. 그러나, 하천주변에 위치한 하성평탄지에서 지표용탈을 통한 제염은 하천의 수질에 악영향을 줄 것으로 생각되어 이에 대한 적절한 관리가 요구된다.

조사지역의 지하수 수질 특성은 Table 2와 같았는데, 곡간지와 하성평탄지에 있는 지하수의 pH는 각각 7.9와 6.7로 농업용수 기준치 (MOE, 2003)인 pH 6.0~8.5 범위였으며, 물의 전해질 농도를 추정하는데 이용되는 EC는 각각 0.31과 0.66 dS m⁻¹로 우리나라 농업용수 수질기준에서 EC에 대한 규정은 없으나, FAO (Ayers and Wescot, 1985)에 의한 작물 피해기준인 0.7 dS m⁻¹ 이하로 별 다른 문제가 없는 것으로 나타

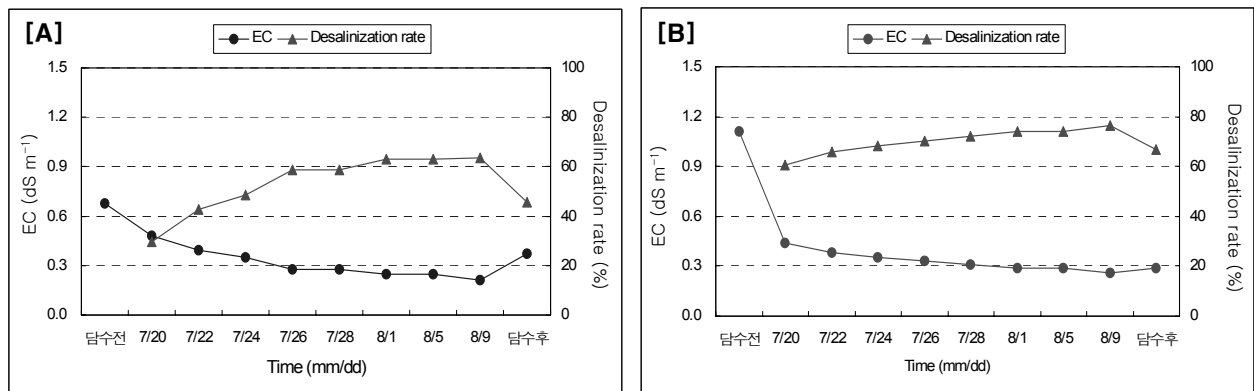


Fig. 1. Changes of EC of surface soil and desalination rate by flooding soil surface treatment at local valley (A) and alluvial plain (B) in greenhouse.

Table 2. Chemical characteristic of groundwater used for irrigation water in the experimental sites.

Topography	Well depth	pH	EC	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	T-N	T-P
	m	(1:5)	dS m ⁻¹	----- mg L ⁻¹ -----				
Local valley	20	7.9	0.31	0.02	3.03	0.00	4.36	0.18
Alluvial plain	6	6.2	0.66	0.03	4.16	0.00	4.74	0.54

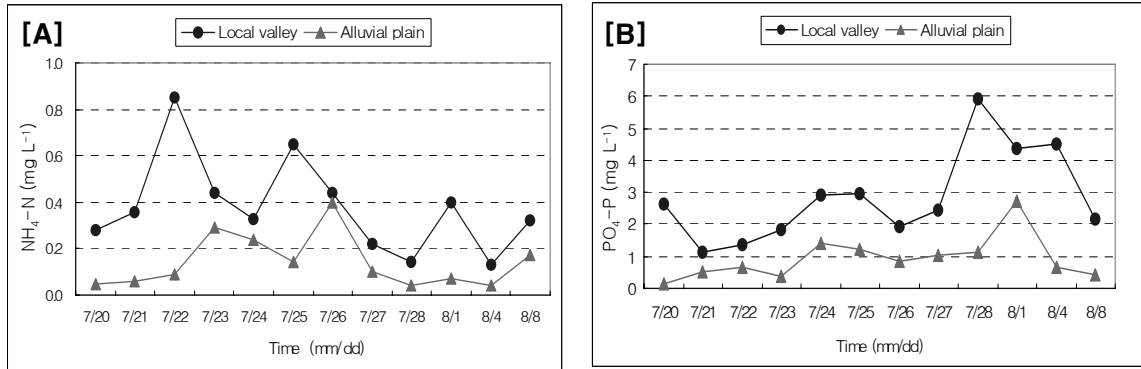


Fig. 2. Changes of concentration of NH₄-N (A) and PO₄-P (B) in surface water during the flooding soil surface treatment at local valley and alluvial plain in greenhouse.

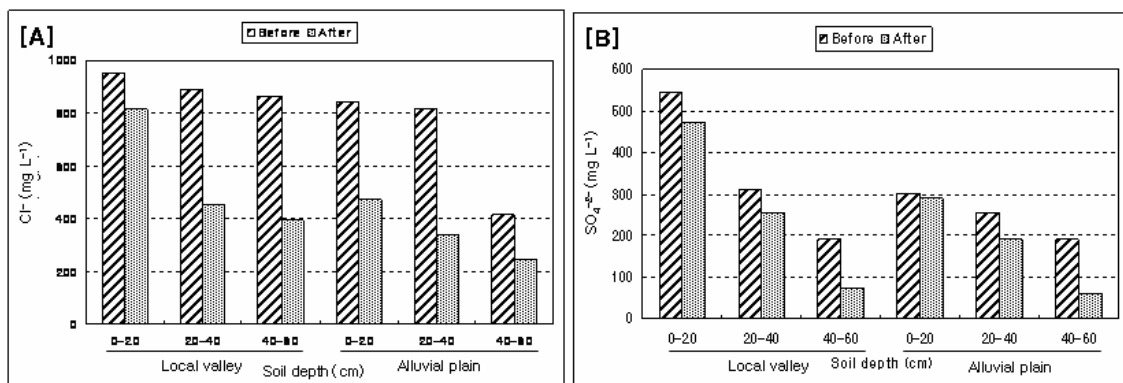


Fig. 3. Changes of concentration of Cl⁻ (A) and SO₄²⁻ (B) in percolation water before and after flooding treatment on soil surface at local valley and alluvial plain in greenhouse.

났다. 또한, NO₃-N 농도 역시 농업용수 기준치인 20 mg L⁻¹에 훨씬 미치지 않은 양호한 수준이었다.

곡간지와 하성평탄지에서 담수기간 동안 주변 수질에 영향을 줄 수 있는 표면수의 NH₄-N과 PO₄-P 농도 변화는 Fig. 2와 같았다.

담수초기부터 곡간지의 표면수중 NH₄-N과 PO₄-P 농도가 하성평탄지보다 높았는데, 이는 앞에서 논의한 바와 같이 곡간지에서는 지하용탈을 통해서만 물이 배출되기 때문에 담수기간동안 토양중의 양분이 용출되어 농도가 높아졌으며, 담수초기에 비해 담수후기에 그 농도가 높아지는 이유는 후작기를 생각하여 담수를 중단하였기 때문으로 생각된다.

또한, 곡간지와 하성평탄지에서 토양깊이별로 담수 직후와 담수 종료 후의 침투수중 Cl⁻과 SO₄²⁻ 농도 변

화는 Fig. 3과 같으며, 조사기간 동안 토양깊이별 침투수 중의 NO₃-N 농도 변화는 Fig. 4와 같다.

곡간지에서 담수 직후와 담수 종료 후 토양깊이별 Cl⁻과 SO₄²⁻ 농도는 큰 차이가 있었으나, 하성평탄지에서는 토양깊이별 SO₄²⁻ 농도만 차이가 있었을 뿐 크게 차이가 나지 않았다. 또한, 침투수 중 NO₃-N 농도 변화는 곡간지에 비해 하성평탄지에서 변화의 폭이 컸으며, 시간이 경과할수록 그리고 토양이 깊어질수록 그 농도도 높았다. 이는 곡간지에서는 토성이 사양토지만, 하성평탄지에 비해 배수가 불량하여 토양깊이별 차이가 없었기 때문으로 생각된다. 또한, 곡간지에서는 지하용탈을 통해서 그리고 하성평탄지에서는 지하용탈 뿐만 아니라 지표용탈을 통해서 양분이 외부 환경으로 유출되기 때문으로 생각된다.

질소와 인수지 기법을 이용한 시설재배지 환경평가

곡간지와 하성평탄지에 있는 시설재배지에서 담수처리에 의한 질소와 인수지를 비교 평가해 보면 이로 인한 수질환경에 대한 영향을 평가할 수 있어 분석한 결과는 Table 3과 같다.

곡간지에 있는 시설재배지에서 질소의 유입-유출량은 -3.16 kg ha^{-1} 으로 외부로 유출되는 양이 많았으며, 인의 유입-유출량은 0.11 kg ha^{-1} 으로 유출되는 양이 적었다. 하성평탄지에 있는 시설재배지에서 질소의 유입-유출량은 -7.22 kg ha^{-1} 으로 외부로 유출되는 양이 많았으며, 인의 유입-유출량도 -0.55 kg ha^{-1} 으로 유출되는 양이 많았다. 곡간지에 비해 하성평탄지에서 질소와 인의 유입 및 유출량이 많았는데, 이는 하성평탄지에서는 지하용탈과 동시에 지표유출을 통하여 제염을 시키기 때문에 관개수로의 유입량 및 지표배출수로의 유출량이 많았기 때문으로 생각된다. 따라서, 곡간지에서는 지하용탈만으로 제염을 하여 지하수의 수질에 영향을 주고 하성평탄지에서는 지하용탈뿐만 아니라 지표용탈에 의한 제염으로 인해 하천수의 수질에 영향을 주는 것으로 평가되었다.

시설재배지 토양의 제염방법 중에서 담수제염이 지하수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량에 가장 크게 영향을 준다는 연구결과 (Nielsen et al., 1982; Yun and Yoo, 1993; Ko et al., 2005)도 있으므로 시설재배지에서 담수에 의한

제염을 할 때는 일정한 담수심을 유지하여 지표유출을 최대한 적게 하고 후작으로 바이오매스가 큰 벼를 재배하여 지하로의 양분 이동을 억제하는 등 외부 수계로의 부하량을 줄일 수 있는 영농관리방법이라고 생각된다.

시설재배지가 주변 하천수질에 미치는 영향

시설재배지의 제염으로 인한 주변 하천 수질에 미치는 영향을 평가하고자 조사 포장 주변에 흐르는 병성천을 대상으로 조사포장 전 (상부)과 후 (하부)의 수질을 조사한 결과는 Table 4와 같다.

조사포장을 중심으로 병성천 상부와 하부의 수질을 비교해 본 결과, 전기전도도는 시설재배지의 관개수로 사용하고 있는 지하수의 평균 (0.49 dS m^{-1})에 비해 낮은 수준이었지만 영농전인 4월에 비해 영농기에 조금 높았고 강우기에 조사 하천의 상부에 비해 하부에서 높게 측정되었다. 화학적 산소요구량 및 질소와 인은 비강우기에 비해 강우기 (6~8월)에 채취한 시료에서 높게 측정되었으며, 상부에 비해 하부에서 높게 측정되었다. 이는 조사된 하천 주변에는 벼농사와 오이를 주작목으로 하는 시설재배지가 위치하고 있으며 축사는 거의 없어 이 지역에 대한 오염부하는 주작목을 포함한 관련 영농활동에 주로 기인하고 고온기에 수중의 물질 생산량이 많고 또한 분해활동도 활발하기 때문인 것으로 생각된다.

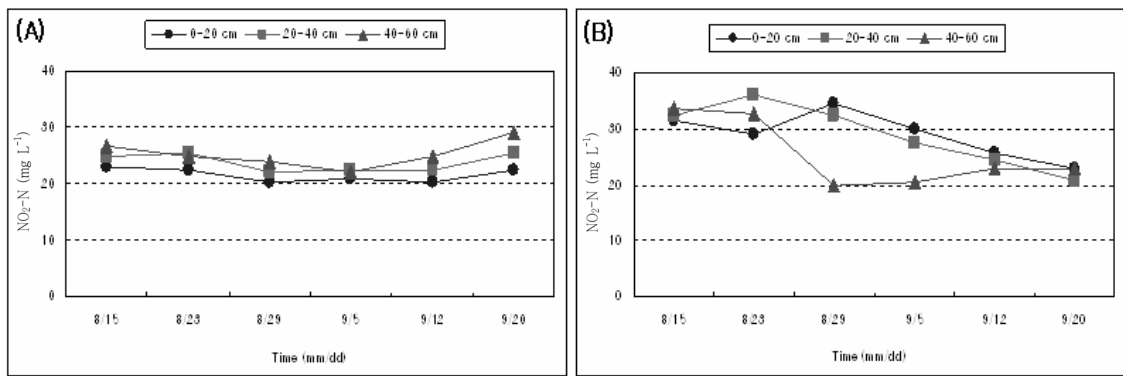


Fig. 4. Changes of $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration of percolation water rate by flooding soil surface treatment at local valley (A) and alluvial plain (B) in greenhouse.

Table 3. Nitrogen and phosphorous balance by flooding treatment at local valley and alluvial plain in greenhouse.

Topography	Input			Output			ΔS (①-②)
	Rainfall ^①	Irrigation water ^②	Sub-Total (①; ②+③)	Surface water ^③	Percolation water ^④	Sub-Total (②; ③+④)	
kg ha ⁻¹							
Local valley	N	0.03	5.32	-	8.51	8.51	-3.16
	P	0.01	1.02	-	0.91	0.91	+0.11
Alluvial plain	N	0.03	14.47	3.82	17.90	21.72	-7.22
	P	0.01	1.64	0.87	1.33	2.20	-0.55

Table 4. Properties of water sampled along Byungseung-Cheon stream near the greenhouses at upper and down point.

Month	Sampling point	EC	COD _{Mn}	NH ₄ -N	NO ₃ -N	T-N	PO ₄ -P	T-P
		dS m ⁻¹	mg L ⁻¹					
Apr.	Upper	0.26	2.17	0.00	1.60	2.93	0.00	0.01
	Down	0.25	1.84	0.00	1.22	1.93	0.00	0.01
May	Upper	0.31	3.63	0.12	2.14	2.97	0.01	0.05
	Down	0.28	3.17	0.04	1.03	1.81	0.00	0.07
Jun.	Upper	0.36	2.46	0.20	1.35	2.09	0.01	0.02
	Down	0.38	2.92	0.31	1.75	1.93	0.02	0.03
Jul.	Upper	0.32	4.69	0.08	2.36	2.88	0.05	0.10
	Down	0.34	6.03	0.19	2.48	2.82	0.08	0.14
Aug.	Upper	0.31	4.51	0.06	2.22	2.63	0.02	0.11
	Down	0.32	4.96	0.08	2.34	3.08	0.03	0.10
Sep.	Upper	0.31	2.13	0.07	3.34	7.15	1.06	2.21
	Down	0.35	3.98	0.17	1.84	2.33	0.01	0.08
Oct.	Upper	0.30	2.83	0.05	1.63	2.34	0.02	0.06
	Down	0.31	2.62	0.04	1.66	2.30	0.03	0.07

시설재배지의 경우 연중 수확 작물을 재배하고 그 때마다 토양 중 비료 성분량을 고려하지 않고 재배 작물의 시비 기준량 또는 그보다 많은 양의 비료를 사용하는 농가의 관행에 따라 토양에 염류의 집적이 일어나고 이들이 용탈, 유실되어 하천으로 유입될 수 있어 하천수의 염류농도를 높이는 이유가 될 수 있다는 연구결과(Chung et al., 1998)도 있었다.

시설재배지 토양의 제염을 목적으로 담수처리를 할 경우 표토에 집적된 염류를 제거하는 효과는 있을 수 있으나 주변 지하수나 하천수의 수질에 영향을 줄 수 있다. 특히, 이는 시설재배지가 위치한 토양 및 지형 등의 입지적 조건과 투입자원인 시비 및 재배방법 등의 영농조건에 따라 차이가 날 수 있으므로 그에 따른 적절한 관리가 필요하다고 생각된다. 따라서, 시설재배지에서 담수에 의한 제염을 할 때는 일정한 담수심을 유지하여 지표유출을 최대한 적게 하고 후작으로 바이오매스가 큰 벼를 재배하여 지하로의 양분 이동을 억제하는 등 외부 수계의 부하량을 줄일 수 있는 영농관리 방법이라고 생각된다.

요 약

시설재배는 폐쇄된 환경에서 제한적인 물관리로 인하여 작기 중에는 외부에 영향을 미치지 않으나, 작물 생산 이후 토양 중 집적된 염류를 제거하기 위해 담수처리를 하게 되는데, 이 때 토양 중 염류가 지표유출 및 용탈을 통하여 주변 수질에 영향을 직접 미치고 있어서 이에 대한 정량적인 평가를 하였다.

입지조건이 다른 두 시설재배지인 경북 상주시 서곡동에 위치한 시설하우스에서 2008년 7월 중순부터 9월 중순까지 시험 전·후의 토양 화학성, 관개량 및 관개수질, 침투수량 및 침투수질, 표면수질, 그리고 조사기간 동안 주변 하천 수질을 조사하였다.

하성평탄지에서는 담수직후의 제염률은 60.4%로 곡간지에 비해 훨씬 높았으며 76.6%까지 높아졌다가 담수 20일 후에는 66.7%이었다. 담수초기부터 곡간지의 표면수중 NH₄-N과 PO₄-P 농도가 하성평탄지보다 높았으며, 곡간지에서 담수직후와 담수종료 후의 토양깊이별 Cl⁻과 SO₄²⁻ 농도는 큰 차이가 있었으나, 하성평탄지에서는 토양깊이별 SO₄²⁻ 농도만 차이가 있었다. 침투수중 NO₃-N 농도 변화는 곡간지에 비해 하성평탄지에서 변화의 폭이 컸으며, 시간이 경과할수록 그리고 토양이 깊어질수록 그 농도도 높았다.

또한, 곡간지와 하성평탄지에 있는 시설재배지에서 담수제염에 의한 질소와 인수지를 비교평가해 본 결과 곡간지와 하성평탄지 모두 유입 부하량보다 유출 부하량이 많아 외부 수계의 영향을 주는 것으로 평가되었다. 특히, 곡간지에 비해 하성평탄지에서의 양분 부하량이 더 많은 것으로 평가되었는데, 곡간지에서는 지하용탈만으로 제염을 하여 지하수의 수질에 영향을 주고 하성평탄지에서는 지하용탈뿐만 아니라 지표용탈에 의한 제염으로 인해 하천수의 수질에 영향을 주는 것으로 평가되었다.

인 용 문 헌

국립농업과학원. 2006. 작물별 시비처방기준. pp. 250.

- APHA-AWWA-WPCF. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington D.C.
- Ayers, R.S. and D.W. Wescot. 1985. Water quality for agriculture, FAO, Irrigation and drainage, pp. 29.
- Chung, J.B., B.J. Kim, J.K. Kim, and M.K. Kim. 1998. Water quality of streams in some agricultural areas of different agricultural practices along Nakdong river basin. *Kor. J. Environ. Agric.* 17:140-144.
- Di, H.J. and K.C. Cameron. 2002. Nitrate leaching in temperate agroecosystem : source, factors and mitigation strategies. *Nutrient cycling in agro-ecosystems* 46:237-256.
- 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. of Soil Sci. Fert.* 30:272-279.
- Hong, S.G., N.H. Lee, W.J. Jun, H.C. Hwang, S.W. Nam, and Y.S. Yoon. 1998. Characteristics of soils under protected cultivation. *The Korean Society of Agricultural Engineers.* 40:88-95.
- Jung, B.G., J.W. Choi, E.S. Yun, J.H. Yoon, Y.H. Kim, and G.B. Jung. 1998. Chemical properties of the horticultural soils in the plastic film houses in Korea. *Korean J. of Soil Sci. Fert.* 31:9-15.
- Jung, Y.S., J.E. Yang, Y.K. Joo, J.Y. Lee, Y.S. Park, M.H. Choi, and S.C. Choi. 1997. Water quality of streams and agricultural wells related to different agricultural practices in small catchments of Han river Basin. *Kor. J. Environ. Agric.* 16:199-205.
- Kang, B.K., H.J. Kim, K.J. Lee, J.J. Kim, and S.D. Hong. 2001. Salt movement of soils by runoff in greenhouse area. *Kor. J. of Environ. Agric.* 20:112-115.
- Ko, J.Y., J.S. Lee, M.T. Kim, C.S. Kim, U.G. Kang, and H.W. Kang. 2005. Effects of farming practice and NO₃-N contents of groundwater with different locations under intensive greenhouse area. *Kor. J. of Environ. Agric.* 24:261-269.
- Lee, Y.H., S.T. Lee, S.D. Lee, and Y.B. Kim. 2005. Chemical characteristics of soil and groundwater in plastic film house fields under fertilization system, *Kor. J. of Environ. Agric.* 24:326-333.
- Ministry of Environment. 2003. Standard of water for agriculture, Ministry of Environment, Goacheon, Korea.
- Ministry of Environment. 2004. Korea standard methods for water quality. Ministry of Environment. Goacheon. Korea.
- National Institute of Agricultural Science and Technology. 2000. Methods of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. Rural Development Administration. Suwon. Korea.
- Nielson, D.R., J.W. Biggar, and P.J. Wierenga. 1982. Nitrogen transport process in soil. *Am. Soc. Agron.* 423-448.
- Park, D.K., J.K. Kwon, J.H. Lee, Y.H. Choi, and S.G. Lee. 2003. Effects of soil salinities on growth and fruit quality in oriental melon, *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44:616-619.
- Suh, J.S., B.G. Jung, and J.S. Kwon. 1999. Soil microbial diversity of plastic film house fields in Korea. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 31:197-203.
- Yun, S.G. and S.H. Yoo. 1993. Behavior of NO₃-N in soil and groundwater quality. *Kor. J. Environ. Agric.* 12:281-297.