

시설재배지에서 토양 담수 및 배수에 의한 염류집적 경감 방안

오상은 · 손정수 · 옥용식* · 주진호*

강원대학교 바이오자원환경학과

A Modified Methodology of Salt Removal through Flooding and Drainage in a Plastic Film House Soil

Sang-Eun Oh, Jung-Su Son, Yong-Sik Ok*, and Jin-Ho Joo*

Department of Biological Environment, Kangwon National University

One of the disadvantages of flooding treatment for desalting from soils is that salts move to deep soils after flooding and at the end reaccumulate at the soil surface through capillary movements. This study was carried out to remove salts from soils in plastic film houses by a modified flooding method, drainage after flooding. The method successfully removed salts at the soil surface and salts did not move to the deep soil. Drained water containing N, P and K could be reused as fertilizer. By applying small amount of MgO, turbidity of water flooded decreased in 30 min by 95%. Struvite should be formed since the flooded water contain ammonia and phosphorous and their concentrations were decreased. This could be utilized as fertilizer which provides a slow-release source of phosphorus, magnesium and nitrogen that features low inherent water solubility.

Key words: Salt removal, Soil washing, Drainage, Plastic film house, Struvite precipitation, MgO

서 언

국민의 생활수준 향상과 소득증대에 따른 건강에 대한 관심 증대로 고품질 신선채소류에 대한 수요가 증가됨에 따라 연중 재배할 수 있는 시설채소 재배면적이 증가하고 있다 (Cho, 2006). 우리나라의 시설재배는 1970년 기준 4,000 ha에서 2002년 83,000 ha로 약 20배 이상 증가하였다 (Kim, 2004). 그러나 시설하우스의 집약적인 재배특성으로 인하여 화학비료와 퇴비의 사용량이 증가하게 되었고 과잉 시비된 비료 성분은 토양에 집적되어 염류 농도를 증가시킴으로써 토양관리를 어렵게 하고 있다 (Park, 2004, Jeon et al, 2005).

염류 (salts)는 산의 음이온과 염기의 양이온이 정전기적 인력으로 결합하고 있는 이온성 물질들의 화합물을 말한다. 대부분 물에 대한 용해성이 아주 높으며 용해된 이온으로 인해 물속에서 전기 전달능을 가지고 있다. 일부 염은 양이온과 음이온이 강하게 결합하여 물에 녹지 않는 앙금을 생성하기도 하나 물에 녹지 않는 염은 토양의 염류집적과는 무관하다.

시설재배지에서의 염류집적은 인위적인 비료성분 및 부성분 투여와 작물이 이를 이용하고 남은 염류들이 강우 등이 차단된 특수 조건에서 작토층에 집적되는 인위적인 현상이다 (Choi, 1997; Kwak et al., 2003). 우리나라의 시설재배지는 강우 등을 차단하므로 노지에서와 같이 장마기에 토양으로 부터의 염류 용탈이 거의 일어나지 않는다. 또한 시설 내부는 온도가 높아 증산과 토양표면으로부터 증발이 많아 모세관 현상에 의한 토양수의 상향이동으로 근권토양에 염류가 집적되기 쉽고 보고되고 있다 (Kim et al., 1997). 전국 시설재배지 전기전도도 (EC)는 표토 3.5 dS m⁻¹, 심토 2.2 dS m⁻¹로 심토에 비해 표토에 염류가 많이 집적되어 있으며 장해기준인 2 dS m⁻¹를 초과하는 지점이 59%로 보고하였다 (RDA, 2004). Ca, Mg, Na, SO₄²⁻, Cl 등의 특정한 양분의 집적은 삼투압작용에 의해 작물의 토양수 이용률을 저하시키고, 이온독성 발현과 타 유효이온의 흡수를 저해하여 작물의 생육장해를 유발시킨다 (Bernstein, 1975; Chang and Dregne, 1955).

현재까지 시설재배지의 염류장해를 경감시키기 위하여 제안된 기술로는 관수제염, 심토반전, 심토파쇄, 객토, 표토제거, 흙비작물 (cleaning crop) 재배, 미생물제제 처리, 유공 암거배수관 설치, 이분해성 탄수화물의 공급을 통한 탄질염의 조절 및 염류농도에 맞는 작물재배와 합

접수 : 2010. 7. 26 수리 : 2010. 10. 22

*연락처 : Phone: +82332506448, +82332506443

E-mail: jhjoo@kangwon.ac.kr,
soilok@kangwon.ac.kr

리적인 시비조절 등이 있다 (Ok et al., 2005). 그러나 관수제염법의 경우 물의 소모가 많고 수직배수가 양호한 토양에만 적용가능한 단점이 있으며, 심토반전법의 경우 단기적인 효과와 표토의 재염화가 문제시된다고 알려져 있다. 또한 심토파쇄의 경우 장비가 고가이며 유지비 관리가 비경제적이고, 경반층이 파괴됨으로 인해 염류의 이동은 양호해지나 지하수오염이 유발될 수 있으며 수분이동이 양호한 상황에 제한적으로 적용 가능하다 (Tanji, 1990; Kim, 2004). 흙비작물의 이용은 농가의 소득 감소와 직결되어 적용성이 문제시된다. 표토제거 경감법은 유효토심의 감소를 초래하게 된다. 유공관 압거 배수의 경우 유공관 설치 단가가 고가이며 객토는 일시적인 해결 방안이 그치고 있다. 미생물제제의 경우 현재까지는 현장적용 시에 그 실효성이 극히 미비한 것으로 알려져 있다 (Kim et al., 2006).

기존 관수제염의 또 다른 문제점은 시설하우스 내의 담수처리로 인해 표토층의 염류가 토양 아래로 수직이동 함으로써 염류가 심토층으로 이동하게 되며 심토층으로 이동된 염류는 시설하우스 내 모세관현상으로 다시 표토층으로 용출하게 되어 표토는 다시 염류가 집적되는 순환을 하는 것으로 보고되고 있다 (Kim, 1996).

본 연구에서는 위에 열거한 기존 관수제염법의 문제점을 해결하면서 염류를 제거하기 위하여 담수처리를 통한 토양 세척 후 배수를 통해 효과적으로 토양에 집적된 염류를 제거하는 새로운 방법을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 기존의 방법인 염류 토양의 담수처리 (관수제염법) 및 새로운 방법인 담수 후 배수처리시 토양 깊이별 염류제거 효과를 비교하고 담수 시 수질의 화학성 변화, 탁도의 변화, MgO투여에 따른 물리화학성의 변화, 실증 실험을 통한 염류의 변화를 파악하였다.

재료 및 방법

담수 실험 장치 설치 및 방법 담수 실험은 시설 하우스 내에서 실시하였으며 초기 토양의 이화학적성은 Table 1과 같았다. 초기 토양의 EC는 대략 1 dS m^{-1} 로 염류집적이 되지 않은 토양이었다. 담수 및 배수 실험을 위하여 위, 아래가 풀린 가로 0.7 m, 세로 0.7 m, 높이 0.4 m의 2개의 사각통을 두께 1.5 cm의 아크릴 판을 이용하여 제작하였다. 하나는 담수처리구, 다른 하나는 담수 후 배수처리구로 사용하였다. 토양 0.2 m를 파고 사각통을 넣어 0.2 m 높이의 아크릴이 지반 위로 나오도록 설치하였다. 이는 0.7 m × 0.7 m의 토양에 담수를 할 수 있도록 하기 위함이며 원할 경우 일정 시간이 지난 후 담수의 상등액부터 배수할 수 있도록 유출구를 깊이 별로 뚫었다 (Fig. 1).

토양은 각 처리구에서 파 낸 토양에 복합비료로 염류농도(EC) 약 7.0 dS m^{-1} 가 되도록 제조하였고 각 처리구별 지반 밑 0.2 m에 토양을 다시 투입하여 외부 토양의 높이와 일치하도록 하였다. 처리구별로 각각 수돗물 80 L를 투입하여 담수 시켰으며 수돗물의 EC 0.18 mS cm^{-1} , pH 7.1이었으며 수돗물내 이온의 농도는 토양에 녹아있는 이온 농도에 비하여 무시할만한 수치를 보였다. 담수한 물의 높이는 토양에서 대략 15 cm 높이였으며 하부 ~20 cm의 토양을 모래삽으로 5분 정도 휘저었다. 그 후 담수처리구는 그대로 방치하였고 담수 후 배수처리구에서는 미세토양 침전 후 (2시간 정도) 배수를 실시하였다 (Fig. 1). 1차 담수처리가 끝난 후 토양 깊이별 염류 (EC) 변화량을 알아보기 위해 토양 깊이 0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm을 채취하여 염류(EC) 분석을 실시하였다. 또한 물 투입 후 물을 채취하여 수질의 화학성 변화를 측정하였으며 토양의 포화 수리전도도 및 탁도를 측정하

Table 1. Chemical properties of soil used in the experiment.

pH	EC	OM	T-N	Av. P ₂ O ₅	CEC	Ex. Cations			
						Ca	K	Mg	Na
1:5, H ₂ O	dS m ⁻¹	----- g kg ⁻¹ -----		mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹ -----			
6.89	0.35	6.5	7.49	86.2	7.59	3.29	0.90	0.32	0.03



Fig. 1. The drainage after flooding method.

여 담수처리구와 담수 후 배수처리구를 비교·분석하였다. 1차 담수처리 실험이 끝난 후 같은 방법으로 2차 담수처리를 실시하고 토양 깊이별 염류 분석 및 수질의 화학성 변화를 측정 하였다. 같은 방법으로 토마토 농장 1개의 시설하우스를 선정하여 담수와 배수를 동시에 하는 방법으로 담수처리를 하고 토양 깊이별 염류 (EC) 함량을 비교·분석을 하였다.

Struvite 침전 실험으로서 struvite 침전을 도모하고 침전속도를 증가시키기 위하여 담수 후 높은 탁도를 함유한 물을 채취하여 MgO 0, 5, 25, 50 mM을 투여하고 30분 반응 후 pH, EC, 탁도, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 를 측정하였다.

분석방법 토양의 화학성 분석은 농촌진흥청 토양 화학분석법에 따라 분석하였다 (RDA, 1988). 담수 1차, 2차 후 토양 깊이별 pH 및 염류 (EC) 변화량을 알아보기 위해 깊이 0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm의 토양을 채취하여 풍건한 뒤 식물잔사 등을 제거하고 2 mm 체거름 한 토양을 분석시료로 사용하였다. pH 및 EC는 풍건토 10 g를 100 ml 삼각플라스크에 취하고 증류수 50 ml를 첨가한 후 1시간 진탕하여 필터링 후 pH meter (Orion 3-Star, Thermo Scientific, USA)와 EC meter (Orion 3-Star, Thermo Scientific, USA)를 이용하여 측정하였다. 토양 유기물 함량은 Walkely-Black 법에 준하여 UV Spectrophotometer (UV-1800, Shimadzu, Japan)로 파장 610 nm에서 분석하였으며, 총질소 (T-N)은 토양시료 1 g을 H_2O_2 와 H_2SO_4 로 분해 후 여액을 Kjeldahl법 (Kjeltec Auto Sampler System 1035 Analyzer)으로 분석하였다. 유효인산은 몰리브덴 청법에 준하여 UV Spectrophotometer (UV-1800, Shimadzu, Japan)로 파장 660 nm에서 분석하였으며, 치환성 양이온은 풍건토 5 g을 $1\text{N-CH}_3\text{COONH}_4$ (pH 7.0)용액 50 ml 가한 후 30분간 진탕하여 각 이온을 Inductively Coupled Plasma (GBC SDS-270)로 측정하였다.

담수처리 후 수질 화학성 분석을 위해 담수처리구별 수질시료 채취 후 20°C, 120 rpm의 조건으로 1시간 동안 교반시킨 후 상등액을 여과지 (Whatman No. 42)를 이용하여 필터링 한 후 여액을 IC (861 Advanced Compact IC, Metrohm, Switzerland)를 이용하여 분석을 수행하였다. 또한 담수처리구별 탁도 측정은 현장에서 바로 측정하였으며, 탁도계 (Orion AQ 4500, Thermo)를 이용하여 시간별 탁도 변화를 조사하였다.

결과 및 고찰

토양 깊이에 따른 염류의 변화 일반적으로 전기 전도도 (EC, electrical conductivity)는 주로 양이온

(NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ 등)과 음이온 (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} 등)의 농도에 비례하여 결정되며, 토양 내 염의 함유정도를 나타내는 지표로 이용되고 있다 (Bohn et al., 1979; Jung et al., 1994; Kim et al., 1997). 염류 집적 토양을 넣은 후 담수하기 전 담수처리구와 담수 후 배수처리구의 토양 깊이별 염류 (EC)는 큰 차이를 보이지 않았다. 분석결과 초기 담수처리구의 토양 깊이별 EC는 토양 깊이 0~20 cm에서 6.5 dS m^{-1} , 20~40 cm에서 0.70 dS m^{-1} , 40~60 cm에서 0.018 dS m^{-1} 로 측정되었고 담수 후 배수처리구에서의 깊이에 따른 초기 EC 값은 0~20 cm에서 7.1 dS m^{-1} , 20~40 cm에서 0.81 dS m^{-1} , 40~60 cm에서 0.023 dS m^{-1} 로 측정되었다. 이는 담수하기 전 초기 전기전도도 값으로 인위적으로 복합비료를 넣어 염류집적 토양을 제조하고 두 개의 처리구에 투여하였기 때문이다. 일반적으로 우리나라 농경지의 경우 1 dS m^{-1} 이하의 값을 가지며 2 dS m^{-1} 이상은 염류토양으로 분류되며 4 이상은 대부분의 작물 수량이 현저히 감소하므로 이를 작물 생육의 한계 값으로 정하고 있어 (Yang et al., 2001) 본 연구에서는 초기 염류토양을 6.8 dS m^{-1} 으로 맞추어 실험하였다.

1차 담수 (물 80 L 투입) 및 담수 후 배수처리 후 담수처리구 및 담수 후 배수처리구에서의 토양 깊이별 EC 함량을 측정한 결과 담수 후 배수처리구에서 염류가 현격히 제거가 된 것으로 나타났다. 토양 깊이 0~20 cm에서 담수 전 초기 전기전도도 값은 평균 6.8 dS m^{-1} 이었으며 담수처리구에서는 토양 깊이 0~20 cm에서 1.5 dS m^{-1} , 20~40 cm에서 2.1 dS m^{-1} , 40~60 cm에서 1.33 dS m^{-1} 로 측정되었고 담수 후 배수처리구는 0~20 cm에서 1.70 dS m^{-1} , 20~40 cm에서 0.97 dS m^{-1} , 40~60 cm에서 0.54 dS m^{-1} 로 측정되었다. 특히 담수만을 한 경우는 염류가 20 cm 깊이 이하의 토양으로 침투가 된 것을 파악하였다. 그러나 담수 후 배수를 한 경우는 염류를 함유한 담수를 외부로 빼주기 때문에 토양 하부로 이동하지 않아 20 cm 이하에서 EC 값이 담수만을 한 경우보다 현격하게 낮았다. 2차 담수 (물 80 L 투입) 후에는 두 처리구의 염류함량은 낮아졌으나 담수처리구의 경우 염류들이 토양 깊이 60 cm이하 및 처리구 밖으로 확산이 되어 염류농도가 낮아진 것으로 판단된다. 담수처리구에서는 토양 깊이 0~20 cm에서 0.77 dS m^{-1} , 20~40 cm에서 1.22 dS m^{-1} , 40~60 cm에서 0.75 dS m^{-1} 로 측정되었고 담수 후 배수처리구는 0~20 cm에서 0.80 dS m^{-1} , 20~40 cm에서 0.51 dS m^{-1} , 40~60 cm에서 0.40 dS m^{-1} 로 측정되었다 (Table 2). 2차 담수를 할 경우 담수 처리구에서 담수가 토양으로 확산되는 속도가 현격하게 느려졌다.

두 처리구 염류 (EC) 분석결과를 보면 담수처리구와

Table 2. EC changes at different soil depths in the two plots treated with flooding and drainage-after-flooding.

Treatment		0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
		----- dS m ⁻¹ -----		
Flooding	Control	6.50	0.70	0.02
	First flooding	1.55	2.1	1.83
	Second flooding	0.77	1.22	0.75
Drainage after flooding	Control	7.10	0.81	0.02
	First flooding	1.70	0.97	0.54
	Second flooding	0.80	0.51	0.40

Table 3. Water quality after flooding treatments in the flooding plot.

Treatment	pH	EC	Na ⁺	NH ₄ ⁺ -N	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ³⁻ -P	SO ₄ ²⁻
		dS m ⁻¹	----- mg L ⁻¹ -----									
First flooding	7.4	4.75	22.3	32.8	34.4	15.8	55.7	ND	72.7	8.6	6.1	85.3
Second flooding	7.7	2.64	10.9	8.1	6.9	5.3	31.7	ND	8.5	3.5	2.9	6.2

Table 4. Water quality after flooding treatments in the drainage-after-flooding plot.

Treatment	pH	EC	Na ⁺	NH ₄ ⁺ -N	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻ -N	PO ₄ ³⁻ -P	SO ₄ ²⁻
		dS m ⁻¹	----- mg L ⁻¹ -----									
First flooding	7.5	6.20	18.8	42.4	46.7	17.9	69.6	ND	96.3	7.9	4.3	123.1
Second flooding	7.2	2.05	7.4	10.8	9.0	5.0	32.0	ND	12.4	3.7	1.7	11.5

담수 후 배수처리구 모두 표토의 염류함량은 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 그러나 담수처리구의 경우 심토층 20~40 cm에서의 초기 염류함량은 0.70 dS m⁻¹이었으나 1차 담수 후 2.10 dS m⁻¹, 2차 담수 후 1.22 dS m⁻¹로 오히려 증가한 것을 확인할 수 있었다. 또한 40~60 cm의 염류함량도 마찬가지로 초기 0.018 dS m⁻¹에서 1차 담수 후 1.83 dS m⁻¹, 2차 담수 후 0.75 dS m⁻¹로 증가한 것을 확인할 수 있었다. 즉 표토의 염류가 물 공급 후 수직이동으로 심토층으로 이동하였다고 판단되고 모세관현상으로 다시 표토로의 재집적이 일어날 것으로 예측된다. 담수 후 배수처리구의 토양 깊이별 염류 변화량을 살펴보면 심토층 20~40 cm에서의 염류함량은 0.81 dS m⁻¹이었으나 1차 담수 후 0.97 dS m⁻¹, 2차 담수 후 0.51 dS m⁻¹로 감소한 것을 확인할 수 있었다. 또한 40~60 cm의 염류함량도 마찬가지로 초기 0.023 dS m⁻¹에서 1차 담수 후 0.54 dS m⁻¹, 2차 담수 후 0.40 dS m⁻¹로 다소 증가하였지만 담수처리구에 비해 상당히 낮은 수치를 보였다. 담수 후 배수처리구는 담수처리구에 비해 우수한 염류제거를 보였으며 염류를 외부로 빼내기 때문에 염류 재집적이 일어날 경우가 적다고 판단된다.

처리구별 담수의 화학성 변화 담수처리구 및 담수 후 배수처리구에서 1, 2차 담수 수질의 분석결과를

Table 3, 4에 나타내었다. 두 처리구에서 1차 담수 수질이 2차 담수수질보다 이온 함량이 높은 것을 확인할 수 있었으며 이는 염류 (EC) 값을 높이는 원인이다. 2차 담수 수질의 경우 담수처리구와 담수 후 배수처리구 모두 양이온, 음이온 수치가 낮아졌으며 담수처리구가 염류함량을 낮추는데 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다. 담수처리구에서 1차와 2차 담수의 EC를 비교했을 때 2.11 dS m⁻¹의 차이를 보였지만 담수 후 배수처리구에서 1차와 2차 담수의 EC차는 4.15 dS m⁻¹이었다. 이는 담수 후 배수처리구에서 담수의 배수 시 염류를 인위적으로 외부로 유출시키므로 1, 2차 담수 수질의 EC차가 크게 나타 난 것으로 판단된다. 다른 양이온 음이온의 경우에도 담수 후 배수처리구에서 1, 2차 담수 수질의 차가 크게 나타났다(Fig. 2).

포화 수리전도도 및 담수의 탁도 변화 Table 5에서 담수 처리구에서 1회, 2회 담수처리에 따른 시간별 담수의 높이를 나타내었다. 1회 담수시 포화 수리전도도는 0.93 cm hr⁻¹이었으며 2회 담수시에는 0.79 cm hr⁻¹였다. 1회 담수 후 2회 담수시에는 토양의 물 침투율이 저하되는 것을 확인할 수 있었다.

담수를 하고 토양에 붙어있는 염류를 물에 녹이기 위하여 토양을 저어주면 부유물질들이 담수에 떠올라 탁도가 높아진다. 배수를 하기 위해서는 부유물질을 어느

정도 침전 시킨 후 배수가 되어야 하므로 시간에 따른 상등수의 탁도를 측정하였다. 담수 후 배수 처리구에서의 1회, 2회 담수에 의한 수질 탁도 변화추이를 보면 Fig. 3과 같다. 1회 담수시 처음 탁도 (NTU)는 3,108 NTU 였으며 12시간 후 45 NTU로 감소하였다. 2회 담수시 처음 탁도는 2,967 NTU 였으며 1회 담수시 보다 다소 낮은 14시간 후 79 NTU로 감소하였다. 응집제를 넣지 않더라도 3시간 동안에 초기 탁도의 70% 이상이 제거 되었다.

2시간 침전 후 배수를 하게 되면 밖으로 유출되는 토양의 미세입자들의 양이 많아지므로 소량의 약품을 사용하여 침전속도를 증가시킬 필요가 있다. 이를 위하여 담수 후 많은 탁도를 함유한 물을 채취하여 MgO 0, 5, 25, 50 mM을 투여하고 30분 반응 후 pH, EC, 탁도, NH_4^+-N , $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 를 측정하였다 (Table. 6).

소량의 MgO를 넣은 경우 30분 내에 95% 이상의 탁도가 제거 되었으며 이는 염류성분이 토양이 스며들 시간을 주지 않으므로 토양에 함유된 더 많은 염류를 시

설재배지 외부로 배출시킬 수 있음을 의미한다. 투여 MgO의 농도가 증가할수록 pH가 상승하였으나 알칼리도가 낮기 때문에 소량 투여할 경우 토양의 pH에는 큰 영향을 주지 않았다. EC의 경우 5 mM의 MgO를 투여할 경우 조금 감소하다가 투여량이 증가하면서 EC는 증가하였다. 인 농도가 일부 감소하였다. 특히 5 mM의 MgO를 넣었음에도 EC 값이 감소하고 인, 질소 농도의 감소로 보아 이는 수중의 암모니아와 인이 결합하여 struvite 침전이 되었기 때문으로 판단이 된다 (Yoshino et al., 2003).



소량의 MgO를 넣어 struvite 침전을 시킬 경우 완성 비료로 토양 struvite가 침전이 되며 탁도 성분을 빨리 침전시킬 수 있어 염류를 제거하는 데 소요되는 시간이 짧아지는 이점이 있다. 또한 배출 희석수의 오염물질 농도는 암모니아성 질소가 32.7 mg L^{-1} , $\text{NO}_3\text{가}$

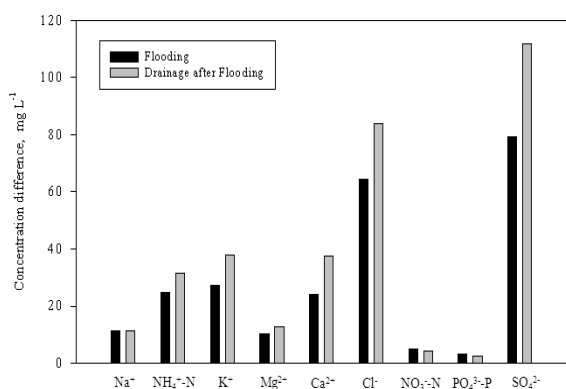


Fig. 2. Flooded water quality differences between first and second flooding in the flooding and drainage-after-flooding plots.

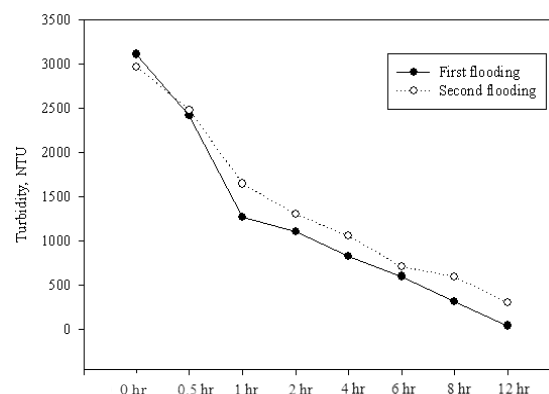


Fig. 3. Turbidity change over time in the upper layer of the flooded water.

Table 5. Water height changes over time after flooding in the flooding plot.

	0 hr	2 hr	4 hr	6 hr	8 hr	10 hr	12 hr
	----- cm -----						
First flooding	15	11.6	8.0	5.9	3.1	1.4	0
Second flooding	15	12.1	9.4	7.1	5.5	3.9	2.0

Table 6. Effect of different MgO concentrations on water quality (30 minutes reaction).

Treatment	pH	EC	Turbidity	$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$	NH_4^+-N
		$\mu\text{S cm}^{-1}$	NTU	mg L^{-1}	mg L^{-1}
0 mM	7.6	826	1600	1.4	25
5 mM	9.4	816	160	0.3	23
25 mM	9.6	859	38.2	0.2	23
50 mM	9.9	911	61.7	0.2	23



Fig. 4. A plastic film house where drainage after flooding method was applied.

Table 7. EC changes at different soil depths using drainage after flooding method in a plastic film house.

Treatment	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
	----- dS m ⁻¹ -----		
Control	2.80	1.9	0.97
First flooding	0.56	0.69	0.58
Second flooding	0.38	0.44	0.56

8.6 mg L⁻¹, PO₄가 6.1 mg L⁻¹, K 34.3 mg L⁻¹ 로 그다지 높지 않은 것을 알 수 있고 저농도 비료로 토양에 재이용될 수 있다.

실증시험 강원도 화천군에 위치한 토마토 농장 1개의 시설하우스를 선정하여 담수와 배수를 동시에 하는 방법으로 담수처리를 하고 토양 깊이별 염류 (EC) 함량을 비교·분석을 하였다. 담수처리 전 토양의 염류 (EC) 함량은 표토 2.8 dS m⁻¹ (0~20 cm), 심토 1.9 dS m⁻¹ (20~40 cm), 0.97 dS m⁻¹ (40~60 cm) 였다.

실증 농가의 담수처리에 따른 토양 깊이별 EC 값을 분석한 결과 Table 7과 같았다. 초기 20~40 cm에서의 EC 값은 1.9 dS m⁻¹ 였으며 1차 담수 후 0.69 dS m⁻¹, 2차 담수 후 0.44 dS m⁻¹로 점차적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었으며 토양 40~60 cm 깊이에서도 감소하는 경향을 보였다. 담수 실험 결과를 종합해 보면 담수처리구에서는 양분이 물에 녹아 토양 하부로 이동하면서 하부 토양에 재집적 되는 것을 확인할 수 있었고 이는 다시 모세관현상에 의하여 상부로 이동 상부 토양에 염류집적이 발생할 여지가 있을 것으로 판단된다. 이 문제는 현재 담수처리를 활용하는 농가에서의 문제점이며 담수처리로 염류집적을 방지하기 위해서는 담수와 배수의 적절한 조화가 중요하다고 사료된다. 담수 후 염류를 많이 함유한 상등액을 빼줌으로써 토양 하부로 염류가 이동하지 않아 모세관 현상에 의한 염류의 재집적을 방지 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 밖으로 유출되는 상등액에는 일부 질소, 인, 칼리 등 비료성분을 포함하고 있어 비료로 재이용될 수 있으며, 소량의 MgO 투여를 통해 담수의 탁도 성분을 빠른 시간 내에 침전시키며 일부 struvite 침전을 도모하여 완효성 비료로

이용이 될 수 있다 (Hao et al., 2008).

적 요

시설하우스 내 토양의 염류를 제거하기 위한 기존 관수제염의 문제점은 담수 시 염류가 심토층으로 이동하게 되며 심토층으로 이동된 염류는 시설하우스 내 모세관현상으로 다시 표토층으로 용출되어 순환을 하는 것이다. 이를 해결하기 위하여 기존의 관수제염법을 일부 수정한 방법을 개발하였다. 토양을 담수시킨 후 부유물질을 침전시키고 상등액의 일부를 외부로 빼줌으로써 토양 하부로 염류가 이동하지 않도록 하는 방법이다. 이 방법을 통해 심토층으로 염류가 확산이 되지 않았으며 모세관 현상에 의한 염류의 재집적을 방지 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 밖으로 유출되는 상등액에는 질소, 인, 칼리 등 비료성분을 포함하고 있어 비료로 재이용될 수 있을 것으로 판단된다. 소량의 MgO 투여와 30분 침전을 통해 담수의 탁도 성분을 초기 탁도의 95% 이상을 침전 시킬 수 있었다. 담수 내에 암모니아와 인을 함유하고 그들의 농도가 줄어든 것으로 보아 일부 struvite 침전이 이루어졌으며 토양 내에서 천천히 용해되어 작물이 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 연구의 일부는 강원대학교 농업생명과학연구원의 지원으로 수행되었습니다.

인용문헌

- Bernstein, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Ann. Rev. Phytopathology*. B. p.149-151. 172-181. 223-225. 284-286.
- Bohn, L.H., B.L. McNeal, and G.A. O'Connor. 1979. *Soil Chemistry*. A Wiley-Interscience Publication. p. 149-151. 172-181. 223-225. 284-286.
- Chang, C.W. and H.E. Dregne. 1955. The effect of exchangeable sodium on soil properties on growth and cation content of alfalfa and cotton. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 19:29-35.
- Chio, W.Y. 1997. Development of absorbent-microbe mixture for desalination of green house soils, MOA. Gwacheon, Korea. p. 1-105.
- Cho, K.R., C.S. Kang, T.J. Won, and K.Y. Park. 2006. Effects of compressed expansion rice hull application and drip irrigation on the alleviation of salt accumulation in the plastic film house soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39:372-379.
- Hao, X.D., C.C Wang, L. Lan, and M.C.M. Van Loosdrecht. 2008. Struvite formation, analytical methods and effects of pH and Ca^{2+} . *Water Science and Technology*. 58:1687-1692.
- Jeon, W.T., H.M. Park, J.B. Chung, K.D. Park, C.Y. Park, and W.H. Yang. 2005. Effect of reduced fertilization considering residual soil nutrients on rice yield and salt removal in greenhouse vegetables and rice cropping system. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38:85-91.
- Jung, G.B., I.S. R, and B.Y. Kim. 1994. Soil texture, electrical conductivity and chemical components of soils under the plastic film house cultivation in northern central areas of Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 27:33-40.
- 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, D.S., J.E. Yang, Y.S. Ok, and K.Y. Yoo. 2006. Effect of perforated PVC underdrainage pipe on desalting of plastic film house soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39:65-72.
- Kim, J.Y. 1996. Salt accumulation and chemical property of soil under the horticultural vinyl houses in chung-ju city area. *Kon-kuk journal of natural science and technology*, Korea. 7:53-62.
- Kim, P.J., D.K. Lee, and D.Y. Chung. 1997a. Vertical Distribution of Bulk Density and Salts in a Plastic Film House Soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 30:226-233.
- Kim, P.J., D.Y. Chung, and D.K. Lee. 1997b. 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.
- Ok, Y.S., J.E. Yang, K.Y. Yoo, Y.B. Kim, D.Y. Chung and Y.H. Park. 2005. Screening of adsorbents to reduce salt concentration in the plastic film house soil under continuous vegetable 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.
- Park, C.Y. 2004. Solution andin reason of salt accumulation in green house soil. p.108-109. *The society of green house soil and environment*. National Yeongnam Agricultural Institute. Milyang, Korea.
- RDA (Rural Development and Administration). 2004. Annual Report of the Monitoring Project on Agricultural Environment Quality. p. 9-12.
- RDA (Rural Development and Administration). 1988. Soil chemical analysis.
- 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.
- Yoshino, M., M. Yao, H. Tsuno, and I. Somiya. 2008. Removal and recovery of phosphate and ammonium as struvite from supernatant in anaerobic digestion. *Water Science and Technology*. 58:171-178.