

새만금간척지에서 점적관수량이 토양염농도와 녹색꽃양배추의 생육에 미치는 영향

배희수* · 황재복 · 김학신 · 구본일 · 최인배 · 박태선 · 박홍규 · 이수환 · 오양열 · 이상훈 · 이건휘
농촌진흥청 국립식량과학원

Effect of Drip Irrigation Level on Soil Salinity and Growth of Broccoli (*Brassica oleracea L. var. italica*) in Saemangeum Reclaimed Tidal Land

Bae Huisu*, Hwang Jaebok, Kim Haksin, Gu Bonil, Choi Inbae, Park Taeseon, Park Hongkyu,
Lee Suhwan, Oh Yangyeol, Lee Sanghun, and Lee Geonhwi

National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 565-851, Korea

Abstract. The objective of this study was to investigate the effect of drip irrigation level on soil salinity and growth of broccoli (*Brassica oleracea L. var. italica*) at the 'Saemangeum Reclaimed Tidal Land' from April to June, 2015. Drip irrigation was conducted at 1.5, 3.0 and 6.0mm·day⁻¹ level for reduction of resalinization in the plastic vinyl house using 10cm spacing drip irrigation tape. At harvesting stage, the average EC of surface soil was 10.9dS·m⁻¹ for 1.5mm·day⁻¹, 11.5dS·m⁻¹ for 3.0mm·day⁻¹ and 5.1dS·m⁻¹ for 6.0mm·day⁻¹ and was significantly reduced by 52~56% in 6.0mm·day⁻¹ treated plot compared to those in 1.5 and 3.0mm·day⁻¹ plots. The fresh bud weights of 1.5, 3.0 and 6.0mm·day⁻¹ treatment plots were 60.9, 129.1 and 371.3g·plant⁻¹, respectively. The estimated soil EC for 50% yield reduction was 7.6dS·m⁻¹ and the desalinization depth by drip irrigation was 30~40cm in soil profile. The total amount of drip irrigation water was estimated to be 422mm and the daily drip irrigation level was 6.0mm·day⁻¹ for the prevention of resalinization during the broccoli growing period at the 'Saemangeum Reclaimed Tidal Land'. Our results suggested that drip irrigation shows effectiveness on the lowering the soil salinity according to the drip irrigation quantity but it needs more research on this study because dynamics of salts in soil can vary with many factors such as soil physico-chemical properties and seasonal climate.

Additional key words : resalinization, salt movement, soil electrical conductivity

서 론

국내의 쌀 수입개방과 소비 감소로 간척지를 벼 재배 이외에 고소득 작물 생산기지로써의 활용성이 높아지고 있으며 이러한 간척농지를 합리적이고 효율적으로 이용하기 위해서는 부가가치가 높은 원예 단지 개발이 필요하다(RRI, 2007). 또한 간척지의 활용 목적 변화로 간척지 녹비 및 사료 작물 재배(Sohn 등, 2009), 간척지 적응 원예작물 품종 선발(Lee 등, 2003; Kim 등, 1977)등 간척지에서 밭작물에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그리고 정부는 간척 사업을 진행 중이거나 준공 후 미처분된 서남해안 11개 간척지(시화, 화옹, 석문, 남포, 이원, 새만금, 영산강, 군내, 보전, 삼산, 고흥간척지)의 다

원적 활용을 위해 지구별 특성화 방안을 구상하여 고시하였으며 현재 다양한 밭작물 재배가 시도되고 있다. 특히 새만금간척지는 식량생산기지 조성을 위해 1991년에 시작하여 2006년에 완공 되었으며 33km의 세계 최장의 방조제를 보유하고 있다. 또한 새만금간척지구 282.9km²에 대한 토지이용계획 중 농지면적이 85.7km²이며 이는 전체 면적의 약 30%로 가장 큰 비중을 차지한다(Shin, 2011).

시설재배지와 간척지 토양은 가장 일반적인 염류집적 토양이며, 대부분 해안가에 위치한 간척지 토양은 바닷물에 의한 영향으로 Na의 함량이 특히 높다(Lee 등, 2012; Kim 등, 1997; Yuk 등, 1993). 이러한 간척지에서 시설재배를 할 경우 토양 제염으로 근권의 염을 제거하여 작물 생육이 가능하더라도 모세관작용으로 인하여 재염화 현상이 발생한다. 그러므로 일반 시설재배지 토양보다 간척지 시설재배지 토양에서는 염해 우려가 더

*Corresponding author: huisu81@korea.kr
Received August 17, 2015; Revised October 23, 2015;
Accepted October 27, 2015

육 크므로 재염화에 의한 염해를 경감하기 위해서는 적절한 물 관리가 반드시 필요하다. 그러나 새만금간척지 비닐하우스에서 재염화 억제를 위한 물 관리 및 관수 방법에 관한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 새만금간척지에서 시설하우스 소득작물 재배 가능성을 탐색하고 재염화 억제를 위한 일일 관수량에 대해 알아보기 위하여 녹색꽃양배추를 대상으로 점적 관수량에 따른 토양 염농도 및 작물 생육특성 등을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 작물재배 및 시료채취

본 시험은 전북 부안군 계화면에 위치한 국립식량과학원 새만금간척지 시험포장에서 200m² 크기의 단동형 비닐하우스에서 녹색꽃양배추를 시험작물로 하여 2015년 4월부터 6월 까지 수행하였다. 시험에 사용된 녹색꽃양배추는 시중에서 상품으로 판매하고 있는 5~6매 크기에 달한 묘를 구입하여 이용하였다. 재식간격은 이랑폭 120cm에 70×40cm 이었으며 무피복 2열 재배하였다. 무기질비료는 요소, 용과린 염화칼륨을 이용하여 N-P-K, 200-150-200kg·ha⁻¹을 기준으로 질소와 칼륨은 밑거름과 웃거름을 50:50으로 2회 분시 하였으며 인산은 전량 밑거름으로 사용하였다.

2. 관수처리 및 방법

관수처리는 10cm 점적공 간격의 압력보상형 점적호스를 이용하여 점적관수 하였으며 관수량은 봄배추의 시설 하우스에서 일평균 증발산량인 3.21mm를 기초로 하여 (RDA, 1997) 1.5, 3.0 및 6.0mm·day⁻¹로 3개 처리하였다. 이식 후 14일 동안에는 초기 활착을 위해 모든 처리구에 10mm·day⁻¹ 관수량으로 충분히 관수 하였으며 활착이 완료된 이후 관수량 수준별로 수확기까지 매일 관수 하였다.

3. 토양 및 식물체 분석

토양 및 식물체 분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체분석법(RDA, 2000)에 준하여 분석하였다. 재배 후 점적관수에 의한 제염효과 분석을 위한 토양 시료는 점적관수 테이프의 점적공 중앙 지점에서 표토(0~20cm)를 채취 하

였으며 토심 10, 20, 30, 40, 50, 60cm 깊이별로 채취 하여 관수량에 따른 깊이별 토양 EC 변화를 분석하였다. 수량 조사는 생육이 가장 양호한 처리구에서 화퇴 직경이 10cm 이상일 때를 수확일로 간주하여 모든 처리구 에서 일시에 수확하여 처리 간 수량 차이를 비교 하였다.

pH와 EC 측정은 시료와 증류수 비율을 1:5로 하여 30분간 진탕한 후 pH meter (ORION, US/520A) 및 EC meter(OIRON, US/160)를 이용해 초자전극 및 전기 전도도법으로 측정하였고, 토양 총 탄소와 질소측정은 건식연소법(dry combustion)으로 800~1,000°C에서 토양 중 탄소를 연소시켜 발생하는 이산화탄소를 CN automatic analyzer (Elementar Analysen Systeme, US/Vario Max CNS)를 이용하여 분석하였다. 유효인산은 Lancaster법으로 Spectrophotometer(Biochrom, Libra S80)를 이용해 720nm에서 비색 측정하였다. 치환성 양이온은 1N-NH₄OAc(pH 7.0)로 추출한 후 추출한 액을 ICP-OES(Varian, Vista MPX-ICP)를 사용하여 정량 분석하였다. 식물체 분석은 수확기에 채취하여 화퇴와 잎으로 나누어 조사 하였으며 수확한 시료를 70°C 항온건조기에서 72시간 동안 건조 하였다. 건조시료를 분쇄하여 습식 분해(H₂O₂-H₂SO₄) 하였으며 분해액을 여지에 여과하여 K, Ca, Mg 및 Na 을 정량하였다.

4. 통계분석

시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였고 자료 분석은 JMP 통계분석 프로그램(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)으로 One-way ANOVA를 실시하였으며, 각 처리 간의 차이에 대한 사후 검정은 5% 유의수준에서 Tukey's HSD 검정을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 시험전 토양특성

시험포장의 토양은 문포토(coarse loamy, mixed, nonacid, mesic family of Typic Fluvaquents)으로 국내 서남해안 간척지에 분포하는 대표적인 간척지 토양이었다. 토성은 사양토 였으며 시험전 토양 EC는 평균 23.5dS·m⁻¹로 겨울철 비경작 기간에 재염화 현상으로 인

Table 1. The characteristics of soil used in this experimental field.

pH (1:5)	EC ^z _{1:5} (dS·m ⁻¹)	OM ^y (g·kg ⁻¹)	T-N (g·kg ⁻¹)	Avail. P ₂ O ₅ (mg·kg ⁻¹)	Soil texture
7.9	23.5	6.2	0.3	599	Sandy Loam

^z EC: electric conductivity

^y OM: organic matter

해 매우 높은 값을 보였다. pH는 7.9로 약한 알칼리성이었고 유효인산은 작물 재배시 사용된 인산질 비료 및 퇴비로 인해 $599\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 으로 높았으며 토양 유기물 함량은 $6.2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 으로 일반 농경지 유기물 함량보다 매우 낮은 조건이었다(Table 1).

2. 토양 EC 및 수분함량

2.1. 점적관수량에 따른 수확기의 토양 EC 및 수분함량
정식 이후 재배기간 57일 동안 공급된 관수 총량은 초기 활착기 일일 관수량 10mm를 포함하여 1.5, 3.0 및 $6.0\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ 처리구가 각각 211, 281 및 422mm 이었다. 새만금간척지 비닐하우스에서 브로콜리 재배시 관수량에 따른 수확기 표토의 토양 EC는 Fig. 1과 같다. 수확기 표토의 EC 평균치는 1.5 및 $3.0\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ 처리구에서 각각 10.9, $11.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 두 처리 간에 차이는 통계적 유의

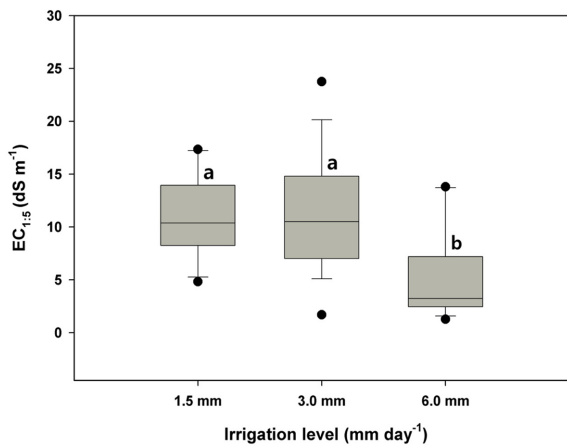


Fig. 1. Average EC of surface soil at harvesting stage according to the drip irrigation level at the 'Saemangeum reclaimed tidal land'.

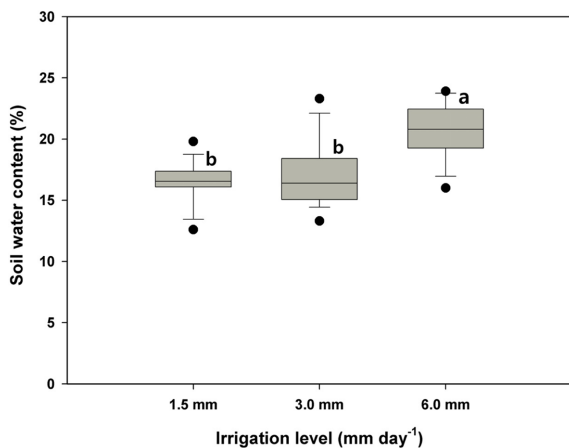


Fig. 2. Average water content of surface soil at harvesting stage according to the drip irrigation level at the 'Saemangeum reclaimed tidal land'.

성이 없었으며 $6.0\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ 처리구에서 $5.1\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 가장 낮은 값을 보였다. Fig. 2는 관수량에 따른 수확기 표토의 토양수분함량 차이를 나타낸 것이다. 1.5, 3.0 및 $6.0\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ 처리구에서 각각 16.7, 16.9 및 20.2%로 1.5 와 $3.0\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ 처리구에서 토양수분함량 차이 또한 통계적 유의성이 없었다. 그러나 $6.0\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ 처리구에서 토양수분함량은 가장 높은 값을 보여 수분에 의한 근권의 토양 재염화 억제효과를 확인할 수 있었다. Hanson과 May(2003)는 점적관수는 수분을 정확하고 균일하게 공급할 수 있으며 토양 염류를 제어하여 수량이 증대되는 효과 등의 장점이 있다고 하였다. 따라서 새만금간척지 비닐하우스에서 녹색꽃양배추 재배시 점적관수에 의한 토양 염농도는 관수량에 따라 다르게 나타나 점적관수가 토양 재염화 현상을 억제하고 관개수를 절약할 수 있는 효과적인 관수방법인 것으로 판단된다. Koo 등(1992)은 간척지에서 재염화 방지용수량으로 토마토 재배시 232mm, 비트 재배의 경우 66mm로 추정된다고 보고 하였는데 본 실험결과 새만금간척지에서 녹색꽃양배추 재배시 재염화 억제를 위해서는 재배 기간 중 $6.0\text{mm}\cdot\text{day}^{-1}$ 수준의 관수량으로 총 422mm의 물량이 필요할 것으로 예측된다.

2.2. 점적관수량에 따른 깊이별 토양 EC

점적관수량에 따른 토양깊이별 재염 효과를 알아보기 위해 수확기에 지면에서 수직으로 60cm 깊이까지 10cm 간격으로 토양 시료를 채취하여 측정한 EC 값은 Fig. 3

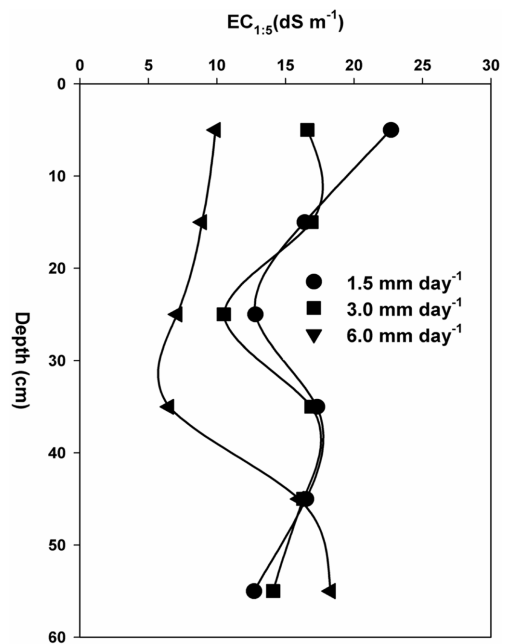


Fig. 3. Average EC of soil in each depth according to the drip irrigation level at the 'Saemangeum reclaimed tidal land'.

과 같다. 모든 처리구에서 지면으로부터 0~10cm 깊이에 서는 관수량이 증가할수록 토양 EC 값은 낮은 값을 보여 관수에 의한 제염 효과는 표토 0~10cm에서 가장 효과적인 것으로 보인다. 또한 1.5 및 3.0mm·day⁻¹ 두 처리구에서 10cm 이상 깊이부터 변화는 유사한 경향을 보여 1.5 및 3.0mm·day⁻¹ 수준의 점적관수에 의한 제염은 10cm 이내에서 일어나는 것으로 확인되었다. 또한 40~50cm 깊이까지의 토양 EC는 6.0mm·day⁻¹ 처리구에서 1.5 와 3.0mm·day⁻¹ 처리구에 비해 낮은 경향을 보여 6.0mm·day⁻¹ 수준으로 점적관수를 할 경우 일반적인 표토의 깊이인 25cm보다 다소 깊은 30~40cm 깊이까지 제염효과를 나타내는 것으로 확인되었다. 그러나 30~40cm 깊이까지는 감소하다 이후 증가하는 경향을 보였는데 이는 점적관수에 의해 용탈된 염류가 심토에 집적되어 발생한 것으로 보인다.

3. 녹색꽃양배추 생육 및 무기성분

3.1. 점적관수량에 따른 녹색꽃양배추의 생육

점적관수량에 따른 녹색꽃양배추의 수확 시 생육은 Table 2와 같다. 6.0mm·day⁻¹ 처리구에서 초장은 53.3cm로 가장 컸으며 주당 생중 및 화뢰의 생중 또한 1,097g 및 371.3g으로 가장 큰 값을 보여 가장 양호한 생육을 보였다. Jun 등(2012)은 참외를 관비제배 하였을 때 지

속적인 양분과 수분 공급시 생체중 및 건물중이 늘어난다고 하였는데 본 시험에서도 관수량이 증가할수록 생육이 양호한 경향을 보였으나 1.5 와 3.0mm·day⁻¹ 처리 간 생육차이의 통계적 유의성은 없었다. Seelig(2000)는 고염도의 토양에서 작물의 수분부족 현상은 건조상태의 수분부족과 같은 현상이라고 하였는데 본 실험에서 1.5 와 3.0mm·day⁻¹ 처리구에서 생육저해 현상은 높은 토양 염 농도와 수분결핍이 복합적으로 작용하여 나타난 것으로 보인다. Baccio 등(2004)은 해바라기를 이용한 바닷물 관수시험에서 바닷물의 농도가 증가함에 따라 잎에서의 건물물은 감소하였으며 뿌리의 건물물은 증가하여 염 스트레스 증가에 따른 건물물 차이는 식물체 부위별로 다르게 나타나는 것으로 보고하였다. 본 실험결과 녹색꽃양배추의 지상부 건물물은 관수량이 감소할수록 증가하는 결과를 보였는데 이는 식물체내 수분부족에 의해 상대적으로 건물물이 증가한 것으로 판단된다.

3.2. 점적관수량에 따른 녹색꽃양배추의 무기성분 함량

점적관수량에 따른 녹색꽃양배추의 무기성분 함량은 Table 3과 같다. 잎에서 무기성분 함량은 6.0mm·day⁻¹ 처리구에서 가장 높은 값을 나타냈다. Park 등(2012)은 상추의 지중관수 시험에서 수분이 균일하게 공급되지 않아 생육과 양분흡수가 불충분하여 칼륨 및 마그네슘의 흡수

Table 2. Effect of drip irrigation level on the growth of broccoli at the ‘Saemangeum reclaimed tidal land’.

Irrigation level (mm·day ⁻¹)	Plan height (cm)	Diameter of head (cm)	Fresh weight (g·plant ⁻¹)		Largest leaf (cm)		Dry matter ratio (%)
			Total	Head	Length	Width	
1.5	41.2 b ^z	5.2 b	447 b	60.9 b	38.6 b	23.3 b	17.6 a
3.0	44.8 b	7.3 b	581 b	129.1 b	42.6 b	23.3 b	14.6 b
6.0	53.3 a	14.4 a	1,097 a	371.3 a	53.9 a	27.6 a	10.6 c

^zIn the same column, significant differences according to Tukey’s HSD at P = 0.05 levels are indicated by different letters after one way ANOVA.

Table 3. Effect of drip irrigation level on the inorganic contents of broccoli at the ‘Saemangeum reclaimed tidal land’.

Plant part	Irrigation level (mm·day ⁻¹)	N	K	Ca	Mg	Na
Leaf	1.5	42.2 b ^z	37.1 b	9.0 b	4.1 b	13.6 b
	3.0	41.4 b	41.2 b	11.0 b	4.4 ab	15.3 b
	6.0	45.0 a	50.7 a	14.9 a	4.5 a	18.1 a
Bud	1.5	57.2 a	35.5 a	2.1 a	1.8 a	3.7 a
	3.0	54.3 a	39.5 a	2.3 a	2.0 a	4.3 a
	6.0	52.6 a	41.1 a	2.2 a	1.7 a	4.0 a

^zIn the same column, significant differences according to Tukey’s HSD at P = 0.05 levels are indicated by different letters after one way ANOVA.

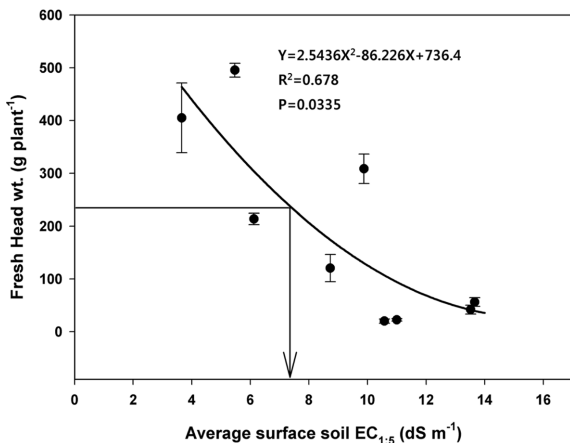


Fig. 4. Relationship between EC of surface soil and fresh head weight of broccoli at the 'Saemangeum reclaimed tidal land'.

량이 적다고 보고 하였으며 Mbagwu과 Osuigew(1985)는 수분스트레스는 뿌리의 생육을 억제하여 양분흡수 효율을 감소시킨다고 하였다. 본 실험결과에서도 관수량이 증가할수록 지상부와 뿌리의 생육이 양호하여 무기성분인 칼륨, 칼슘, 마그네슘 및 나트륨의 흡수량도 증가한 것으로 판단된다. 그러나 화퇴에서 관수량에 따른 무기성분의 함량차이는 통계적 유의성을 보이지 않았다. Vimala 등(1997)은 수확기의 녹색꽃양배추의 무기성분 중 칼륨 16%, 칼슘 6% 및 마그네슘 10%정도만 화퇴에 함유되어 있고 나머지는 줄기, 뿌리 및 잎에 함유되어 있어 수확 후 잔사는 토양에 환원할 수 있다고 하였다. 본 실험결과에서도 무기성분은 잎에 많이 함유되어 있었으며 특히 나트륨 함량은 화퇴의 4.0~4.2g·kg⁻¹보다 잎에서 15.3~18.1g·kg⁻¹으로 높은 경향을 보였다. 따라서 간척지에서 녹색꽃양배추 재배 후 나트륨 함량이 높은 식물체 잔사를 토양에 환원하는 것은 토양염류 제거 측면에서 심도 있게 고려해야 할 것으로 판단된다.

4. 토양염농도와 녹색꽃양배추의 화퇴 무게 관계

점적관수에 의한 토양 EC 차이가 녹색꽃양배추의 화퇴형성에 미치는 영향을 알아보기 위해서 점적관수 처리구별로 표토 0~20cm 깊이의 토양을 채취하여 토양 EC 평균치와 녹색꽃양배추의 개체별 화퇴 무게의 관계를 나타낸 결과는 Fig. 4와 같다. Bernstein 등(1974)은 녹색꽃양배추는 보통염류 감응성 작물(moderately salt sensitive crop)로 50%의 수량감소를 보이는 토양의 EC는 8.0dS·m⁻¹라고 하였으며 Sohn 등(2009)은 화옹간척지에서 양배추 재배시 50%의 수량감소를 보이는 토양 EC는 9.0dS·m⁻¹라고 보고하였다. 본 실험결과 토양 염농도와 녹색꽃양배추의 화퇴 무게의 관계는 2차식으로 비교적 잘 나타났으며(R² = 0.678, p = 0.0335) 관계식에서 화퇴의 최고

무게인 455g의 50%의 수준을 보이는 토양 EC는 7.6dS·m⁻¹로 추정되어 기존의 보고와 비교적 유사한 결과를 보였다. 또한 관계식에서 75%의 수량을 보이는 토양 EC는 5.5dS·m⁻¹로 추정되어 새만금간척지 비닐하우스에서 녹색꽃양배추를 재배하기 위해서는 토양 EC를 최소 5.5dS·m⁻¹ 이하로 유지해야 할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 새만금 간척지에서 비닐하우스 작물 재배 가능성 검토를 위해 녹색꽃양배추를 대상으로 일일 관수량을 달리하여 관수량에 따른 토양 염농도 및 생육특성 등을 조사하여 관수량에 의한 재염화 억제효과를 알아보고자 수행하였다. 수확기의 표토의 평균 토양 EC는 1.5 및 3.0mm·day⁻¹ 처리구에서 각각 10.9 및 11.5dS·m⁻¹였으며 6.0mm·day⁻¹ 처리구에서 5.1dS·m⁻¹로 1.5 및 3.0mm·day⁻¹ 처리구보다 52~56% 낮게 나타나 점적관수량에 따른 재염효과를 확인할 수 있었다. 화퇴의 무게는 6.0mm·day⁻¹ 처리구에서 주당 371.3g으로 1.5 및 3.0mm·day⁻¹ 처리구의 60.9g 및 129.1g보다 높은 값을 나타냈다. 50%의 수량감소를 보이는 토양 EC는 7.6dS·m⁻¹였으며 점적관수에 의한 토양 재염효과는 6.0mm·day⁻¹ 처리에서 30~40cm 깊이까지 나타났다. 따라서 새만금간척지에서 녹색꽃양배추 재배시 점적관수에 의한 토양 재염화 억제를 위해서는 6.0mm·day⁻¹ 수준의 관수량으로 총 422mm의 물량이 필요할 것으로 예측된다. 그러나 염류의 이동은 토양 이화학적 특성 및 계절적 요인 등 여러 가지 환경요인에 영향을 받으므로 간척지 비닐하우스에서 점적관수에 따른 염류의 이동특성에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

추가주제어 : 토양전기전도도, 염류이동, 재염화

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ00925102)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature cited

Bernstein, L., L.E. Francois, and R.A. Clark. 1974. Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables. *Agron. J.* 66:412-421.
 Daniela Di Baccio, F. Navari-Izzo, and R. Izzo. 2004. Seawater irrigation: antioxidant defence responses in leaves and roots of a sunflower (*Helianthus annuus* L.) ecotype. *Journal of plant physiology* 161(12): 1359-1366.

- Hanson, B. and D. May. 2003. Drip irrigation increases tomato yields in salt-affected soil of San Joaquin Valley. *California Agriculture* 57(4): 132-137.
- Kim, H.Y., B.I. Lee, and K.K. Kim. 1977. Varietal selection experiment suitable for reclaimed land. *Res. Rept. Vegetable & Hort. Sta.* p. 1020-1024 (in Korean).
- Jun, H.J., Y.S. Shin, and K.S. Jun. 2012. Soil EC and yield and quality of oriental melon (*Cucumis melo* L. var. *makuwa Mak.*) as affected by fertigation. *J. Bio-Environ. Control* 21:186-191(in Korean).
- Kim, P.J., D.K. Lee, and D.Y. Chung. 1997. Vertical distribution of bulk density and salts in a plastic film house soil. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 30(3):226-233 (in Korean).
- Koo, J.W., K.W. Han, J.G. Son, and D.W. Lee. 1992. Determining irrigation requirements and water management practices for normal growth of dry field crops in reclaimed tidelands. *J. Kor. Soc. Agri. Eng.* 34(4):80-96 (in Korean).
- Lee, S.H., B.D. Hong, Y. Ahn, and H.M. Ro. 2003. Relation between growth condition of six upland-crops and soil salinity in reclaimed land. *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* 36(2):66-71(in Korean).
- Lee, Y.J., H.B. Yun, R.Y. Kim, R.Y. Kim, J.S. Lee, Y.S. Song, J.K. Sung, and J.E. Yang. 2012. Determination of exchangeable cations in soils affected by different types of salt accumulation. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 45(2):135-142 (in Korean).
- Mbagwu, J.S.C. and J.O. Osuigw. 1985. Effects of varying levels and frequencies of irrigation on growth, yield, nutrient uptake and water use efficiency of maize and cowpeas on a sandy loam ultisol. *Plant and soil* 84(29): 181-192
- Park, J.M., J.L. Tae, and S.E. Lee. 2012. Effect of subsurface drip pipes spacing on the yield of lettuce, irrigation efficiency, and soil chemical properties in greenhouse cultivation. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 45(5):683-689 (in Korean).
- Rural Development Administration (RDA). 2000. Method of soil and plant analysis. RDA, Suwon, Korea.
- Rural Development Administration (RDA). 1997. A study on water management in greenhouse. RDA, Suwon, Korea.
- Rural Research Institute (RRI). 2007. Development method of the future agriculture complex in reclaimed land. *Res. Rpt. Rural Research Institute. Korea Rural Community & Agriculture Corporation.* Ansan, Korea. p. 18.
- Seelig, B.D. 2000. Salinity and sodicity in North Dakota soils. North Dakota State University Extension Service.
- Shin, M.S. 2011. Floating Architecture Project and inner development in reclamation area of semangeum. *J. Arch. Inst. Kor.* 55(9):32-36 (in Korean).
- Sohn, Y.M., G.Y. Jeon, J.D. Song, J.H. Lee, and M.E. Park. 2009. Effect of spatial soil salinity variation on the growth of soiling and forage crops seeded at the Newly Reclaimed Tidal Lands in Korea. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 42(3):179-186 (in Korean).
- Vimala, P., Illias, M. K., Yeong, N. H., and Salbiah, H. 1997. Nutrient uptake studies on broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) grown on peat. *J. Trop. Agr. Food. Sci.* 25:9-14.
- Yuk, C.S., J.J. Kim., S.D. Hong and B.G. Kang. 1993. Salt accumulation in horticultural soils of PE film house in Chungbuk area. *Kor. J. Soil Sci. Fert.* 26(3):172-180 (in Korean).