



관개용수 염도수준에 따른 시설 상추 및 당근의 생육 영향 분석 Effects of Saline Irrigation Water on Lettuce and Carrot Growth in Protected Cultivation

전지혜* · 정한석*[†] · 김학관*

Jeon, Jihye · Jeong, Hanseok · Kim, Hakkwan

Abstract

The objectives of this study were to monitor and assess the effects of saline irrigation water on lettuce and carrot growth in protected cultivation. One control and 4 treatments with three replications, which were differentiated according to the level of salinity in irrigated water, were employed for each vegetable to assess the effects of the irrigation with saline water. Monitoring results showed that the use of irrigation water containing above a certain level of salinity was found to cause excessive accumulation of salts in the soil as saline irrigation water increased electrical conductivity (EC) and sodium (Na^+) content in both lettuce and carrot soil samples, while tap water irrigation used as control decreased the salinity in the samples. The salinity higher than the threshold level of irrigation water was found to reduce the yields of lettuce and carrot, while in less than the threshold level the higher the salinity of the irrigation water increased the yields. The salinity of the irrigation water also appeared to increase the internal salinity of the plant as the Na^+ content in plant increased as the salinity of irrigation water increase. Increased Na^+ content was analyzed to be able to increase the sugar content in carrot. This study could contribute to suggest water quality criteria for safe use of saline water in protected cultivation, although long-term monitoring is needed to get more representative results.

Keywords: salinity; irrigation water quality; lettuce; carrot; protected cultivation

1. 서론

작물생육에 큰 영향을 미치는 영농환경의 영향을 최소화하기 위해 시설재배방법이 광범위하게 이용되고 있다. 전세계적으로 시설재배를 통한 작물생산은 증가추세에 있으며 온실면적이 405,000 ha에 이르는 것으로 추정되고 있다 (FAO, 2013). 우리나라의 시설작물 재배면적은 2013년 현재 86,795 ha이며, 시설채소용 온실면적은 60,226 ha, 화훼용 온실면적은 2,674 ha으로 시설재배가 활발히 이루어지고 있다 (MAFRA, 2014). 특히, 농림축산식품부는 미처분상대 및 공사 시행 중인 간척지 12개 지구에 대해 지구별 특성화 방향과 용도별 면적을 설정한 대규모 간척지 활용 기본구상을 통해 화옹, 시화, 석문, 이원, 남포, 고흥, 영산강, 그리고 새만금 간척지에 대해 첨단수출원예단지 3,000 ha, 일반원예단지 2,185 ha 등 총 5,185 ha의 시설재배지 조성을 고시한 바 있다 (MAFRA, 2010).

간척지와 같은 염해우심지역은 토양 및 관개용수의 염도 문제로 인해 채소작물 등 염해에 민감한 작물의 재배가 어렵다 (Lee et al., 2008). 농업용수로서 적합한지를 결정하는 중요한 수질 항목인 염분은 작물의 생육을 저해하거나, 말라 죽게 하는 요소이다 (Grattan, 2002). 높은 염분은 토양수분포텐셜을 낮추어 작물이 수분과 영양분을 흡수하기 어렵게 만듦으로써 작물의 생산성을 저하시키기 때문에 1950년대부터 농업용수 수질의 적합성을 판단하는 가장 중요한 항목으로 사용되고 있다 (Beltran, 1999; Bauder et al., 2011). 따라서 상당수준의 염분이 포함된 관개용수를 사용할 경우 대상작물의 내염성을 평가하고 적절한 관리방안을 마련할 필요가 있다.

관개용수의 염도수준에 따른 채소작물의 내염성에 대한 연구가 다양한 작물을 대상으로 수행된 바 있다 (Singh et al., 1992; Shannon and Grieve, 1999; Tedeschi and Dell'Aquila, 2005). Bustan et al. (2004)는 이스라엘에서 1992년부터 1997년까지 6년 동안의 감자생육 실험을 통해 염분을 포함한 관개용수의 감자 수확량에의 영향을 조사하였으며, 감자의 수확량은 관개용수 중 염분 농도의 영향뿐만 아니라 장기간의 무더위와 같은 기후와의 상호작용의 영향도 큰 것으로 평가하였다. 또한, Food and Agriculture Organization (FAO)에서는 채소작물의 내염성 실험결과로부터 채소작물별 관개용수의 염도 임계치 (threshold)와 염도 수준에 따른 예상되는 수

* Institute of Green Bio Science and Technology, Seoul National University

† Corresponding author

Tel.: 033-339-5816 Fax: 033-339-5830

E-mail: jeonghanseok@gmail.com

Received: July 10, 2015

Revised: July 14, 2015

Accepted: July 15, 2015

확률을 제시한 바 있으며, 채소작물이 재배되는 기후와 토양 등의 영농조건에 따라 다른 생육반응을 보일 수 있음을 언급한 바 있다 (FAO, 1994). 우리나라의 경우 작물의 염해에 대한 연구가 많이 수행되지 않았으며, 수행된 연구의 경우에도 벼와 보리 등과 같은 곡류작물 위주의 연구가 수행된 바 있다 (Shim et al., 1998). 시설재배지의 경우, 일반 노지와 달리 온실 피복재에 의한 강수의 차단으로 관개용수 중 염분의 토양 축적이 용이하고 작물의 증산활동을 포함한 작물생육환경에 차이가 있기 때문에 (FAO, 2013), 관개용수의 염도 수준에 대한 별도의 작물생육실험이 필요하다.

본 연구에서는 우리나라 시설재배지에서의 관개용수 염도 수준에 대한 수질규범 (criteria)을 제안하기 위해 우리나라 시설재배지에서 널리 재배되고, 관개용수 염도수준에 상대적으로 민감한 상추와 당근을 대상으로 시설재배지에서의 관개용수 염도수준에 따른 작물의 생육반응을 조사 및 분석하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험설계

서울대학교 평창캠퍼스 내 유리온실실험장 (37°32'51"N, E128°26'26"E)에 관개용수 염도수준에 따른 작물생육을 조

사 및 분석하기 위해 상추 (*Lactuca sativa* L.)와 당근 (*Daucus carota* L.)을 대상으로 각 대상작물별 5처리구 3반복의 실험 설계를 실시하였다. 유리온실실험장의 대상작물 생육기간(3월~6월)에 대한 작물생육환경은 평균기온 31.3 °C, 평균상대습도 21.9 %로 나타났다(Fig. 1). 대상작물의 각 개체는 시장에서 판매하는 상토인 (주)서울바이오의 바로커를 사용하여 파종하였다. 실험화분의 흙으로 사용한 상토는 충분한 영양물질과 높은 유기물함량을 보였으며, 일반토양보다 높은 수준의 electrical conductivity (EC) 값을 나타내는 것으로 분석되었다(Table 1).

관개용수의 실험 염도수준은 수돗물을 사용한 대비구 (TR#01)와 FAO (1994)의 작물별 수질지침을 고려하여 염화나트륨 (NaCl)을 사용하여 제작한 대상작물별 4개 처리구 (TR#02, TR#03, TR#04, TR#05)로 구성하였다. 관개용수는 작물생육 상황을 고려하여 필요 시 비커를 사용하여 모든 실험포트에 동일하게 관개하였으며 관개수질은 EC측정기 (HI-98192)를 사용하여 매주 처리구별 EC를 측정하였다. 관개용수 제작시기에 모든 처리구에 대한 관개용수 수질분석은 서울대학교 농생명과학공동기기원 (NICEM, national instrumentation center for environmental management)에 의뢰하여 수질오염공정시험기준 (환경부, 2014)으로 실시하였다. 수질분석은 total nitrogen (T-N), total phosphorus (T-P), Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, biochemical oxygen demand (BOD),

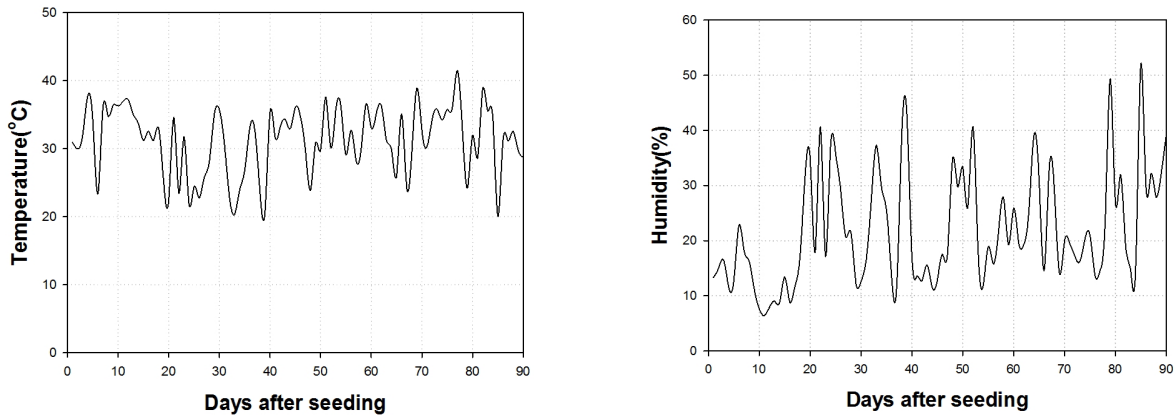


Fig. 1 Daily temperature and humidity in the glasshouse

Table 1 Physical and chemical properties of the control soil in the experimental plots

Treatments	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture class	pH (1:5)	Electrical conductivity (EC) (dSm ⁻¹)	Cation exchange capacity (CEC) (cmolkg ⁻¹)	Total nitrogen (T-N) (%)	Total phosphorus (T-P) (mgkg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mgkg ⁻¹)	O.M (%)	Exchangeable cation (mgkg ⁻¹)			
												Ca	Mg	Na	K
Control	49.6	33.8	16.6	loam	5.6	8.5	73.2	0.596	1676.0	1521.5	65.5	4534.8	1935.5	1042.1	5478.8

Table 2 The analysis results of irrigation water quality for each treatment

Treatments	pH (1:5)	Dissolved oxygen (DO) (mgL ⁻¹)	Biochemical oxygen demand (BOD) (mgL ⁻¹)	Chemical oxygen demand (COD) (mgL ⁻¹)	Total nitrogen (T-N) (mgL ⁻¹)	Total phosphorus (T-P) (mgL ⁻¹)	Suspended solids (SS) (mgL ⁻¹)	Exchangeable cation (mgL ⁻¹)			
								Ca	Mg	Na	K
L-TR#01	7.5	11.1	0.5	0.8	4.7	ND*	ND	36.7	6.4	6.4	1.6
L-TR#02	7.9	10.5	0.7	0.9	4.6	0.011	1.0	36.4	6.3	73.1	2.2
L-TR#03	7.9	10.6	0.6	0.8	4.5	0.012	2.0	36.2	6.3	107.3	2.1
L-TR#04	8.0	10.3	0.6	0.7	4.5	0.010	1.5	36.2	6.3	150.6	2.1
L-TR#05	8.0	10.6	0.6	0.6	4.5	0.013	1.5	36.3	6.3	193.0	2.1
C-TR#01	7.8	10.2	0.6	0.8	4.5	0.015	ND	36.5	6.3	7.0	1.6
C-TR#02	7.9	10.3	0.5	0.6	4.5	0.020	1.0	36.0	6.3	40.2	2.0
C-TR#03	7.9	11.6	0.5	0.7	4.4	0.009	1.0	36.2	6.3	69.7	2.1
C-TR#04	7.9	10.3	0.7	0.8	4.5	0.008	1.5	36.2	6.3	108.3	2.1
C-TR#05	7.9	10.6	0.7	0.9	4.5	0.014	1.0	36.3	6.3	139.2	2.1

* ND indicates not detected

chemical oxygen demand (COD), suspended solid (SS), dissolved oxygen (DO) 그리고 pH 등 11개 항목을 대상으로 실시하였다.

상추는 8주 동안 재배하였으며, 재배기간 내 관개용수 공급 횟수는 포트당 27회, 총 관개용수량은 포트당 9.2 L로 측정되었다. 포트 상추 생육기간동안 EC 측정결과 대조구 L-TR#01는 평균 0.3 dSm⁻¹로 나타났으며, 처리구는 염도 임계수준 전후로 각각 0.7 dSm⁻¹ (L-TR#02), 0.9 dSm⁻¹ (L-TR#03, FAO 임계수준), 1.1 dSm⁻¹ (L-TR#04), 그리고 1.4 dSm⁻¹ (L-TR#05)로 관개용수 염도수준을 조절하였다. 상추의 처리구별 관개용수 수질은 Na⁺를 제외한 항목에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다 (Table 2).

당근은 12주 동안 재배하였으며, 재배기간 내 관개용수 공급 횟수는 포트당 44회, 총 관개용수량은 포트당 17.2 L로 측정되었다. 포트 당근 생육기간동안 EC 측정결과 대조구 C-TR#01는 평균 0.3 dSm⁻¹로 나타났으며 처리구는 염도 임계수준 전후로 각각 0.5 dSm⁻¹ (C-TR#02), 0.7 dSm⁻¹ (C-TR#03, FAO 임계수준), 0.9 dSm⁻¹ (C-TR#04), 그리고 1.1 dSm⁻¹ (C-TR#05)로 관개용수 염도수준을 조절하였다. 상추에 대한 관개용수 수질에서와 같이 당근의 처리구별 관개용수 수질도 Na⁺를 제외한 항목에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다 (Table 2).

2. 모니터링 및 분석방법

처리구별 토양환경을 조사하기 위하여 수확 후 각 처리구별 토양을 샘플링하여 분석하였다. 토양성분 분석항목은 유

기물함량, T-N, T-P, P₂O₅, EC_e, cation exchange capacity (CEC), Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, 그리고 pH 등 11개 항목을 대상으로 하였으며, 서울대학교 농생명과학공동기기원 (NICEM)에 의뢰하여 ASA (american society of agronomy)와 SSSA (soil science society of america) 토양분석방법 (Chapman and Pratt, 1961)을 준용하여 토양성분을 분석하였다

작물생육조사는 매주 모든 포트를 대상으로 실시하였다. 상추의 경우 엽수, 엽장, 엽폭에 대해 실시하였으며, 당근의 경우 엽수와 엽장에 대해 실시하였다. 또한, 작물수확 후 모든 작물의 개체에 대해 생체중량을 조사하였다. 상추의 경우 전체중량과 뿌리를 제외한 상부 생체중량에 대해 조사 및 분석하였으며, 당근의 경우 전체중량과 상부를 제외한 뿌리부분의 생체중량, 근장에 대한 조사 및 분석을 실시하였다.

관개용수 중 염분에 따른 식물체 내 집적 등의 영향을 파악하기 위하여 수확한 상추와 당근을 대상으로 염분 성분을 대변할 수 있는 Na⁺에 대해 NICEM에 의뢰하여 토양 및 식물체 분석법 (RDA, 2000)을 준용하여 분석하였다. 또한, 당근의 경우 염도수준에 따른 당도영향을 파악하기 위하여 당도계 (Master-a)를 사용하여 수확한 당근을 대상으로 현장에서 분쇄하여 여과한 뒤 개체별 당도를 측정하였다.

자료분석은 처리구당 3반복 실험값에 대한 평균값을 이용하여 분석하였으며, 처리구별 작물생육의 통계적 유의성을 검증하기 위하여 IBM SPSS Statistics 21.0 (SPSS, Inc., 2012)을 이용하여 Duncan의 다중범위검정 p≤0.05 수준으로 각 처리구를 비교 및 분석하였다.

Table 3 Chemical properties of treatment soil of lettuce pot after harvesting

Treatments	pH (1:5)	Electrical conductivity (EC) (dSm ⁻¹)	Cation exchange capacity (CEC) (cmolkg ⁻¹)	Total nitrogen (T-N) (%)	Total phosphorus (T-P) (mgkg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mgkg ⁻¹)	O.M (%)	Exchangeable cation (mgkg ⁻¹)			
								Ca	Mg	Na	K
L-TR#01	5.0	6.4	77.3	0.601	687.5	277.5	59.8	4719.4	1265.5	531.3	1620.4
L-TR#02	5.2	12.4	90.3	0.614	1066.4	605.1	59.7	4727.4	1383.6	1461.5	2014.5
L-TR#03	5.2	15.2	83.5	0.556	639.7	354.8	58.7	4844.4	1401.5	2151.8	1846.1
L-TR#04	5.1	20.5	79.7	0.509	686.6	405.1	64.8	4870.2	1427.5	2408.8	1957.3
L-TR#05	5.3	20.2	78.4	0.600	719.0	315.4	54.3	4238.7	1129.8	2805.6	1694.2

III. 결과 및 고찰

1. 상추생육조사

가. 토양환경

상추 수확 후 처리구별 토양의 화학적 성분 분석결과, EC의 경우 관개용수의 처리구 염도가 높아질수록 값이 높은 경향을 보였으며, L-TR#04 (20.5 dSm⁻¹)에서 가장 높게 나타났다. L-TR#04와 L-TR#05 토양의 EC 값은 토양 내 일정수준의 염분축적이 이루어지면 관개용수의 염도수준에 의해서 토양 내 전기전도도 증가폭이 둔화되거나 감소할 수도 있는 것을 의미한다. 또한, 상추재배의 적정 토양 염분 농도가 EC를 기준으로 2.0 dSm⁻¹ 이하임을 감안할 때 (RDA, 2010), 상추 수확 후 분석한 토양의 염도수준은 모든 토양이 상추재배에 부적합한 것으로 나타났다. 치환성 양이온 Na⁺의 경우 염도가 높을수록 토양축적이 일어나 L-TR#05 (2805.6 mgkg⁻¹)에서 대조구인 L-TR#01 (531.3 mgkg⁻¹)에 비해 5배 가량 높은 값이 나타났으며 관개용수의 염도가 높아질수록 토양 내 Na⁺의 축적이 많이 일어나는 것으로 나타났다. 초기토양의 EC (8.5 dSm⁻¹)와 Na⁺ (1024.1 mgkg⁻¹) 값보다 L-TR#01 토양의 EC와 Na⁺ 값이 각각 6.4 dSm⁻¹와 531.3 mgkg⁻¹로 낮아진 것으로 분석되었으며, 이는 상대적으로 우수한 수준의 관개용수 사용이 토양의 염분 환경을 개선할 수 있는 것을 의미한다. 하지만, 적정수준 이상의 염분을 포함한 관개용수의 사용은 L-TR#02, L-TR#03, L-TR#04, 그리고 L-TR#05 토양의 화학적 성분결과에서와 같이 토양 내 과도한 염분축적을 야기할 수 있는 것으로 나타났다 (Table 3).

나. 작물생육

상추의 작물생육 조사결과, 시기별 처리구에 따른 엽수, 엽장, 그리고 엽폭의 변화는 유사하며, 처리구별 차이는 크지 않은 것으로 조사되었다 (Fig. 2). 수확 후, 처리구별 평균 엽수의 경우 L-TR#03 (24.0ea)이 가장 많았으며, 다음으로 L-TR#04 (23.7 ea), L-TR#01 (22.3 ea), L-TR#02 (21.3 ea),

L-TR#05 (21.0 ea) 순으로 나타났으나 처리구간 차이는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되었다 (P>0.05) (Table 4). 엽장과 엽폭 또한 L-TR#03에서 18.6 cm, 23.7 cm로 가장 크고, L-TR#05에서 18.3 cm, 22.4 cm로 다른 처리구에 비해 작게 나타났지만 처리구간 유의성은 없는 것으로 나타났다 (p>0.05) (Table 4).

다. 생체중량

처리수준에 따른 전체생체량 분석 결과 L-TR#03 (268.3 g)에서 다른 처리구에 비해 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며 (p<0.05), 나머지 4개의 처리구 사이에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다 (Table 4). 뿌리를 제외한 상체 생체중량은 L-TR#03 (249.7 g)에서 가장 높은 값이 나타났으며 L-TR#01 (217.3 g), L-TR#02 (229.7 g), 그리고 L-TR#05 (226.0 g)와 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 (P<0.05) (Table 4). 이상의 결과는 Andriolo et al (2005)와 Ünlükara et al (2008)의 연구결과에서와 같이, 관개용수 및 토양 내 염도수준이 상추의 수확량에 영향을 미치는 것을 의미한다. 다만, 본 연구에서 관개용수 및 토양 내 염도수준과 수확량의 비례관계는 관개용수의 염도 임계수준 (0.9 dSm⁻¹) 이상에서만 나타났으며, 임계수준 이하에서는 임계수준 이상에서보다 수확량이 감소할 수도 있는 것으로 분석됨에 따라 연속재배를 통한 장기간의 모니터링이 필요한 것으로 판단된다.

라. 식물체 성분조사

상추의 처리구별 식물체 Na⁺ 성분분석 결과 대조구인 L-TR#01 (3713.2 mgkg⁻¹) 대비 처리구의 염도수준이 높아질수록 식물체 내 Na⁺ 집적이 많이 일어나는 것으로 나타났다 (Table 4). Yang et al (1998)은 Na⁺농도가 일정수준 이상이 되면 상추 내의 흡수량이 제한되고 토양 내 축적이 이루어지는 것으로 보고한 바 있다. 하지만 본 실험에서의 염도수준 (0.3 ~ 1.4 dSm⁻¹)에서는 상추의 Na⁺ 흡수 적응성이 나타나지

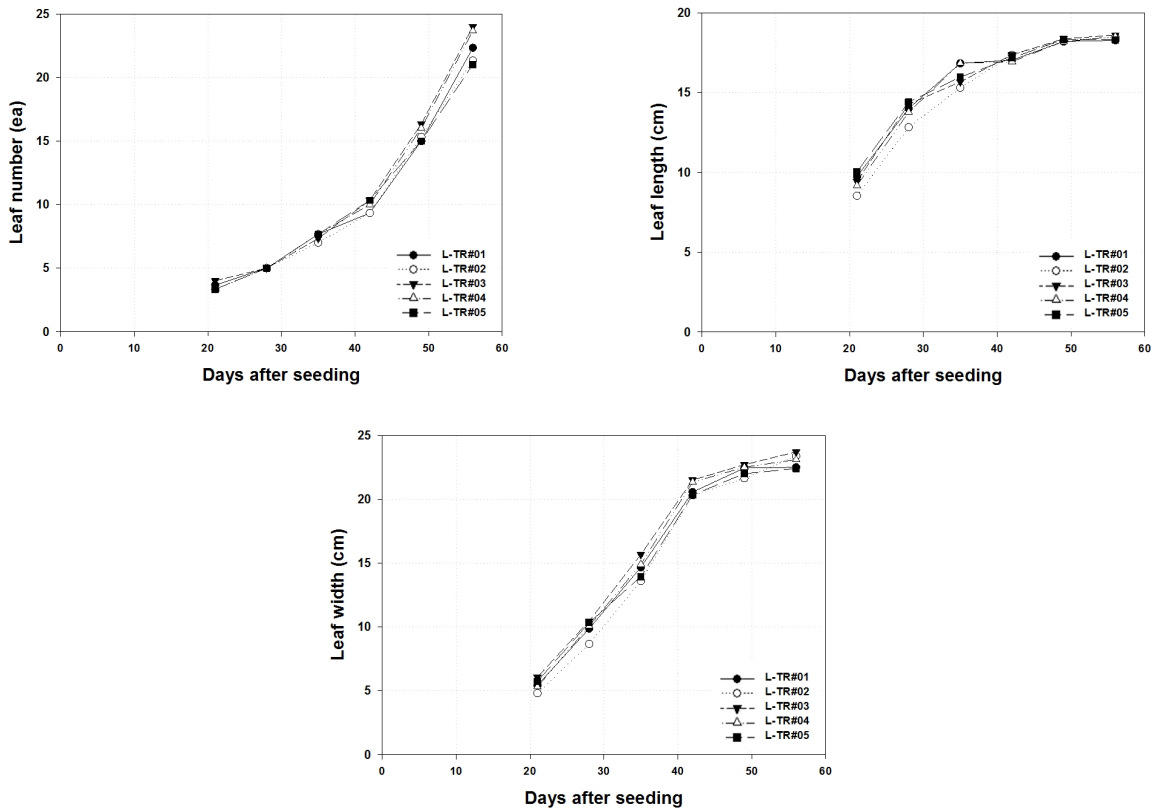


Fig. 2 Temporal changes of lettuce growths under the different salt levels of the irrigated water

Table 4 Growth characteristics and statistical analysis results of Lettuce

Treatments	Leaf number (ea)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Fresh weight(g)		Na ⁺ (mgkg ⁻¹)
				Total	Top	
L-TR#01	22,3±1,5abc*	18,3±0,3a	22,5±1,3a	241,0±12,0b	217,3±12,9c	3713,2±303,5c
L-TR#02	21,3±1,2bc**	18,5±0,2a	23,4±0,5a	250,7±1,5b	229,7±5,5bc	7872,3±1555,4b
L-TR#03	24,0±1,0a	18,6±0,6a	23,7±1,5a	268,3±6,5a	249,7±1,5a	9146,9±776,3b
L-TR#04	23,7±0,6ab	18,5±0,5a	23,1±1,2a	256,0±11,5ab	238,0±10,5ab	11030,6±875,3a
L-TR#05	21,0±1,7c	18,3±0,8a	22,4±0,9a	250,7±5,5b	226,0±7,9bc	12448,6±321,3a
F-value	3,396	0,229	0,743	4,245	6,078	42,490
p	0,053	0,916	0,584	0,029	0,010	0,000

* Mean separation by Duncan's multiple range test, 5 % level

** Mean±deviation (n=3)

않았으며, 다른 염도수준에서의 추가적인 실험을 통해 Na⁺의 상추 내 흡수량 제한의 검정이 필요할 것으로 판단된다.

2. 당근생육조사

가. 토양분석

당근 수확 후 처리구별 토양의 화학적 성분 분석결과 EC는 대조구 C-TR#01에서 5.4 dSm⁻¹로 나타났으며, 처리구 C-

TR#02는 10.7 dSm⁻¹, C-TR#03는 13.5 dSm⁻¹, C-TR#04는 23.7 dSm⁻¹, C-TR#05는 24.0 dSm⁻¹로 염도수준이 높아질수록 토양 내 EC 값이 높게 나타났다 (Table 5). 치환성 양이온 Na⁺ 또한 염도가 높을수록 염분의 토양축적이 많이 일어나 대조구인 C-TR#01 (703.7 mgkg⁻¹)보다 처리수준이 가장 높은 C-TR#05에서 (5281.2 mgkg⁻¹) 7.5배 가량 높은 값이 나타났다. 상추 재배실험에서와 같이 일정 수준이상의 염분집적 후

Table 5 Chemical properties of treatment soil of carrot pot after harvesting

Treatments	pH (1:5)	Electrical conductivity (EC) (dSm ⁻¹)	Cation exchange capacity (CEC) (cmolkg ⁻¹)	Total nitrogen (T-N) (%)	Total phosphorus (T-P) (mgkg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mgkg ⁻¹)	O.M (%)	Exchangeable cation (mgkg ⁻¹)			
								Ca	Mg	Na	K
C-TR#01	5.2	5.4	71.0	0.587	537.1	150.8	61.2	4855.1	1477.7	703.7	1924.1
C-TR#02	5.3	10.7	76.4	0.591	559.8	228.8	67.0	5700.9	1582.4	2122.3	1985.2
C-TR#03	5.2	13.5	89.9	0.585	434.4	216.0	68.2	5010.0	1218.1	3317.8	2232.5
C-TR#04	5.1	23.7	85.6	0.562	462.3	177.1	69.4	5306.5	1458.1	4990.0	2351.5
C-TR#05	5.2	24.0	82.5	0.568	555.0	247.1	64.9	4748.3	1197.1	5281.2	2005.7

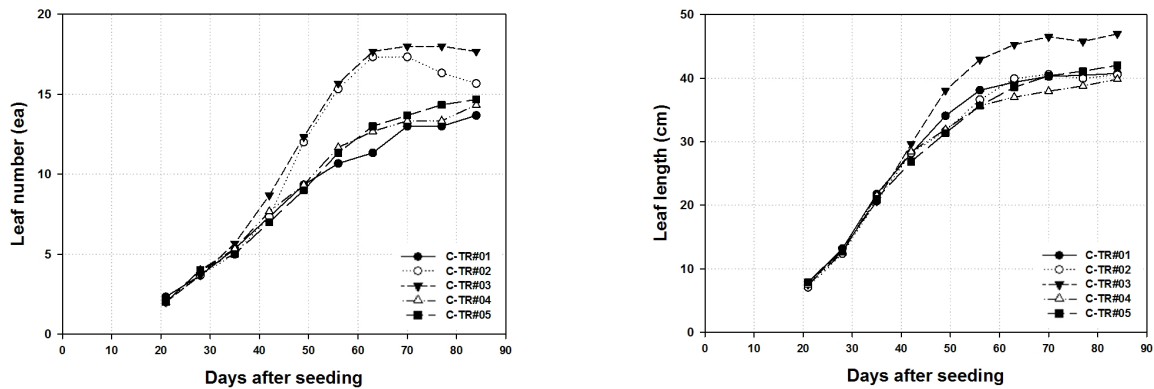


Fig. 3 Temporal changes of carrot growths under the different salt levels of the irrigated water

에는 관개용수의 염도수준에 따라서 토양 내 전기전도도의 증가가 제한될 수 있는 것으로 나타났으며, 양질의 관개용수 사용이 시설재배지 토양의 염분환경을 개선할 수 있는 것을 확인할 수 있다.

나. 작물생육

당근 재배기간에 따른 엽수 변화를 살펴보면 생육초기에는 처리구별 엽수 차이가 나타나지 않았지만 파종 후 50일 이후부터 처리구 간 생육차이가 뚜렷하게 나타났다 (Fig. 3). C-TR#02와 C-TR#03의 엽수가 다른 처리구에 비해 급증하는 경향을 보였으며, 수확 후 처리구별 평균 엽수는 C-TR#03 (17.7 ea)에서 가장 많게 나타났고 대조구인 C-TR#01 (13.7 ea)에서 엽수가 가장 적게 나타났으나 처리구간 유의성은 없는 것으로 나타났다 ($p>0.05$) (Table 6). 엽장 또한 생육초기에는 처리구별 차이가 나타나지 않았지만 생육기간이 지날수록 C-TR#03이 다른 처리구보다 높게 나타났으나 유의성은 없는 것으로 나타났다 ($p>0.05$). 수확 후 엽장은 C-TR#03 (47.0 cm)에서 가장 길게 나타났으며 C-TR#04 (39.8 cm)에서 가장 짧게 나타났다 (Table 6). 처리구별 뿌리 근장 분석 결과 C-TR#02 (13.1 cm)와 C-TR#05 (16.2 cm)에서 낮게 나타

났으며, 다른 처리구와 유의한 차이는 나타나지 않았다 ($p>0.05$) (Table 6).

다. 생체중량

뿌리포함 전체중량은 C-TR#02 (251.7 g)에서 가장 높게 나타났으며, C-TR#04 (204.0 g)에서 다른 처리구에 비해 낮게 나타났으나 유의한 차이는 나타나지 않았다 ($p>0.05$) (Table 6). 뿌리 생체중량 또한 유의한 차이는 나타나지 않았지만 ($p>0.05$), C-TR#02 (180.3 g)에서 다른 처리구에 비해 높은 값이 나타났으며, C-TR#04 (148.3 g)에서 가장 낮은 값이 나타났다 (Table 6). 관개용수의 염도수준에 따라 당근의 생육 및 수확량에 장애가 발생할 수 있으며, 임계수준 이상으로 염도수준이 높을수록 생육장애가 심해지는 것으로 알려져 있다 (Asres and Chaubey, 2014). 본 연구에서도 임계수준 이상의 염도수준에서는 관개용수의 염도가 높아질수록 당근의 수확량을 감소시키는 것으로 나타났으나, 임계수준 이하에서는 관개용수의 염도가 높아질수록 당근의 수확량이 증가하는 것으로 분석되었다. 따라서 상추 재배실험에서와 같이 추가적인 작물생육실험을 통해 임계수준을 전후한 작물생육 반응을 장기간에 걸쳐 모니터링할 필요가 있으며, 일정수준의

Table 6 Growth characteristics and statistical analysis results of Carrot

Treatments	Leaf number (ea)	Leaf length (cm)	Root (cm)	Fresh weight(g)		Na ⁺ (mgkg ⁻¹)	Sugar contents (Brix%)
				Total	Root		
C-TR#01	13.7±2.1a*	40.7±3.3a	17.3±1.9a	13.7±2.1a	40.7±3.3a	2572.8±77.1b	8.2±1.0a
C-TR#02	15.7±3.8a**	40.5±3.5a	17.3±1.0a	15.7±3.8a	40.5±3.5a	4469.6±685.6b	8.1±1.0a
C-TR#03	17.7±8.1a	47.0±8.2a	17.4±1.5a	17.7±8.1a	47.0±8.2a	5662.2±2068.4ab	8.9±1.2a
C-TR#04	14.3±1.5a	39.8±4.2a	13.1±4.8a	14.3±1.5a	39.8±4.2a	5533.7±1438.9ab	9.6±0.5a
C-TR#05	14.7±0.6a	42.0±2.6a	16.2±2.3a	14.7±0.6a	42.0±2.6a	8161.9±2769.5a	10.0±1.2a
F-value	0.414	1.079	1.448	0.414	1.079	4.269	2.148
p	0.795	0.417	0.289	0.795	0.417	0.029	0.149

* Mean separation by Duncan's multiple range test, 5 % level

** Mean±deviation (n=3)

관개용수 및 토양의 염분이 작물생육에 긍정적인 영향을 미칠 수 있는지에 대한 추가적인 연구도 필요하다.

라. 식물체 성분조사

당근의 처리구별 식물체 Na⁺ 성분 분석 결과 C-TR#05 (8161.9 mgkg⁻¹)에서 가장 높게 나타났으며, C-TR#02 (4469.6 mgkg⁻¹), C-TR#01 (2572.8 mgkg⁻¹)에서 낮게 나타나면서 C-TR#05와 C-TR#01 및 C-TR#02간 유의한 차이를 보였다 (p<0.05) (Table 6). 전반적으로 당근의 Na⁺ 성분함량은 관개용수의 염도수준이 높을수록 증가하는 경향을 보였다 (Table 6). 관개용수 염도수준에 따른 당도 분석결과 C-TR#05 (10.0 Brix%)에서 가장 높게 나타났으며 염도가 높아질수록 당도가 높아지는 경향이 있는 것으로 나타났으나, 처리구간 유의한 차이는 없는 것으로 분석되었다 (p>0.05) (Table 6).

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 관개용수 염도수준에 따른 시설 상추 및 당근의 생육 영향을 평가하고자 각 작물별 관개용수 염도수준을 상추의 경우 0.3, 0.7, 0.9, 1.1, 1.4 dSm⁻¹, 당근의 경우 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.1 dSm⁻¹로 조절하여 생육조사를 실시하였다. 작물별 대조구와 4개의 처리구를 대상으로 토양환경, 생육, 생체중량 그리고 식물체 성분에 대한 조사 및 분석이 이루어졌다.

1. 상추의 토양환경 조사분석 결과, EC 농도는 관개용수의 처리구 염도가 높아질수록 값이 높은 경향을 보였으며 L-TR#04에서 가장 높게 나타났다. 치환성 양이온 Na⁺의 경우 염도가 높을수록 토양축적이 일어나 염도수준이 가장 높은 L-TR#05에서 대조구인 L-TR#01보다 5배 가량 높은 값이 나타났다.

2. 상추 생육조사 결과, 시기별 처리구에 따른 엽수, 엽장, 그리고 엽폭의 변화는 유사하며 처리구별 차이가 크지 않은 것으로 조사되었다. 수확 후 처리구별 평균 엽수는 0.9 dS/m⁻¹ (L-TR#03) 염도수준에서 가장 많았으며, 엽장과 엽폭 또한 L-TR#03에서 가장 크게 조사되었지만 다른 처리구간 유의성은 나타나지 않았다. 전체 및 상체 생체량 분석 결과, L-TR#03에서 다른 처리구에 비해 높은 생체량이 나타났으며 다른 처리구와 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

3. 상추의 식물체 Na⁺ 성분분석 결과 대조구인 L-TR#01 대비 처리구의 염도수준이 높아질수록 식물체 내 Na⁺ 집적이 많이 일어나는 것으로 나타났다.

4. 당근 토양환경 분석결과, EC의 경우 염도처리수준이 높아질수록 토양 내 EC 값이 높은 경향을 보였으며 C-TR#05에서 가장 높게 나타났다. 치환성 양이온 Na⁺ 또한 염도가 높을수록 염분의 토양축적이 많이 일어나 대조구인 C-TR#01 보다 처리수준이 가장 높은 C-TR#05에서 7.5 배 가량 높은 값이 나타났다.

5. 당근 생육조사 결과, 파종 후 50일 이후부터 처리구 간 생육 차이가 뚜렷하게 나타났으며 C-TR#02와 C-TR#03이 다른 처리구에 비해 생육이 급증하는 경향을 보였다. 처리구별 근장 분석결과 C-TR#04에서 가장 낮게 나타났으며 다른 처리구들은 비슷한 수준으로 나타났다. 처리구간 유의성은 나타나지 않았지만 0.7 dSm⁻¹ (C-TR#03) 염도수준에서 생육이 가장 활발하게 일어나는 것으로 나타났다. 생체량 분석 결과 전체중량과 뿌리중량은 C-TR#02에서 가장 높게 나타났으며 C-TR#04에서 가장 낮은 값이 나타났다.

6. 당근의 식물체 Na⁺ 성분분석 결과 염도수준이 가장 높은 C-TR#05에서 가장 높은 Na⁺ 값이 나타났으며, C-TR#02와 C-TR#01은 낮게 나타나면서, 세 처리구간 유의한 차이를 보였다. 당도분석결과 관개용수의 염도가 높을수록 당

도가 높아지는 경향이 있는 것으로 분석되었다.

본 연구를 통해 실시한 관개용수 염도 수준에 따른 시설 상추 및 당근의 생육 영향 조사 결과는 해당 작물에 대한 시설재배지에서의 관개용수 염도수준 수질지침 마련을 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 관개용수 및 토양 내 염도수준과 작물생육의 비례관계가 관개용수 염도 임계수준 이상에서만 나타남에 따라 보다 과학적인 수질지침을 제안하기 위해서는 연속재배를 통한 장기간의 생육 모니터링이 필요하다.

사 사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 농생명산업기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (과제번호 114060-3).

REFERENCES

- Andriolo, J. L., G. L. Luz, M. H. Witter, R. S. Godoi, G. T. Barros, and O. C. Bortolotto, 2005. Growth and yield of lettuce plants under salinity. *Horticultura Brasileira* 23(4): 931-934.
- Asres, Y. H and A. K. Chaubey, 2014. Cumulative Effect of Saline Water on Carrot Production from Farmlands of Yebrage Hawariat, East Gojjam, Ethiopia. *Journal of Food Science and Technology* 6(6): 761-767.
- Bauder, T. A., R. M. Waskom, P. L. Sutherland, and J. G. Davis, 2011. Irrigation Water Quality Criteria. Colorado State University, Fort Collins, CO, Col-orado State University Extension no. 0.506 <http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/00506.html> (accessed in 06-10-2015).
- Beltran, J. M., 1999. Irrigation with saline water: benefits and environmental impact. *Agricultural Water Management* 40: 183-194.
- Bustan, A., M. Sagi, Y. D. Malach, D. Pasternak, 2004. Effects of saline irrigation water and heat waves on potato production in an arid environment. *Field Crops Research* 90: 275-285.
- Chapman, P. D., and P. F. Pratt, 1961. *Methods of analysis for soils, plants and water*. University of California: Division of Agricultural Sciences, CA.
- Food and Agriculture Organization (FAO), 1994. *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29. Available at: <http://www.fao.org/DOCRp/003/T0234e/T0234e00.htm>
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2013. *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops: Principles for Mediterranean climate areas*. FAO Plant Production and Protection Paper No. 217. Available at: <http://www.fao.org/docrep/018/i3284e/i3284e.pdf%3E>.
- Grattan, S. R., 2002. Rice is more sensitive to salinity than previously thought. *California Agriculture* 56(6): 189-195.
- Lee, S. B., C. O. Hong, J. G. Oh, J. Gutierrez, P. J. Kim, 2008. Effect of irrigation water salinization on salt accumulation of plastic film house soil around Sumjin river estuary. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 27(4): 349-355.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2010. Notification No. 2010-47 of the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), 2014. *Agriculture, Food and Rural Affairs Statistics Yearbook*, Sejong, Korea.
- Ministry of Environment, 2014. *Official test methods of water quality*, Sejong, Korea (in Korean)
- Rural Development Administration (RDA), 2000. *Methods of Analysis for Soils and Plants*, Rural Development Administration, Gyeonggi-do, Korea (in Korean).
- Rural Development Administration (RDA), 2010. *Recommended Rate of Fertilizer Application*. Rural Development Administration, Gyeonggi-do, Korea (in Korean).
- Shannon, M. C., and C. M. Grieve, 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Horticulturae* 78: 5-38.
- Shim, S. I., S. G. Lee, and B. H. Kang, 1998. Screening of saline tolerant plants and development of biological monitoring technique for saline stress. II Responses of emergence and early growth of several crop species to saline stress. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 17(2): 122-126.
- Singh, R. B., P. S. Minhas, C. P. S. Chauhan, and R. K. Gupta, 1992. Effect of high salinity and SAR waters on salinization, sodication and yields of pearl-millet and wheat. *Agricultural Water Management* 21: 93-105.
- SPSS, Inc., 2012. *SPSS: Version 21.0 for windows*.
- Tedeschi, A., R. Dell'Aquila, 2005. Effects of irrigation with saline waters at different concentration, on soil physical and chemical characteristics. *Agricultural Water Management* 77: 308-322.
- Ünlükara A., B. Cemek, S. Karaman, and S. Erşahin, 2008. Response of lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) to salinity of irrigation water. *New Zealand Journal Of Crop And Horticultural Science* 36(4): 265-273.
- Yang, J. S., I. B. Lee, K. D. Kim, K. R. Cho, and S. E. Lee, 1998. Effect of sodium Chloride Containing-composts on Growth of lettuce(*Lactuca sativa* L.) and Chemical Properties of Salt Accumulated Plastic Film House Soils. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 31(3): 277-284.