

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.4.482>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

## Yield and Antioxidant Activity of Vegetable Crops Under Salt Affected Greenhouse Soil in Saemangeum Reclaimed Land

Hyeonsoo Jang, Jong-Tak Youn, Seunghyun Ahu, Uk-Han Kim, Won-Yeong Choi, and Hui-su Bae\*

National Institute of Crop Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

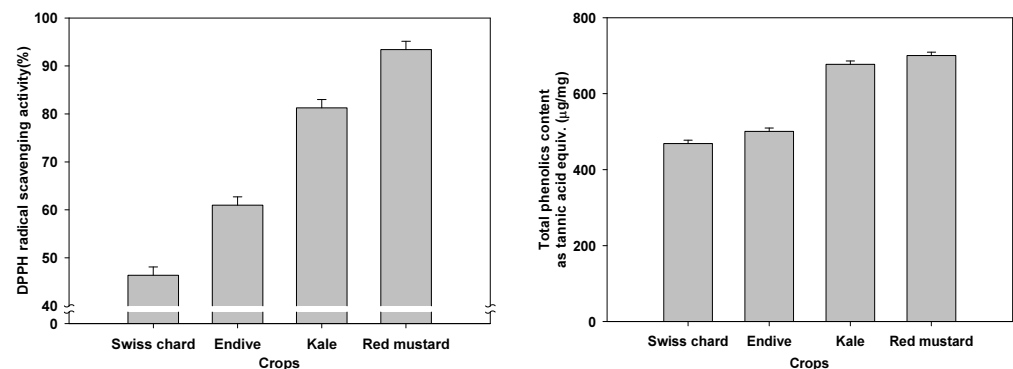
\*Corresponding author: [huisu81@korea.kr](mailto:huisu81@korea.kr)

### ABSTRACT

**Received:** September 17, 2018**Revised:** November 29, 2018**Accepted:** November 30, 2018

This study was conducted to examine the yield and antioxidant activity of vegetable crops under the salt affected greenhouse soil in order to evaluate the possibility of greenhouse farming in “Saemangeum reclaimed land”. Field experiment was conducted on a sandy loam soil and four different vegetable crops, Swiss chard (*Beta vulgaris L.*), Kale (*Brassica oleracea ver. acephala*), Red mustard (*Brassica juncea L.*), and Endive (*Cichorium endivia L.*) were cultivated. In the third year of the experiment, the soil salinity dramatically increased up to 23.5 dS m<sup>-1</sup> from 2.2 dS m<sup>-1</sup> in the first year of the experiment due to the resalinization of soil. The cumulative yield was 2,675 kg 10a<sup>-1</sup> (Endive) > 2,560 kg 10a<sup>-1</sup> (Red mustard) > 1,819 kg 10a<sup>-1</sup> (Kale) > 1,795 kg 10a<sup>-1</sup> (Swiss chard). Yield was inversely correlated with soil salinity ( $R^2 = 0.71-0.77$ ) but the red mustard was not significantly correlated with soil salinity. Both DPPH free radical activity and total phenol content were higher with red mustard. K/Na<sub>leaves</sub> ratio as an indication of the salt tolerance was in the order of Red mustard > Endive ≥ Swiss chard ≥ Kale.

**Keywords:** Saemangeum reclaimed land, Vegetable crop, Yield, Antioxidant activity



Total Phenolics content and DPPH assay of vegetable crops in plastic film house at Saemangeum reclaimed land.



## Introduction

새만금간척지는 세계 최장의 방조제를 보유하고 있으며 그 길이가 33 km에 달한다. 전체 면적은 282.9 km<sup>2</sup>로 식량 생산기지 조성을 위해 1991년에 공사를 시작하여 2006년에 방조제 공사가 완료되어 현재 내부 공사가 진행중에 있다 (Shin, 2011). 특히 새만금간척지는 사양질 토양으로서 투수성이 양호하여 밭으로 이용하기 유리한 조건을 지니고 있으며 첨단 수출원예단지 조성 등으로 미래형 선진농업단지로 개발하기 위한 계획이 수립되어 있다.

세계적으로 간척사업은 국토가 좁은 한국, 네덜란드, 일본, 영국, 독일 등의 국가에서 국토면적을 확대하기 위하여 수행되었으나 국토면적이 넓은 중국에서도 간척사업을 진행하기도 한다 (Lee et al., 2006). 우리나라는 주로 서남해안 일대에 주곡인 쌀을 생산할 목적으로 조성되었다. 그러나 2000년대 산업화가 진전되면서 쌀 수요가 줄어들고 식량 수급의 불균형이 심화되면서 토지 이용 형태의 변화가 요구되고 있다. 따라서 토지이용의 다변화가 요구되고 있는 상황으로 간척지에서 벼 이외에 밭작물 재배와 더불어 소득작물 재배로 전환될 수 있는 토양 관리 기술이 필요하고 간척지 적응성이 높은 소득작물을 선발하여 간척지의 농업적 활용도를 높여야 한다.

서남해안에 분포하는 대부분의 간척지는 높은 염류농도와 낮은 토양유기물 함량으로 대부분 논으로 활용되고 있다. 그러나 제염기술과 염해 경감을 위한 작물 재배기술을 적용하면 밭작물을 충분히 재배할 수 있는 잠재력을 지니고 있다. 현재 과거 간척지였던 전북 김제시 광활면에서 재배되는 벼 후작 겨울하우스 감자 재배는 빠른 출하시기로 가격 경쟁력을 확보하고 있으며 국내 감자 생산량의 많은 부분을 차지하고 있다. 또한 간척지에서 재배된 작물은 바닷물로부터 유래한 미네랄 성분이 풍부하고 척박한 환경에서 자라기 때문에 특수 기능성 물질이 일반농경지 재배 작물보다 많을 것으로 예상되어 기능성 강화에 중점을 둘 경우 충분히 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

국내 쌀 수입개방과 소비감소로 간척지에서 수도작 이외에 고소득 작물을 생산하기 위한 종합적인 연구를 수행하여 간척지의 농지 범용화에 대비하고 있다 (RRI, 2006). 기존 간척지에 대한 연구는 간척지 토양이화학성 변화연구의 기초조사 연구 (Lee et al., 2016)와 토양개량을 위한 제염기술 연구 (Ryu et al., 2010), 녹비작물 재배에 의한 토양개량효과 (Kang et al., 2014), 염에 의한 작물의 생육반응 (Son et al., 2009; Yeo et al., 2010) 등에 대한 연구를 수행하였다. 간척지에 대한 연구는 주로 벼에 대한 연구가 대부분이며 밭작물에 대한 연구는 토양의 재염화와 배수문제로 생육이 불량하여 연구가 많이 이루어지지 않고 있다. 특히 외부 강우가 차단된 비닐하우스를 이용한 작물재배에 대한 연구는 재염화의 위험성으로 토경재배가 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 또한 간척지는 지반이 연약하여 중량온실을 설치할 경우 기반작업에 시설비가 많이 소요되는 등 경제적인 측면에서도 불리한 여건을 지니고 있다. 따라서 본 연구는 새만금간척지에서 무게가 가벼운 비닐하우스를 이용하여 적절한 물 관리를 통한 재염화 억제와 토양 관리로 몇 가지 채소작물을 재배하고 작물별 생육반응, 항산화활성 및 토양이화학성 변화에 대한 연구결과를 소개하고자 한다.

## Materials and Methods

**시험포장 조성 및 토양특성** 본 시험은 전북 부안군 계화면에 위치한 국립식량과학원 새만금간척지 시험포장에서 수행하였다 (Fig. 1). 시험포장이 위치한 곳은 하해혼성층적토를 모재로 하는 문포통이었으며 미사의 함량이 높은 미사질양토로 투수성이 양호한 토양이었다. 재배 전 시험포장의 표토 (0-20 cm)에 대한 토양의 화학적 특성 결과는 Table 1과 같다. 토양의 전기전도도 (Electrical Conductivity, EC)는 2.2 dS m<sup>-1</sup>였으며 토양유기물 함량은 4.2 g kg<sup>-1</sup> 이하로 매우 낮았으며 나트륨함량이 높은 전형적인 간척지 토양이었다.

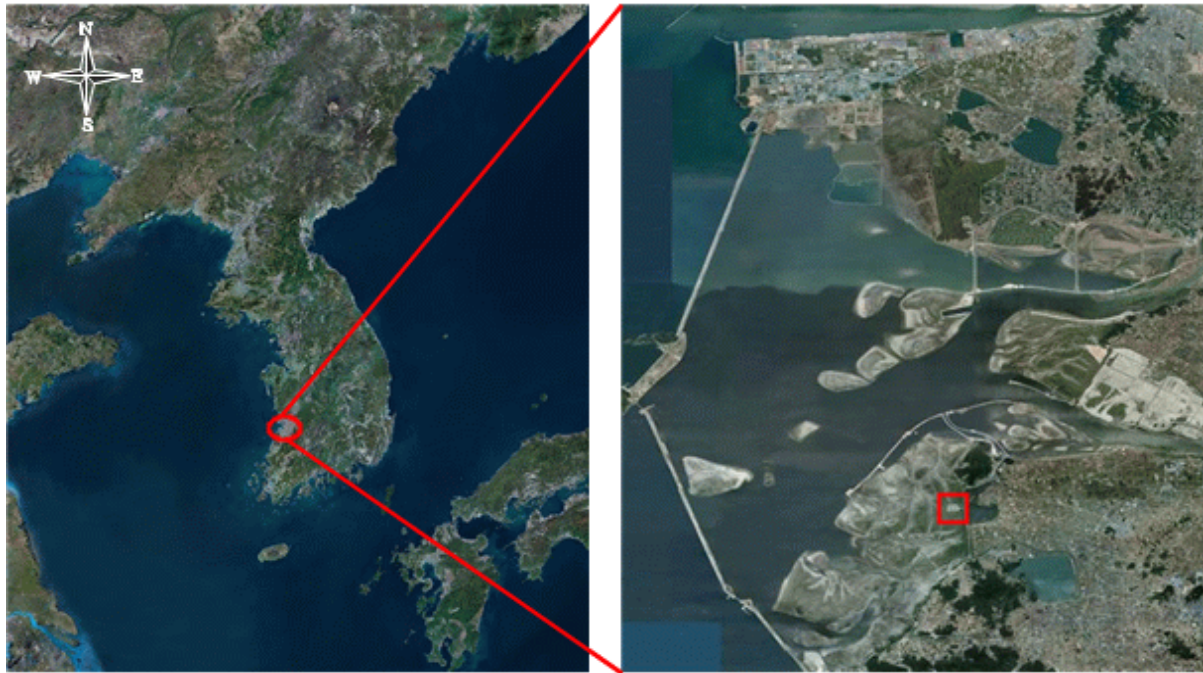


Fig. 1. Experimental site located in Saemangeum reclaimed land at west coast.

Table 1. Soil properties of this experimental field before crop cultivation.

pH	EC	SOM	T-N	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. cations (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )				Clay content	Soil texture
					K	Ca	Mg	Na		
6.6	2.2	4.4	0.39	143	1.93	1.5	2.7	5.4	3.2	Sandy Loam

**작물재배 및 관수처리** 시험작물은 200 m<sup>2</sup> 면적의 단동형 비닐하우스 3동을 이용하여 작물별로 3반복 난괴법으로 배치하여 재배하였다. 재배작물은 비닐하우스에서 주로 재배되는 적근대 (*Beta vulgaris L.*), 케일 (*Brassica oleracea ver. acephala*), 적겨자 (*Brassica juncea L.*) 및 엔다이브 (*Cichorium endivia L.*) 4개의 엽채류를 육묘이식재배 하였다. 이랑 폭은 120 cm로 하였으며 4월 하순 이식하여 7월 중하순에 작물별로 수확 적기에 수확하였다. 작물 재배 전 염해 경감을 위해 담수제염 후 점적공의 간격이 10 cm인 점적테이프를 이용하여 작물 이식 직후 점적관수 하였다. 점적관수량은 하루 단위 면적 기준 6.0 mm 수준으로 1일 1회 관수처리로 근권의 염을 제거하여 염해를 최소화 하였다. 작물별 비료살포 및 병해충 관리등 기타 재배관리는 농촌진흥청 주요원예작물 재배력 (RDA, 2007)에 준하여 수행 하였다.

**항산화활성측정** 항산화활성 분석을 위해 환류냉각법을 이용하여 동결건조분말 10 g에 80% ethanol 100 mL를 가한 후 3시간 동안 추출 한 다음 Whatman No. 2 여과지에 감압 여과하였다. 남은 잔사에 추출용매를 다시 가하여 얻은 여과액을 모두 합하여 감압농축 한 후 동결 건조하여 분말형태로 이용하였다. 총 페놀함량 측정은 Folin-Ciocalteu의 방법 (Richard-Forget et al., 1992)을 기준으로 96-well plate에 맞도록 변형하여 측정하였다. 추출물 25 μL에 Folin-Ciocalteu's reagent 500 μL를 첨가 한 후 5분간 반응 시킨 다음 7.5% sodium carbonate 500 μL를 첨가하여 30°C에서 90분간 다시 반응 시킨 후 이 반응액을 spectrophotometer (Varian Cary, UV-Vis spectrophotometer)를 이

용하여 725 nm에서 흡광도를 측정하였다. 검량선은 표준물질 tannic acid (Sigma Chemical Co. Germany)를 이용하여 작성하였다. DPPH free radical scavenging activity 항산화활성 측정은 Blois의 방법(Blois, 1958)을 변형하여 측정하였다. 각 식물체 추출물 20  $\mu$ L에 0.2 mM DPPH 용액 180  $\mu$ L를 첨가하여 암소에서 30분간 반응시킨 후 Spectrometer로 517 nm에서 흡광도를 측정 하였으며 대조구로 ascorbic acid (Sigma Chemical Co. Germany)를 이용하였다.

**토양 및 식물체 분석** 시험 전후에 채취한 토양은 풍건 후 분석용 시료로 이용하여 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법 (RDA, 2000)에 준하여 분석하였다. 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 탄소측정은 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 720 nm에서 비색 측정하였다. 치환성 양이온은 1N-NH<sub>4</sub>OAc (pH 7.0)로 추출한 후 추출한 액을 ICP-OES (Varian, Vista MPX-ICP)를 사용하여 정량 분석하였다.

식물체 분석은 각 작물별 수확기에 채취한 식물체 시료와 비간척지 대비 성분분석을 위해 시중에서 구입한 시료를 70°C 항온건조기에서 72시간 동안 건조 후 40 mesh 크기로 분쇄 후 습식분해 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)하였다. 분해 후 분해액을 여지에 여과 후 여과액을 이용하여 K, Ca, Mg 및 Na를 정량하였다. 작물별 생육 및 수량조사는 농촌진흥청 농업과 학기술 연구조사기준에 준하여 조사하였다 (RDA, 2012).

**토양 염 농도에 따른 수량반응** 토양 염 농도에 따른 작물별 생육반응을 알아보기 위해 작물별 생육정도를 육안으로 등급으로 나눠 구분하고 수확시기에 작물별로 10주씩 수확하여 생체중을 측정하고 동일지점에서 토양시료를 채취하여 토양 전기전도도를 측정하였다. 토양 염 농도와 작물별 생육의 상관관계는 SigmaPlot 10.0 (Antro, SPSS UK, Ltd)프로그램을 이용하여 토양 염 농도에 따른 수량반응 곡선을 이용하여 구하였다.

## Results and Discussion

**연차간 토양이화학성 변화** 새만금간척지 비닐하우스에서 3년간 작물을 재배하는 동안 토양의 화학성은 Table 2와 같다. 토양 EC는 재배 1년차 시험전 토양은 2.2 dS m<sup>-1</sup>였으나 3년차에 23.5 dS m<sup>-1</sup>까지 급격히 증가하였다. 이는 비닐하우스 내부는 외부 강우가 차단된 상태로 자연적인 재염이 이루어지지 않았으며 재염화 현상에 의해 염류의 상승과 연차가 지속적인 비료살포로 근권의 염류가 증가하였기 때문인 것으로 보인다. 또한 양이온 중 나트륨의 함량이 급격하게 증가하였는데 이는 바닷물의 영향으로 나트륨 함량이 높은 간척지의 토양과 지하수로부터 재염화에 의해 염류가 지속적으로 상승하여 나타난 현상으로 판단된다. Kang et al. (2013)은 국내 시설재배지 2,651지점의 토양 염 농도를 분석한 결과 2000년도에는 2.8 dS m<sup>-1</sup>에서 2008년도에는 3.7 dS m<sup>-1</sup> 증가하였다고 하였는데 이는 새만금간척지와 비교하였을 경우 상대적으로 낮은 수치이다. 또한 Jang et al. (2017)이 화옹간척지 노지에서 사료작물을 3년간 재배한 결과 재배 1년차에는 21.4 dS m<sup>-1</sup>였으나 재배 3년차에는 16.3 dS m<sup>-1</sup>로 다소 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 새만금간척지 비닐하우스 토양의 재염화 현상은 작물재배의 위험요인으로 작용하므로 간척지에서 비닐하우스를 이용하여 작물을 재배할 경우 재염화 여제를 위한 적절한 물관리가 반드시 수행되어야 염해에 의한 수량 감소를 최소화 할 수 있을 것이다.



**Table 2.** Change in chemical properties of plastic film house soil during experimental period at the Saemangeum reclaimed land.

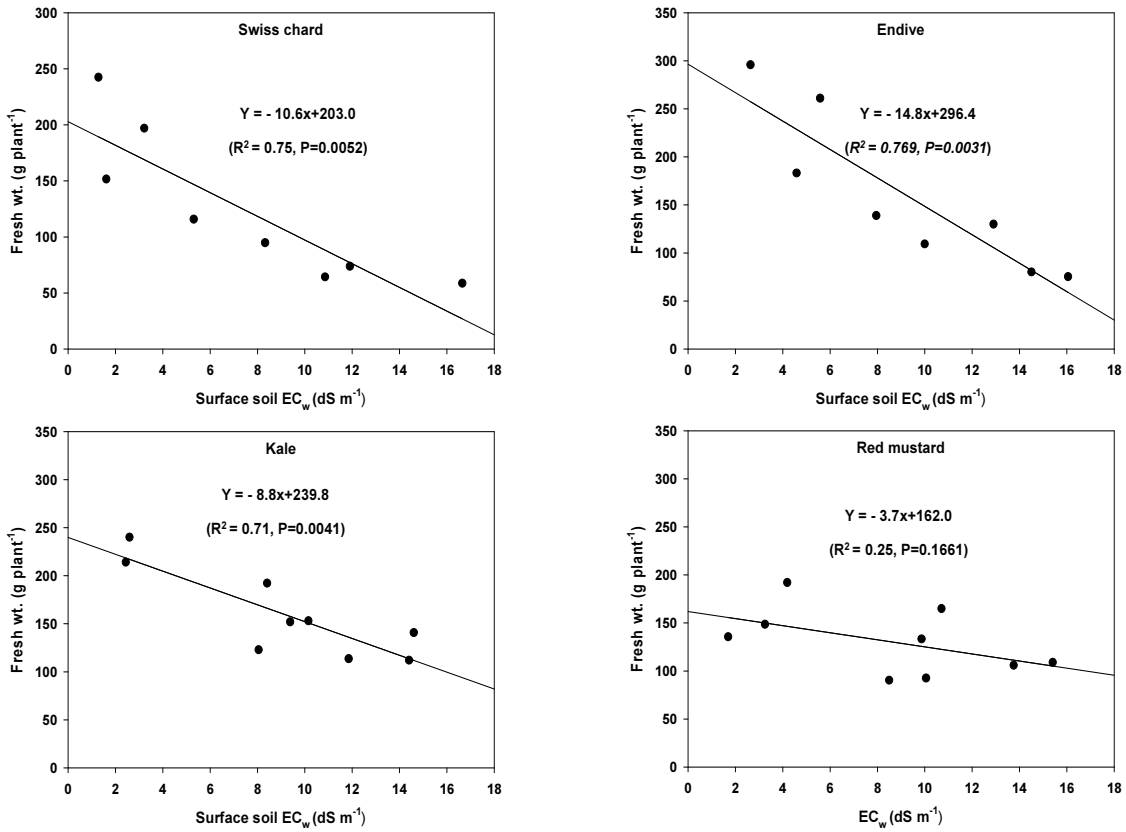
Year	pH (1:5)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	O.M (g kg <sup>-1</sup> )	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	Exch. cations (cmol <sub>e</sub> kg <sup>-1</sup> )			
					K	Ca	Mg	Na
2013	6.6	2.2	4.2	143	0.93	1.5	2.7	5.4
2014	6.4	6.4	6.0	604	2.66	5.3	5.7	7.8
2015	7.9	23.5	6.2	599	1.91	6.2	6.9	13.8

**Fig. 2.** Growth of vegetable crops in plastic film house at the Saemangeum reclaimed land (A, swiss chard; B, endive; C, kale; D, red mustard).

**작물수량 및 염 농도에 따른 수량반응** 새만금 간척지 2013년부터 2015년까지 3년간 비닐하우스에서 재배한 채소 작물별 생육 및 수량은 Table 3과 같다. 적근대, 엔다이브, 케일 및 적겨자의 생체수량은 각각 1,795, 2,675, 1,819, 및 2,560 kg 10a<sup>-1</sup>이었다. Lee (2003) 등은 간척지에서 채소작물을 재배하고 토양 염 농도 수준에 따른 작물별 생육반응을 분석한 결과 생육이 저해되기 시작하는 염 농도는 작물별로 1.0 에서 6.0 dS m<sup>-1</sup>까지 다양하였으며 작물 별로 내염성의 차이가 큰 것으로 보고하였다. 토양 염 농도에 따른 작물별 수량과의 상관관계를 알아본 결과는 Fig. 3 과 같다. 토양 염 농도와 작물별 생체중과의 결정계수 ( $R^2$ )는 0.71-0.77로 뚜렷한 부의 상관을 보였으나 적겨자의 경우 결정계수 ( $R^2$ )가 0.25로 비교적 낮게 나타났다. 이는 적겨자가 상대적으로 염해에 둔감하게 반응하는 것으로 다른 작물에 비해 내염성이 큰 것으로 판단된다. 따라서 새만금간척지의 투수성이 양호한 사질토양의 특성상 근권 부위의 염이 비교적 쉽게 제거되므로 내염성이 높은 작물을 선발하고 적절한 물관리가 이루어질 경우 어느 정도 작물 재배가 가능할 것으로 보인다. 그러나 부분적으로 관수가 적절히 이루어지지 않은 곳은 염해 피해로 생육이 매우 저조하였다. 그러므로 간척지 비닐하우스에서 작물을 재배하기 위해서는 반드시 토양염을 위한 정밀한 물 관리 기술이 요구되며 이에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

**Table 3.** Yield and growth of vegetable crops in plastic film house at the Saemangeum reclaimed land.

Crops	No. of leaves (ea plant <sup>-1</sup> )	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Fresh weight (kg 10a <sup>-1</sup> )
Swiss chard	28	18.2	9.1	1,795
Endive	109	13.5	6.2	2,675
Kale	21	17.1	11.6	1,819
Red mustard	20	21.0	11.8	2,560



**Fig. 3.** Relation between soil salinity and fresh weight of vegetable crops in plastic film house at the Saemangeum reclaimed land.

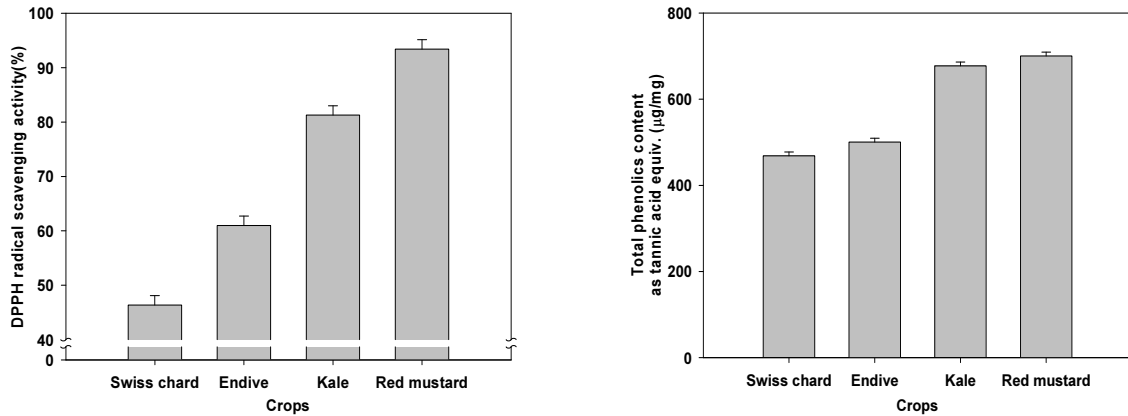
**식물체 무기성분 함량 및 K/Na ratio** 간척지 비닐하우스에서 채소작물을 재배한 후 작물별 무기성분 함량 특성과 일반적으로 알려진 내염성 지표계수인 K/Na ratio를 비교한 결과는 Table 4와 같다. 내염성이 높은 작물일수록 K<sup>+</sup>이온의 배출을 억제하고 Na<sup>+</sup>의 축적을 방해하여 높은 K/Na ratio 값을 유지하는 것으로 알려져 있다 (Shabala et al., 2008). 본 실험결과 적저자에서 Na<sup>+</sup>의 함량이 가장 낮게 나타나 다른 작물에 비해 Na<sup>+</sup>의 축적을 억제하는 능력이 큰 것으로 보이며 K/Na ratio 값 또한 3.33으로 그 값이 유의적으로 높게 4가지 시험작물 중에서 내염성이 가장 높은 것으로 판단된다.

**Table 4.** Inorganic content and K/Na ratio of vegetable crops in plastic film house at the Saemangeum reclaimed tidal land.

Crops	Ca	K	Mg	Na	K/Na ratio
	g kg <sup>-1</sup> dry wt				
Swiss chard	6.85d <sup>†</sup>	73.01a	10.28a	52.90a	1.45b
Endive	8.73c	47.06b	4.64c	30.11b	1.76b
Kale	19.50a	34.49c	6.15b	32.53b	1.23b
Red mustard	14.89b	54.50b	5.19c	18.19c	3.33a

<sup>†</sup>In the same column, significant differences according to Tukey’s HSD at P ≤ 0.05 levels are indicated by different letters after one way ANOVA.

**작물별 항산화활성** 간척지 비닐하우스에서 채소작물을 재배시 작물별 항산화 활성은 Fig. 4과 같다. 작물별 총 페놀함량은 적겨자>케일>엔다이브>적근대 순으로 적겨자에서  $700.5 \mu\text{g mg}^{-1}$ 로 가장 높은 함량을 나타내었다. 일반적으로 페놀성 화합물의 Hydroxyl group (-OH)은 불안정한 전자를 물로 환원하여 항산화, 항노화 등과 같은 다양한 생리활성을 나타내는데 이러한 항산화 활성이 높은 작물은 염 스트레스에 상대적으로 적응력이 우수한 것으로 알려져 있다 (Fridovich, 1978; Baier and Dietz, 1998; Kim et al., 2014). Mittal et al. (2012)의 연구결과에 의하면 적겨자는 염으로부터 산화스트레스를 줄이는 항산화 효소 시스템을 활용하여 항산화 효소의 활성이 높다고 하였는데 본 시험결과 다른 시험작물에 비해 적겨자의 항산화 활성이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 작물별 DPPH 소거활성 또한 적겨자가 가장 높게 나타났으며 총 페놀함량과 유사한 경향을 보였다. Choi et al. (2015)은 간척지에서 재배한 감자의 경우 일반농경지에서 재배한 감자보다 항산화 활성이 증진된 결과를 보였는데 이는 염 스트레스에 대한 작물의 생존전략으로 판단된다고 하였다. 본 시험에서는 일반농경지와 비교한 자료는 제시하지 못하였지만 유사한 경향을 보일 것으로 예상되며 향후 다양한 작물을 대상으로 면밀한 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 생각된다.



**Fig. 4.** Total phenolics content and DPPH assay of vegetable crops in plastic film house at the Saemangeum reclaimed land.

## Conclusions

새만금간척지 비닐하우스를 이용한 소득작물 재배 가능성 검토를 위해 4가지 채소작물을 점적관수를 통한 정밀 물 관리 기술을 적용하여 3년간 재배하고 작물별 수량과 항산화활성을 검정하였다. 시험기간 중 연차간 시험전 토양의 염 농도는 지속적으로 상승하여 1년차 4.2에서 시험 3년차에는  $23.5 \text{ dS m}^{-1}$ 까지 상승하여 간척지 비닐하우스 토양을 이용하여 작물을 재배할 경우 재염화에 의한 염해 방지를 위한 정밀한 물 관리 기술이 필요할 것으로 보인다. 또한 작물별 수량성은 물관리가 잘 이루어진 시험구의 경우 정상적으로 생육하였으나 부분적으로 물관리가 이루어지지 않은 곳은 염 피해로 생육이 매우 저조한 현상을 보였다. 일반적으로 내염성 지표계수인 K/Na ratio 값은 적겨자가 다른 작물에 비해 유의적으로 높게 나와 시험 작물 중 내염성이 상대적으로 가장 높은 것으로 나타났으며 항산화활성 또한 가장 높게 나타났다. 이는 염 스트레스에 의한 작물의 생존반응으로 보이며 일반농경지와 비교하여 기능성 강화에 중점을 두고 안정적인 수량 확보를 위해 정밀 물 관리 기술, 토양관리, 내염성작물 선발 등 간척지에 적합한 재배기술 개발에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01175904)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Baier, M. and K.J. Dietz. 1998. The costs and benefits of oxygen for photosynthesizing plant cells. *Prog. Bot.* 60:282-314.
- Blois, M.S. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature.* 181(4617):1199-1200.
- Choi, W.Y., K.M. Cho, S. Kim, J.H. Jeong, S.H. Lee, K.B. Lee, G.H. Lee, and K.H. Park. 2015. Effect of PE film mulching and irrigation method on the growth, yield and antioxidant activity for potatoes grown in winter season at Saemangeum reclaimed land. *Korean J. Crop Sci.* 60(1):63-69.
- Fridovich, I. 1978. The biology of oxygen radicals. *Science.* 201(4359):875-880.
- Jang, J.E., C.S. Kang, J.S. Park, J.M. Shim, H.D. Kim, and S.J. Kim. 2017. Effects of gypsum and fresh cattle manure on physico-chemical properties of soil and yield of forage crop in Hwaong Reclaimed Land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(1):31-39.
- Kang, J.G., S.H. Lee, K.B. Lee, K.D. Lee, G.H. Gil, J.H. Ryu, K.H. Park, S.H. Lee, H.S. Bae, S.A. Hwang, S.W. Hwang, H.K. Kim, and G.H. Lee. 2014. Effect of cultivation and application of green manure crop on soil physico-chemical properties in Saemangeum reclaimed tidal land. *The Korean Society of international Agriculture.* 26(1):54-61.
- Kang, S.S., A.S. Roh, S.C. Choi, Y.S. Kim, H.J. Kim, M.T. Choi, and S.H. Yang. 2013. Status and change in chemical properties of polytunnel soil in Korea from 2000 to 2012. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46(6):641-646.
- Kim, D.B., J.W. Oh, J.S. Lee, Y.H. Kim, I.J. Park, J.H. Cho, and O.H. Lee. 2014. Antioxidant activities of green and purple Kohlrabi juices. *Korean J. Food Sci. Technol.* 46(5):601-608.
- Lee, K.B., Xu, M., Kim, J.D., and K.Y. Jung. 2006. Soil characteristics and utilization on reclaimed land in Jangsu province coastal region of China. *J. Korean Soc. Int. Agric.* 18: 245-252.
- Lee, S.H., B.D. Hong, Y.U. An, and H.M. Ro. 2003. Relation between growth condition of six upland-crops and soil salinity in reclaimed land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(2):66-71.
- Lee, S.H., H.S. Bae, Y.Y. Oh, S.H. Lee, Y.J. Kim, S. Kim, J.H. Ryu, K.H. Jung, C.G. Lee, J.H. Kim, Y.D. Kim, W.Y. Choi, J.Y. Cho, K.B. Lee, K.H. Lee, and K.D. Park. 2016. Effect of sesbania incorporation as nitrogen source on growth and yield of whole crop barley and reduction of N fertilizer in Saemangeum reclaimed tidal land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(6):751-759.
- Mittal, S., N. Kumari, and V. Sharma. 2012. Differential response of salt stress on Brassica juncea: photosynthetic performance, pigment, proline, D1 and antioxidant enzymes. *Plant Physiol. Biochem.* 54:17-26.
- RDA (Rural Development Administration). 2000. Method of soil and plant analysis. RDA, Suwon, Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2007. Major horticultural crops calendar. RDA, Suwon, Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2012. Analysis standards for the research investigation of agricultural science and technology. RDA, Suwon, Korea.
- Richard-Forget, P.M., F.C. Goupy, and J.J. Nicolas. 1992. Cysteine as an inhibitor of enzymic browning. 2. Kinetic studies. *J. Agric. Food Chem.* 40(11):2108-2113.
- RRI (Rural Research Institute). 2006. Agricultural complex development for upland & horticultural crop in the



Saemangeum reclaimed farmland.

- Ryu, J.H., D.Y. Chung, S.W. Hwang, J.G. Kang, S.B. Lee, W.Y. Choi, S.K. Ha, and S.J. Kim. 2010. Leaching and distribution of cation in multi-layered reclaimed soil column with intermediate macroporous layer. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(5):480-487.
- Shabala, S. and T.A. Cuin. 2008. Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiol. Plant.* 133(4):651-669.
- Shin, M.S. 2011. Floating architecture project and inner development in reclamation area of Saemangeum. *Kor. J. Arc. Ins.* 55(9):32-36.
- 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 sSeeded at the newly reclaimed tidal lands in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(3):179-186.
- Yeo, J.K., J.H. Park, Y.B. Koo, H.C. Kim, and H. Shin. 2010. Effects of NaCl concentration on the growth of native willow species collected in a coastal reclaimed land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(2):124-131.