

# 염 스트레스에 따른 감자 품종 (*Solanum tuberosum* L.) 간 생육, 수량 및 proline 함량 변이

임주성<sup>1\*</sup> · 조지홍<sup>1</sup> · 조광수<sup>1</sup> · 장동철<sup>1</sup> · 진용익<sup>1</sup> · 유홍섭<sup>1</sup> · 김화영<sup>2</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 고령지농업연구소, <sup>2</sup>강릉원주대학교 식물생명과학과

## Effect of Salinity Stress on Growth, Yield, and Proline Accumulation of Cultivated Potatoes (*Solanum tuberosum* L.)

Ju Sung Im<sup>1\*</sup>, Ji Hong Cho<sup>1</sup>, Kwang Soo Cho<sup>1</sup>, Dong Chil Chang<sup>1</sup>, Yong Ik Jin<sup>1</sup>, Hong Seob Yu<sup>1</sup>, and Wha Yeong Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, Pyeongchang 25342, Korea

<sup>2</sup>Department of Applied Plant Science, Kangnung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

\*Corresponding author: imjusing@korea.kr

### Abstract

This study evaluated the responses of 18 potato cultivars to three levels of salinity stress (electrical conductivity, EC: 1.0, 4.0, and 8.0 dS·m<sup>-1</sup>). Stem, leaf, root, chlorophyll, tuber yield, and proline content were investigated and statistically analyzed using analysis of variance (ANOVA) and correlations. Stem number and stem diameter were not affected by salinity, but stem length and aerial weight showed highly significant responses to salinity. Aerial weight decreased with increasing salinity levels in most cultivars, while it increased in some the cultivars ‘Daejima’, ‘Goun’, ‘Haryeong’, and ‘LT-8’. Leaf number, leaf area index, and leaf weight were most significantly affected by salinity and the cultivar × salinity interaction. Root length, root weight, total chlorophyll and chlorophyll a were affected by salinity, but not by the cultivar × salinity interaction. The opposite trend was shown in chlorophyll b. Although there was great variability among cultivars, tuber yield decreased in all cultivars, and was most significantly influenced by salinity and the cultivar × salinity interaction. ‘Superior’, ‘Kroda’, ‘Romana’, and ‘Duback’ gave better tuber yields under salinity at EC 4.0 and 8.0 dS·m<sup>-1</sup> than the cultivars with better aerial weights. Proline content was increased by salinity in all cultivars, and was more remarkable in the cultivars with better aerial weights than in cultivars such as ‘Superior’ and ‘Kroda’ with better tuber yields. Leaf number, leaf area index, leaf weight, and root length parameters were considered to be useful criteria in the evaluation of salt tolerance because of their high positive correlation with tuber yield; however, given its negative correlation with tuber yield under high salinity, proline content was not.

Salinity tolerances varied greatly among potato cultivars. The low correlation between growth and yields of aerial parts under high salinity suggests that, in commercial agriculture, it might be



Korean J. Hortic. Sci. Technol. 34(6):818-829, 2016  
<https://doi.org/10.12972/kjhst.20160086>

pISSN : 1226-8763  
 eISSN : 2465-8588

Received: July 6, 2016

Revised: August 3, 2016

Accepted: August 8, 2016

Copyright©2016 Korean Society for Horticultural Science.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution NonCommercial License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

본 연구는 농림축산식품부 골든씨드 프로젝트사업 “중  
 국(북방지역) 및 중앙아시아지역 적응 수출용 감자 품  
 종 육성(213001-04-4-SB520)”에 의해 수행되었음

more practical to compare relative yields to controls. Additionally, 'Superior', 'Kroda', 'Romana', and 'Duback' might be very useful cultivars to use in breeding programs to develop salinity-tolerant potatoes, as well as for sustainable potato production in saline areas.

**Additional key words:** ANOVA, correlations, cultivar, EC, stress tolerance

## 서 언

토양과 물의 과도한 염은 식물의 생장과 발육을 저해하는 대표적인 비생물적 스트레스이다. 염은 토양의 삼투압을 낮추어 식물 뿌리의 수분흡수를 방해하고(Asish and Anath, 2005), 식물체내로 흡수된 후에는 세포의  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  이온뿐만 아니라  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  이온 등의 항상성을 방해하여 세포 내 이온불균형을 유발한다(Hasegawa et al., 2000; Rodriguez et al., 2005). 세포 내 이온불균형은 다양한 효소들의 활성을 억제하여(Dreyer et al., 1999) 미네랄 흡수와 광합성작용을 저해할 뿐만 아니라(Larcher, 1980; Fidalgo et al., 2004) 활성산소의 축적을 촉진하고(Davenport et al., 2005) 항산화 기작을 방해함으로써(Foyer and Noctor, 2003) 결국 생육을 억제시키거나 심할 경우 식물체를 고사시킨다. 최근, 기후변화로 인한 세계적인 한발과 가뭄의 심화는 농경지와 농업수원의 염류화를 촉진시키고 있어서 염 스트레스는 전 세계적으로 농작물의 안정생산을 위협하는 주된 요인이 되고 있다. 특히, 감자(*Solanum tuberosum* L.)는 식량과 가공원료를 목적으로 전 세계의 약 120여 국가에서 재배되고 있어 염 저항성에 대한 요구가 크다(Flowers and Yeo, 1995; Levy and Veilleux, 2007). 감자는 Maas and Hoffman (1977)에 의해 염 저항성이 약한 작물로 분류된 바 있는데, 비교적 낮은 염 조건( $\text{EC } 1\text{--}2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ )에서도 수량에 부정적인 영향을 받는다(van Hoom et al., 1993). 또한, 염 스트레스에 노출될 경우, 엽 황화, tip burn, leaf burn, 줄기왜화, 괴경표피경화, 괴경열개 등이 발생한다고 알려져 있다(Greenway and Munns, 1980; Feigin, 1988). 한편, 감자는 지구상에 약 2000여종 이상이 존재하며(Hanneman Jr., 1989), 염에 대한 감자의 민감성 또는 저항성은 타고난 유전적 소질에 따라 광범위한 차이가 있다고 보고된 바 있다(Kim et al., 1995; Jaarsma et al., 2013). 즉, 2배체인 근연야생종들이 4배체인 일반 재배종보다 염 저항성이 강한 경향이이며(Martinez et al., 1996; Arvin and Donnelly, 2008), 4배체 상업적 재배종들 간에도 염 스트레스 조건에서 생장과 수량성에 큰 차이가 있음이 보고되었다(Elkhatib et al., 2004; Homayoun et al., 2011). 식물의 염 저항성 발현에는 osmolyte류가 관여하는 것으로 알려져 있는데, 아미노산의 일종인 proline이 대표적이다(Nanjo et al., 1999; Hasegawa et al., 2000). Proline은 염 스트레스에 처한 식물에서 함량이 증가하는데, 세포외부의 삼투압에 반응하여 세포내 삼투압을 조절하고, 세포막을 보호하며, 생체효소를 안정화시켜 염에 대한 저항력을 높인다(Delauney and Verma, 1993; Nanjo et al., 1999; Hasegawa et al., 2000). 감자에서는 Martinez et al. (1996)이 다양한 *Solanum species*를 대상으로 염 스트레스를 처리한 결과, proline이 많이 축적된 species가 염 저항성이 강했다고 한 반면, Cano et al. (1996), Feitosa et al. (2001) 등은 이와 상반된 연구결과를 보고하여 proline 함량과 감자의 염 저항성 간 상관관계는 아직 명확하지 않은 실정이다. 우리나라의 경우 염은 일부 해안가 및 간척지를 제외하고는 감자 경작에 있어서 큰 문제가 되지 않아서 현재까지 감자의 염 저항성 관련 연구가 미미한 실정이다. 다만, 근래의 농산물 무역 자유화 추세에 따라 국산 감자의 해외 진출을 위한 연구가 활발하게 진행되면서, 수출 대상지역에서 가장 큰 제약요소인 염 스트레스에 대한 국내외 감자의 생육반응과 염 저항성을 이해하는 것이 필요하게 되었다.

이에 따라, 본 연구는 국내외 주요 감자 품종의 염 스트레스에 대한 생육, 수량 및 proline 함량 반응을 구명하고, 농업적 측면에서 품종 간 염 저항성을 상호 비교함으로써 염 저항성 감자 품종 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 연구에 공시된 실험재료는 국내 감자 장려품종인 '수미'(Superior), '대서'(Atlantic), '대지'(Daejima), '고운'(Goun), '하령'(Haryeong), '추백'(Chuback), '두백'(Duback)과 농촌진흥청 고령지농업연구소에서 유전자원으로 보유하고 있는 '파보리타'(Favorite), 'LT-8', '스폰타'(Spunta), '레드라스다'(Redlasoda), '러셋 버뱅크'(Russet burbank), '크로다'(Kroda), '로마나'(Romana), '레드스칼렛'(Redscarret), '데지레'(Desiree), '마르포나'(Marfona), '그라놀라'(Granola) 등 국내외 감자 18품종을 대상으로 하였다.

### 재배 및 염 스트레스 처리

균일한 생리적 조건의 씨감자를 위하여 강원도 대관령에 위치한 고령지농업연구소 망실포장에서 여름재배를 통하여 2014년 9월 수확한 각 공시품종의 건전한 씨감자를 파종 25일전에 산광최아하였다. 괴경 정단부에서 짝이 0.5cm 내외로 균일하게 출현된 괴경들을 골라 염수준 별로 다르게 조제된 염상토와 염수를 이용하여 강릉시 송정에 위치한 유리온실에서 3월 25일 파종 및 봄재배하였다. 염처리를 위한 염상토 및 염수는 원예용 상토(썩썩이 2호, 농우바이오, 수원, 대한민국)와 수돗물에 순도 97% 이상의 국내산 천일염을 일정량 첨가하여 EC 1.0(대조구), 4.0, 8.0 dS·m<sup>-1</sup> 등 3수준으로 조제하였다. 먼저, 염상토는 염수준 별로 썩썩이 상토(EC 0.42 dS·m<sup>-1</sup>) 50L당 천일염을 각각 8g, 45g, 86g 내외로 첨가하여 골고루 혼합 후 사용하였다. 염수는 실험온실에서 관수원으로 사용하는 수돗물(EC 0.67 dS·m<sup>-1</sup>) 100L당 천일염을 각각 11g, 130g, 265g 내외로 첨가 후 잘 저어서 완전히 녹여 염수준 별 관수 처리에 사용하였다. 파종을 위하여 플라스틱 포트(지름 20cm, 높이 25cm)에 염상토를 적당량 충진 후, 포트당 괴경 1개씩을 10cm 깊이로 파종하였으며, 각 처리 당 품종 별 포트 5개씩을 3반복으로 하여 완전임의배치법으로 실험하였다. 비배관리를 위하여 포트 당 감자 전용 복비(N:P:K=10:8:9, 슈퍼감자, 남해화학, 포항, 대한민국) 15g씩을 전량기 비로써 천일염 첨가 전 상토에 혼용하였으며, 관수는 염수준 별로 조제된 염수를 사용하여 생육초기(파종-파종후 30일)에는 7일 간격으로, 생육중기부터 수확까지는 3-4일 간격으로 저면관수 및 식물체 상부관수를 동시에 실시하였다.

### 생장 및 수량성 조사

염처리에 따른 감자 품종 별 생장반응을 알아보기 위하여 파종후 70일경 지상부 특성으로서 경수, 경장, 경두께, 지상부 무게를, 뿌리 특성으로서 뿌리길이, 뿌리무게 및 TR율을, 그리고 엽 특성으로는 엽수, 엽면적(LAI), 엽중을 조사하여 ANOVA 분석하였다. 또한, 총 chlorophyll, chlorophyll a(Chl a), b(Chl b) 함량 및 Chl a와 Chl b의 함량 비율을 분석하였다. 수량성은 파종후 90일경 최종 수확하여 괴경갯수, 평균괴경무게, 괴경수량을 조사 및 ANOVA 분석하였다. 또한, 염 저항성 비교 기준으로써 지상부 무게와 괴경수량을 대상으로 염처리 수준별 대조구(EC 1.0 dS·m<sup>-1</sup>)에 대한 백분율로 환산하여 품종 간 비교 분석하였다.

### Chlorophyll 분석

Chlorophyll 함량 분석은 AOAC(2003)의 방법에 준하여 실시하였다. 파종후 70일경 지상부 줄기 상단부로부터 5-7마디 아래 부분에서 채취한 엽의 생체시료 1g에 85% acetone 10mL를 첨가한 후 마쇄 및 원심분리(10,000rpm, 10분)하였다. 잔사에 85% acetone 첨가 및 원심분리를 4회 반복 실시하였으며, 상등액 10mL에 ether 10mL, 증류수 5mL를 가한 후 진탕하였다. Ether 층에 소량의 sodium sulfate를 가하여 수분을 제거한 후, 3mL를 취하여 분광광도계(X-ma 2000, Human Corp., USA)로 660.0nm와 642.5nm에서 흡광도를 측정하였다. 아래의 식으로 산출된 chlorophyll 함량 data를 ANOVA 분석에 사용하였다.

$$\text{총 chlorophyll}(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}) = 7.12 \text{ O.D.}(660.0\text{nm}) + 16.80 \text{ O.D.}(642.5\text{nm})$$

$$\text{Chl a}(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}) = 9.930 \text{ O.D.}(660.0\text{nm}) - 0.777 \text{ O.D.}(642.5\text{nm})$$

$$\text{Chl b}(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}) = 17.60 \text{ O.D.}(642.5\text{nm}) - 2.81 \text{ O.D.}(660.0\text{nm})$$

### Proline 분석

Proline 함량 분석을 위하여 파종 후 70일경 채취한 엽을 동결건조하여 분쇄한 후 Bates et al. (1973)의 방법에 따라 분석하였다. 엽 건조시료 1g에 10mL의 sulfosalicylic acid 용액(3%, w/v)을 첨가한 후 24시간 동안 상온에 보관한 다음, filter paper(Whatman No. 42)로 여과하였다. 여과액 1mL에 glacial acetic acid 1mL와 ninhydrin reagent 1mL를 첨가하였다. 시험관 뚜껑을 막고 끓는 물(100°C)에서 1시간 동안 반응시킨 후 상온(21°C)에서 5분간 보관하였다. 여기에 toluene 2mL를 첨가하여 20초 동안 교반 후 상등액을 취하여 분광광도계(X-ma 2000, Human Corp., USA)로 흡광도(520nm)를 측정하였다. 정량을 위하여 proline(Sigma-Aldrich Co., USA)을 표준물질로 사용하였으며, mM·g<sup>-1</sup> DW로 나타내었다.

### 상관성 및 통계 분석

본 실험에서 도출된 data의 통계분석을 위하여 SAS enterprise guide 4.3(SAS Institute Inc, Cary, NC, USA) 통계프로그램을 이용하여 ANOVA 분석(Analysis of variance)을 수행하였으며, DMRT(Duncan's Multiple Range Test) 5% 수준에서 유의성을 검정하였다.

### 결과 및 고찰

#### 줄기, 엽, 뿌리 생장 분석

염처리에 따른 감자 품종별 줄기, 엽, 뿌리의 생장량을 조사하여 ANOVA 분석하였다(Table 1). 경수와 경두께는 품종에 따른 유의적 차이가 있었으나 염에 의한 영향은 유의성이 없었다. 반면, 경장(F value = 39.37,  $p \leq 0.001$ )과 지상부 무게(F value = 18.93,  $p \leq 0.001$ )는 염에 대해 고도의 유의성을 나타내어 매우 민감하게 영향 받았음을 알 수 있었다. 특히, 지상부 무게의 경우, 품종×염의 교호작용에 따른 영향도 유의성이 높았으며(F value = 3.31,  $p \leq 0.001$ ), 염 스트레스에 따른 품종 간 차이가 매우 큰 것으로 나타났다. 대조구에 대한 염 처리구의 지상부 무게 비율을 품종 간 비교한 결과(Fig. 1), 염 수준이 높을수록 대부분 품종에서 감소하는 경향이었으나, 일부 품종의 경우 오히려 더 증가하였다. 즉, EC 4.0 dS·m<sup>-1</sup>에서 '수미', '대서', '대지', '고운', '추백', 'LT-8', '로마나', '두백' 등 8품종이, EC 8.0 dS·m<sup>-1</sup>에서 '대지', '고운', '하령', 'LT-8' 등 4품종이 대조구(EC 1.0 dS·m<sup>-1</sup>)보다 더 무거웠다.

**Table 1.** Results of two-way ANOVA on the effects of cultivar, salinity level, and the interactions between them, in terms of stem, aerial weight, leaf, root, and top-root ratio(TR ratio) of 18 potato cultivars.

Variables	Stem			Aerial weight	Leaf			Root		TR ratio
	Number	Diameter	Length		Number	Area	Weight	Length	Weight	
Cultivar	9.64 <sup>***</sup>	9.8*	20.89 <sup>***</sup>	31.08 <sup>***</sup>	22.32 <sup>***</sup>	14.00 <sup>***</sup>	20.42 <sup>***</sup>	7.53 <sup>***</sup>	12.95 <sup>***</sup>	2.71*
Salinity	2.54 <sup>NS</sup>	1.96 <sup>NS</sup>	39.37 <sup>***</sup>	18.93 <sup>***</sup>	53.97 <sup>***</sup>	80.34 <sup>***</sup>	16.32 <sup>***</sup>	32.73 <sup>***</sup>	18.37 <sup>***</sup>	0.49 <sup>NS</sup>
Cultivar × Salinity	0.08 <sup>NS</sup>	0.94 <sup>NS</sup>	1.2 <sup>NS</sup>	3.31 <sup>***</sup>	2.76 <sup>***</sup>	2.48 <sup>***</sup>	4.17 <sup>***</sup>	1.01 <sup>NS</sup>	1.19 <sup>NS</sup>	1.65*

Numbers represent F values at 5% level.

<sup>NS</sup>, <sup>\*\*\*</sup>, <sup>\*\*\*</sup> Non-significant or significant at  $p \leq 0.05$ , 0.01, or 0.001, respectively

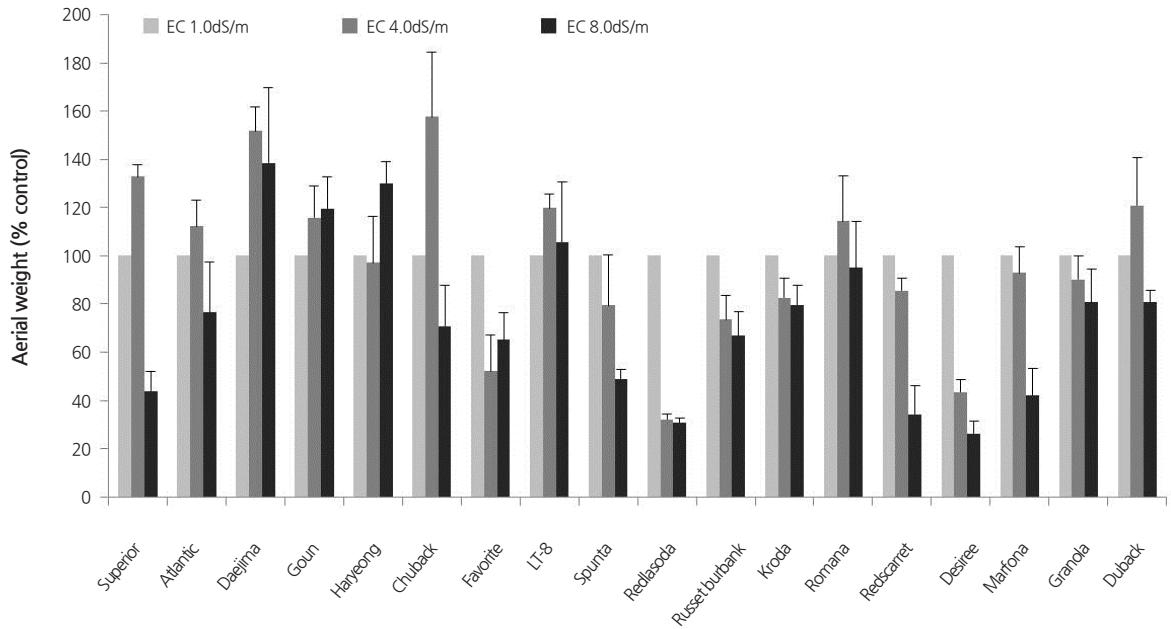


Fig. 1. Relative aerial weight (%) to control (electrical conductivity, EC: 1.0 dS·m<sup>-1</sup>) of 18 potato cultivars affected by salinity stress (EC 4.0, and 8.0 dS·m<sup>-1</sup>). Vertical bars represent the standard errors of means (n = 3).

배추, 콩 등에서 적당한 염은 작물의 성장을 촉진하지만, 고염은 생장억제 및 식물체의 무게 감소를 유발하며, 피해를 일으키는 염 수준은 작물에 따라 다른 것으로 알려져 있다(Khan, 2001; Kim et al., 2010; Amira and Abdul, 2011). 또한, 동일 작물이라 하더라도 유전적 형질에 따라 염에 대한 성장반응이 다르게 나타나며, 감자에서 품종 간 차이에 대한 여러 연구결과들이 보고된 바 있다. Jaarsma et al. (2013)는 60mM NaCl을 양액처리한 감자의 수경재배에서 품종 간 생체중을 비교한 결과, ‘Russet burbank’, ‘Bintje’는 대조구(0mM NaCl)와 차이가 적었으나, ‘Mozart’와 ‘Monalisa’는 대조구의 60% 수준까지 감소되었다고 하였다. Kim et al. (2013)은 ‘수미’의 경우 EC 4.8 dS·m<sup>-1</sup>에서 식물체의 초장이 대조구와 차이가 없었던 반면, ‘추미’는 EC 1.6 dS·m<sup>-1</sup>에서도 초장이 감소되었으며, 일부 품종에서는 대조구보다 증가하였다고 하여 본 실험의 결과와 유사하였다.

염처리에 따른 염의 ANOVA 분석 결과, 염수, 염면적, 염중 모두 염뿐만 아니라 품종×염의 교호작용에 대해서도 매우 높은 유의성( $p \leq 0.001$ )을 나타냈다. 즉, 염의 생장이 염 스트레스에 매우 민감한 것을 알 수 있었다. 이와 관련하여, Papp et al. (1983)은 sugar beet의 NaCl 처리에서 염수를 결정짓는 염의 유기는 세포분열에 의하여 영향을 받으며, 염에 따른 영향은 적었다고 한 반면, 염면적을 좌우하는 염의 신장은 Ca 이온의 상태에 따라 달라지며, 염에 매우 민감하게 영향을 받았다고 하였다. Papp et al. (1983)의 연구결과는 본 실험의 염면적 경향과 유사하였으나, 염수에 대해서는 다소 차이가 있었다. 하지만, cowpea(Raul et al., 2003), 양배추(Jamil et al., 2005), 콩(Gama et al., 2007) 등 다양한 작물에서 NaCl 처리로 인한 염수 감소가 보고된 바 있는데, 이는 체내로 흡수된 염을 체외로 배출하기 위한 식물의 적극적인 대응기작 중 하나로서, 체내의 과도한 염을 높은 하염에 집적시킨 후 그 염을 탈락시키기 때문인 것으로 밝혀진 바 있다(Munns, 2002). 염중의 ANOVA 분석 결과는 지상부 무게의 경향과 유사하였다.

한편, 뿌리는 전 생육기간에 걸쳐 토양에 함유된 염에 직접 접촉되는 기관으로서, 염 스트레스에 의해 양수분의 체내 흡수가 저해됨에 따라 뿌리 생장도 영향을 받게 된다(Larcher, 1980; Zidan et al., 1990). 이에 따라 뿌리 생장은 식물체의 염 저항성 평가 시 주요 판단기준으로써 활용되기도 한다(Bilski et al., 1988; Kim et al., 1995; Im et al., 2015). 본 실험에서 염처리에 따른

뿌리길이와 뿌리무게의 ANOVA 분석에서도 두 항목 모두 품종 및 염에 대해 유의성이 매우 높았다( $p \leq 0.001$ ). TR율은 염에 대한 유의성은 없었던 반면, 품종×염의 교호작용에 따른 유의성( $p \leq 0.05$ )이 인정되어, 염 스트레스 환경에서 지상부 및 뿌리의 성장 비율에 품종 간 차이가 있음을 기늬할 수 있었다. 이는 앞서 지상부 무게에 대한 품종×염의 교호작용 결과와 연계된 것으로 생각되었다.

### Chlorophyll 함량 분석

염처리에 따른 chlorophyll 함량의 ANOVA 분석 결과는 Table 2와 같았다. 총 chlorophyll 함량은 품종(F value = 3.11,  $p \leq 0.001$ )은 물론 염(F value = 26.53,  $p \leq 0.001$ )에 대해서도 고도의 유의성을 나타내어 매우 민감하게 반응하였음을 알 수 있었다. 반면, 품종×염의 교호작용은 유의성이 없었다. Chl a와 Chl b의 염에 따른 영향은 다소 차이가 있었다. Chl a는 총 chlorophyll의 ANOVA 분석 결과와 유사하였던 반면, Chl b는 염 단일요인에 따른 영향은 유의성이 없었으나, 품종×염의 교호작용(F value = 2.26,  $p \leq 0.001$ )에 대해서는 고도의 유의성을 나타냈다. 또한, Chl a와 Chl b의 함량비율은 Chl b의 ANOVA 경향과 유사하였다. 즉, 염 스트레스에 대해 Chl a보다는 Chl b에서 감자 품종 간 반응에 차이가 컸음을 알 수 있었다. 일반적으로 염은 thylakoid swelling이나 grana stacking의 감소를 일으켜 엽록체의 구조를 악화시키고, chlorophyll 함량을 감소시켜 결국 광합성을 저해한다고 알려져 있다(Bruns and Hechtbuchholz, 1990; Ghosh et al., 2001; Fidalgo et al., 2004). 또한 토마토(Khavarinejad and Mostofi, 1998), 보리(Tort and Turkyilmaz, 2004), 배추(Kim et al., 2010), 콩(Amira and Abdul, 2011) 등 대부분 작물에서도 염 스트레스로 인한 총 chlorophyll과 Chl a, Chl b의 함량 감소가 보고된 바 있다. 특히, Kim et al. (2010)은 배추에서 염 스트레스에 따른 Chl a와 Chl b의 함량비율 증가를 보고하여, 본 실험의 결과와 같이 염에 대한 Chl a와 Chl b의 반응에 차이가 있음을 시사하였다.

### 수량성 및 Proline 함량 분석

염처리에 따른 감자 품종 간 수량성의 ANOVA 분석 결과(Table 3), 괴경수, 평균괴경무게, 괴경수량 모두 품종과 염에 대해

**Table 2.** Results of two-way ANOVA on the effects of cultivar, salinity level, and the interactions between them, in terms of total chlorophyll, chlorophyll a, chlorophyll b, and chlorophyll a/b of 18 potato cultivars.

Variables	Chlorophyll			
	Total	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Chlorophyll a/b
Cultivar	3.11***	3.25***	2.77***	5.13***
Salinity	26.53***	52.06***	2.01 <sup>NS</sup>	0.47 <sup>NS</sup>
Cultivar × salinity	1.23 <sup>NS</sup>	1.22 <sup>NS</sup>	2.26***	3.46***

Numbers represent F values at 5% level.

<sup>NS</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup>, <sup>\*\*\*</sup> Non-significant or significant at  $p \leq 0.05$ , 0.01, or 0.001, respectively.

**Table 3.** Results of two-way ANOVA on the effects of cultivar, salinity level, and the interactions between them, in terms of tuber number, average tuber weight, tuber yield, and proline content of 18 potato cultivars.

Variables	Tuber number	Average tuber weight	Tuber yield	Proline
Cultivar	7.28***	7.10***	12.83***	7.28***
Salinity	13.49***	44.60***	108.84***	126.78***
Cultivar × salinity	1.7*	1.13 <sup>NS</sup>	2.48***	6.21***

Numbers represent F values at 5% level.

<sup>NS</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup>, <sup>\*\*\*</sup> Non-significant or significant at  $p \leq 0.05$ , 0.01, or 0.001, respectively.

고도의 유의성을 나타냈다. 평균괴경무게는 품종×염의 교호작용에 대해서는 유의성이 없었으나, 괴경수(F value = 1.7,  $p \leq 0.05$ )와 괴경수량(F value = 2.48,  $p \leq 0.001$ )의 경우, 유의적으로 나타나 다소간 영향을 받은 것으로 생각되었다. 특히, 괴경수량에 있어 염에 대한 품종 간 반응 차이가 큰 것으로 나타났다. 괴경수량은 대부분 품종에서 염수준이 높을수록 감소하였는데 (Fig. 2), 앞서 지상부 무게에서의 품종 간 경향과는 차이가 있었다. ‘수미’, ‘크로다’, ‘로마나’, ‘두백’ 등은 EC 4.0 dS·m<sup>-1</sup>에서 괴경수량이 대조구와 같거나 그보다 더 무거웠으며, EC 8.0 dS·m<sup>-1</sup>에서도 수량 감소율이 다른 품종들보다 더 낮았다. 이에 반해, 지상부 무게가 대조구보다 염 처리구(EC 4.0 dS·m<sup>-1</sup> 및 8.0 dS·m<sup>-1</sup>)에서 더 무거웠던 ‘대지’, ‘고운’, ‘하령’, ‘LT-8’ 등은 염처리에 따른 수량감소가 심하였다. 특히, 고염 조건(EC 8.0 dS·m<sup>-1</sup>)에서 ‘LT-8’의 경우, 지상부는 번무하였으나 괴경이 아예 형성되지 않았다. 즉, 감자에서 염 스트레스에 대한 식물체 자체의 성장반응과 괴경에서의 수량이 일치하지 않으며, 다소 상이함을 알 수 있었다. 또한, 농업적으로 중요한 수량성 측면에서 볼 때, 염 스트레스 환경에서 수량 감소가 적은 감자 품종의 선발 및 재배가 감자의 생산 안정성을 위해 가치가 있을 것으로 생각되었다.

한편, proline은 염 스트레스에 처한 식물체에서 함량이 증가하여 세포내 삼투압 안정, 세포막 보호, 막단백질 안정화 등을 통해 염 저항성을 높이는 대표적인 osmolyte로서 알려져 있다(Mansour, 1998; Nanjo et al., 1999; Szabados and Savoure, 2010). 본 실험에서 염에 축적된 proline 함량은 품종(F value = 7.28,  $p \leq 0.001$ ), 염(F value = 126.78,  $p \leq 0.001$ ), 그리고 품종×염의 교호작용(F value = 6.21,  $p \leq 0.001$ ) 모두에 의해서 매우 민감하게 영향을 받았다. 즉, 염 스트레스 조건에서 품종 간 그 생성량에 차이가 컸음을 알 수 있었다. 이에 염처리에 따른 품종 간 proline 함량을 비교한 결과, Fig. 3에서와 같이 염수준이 높을수록 거의 모든 품종에서 증가하였다. 특히, 염처리구(EC 4.0 dS·m<sup>-1</sup>, 8.0 dS·m<sup>-1</sup>)에서 지상부 무게가 대조구와 유사하였거나 더 무거웠던 ‘대지’, ‘고운’, ‘LT-8’ 등에서 proline의 함량 증가가 두드러졌다. 이에 반해, 고염처리구(EC 8.0 dS·m<sup>-1</sup>)에서 지상부 무게는 대조구에 비해 다소 가벼웠으나, 수량 감소율이 다른 품종들보다 낮았던 ‘수미’, ‘크로다’, ‘로마나’, ‘두백’에서는 상대적으로 낮은 경향이였다. Martinez et al. (1996), Feitosa et al. (2001), Jaarsma et al. (2013) 등 많은 연구자들도 감자 식물체에서 염 스트레스 처리로 인한 proline의 함량 증가와 축적의 품종 간 차이를 보고한 바 있다. 하지만 proline 함량과 감자의 염 저항성 간 상관성에 대해서는 서로 견해가 달랐다. Martinez et al. (1996)는 두 요인의 정의 상관을, Feitosa et al. (2001)은 부의 상관을

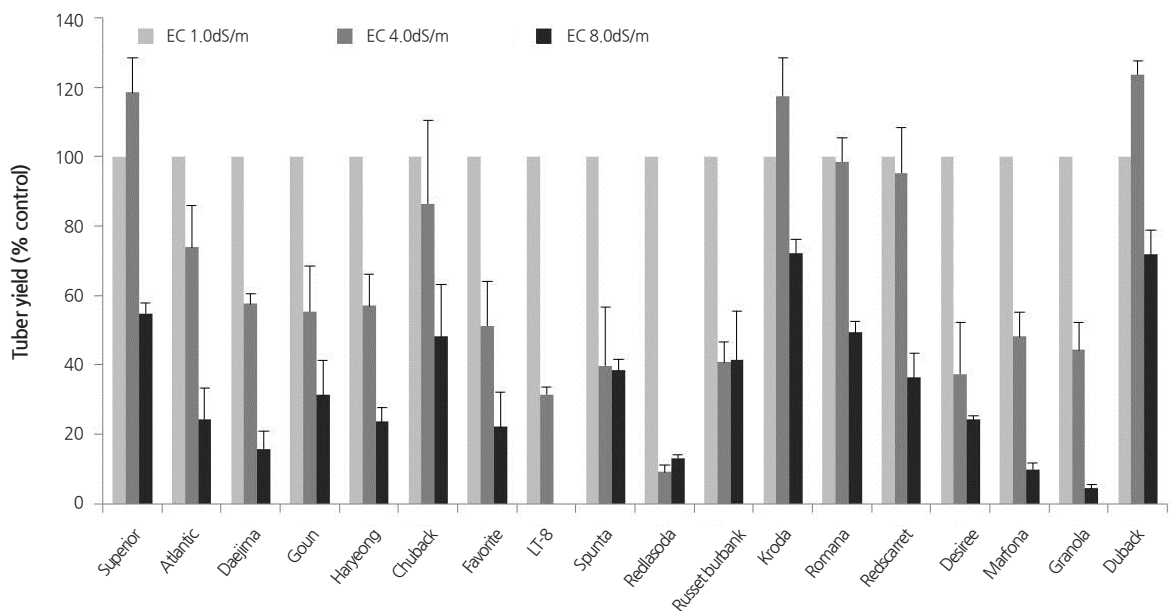


Fig. 2. Relative tuber yield (%) to control (electrical conductivity, EC: 1.0 dS·m<sup>-1</sup>) of 18 potato cultivars affected by salinity stress (EC 4.0, and 8.0 dS·m<sup>-1</sup>). Vertical bars represent the standard errors of means (n = 3).

주장한데 반해, Jaarsma et al. (2013)은 상관성이 낮다고 하여 두 항목 간 상관성은 아직 명확하게 밝혀지지 않은 상황이다. 본 실험에서는 염 스트레스 조건에서 proline의 함량 증가가 많았던 품종들이 적었던 품종들보다 지상부 생장은 더 양호했던 반면, 수량 감소는 더 큰 것을 관찰할 수 있었다. 또한, 염처리 조건에서 수량감소가 적었던 품종들은 염에 따른 proline의 함량 증가가 적은 경향을 확인하였다. 즉, 염 저항성에 대한 평가기준을 감자 식물체의 성장반응에 둘 때와 괴경수량으로 할 경우, proline 함량과 염 저항성 간 상관성 결과가 서로 상반될 것으로 생각되었다.

### 상관관계 분석

한편, 지상부 무게와 괴경수량의 관계는 Fig. 4와 같았다. EC 4.0 dS·m<sup>-1</sup>에서는 'y = -0.0056x<sup>2</sup> + 1.549x - 25.691 (R<sup>2</sup> = 0.3042)'를, EC 8.0 dS·m<sup>-1</sup>에서는 'y = -0.007x<sup>2</sup> + 1.0661x - 0.9573 (R<sup>2</sup> = 0.1486)'를 나타내어 염수준이 높을수록 지상부 무

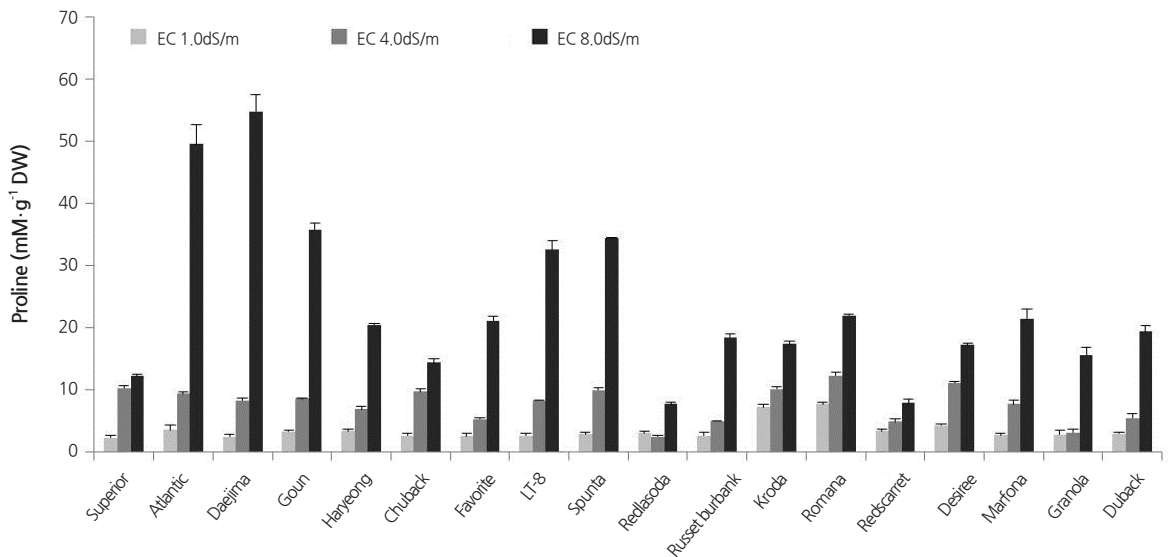


Fig. 3. Proline content of the leaf tissues of 18 potato cultivars affected by salinity stress (electrical conductivity, EC: 1.0, 4.0, and 8.0 dS·m<sup>-1</sup>). Vertical bars represent the standard errors of means (n = 3). DW stands for dry weight.

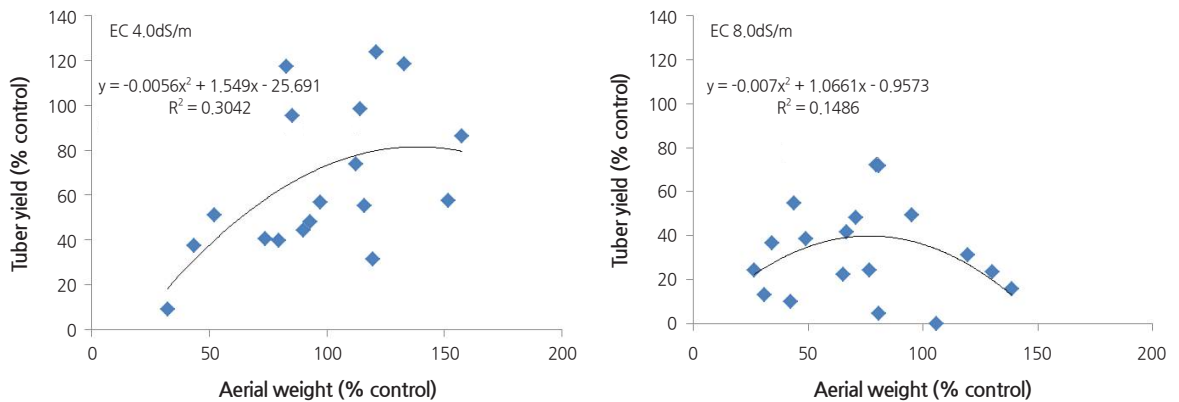


Fig. 4. Regression relationship between relative aerial weight (%) to control (electrical conductivity, EC: 1.0 dS·m<sup>-1</sup>) and relative tuber yield (%) to control at EC 4.0 dS·m<sup>-1</sup> and EC 8.0 dS·m<sup>-1</sup>, based on 18 potato cultivars.



계와 괴경수량 간 상관성이 낮아지는 경향이였다. 따라서, 감자의 염 저항성 평가 및 개체 선발 시, 지상부 생장이 왕성한 것만을 단편적으로 선발하는 것은 농업적으로 중요한 수량성 측면에서는 오류가 발생할 수 있을 것으로 생각되었다.

Proline 함량과 지상부 무게 및 괴경수량과의 관계를 분석한 결과, 염수준에 따라 경향이 달랐다(Fig. 5). 즉, EC 4.0 dS·m<sup>-1</sup>에서는 지상부 무게( $y = 4.8299x + 60,312, R^2 = 0.1542$ )와 괴경수량( $y = 4.2446x + 33,184, R^2 = 0.1273$ ) 모두 proline 함량과 정의 상관성을 나타냈다. 한편, EC 8.0 dS·m<sup>-1</sup>에서는 지상부 무게는 정의 상관성을( $y = 1,5199x + 38,552, R^2 = 0.348$ ), 괴경수량은 부의 상관성을( $y = -0.4224x + 42,205, R^2 = 0.0683$ ) 나타냈다. 지상부 무게가 괴경수량보다 proline 함량과의 정의 상관성이 좀 더 높았으며, 괴경수량은 염수준이 높을수록 상관성이 낮았다. 이는 환경스트레스 조건에서 보다 더 잘 견디기 위하여 광합성 산물을 괴경 내 축적보다는 proline 등 저항성 증진 관련 물질의 합성에 할애함으로써 엽과 줄기의 성장유지 또는 촉진 방향으로 대사작용이 집중되었기 때문인 것으로 추정되나 이에 대한 연구결과들이 거의 없어 향후 좀 더 정밀한 연구가 필요할 것으로 보였다.

괴경수량을 중심으로 줄기, 엽, 뿌리, chlorophyll, proline 함량 등 본 실험의 조사항목 간 pearson 계수 및 상관성을 분석하였다(Table 4). 괴경수량은 괴경갯수(Pearson's  $r = 0.550, p \leq 0.001$ )보다는 괴경비대와 관련 있는 평균괴경무게(Pearson's  $r = 0.847, p \leq 0.001$ )와 좀 더 높은 정의 상관성이 있었다. 또한 염수(Pearson's  $r = 0.308, p \leq 0.05$ ), 엽면적(Pearson's  $r = 0.510, p \leq 0.001$ ), 엽중(Pearson's  $r = 0.319, p \leq 0.05$ ) 및 뿌리길이(Pearson's  $r = 0.297, p \leq 0.05$ )와도 정의 상관성을 나타낸 반면,

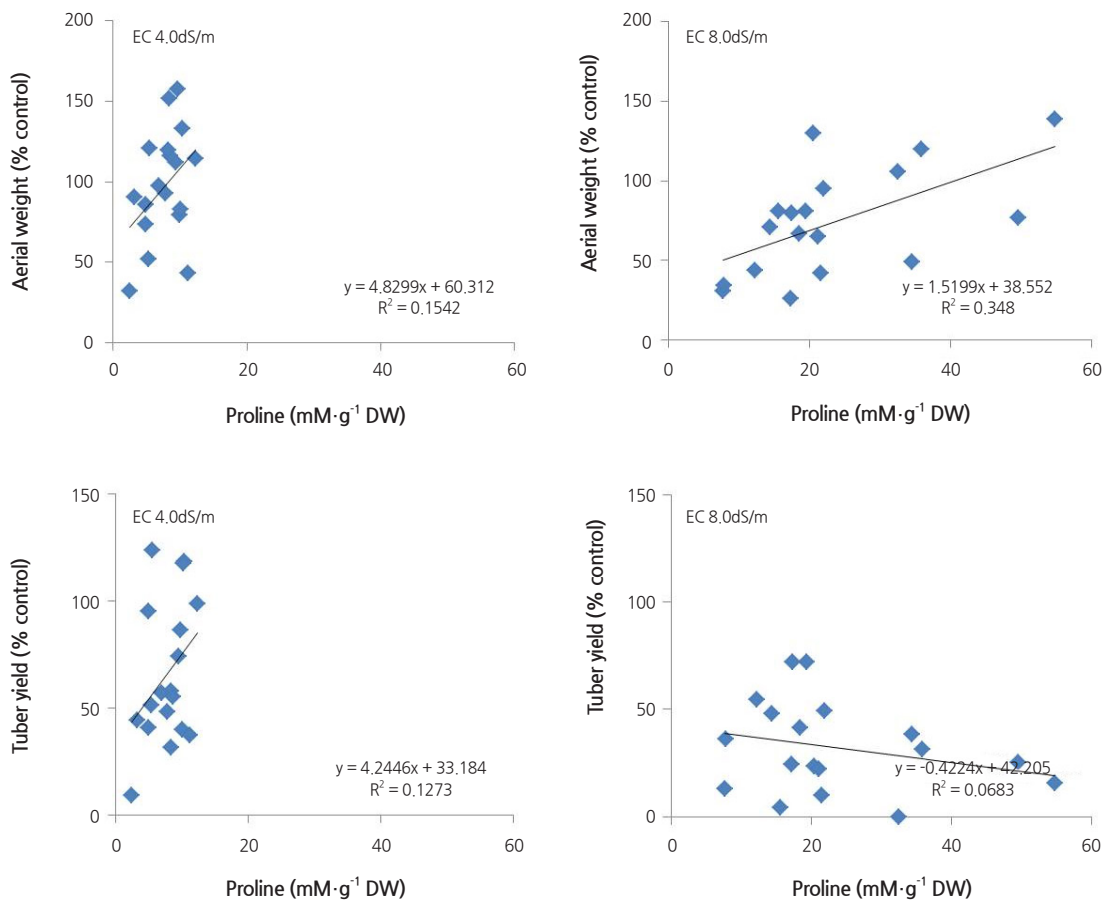


Fig. 5. Regression relationship between proline content and relative aerial weight (%) to control (electrical conductivity, EC: 1.0 dS·m<sup>-1</sup>) and relative tuber yield (%) to control at EC 4.0 dS·m<sup>-1</sup> and EC 8.0 dS·m<sup>-1</sup>, based on 18 potato cultivars. DW stands for dry weight.

**Table 4.** Pearson's correlation coefficients of yield factors, shoot, leaf, root, top-root ratio, chlorophyll, and proline content of 18 potato cultivars.

TY	TN	ATW	SL	AW	LN	LAI	LW	RL	RW	TRr	TCC	Chl a	Chl b	Chl a/b
1.000														
0.550 <sup>***</sup>	1.000													
0.847 <sup>***</sup>	0.131 <sup>NS</sup>	1.000												
0.191 <sup>NS</sup>	-0.011 <sup>NS</sup>	0.287 <sup>*</sup>	1.000											
0.231 <sup>NS</sup>	-0.065 <sup>NS</sup>	0.267 <sup>*</sup>	0.685 <sup>***</sup>	1.000										
0.308 <sup>*</sup>	-0.012 <sup>NS</sup>	0.316 <sup>*</sup>	0.637 <sup>***</sup>	0.833 <sup>***</sup>	1.000									
0.510 <sup>***</sup>	0.138 <sup>NS</sup>	0.486 <sup>***</sup>	0.594 <sup>***</sup>	0.787 <sup>***</sup>	0.754 <sup>***</sup>	1.000								
0.319 <sup>*</sup>	0.012 <sup>NS</sup>	0.327 <sup>*</sup>	0.570 <sup>***</sup>	0.916 <sup>***</sup>	0.754 <sup>***</sup>	0.883 <sup>***</sup>	1.000							
0.297 <sup>*</sup>	-0.069 <sup>NS</sup>	0.342 <sup>*</sup>	0.583 <sup>***</sup>	0.595 <sup>***</sup>	0.692 <sup>***</sup>	0.685 <sup>***</sup>	0.584 <sup>***</sup>	1.000						
0.063 <sup>NS</sup>	-0.245 <sup>NS</sup>	0.173 <sup>NS</sup>	0.524 <sup>***</sup>	0.603 <sup>***</sup>	0.716 <sup>***</sup>	0.440 <sup>***</sup>	0.436 <sup>***</sup>	0.720 <sup>***</sup>	1.000					
0.112 <sup>NS</sup>	0.230 <sup>NS</sup>	0.036 <sup>NS</sup>	-0.073 <sup>NS</sup>	-0.185 <sup>NS</sup>	-0.358 <sup>**</sup>	-0.060 <sup>NS</sup>	-0.059 <sup>NS</sup>	-0.420 <sup>**</sup>	-0.662 <sup>***</sup>	1.000				
0.188 <sup>NS</sup>	0.182 <sup>NS</sup>	0.130 <sup>NS</sup>	0.369 <sup>**</sup>	0.227 <sup>NS</sup>	0.365 <sup>**</sup>	0.429 <sup>**</sup>	0.204 <sup>NS</sup>	0.473 <sup>***</sup>	0.321 <sup>*</sup>	-0.230 <sup>NS</sup>	1.000			
0.262 <sup>NS</sup>	0.233 <sup>NS</sup>	0.219 <sup>NS</sup>	0.477 <sup>***</sup>	0.331 <sup>*</sup>	0.453 <sup>**</sup>	0.508 <sup>***</sup>	0.286 <sup>*</sup>	0.526 <sup>***</sup>	0.399 <sup>**</sup>	-0.232 <sup>NS</sup>	0.893 <sup>***</sup>	1.000		
0.002 <sup>NS</sup>	0.032 <sup>NS</sup>	-0.056 <sup>NS</sup>	0.059 <sup>NS</sup>	-0.019 <sup>NS</sup>	0.087 <sup>NS</sup>	0.137 <sup>NS</sup>	-0.001 <sup>NS</sup>	0.202 <sup>NS</sup>	0.074 <sup>NS</sup>	-0.133 <sup>NS</sup>	0.749 <sup>***</sup>	0.371 <sup>**</sup>	1.000	
0.040 <sup>NS</sup>	-0.019 <sup>NS</sup>	0.131 <sup>NS</sup>	0.026 <sup>NS</sup>	0.178 <sup>NS</sup>	0.122 <sup>NS</sup>	-0.046 <sup>NS</sup>	0.107 <sup>NS</sup>	-0.126 <sup>NS</sup>	0.129 <sup>NS</sup>	0.017 <sup>NS</sup>	-0.395 <sup>**</sup>	-0.058 <sup>NS</sup>	-0.731 <sup>***</sup>	1.000
-0.447 <sup>***</sup>	-0.270 <sup>*</sup>	-0.375 <sup>**</sup>	-0.158 <sup>NS</sup>	0.089 <sup>NS</sup>	-0.090 <sup>NS</sup>	-0.310 <sup>*</sup>	0.055 <sup>NS</sup>	-0.342 <sup>*</sup>	-0.098 <sup>NS</sup>	-0.011 <sup>NS</sup>	-0.537 <sup>***</sup>	-0.517 <sup>***</sup>	-0.347 <sup>**</sup>	0.399 <sup>**</sup>

TY, tuber yield; TN, tuber number; ATW, average tuber weight; SL, stem length; AW, aerial weight; LN, leaf number; LAI, leaf area index; LW, leaf weight; RL, root length; RW, root weight; TRr, top-root ratio; TCC, total chlorophyll content; Chl a, chlorophyll a content; Chl b, chlorophyll b content; PR, proline content.

<sup>NS</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup>, <sup>\*\*\*</sup> Non-significant or significant at  $p \leq 0.05$ ,  $0.01$ , or  $0.001$ , respectively.

proline 함량과는 고도의 부의 상관성(Pearson's  $r = -0.447, p \leq 0.001$ )을 보였다. Poline 함량은 괴경갯수(Pearson's  $r = -0.270, p \leq 0.05$ )보다는 평균괴경무게(Pearson's  $r = -0.375, p \leq 0.01$ )와 좀더 높은 부의 상관성이 있었다. 또한, 총 chlorophyll(Pearson's  $r = -0.537, p \leq 0.001$ ) 및 Chl a(Pearson's  $r = -0.517, p \leq 0.001$ ), Chl b(Pearson's  $r = -0.347, p \leq 0.001$ )와도 부의 상관성을 나타냈다.

결론적으로, 본 실험에서 염 처리에 따른 감자 품종 간 생장양상과 수량요소의 반응에 차이가 있음을 알 수 있었다. 또한, 식물체의 염 저항성 관련 지표로써 일반적으로 널리 알려져 있는 proline 함량의 효용성은 농업적 측면에서는 다소 낮은 것으로 확인되었다. 이는 지상부 생장과 괴경 수량성과의 연관성이 염수준이 높을수록 낮았기 때문이었다. 따라서, 감자의 염 저항성 판단 시 단편적인 기준 적용보다는 식물학적으로는 식물체의 생장량을, 농업적인 목적으로는 상대적인 수량감소율을 평가 기준으로 활용하는 것이 보다 실용적일 것으로 생각되었다. 이러한 측면에서 볼 때, 고염조건에서 수량감소율이 다른 품종들보다 상대적으로 낮은 '수미', '크로다', '두백' 등은 염 저항성 감자 육성을 위한 교배재료로써 뿐만 아니라, 염이 문제되는 지역에서 감자의 생산 안정성을 높이는데 유용한 품종들로 판단된다.

## 초 록

염처리(electrical conductivity, EC 1.0, 4.0, 8.0 dS·m<sup>-1</sup>)에 따른 감자 품종들의 생장, 수량성 및 염 저항성을 이해하고자 국내의 감자 18품종을 각 처리 수준별 염상도 및 염수로 관수 재배하였다. 경, 엽, 뿌리 및 chlorophyll, 수량성, proline 함량을 조사하여 ANOVA 및 상관성을 분석하였다. 경수와 경두께는 염처리의 영향이 없었던 반면, 경장과 지상부 무게는 염에 매우 민감하였다. 특히, 지상부 무게는 대부분 품종에서 고염일수록 감소하였으나 일부 품종('대지', '고운', '하령', 'LT-8')에서는 오히려

더 증가하여 품종 간 차이가 컸다. 엽수, 엽면적, 엽중은 엽처리 및 품종×엽의 교호작용에 의해 매우 민감한 영향을 받았으며, 뿌리 생장은 엽처리 단일 요인에 대해서는 유의성이 높았으나 품종×엽의 교호작용에 대한 유의성은 없었다. 총 chlorophyll과 chlorophyll a 함량은 엽에 민감하였던 반면 품종×엽의 영향은 없었으며, chlorophyll b는 이와 상반된 경향을 나타내었다. 괴경수, 평균괴경무게, 괴경수량 모두 엽에 매우 민감하였으며, 괴경수량의 경우, ‘수미’, ‘크로다’, ‘로마나’, ‘두백’이 지상부 생장이 왕성했던 품종들보다 더 양호하였다. Proline 함량은 엽처리로 모든 품종에서 증가하였으며, 지상부 생장이 양호한 품종에서 함량 증가가 두드러졌다. 엽 저항성 평가 지표로써 엽수, 엽면적, 엽중 및 뿌리길이는 괴경수량과 밀접한 상관성이 있어 유용할 것으로 여겨졌으나, proline 함량은 엽수준이 높을수록 괴경수량과 부의 상관성이 높아 활용 지표로의 효용성이 낮았다.

결론적으로 감자 품종들 간 엽 저항성은 매우 다양하였으며, 엽수준이 높을수록 지상부 생장과 괴경 수량성 간 상관성이 낮아 수량이 중요한 농업적 측면에서는 엽 저항성 판단 시 지상부 생장보다 상대적인 수량감소율을 활용하는 것이 더 실용적일 것으로 생각되며, ‘수미’, ‘크로다’, ‘로마나’, ‘두백’ 등이 엽 저항성 감자 육성을 위한 교배재료 및 엽이 문제되는 경작지에서 감자의 지속생산을 위하여 유망할 것으로 생각된다.

**추가주요어:** ANOVA, 상관성, 품종, 전기전도도, 스트레스 저항성

## Literature Cited

- Amira MS, Abdal Q (2011) Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.). J. Saudi Soc. Agr. Sci. 10:7-15
- AOAC (2003) Official methods of analysis of AOAC Intl. 17th ed. Association of official analytical chemists. Washington, DC, USA.
- Arvin MJ, Donnelly DJ (2008) Screening potato cultivars and wild species to abiotic stresses using an electrolyte leakage bioassay. J. Agric. Sci. Technol. 10:33-42
- Asish KP, Anath BD (2005) Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. Ecotox. Environ. Safety 60:324-349. doi:10.1016/j.ecoenv.2004.06.010
- Bates LS, Waldren RP, Teare ED (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil 39:205-207. doi:10.1007/BF00018060
- Bilski JJ, Nelson DC, Conlon RC (1988) Response of six wild potato species to chloride and sulfate salinity. Am. Potato J. 65:605-612. doi:10.1007/BF02867456
- Bruns S, Hechtbuchholz C (1990) Light and electron microscope studies on the leaves of several potato cultivars after application of salt at various developmental stages. Potato Res. 33:33-41. doi:10.1007/BF02358128
- Cano EA, Perez-Alfocea F, Moreno V, Bolarin MC (1996) Responses to NaCl stress of cultivated and wild tomato species and their hybrids in callus cultures. Plant Cell Rep. 15:791-794. doi:10.1007/BF00232231
- Davenport R, James RA, Zakrisson-Plogander A, Tester M, Munns R (2005) Control of sodium transport in durum wheat. Plant Physiology 137:807-818. doi:10.1104/pp.104.057307
- Delauney AJ, Verma DPS (1993) Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. Plant J. 4:215-223. doi:10.1046/j.1365-313X.1993.04020215.x
- Dreyer I, Horeu C, Lemaillet G, Zimmermann S, Bush DR (1999) Identification and characterization of plant transporters using heterologous expression systems. J. Experimental Botany 50:1073-1087. doi:10.1093/jexbot/50.suppl\_1.1073
- Elkhatib HA, Elkhatib EA, Khalaf-Allah AM, Elsharkawy AM (2004) Salt tolerance of four potato cultivars. J. Plant Nutrition 27:1575-1583. doi:10.1081/PLN-200026000
- Feigin A (1988) Fertilization for increasing salt tolerance of agricultural crops. Israel Agresearch 2:99-138
- Feitosa DE, Lacerta C, Cambraia J, Cano MAO, Ruiz HA (2001) Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum genotypes under NaCl stress. Braz. J. Plant Physiol. 13:270-284
- Fidalgo F, Santos A, Santos I, Salema R (2004) Effects of long-term salt stress on antioxidant defence systems, leaf water relations and chloroplast ultrastructure of potato plants. Ann. Appl. Biol. 145:185-192. doi:10.1111/j.1744-7348.2004.tb00374.x
- Flowers TJ, Yeo AR (1995) Breeding for salinity resistance in crop plants: where next? Aust. J. Plant Physiol. 22:875-884. doi:10.1071/PP9950875
- Foyer CH, Noctor G (2003) Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria. Physiologia Plantarum 119:355-364. doi:10.1034/j.1399-3054.2003.00223.x

- Gama PBS, Inanaga S, Tanaka K, Nakazawa R (2007) Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. *Afr. J. Biotechnol.* 6:79-88
- Ghosh SC, Asanuma K, Kusutani A, Toyota M (2001) Effect of salt stress on some chemical components and yield of potato. *Soil Sci. Plant Nutr.* 47:467-475. doi:10.1080/00380768.2001.10408411
- Greenway H, Munns R (1980) Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 31:149-190. doi:10.1146/annurev.pp.31.060180.001053
- Hanneman RE Jr (1989) Potato germplasm resources. *Am. Potato J.* 66:655-667. doi:10.1007/BF02853985
- Hasegawa PM, Bressa RA, Zhu JK, Bohnert H (2000) Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51:463-499. doi:10.1146/annurev.arplant.51.1.463
- Homayoun H, Mehrabi P, Daliri MS (2011) Study of salinity stress effect on two commercial varieties of potato (*Solanum tuberosum* L.) after transmitting to green house from in vitro culture. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 11:725-728
- Im JS, Cho JH, Cho KS, Chang DC, Jin YI, Yu HS, Cheun CG, Kim MO, Han DS, et al (2015) Salt tolerance and proline accumulation of potato (*Solanum tuberosum* L.) in vitro plants to NaCl treatment. *J. Plant Biotechnol.* 42:129-134. doi:10.5010/IPB.2015.42.2.129
- Jaarsma R, de Vries RSM, de Boer AH (2013) Effect of salt stress on growth, Na<sup>+</sup> accumulation and proline metabolism in potato (*Solanum tuberosum*) cultivars. *PLoS ONE* 8:e60183. doi:10.1371/journal.pone.0060183
- Jamil M, Lee CC, Rehman SU, Lee DB, Ashraf M, Rha ES (2005) Salinity (NaCl) tolerance of brassica species at germination and early seedling growth. *Electronic J. Environ. Agric. Food Chem.* 4:970-976
- Khan MA (2001) Experimental assessment of salinity tolerance of *Cerriops tagal* seedlings and saplings from the Indus delta, Pakistan. *Aquat. Bot.* 70:259-268. doi:10.1016/S0304-3770(01)00160-7
- Khavarinejad RA, Mostofi Y (1998) Effects of NaCl on photosynthetic pigments, saccharides, and chloroplast ultrastructure in leaves of tomato cultivars. *Photosynthetica* 35:151-154. doi:10.1023/A:1006846504261
- Kim HS, Heung JJ, Joung YH, Joung H (1995) In vitro selection of salt-resistant *Solanum tuberosum* L. varieties. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 36:172-178
- Kim JS, Shim IS, Kim MJ (2010) Physiological response of chinese cabbage to salt stress. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28:343-352
- Kim S, Yang CH, Jeong JH, Choi WY, Lee KS, Kim SJ (2013) Physiological response of potato variety to soil salinity. *Kor. J. Crop Sci.* 58:85-90. doi:10.7740/kjcs.2013.58.2.085
- Larcher W (1980) Physiological plant ecology. In 2nd totally rev. edition ed., Berlin and New York: Springer-Verlag. pp 303. doi:10.1007/978-3-642-96545-6
- Levy D, Veilleux RE (2007) Adaptation of potato to high temperatures and salinity-a review. *Am. J. Potato Res.* 84:487-506. doi:10.1007/BF02987885
- Maas EV, Hoffman GJ (1977) Crop salt tolerance-current assessment. *J. Irrig. Drain Div. Proc. Am. Soc. Civil Eng.* 103:115-134
- Mansour MMF (1998) Protection of plasma membrane of onion epidermal cells by glycine betaine and proline against NaCl stress. *Plant Physiol. Biochem.* 36:767-772. doi:10.1016/S0981-9428(98)80028-4
- Martinez CA, Maestri M, Lani EG (1996) In vitro salt tolerance and proline accumulation in Andean potato (*Solanum* spp.) differing in frost resistance. *Plant Sci.* 116:177-184. doi:10.1016/0168-9452(96)04374-9
- Munns R (2002) Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25:239-250. doi:10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x
- Nanjo T, Kobayashi M, Yoshiba Y, Wada K, Tsukaya H, Kakaubari Y, Yamaguchi-shinozaki K, Shinozaki K (1999) Biological functions of proline in morphogenesis and osmotolerance revealed in antisense transgenic *Arabidopsis thaliana*. *Plant J.* 18:185-193. doi:10.1046/j.1365-313X.1999.00438.x
- Papp JC, Ball MC, Terry N (1983) A comparative study of the effects of NaCl salinity on respiration, photosynthesis, and leaf extension growth in *Beta vulgaris* L. (sugar beet). *Plant, Cell & Environ.* 6:675-677. doi:10.1111/j.1365-3040.1983.tb01184.x
- Raul L, Andres O, Armado L, Bernardo M, Enrique T (2003) Response to salinity of three grain legumes for potential cultivation in arid areas (plant nutrition). *Soil Sci. Plant Nutr.* 49:329-336. doi:10.1080/00380768.2003.10410017
- Rodriguez M, Canales E, Borrás-Hidalgo O (2005) Molecular aspects of abiotic stress in plants. *Biotecnol. Aplic.* 22:1-10
- Szabados L, Savoure A (2010) Proline: A multifunctional amino acid. *Trends in Plant Sci.* 15:89-97. doi:10.1016/j.tplants.2009.11.009
- Tort N, Turkyilmaz B (2004) A physiological investigation on the mechanisms of salinity tolerance in some barley culture forms. *J.F.S.* 27:1-16
- van Hoorn JW, Katerji N, Hamdy A, Mastroianni M (1993) Effect of saline water on soil salinity and on water stress, growth, and yield of wheat and potatoes. *Agric. Water Mgmt.* 23:247-265. doi:10.1016/0378-3774(93)90032-6
- Zidan M, Azaizah H, Neumann PM (1990) Does salinity reduce growth in maize root epidermal cells by inhibiting their capacity for cell wall acidification. *Plant Physiol.* 93:7-11. doi:10.1104/pp.93.1.7