

## NaCl 처리에 따른 감자 (*Solanum tuberosum* L.) 기내 식물체의 내염성 및 Proline 함량 변화

임주성 · 조지홍 · 조광수 · 장동철 · 진용익 · 유홍섭 · 천충기 · 김미옥 · 한다솜 · 이슬기 · 김화영

### Salt tolerance and proline accumulation of potato (*Solanum tuberosum* L.) in vitro plants to NaCl treatment

Ju Sung Im · Ji Hong Cho · Kwang Soo Cho · Dong Chil Chang · Yong Ik Jin · Hong Seob Yu · Chung Gi Cheun · Mee Ok Kim · Da Som Han · Seul Ki Lee · Wha Yeong Kim

Received: 11 March 2015 / Revised: 28 May 2015 / Accepted: 29 May 2015

© Korean Society for Plant Biotechnology

**Abstract** In order to compare salt tolerance among potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.), in vitro plants of each cultivar were cultured on the Murashige and Skoog's medium containing different levels of NaCl (0, 75, 150, and 225 mM). The suitable level of NaCl for a comparison of the shoot and root growth between potato cultivars was 75mM. Shoot length and weight were better in 'Dejima', 'Superior', 'Jayoung', and 'Haryeong' than in other cultivars such as 'Goun' and 'Atlantic'. Normal root growth was observed in 'Seohong', 'Superior', and 'Haryeong', while 'Goun', 'Atlantic', 'Dejima', 'Jowon', and 'Chuback' showed no root. Proline contents in all the cultivars increased as affected by NaCl levels, then the increase amount was fewer in the cultivars showed a better growth in both shoot and root than in others showed a poor growth. As a result of this study, 'Superior' and 'Haryeong' were determined as salt tolerant cultivars and therefore using these cultivars it would be possible to potato production at salt arable land such as reclaimed tidal.

#### 적 요

감자 12품종의 내염성 비교를 위하여 NaCl 0, 75, 150, 225 mM을 처리한 MS배지에서 줄기 단일절편을 기내 배양하여 신초길이와 무게, 근길이 및 proline 함량 변화를 조사하였다. NaCl 처리에 따른 신초와 근생장의 품종 간 비교에 적절한 NaCl 처리농도는 75 mM이었다. NaCl 150 mM과 225 mM 처리에서는 신초의 로제트화 및 엽의 백화현상이 심하여 품종 간 비교가 어려웠다. 신초의 길이와 무게는 '대지', '수미', '자영', '하령'이 양호하였으며, '고운', '대서', '홍영' 등은 불량하였다. 근길이는 '서홍', '수미', '하령' 등이 양호하였던 반면, '고운', '대서', '대지', '조원', '추백' 등은 극히 미미하였다. Proline 함량은 모든 품종에서 NaCl 처리농도가 높을수록 증가하였으며 그 증가량은 신초와 근생장이 양호했던 품종들이 불량했던 품종보다 더 낮은 경향이었다. 이상의 결과로 볼 때 '수미'와 '하령'이 NaCl 처리배지에서 신초와 근생장 모두 양호하여 내염성이 강한 품종으로 판단되었으며, 이들 품종들을 활용한 추가 포장시험을 통하여 국내 간척지 등 염류화 토양에서도 감자재배가 가능할 것으로 기대된다.

J. S. Im (✉) · J. H. Cho · K. S. Cho · D. C. Chang · Y. I. Jin · H. S. Yu · C. G. Cheun · M. O. Kim · D. S. Han · S. K. Lee  
농촌진흥청 국립식량과학원 고령지농업연구소  
(Highland Agriculture Research Institute, NICS, RDA,  
Pyeongchang 232-955, Korea)  
e-mail: imjusung@korea.kr

W. Y. Kim  
강릉원주대학교 식물생명과학과  
(Dept. of Applied Plant Science, Kangnung-Wonju National  
Univ., Gangneung 210-702, Korea)

#### 서 론

염(鹽, Salt)은 토양 내 근권부의 삼투압을 낮추어 근의 수분흡수를 방해함으로써 작물의 생장과 수량성을 제한하는 대표적인 비생물적 스트레스이다(Asish and Anath 2005; Yun 2005). 최근, 전 세계적으로 가뭄과 건조에 의한 경작지의 염류화가 빠르게 진행되고 있어 주요 식량

작물에 대한 내염성 개선의 필요성이 높아지고 있다 (Rhoades and Loveday 1990). 특히, 옥수수, 밀 등과 더불어 세계 4대 식량작물에 속하는 감자는 염에 약한 작물로 알려져 있다(FAOSTAT 2012; Maas and Hoffman 1977). 감자는 낮은 농도(EC 1-2 dS/m)의 염수(鹽水) 처리로도 수량에 영향을 받으며, EC 5.9 dS/m의 염수처리에 의해 37%의 수량 감소가 보고되기도 하였다(Paliwal and Yadav 1980; van Hoorn et al. 1993). 감자의 내염성은 씨감자의 서령(Levy et al. 1993)이나 염에 조우되는 생육시기(Bruns and Caesar 1990), 염수에 접촉되는 식물체 부위(Maas 1985)에 따라 영향을 받기도 하지만, 기본적으로는 유전적 소질에 따른 차이가 지배적인 것으로 알려져 있다. Martinez et al. (1996)과 Silva et al. (2001)은 NaCl을 첨가한 배지에서 감자 식물체 배양을 통하여 근연야생종인 *S. curtilobum* ( $2n=5x=60$ )과 *S. juzepczukii* ( $2n=3x=36$ )이 일반 재배품종인 *S. tuberosum* L. ( $2n=4x=60$ )보다 생육과 괴경형성이 우수하여 내염성이 강함을 보고하였다. Jaarsma et al. (2013)은 NaCl을 첨가한 염수 관수재배에서 4배체 재배품종(*S. tuberosum* L.) 간에도 내염성에 상당한 차이가 있음을 확인하였으며, 상업적 감자 품종들을 내염성 수준별로 분류한 많은 연구 결과들이 보고되었다(Khrais et al. 1998; Arvin and Donnelly 2008; Kim et al. 1995). 이에 따라 감자는 경작지 염류화에 대응하여 품종선발과 육종을 통한 내염성 개선 효과가 큰 작물로 여겨진다(Jefferies 1996; Levy and Veilleux 2007). 한편, 감자의 내염성 평가 방법으로는 조직배양을 이용한 기내평가 방법이 간편하고 효율적이어서 많은 연구자들에게 선호되고 있다(Burgutin et al. 1996; Kim et al. 1995; Morpurgo 1991). 기내 평가를 위한 배양재료로는 shoot(Martinez et al. 1996; Khrais et al. 1998), callus (Queiros et al. 2007) 등 다양하게 시도되고 있으나, somaclonal variation 때문에 callus배양보다는 완전한 식물체와 유사한 특성을 가지는 shoot배양이 바람직한 것으로 알려져 있다(Tai 1984; Rains et al. 1986). 또한, Naik와 Widholm (1993)은 shoot의 마디배양이 정단조직배양보다 염에 더 민감하여 내염성의 기내평가 시 더 효과적이라고 하였다. 한편, 염스트레스에 조우된 식물체에서는 아미노산의 일종인 proline의 축적이 증가한다(Nanjo et al. 1999; Szabados and Savoure 2010). Proline은 세포외부의 삼투압 변화에 대응하여 세포내부의 삼투압을 조절함으로써 염스트레스에 대한 식물체의 내성을 높이는 대표적인 osmolyte이다(Delauney and Verma 1993; Hmida-Sayari et al. 2005). Proline은 삼투압 조절뿐만 아니라 free radicals의 scavenger, 세포수준에서 단백질과 막의 보호 등에도 관여한다고 밝혀져 있어서(Hasegawa et al. 2000; Nanjo et al. 1999; Werner and Finkelstein 1995) 식물체의 내염성과 관련이 깊은 것으로 추정되고 있으나 내염성과 proline 함량 간 관계는 아직 명확하지 않다. 한편, 우리나라 대부분의

감자 경작지에서는 염이 크게 문제되지 않으나, 최근 서해안 간척지 활용 및 국산 감자품종의 해외수출에 대한 관심이 증가되면서 대상 지역의 주된 환경스트레스 요인인 염(NaCl)에 대한 국산품종들의 내성수준을 이해할 필요가 생겼다. 그간 국산 감자품종에 대한 내염성 평가연구는 국내 2기작 감자 일부 품종의 염에 대한 반응 연구(Kim et al. 2013) 외에는 찾아보기가 힘든 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 국내외 주요 감자품종을 대상으로 NaCl 농도를 달리한 MS배지에서 마디배양을 통해 각 품종의 생육반응을 조사하여 품종간 내염성 정도를 기내평가 하였으며 proline의 함량 변화를 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 식물재료

본 시험에서는 우리나라의 국가장려품종으로 지정된 감자인 ‘고운’(Goun), ‘대서’(Atlantic), ‘대지’(Dejima), ‘서홍’(Seohong), ‘수미’(Superior), ‘자영’(Jayoung), ‘조원’(Jowon), ‘추백’(Chuback), ‘하령’(Haryeong), ‘홍영’(Hongyoung)과 유럽산 감자인 ‘데지레’(Desiree), ‘산테’(Sante) 등 12품종을 이용하였다.

### 배양조건

농촌진흥청의 감자 조직배양방법(RDA 2011)에 따라 각 품종의 건전한 기내 배양묘를 육성하였으며, 기내 식물체의 줄기 중간부위 3~4마디에서 세력이 균일한 단일 절편(Single node)를 채취하여 본 시험에 사용하였다. 채취한 단일 절편은 NaCl 0, 75, 150, 225 mM을 각각의 농도별로 혼용하여 조제한 MS기본배지(Murashige and Skoog 1962)에 치상하여 배양하였다. 배지의 조제는 MS powder 4.4 g과 sucrose 15 g을 증류수 1L에 녹인 후 1N NaOH와 1N HCl을 이용하여 pH를 5.8로 조정하였다. 여기에 한천 7 g/L를 넣고 가열하여 충분히 녹인 후, 배양병(100×40 mm, SPL, Korea)에 각각 50 ml씩 배지를 분주한 다음, 121°C와 1.5기압에서 20분간 멸균하였다. 배양용기 당 단일 절편을 5개체씩 3반복하여 횡으로 치상하였으며, 배양실의 조건은 온도 23±2°C, 광 4200 lux, 일장 16시간이었다. 45일간 배양 후에 신초길이, 신초무게, 근길이를 조사하였으며, 대조구(NaCl 0 mM 처리구)에 대한 백분율로 환산하여 비교하였다.

### Proline 분석

내염성과 관련이 깊은 것으로 추정되는 proline은 Bates et

al. (1973)의 방법에 따라 분석하였다. NaCl 처리배지에서 45일 동안 배양한 묘의 엽 1 g 씩을 채취한 후, sulfosalicylic acid 용액(3%, w/v) 10 mL를 가한 다음 막자사발을 이용하여 마쇄하였다. 마쇄액은 두겹의 filter paper(Whatman No.42)로 여과하였다. 여과액 1 mL에 glacial acetic acid 1 mL, ninhydrin reagent 1 mL를 첨가한 다음, 시험관 뚜껑을 막고, 끓는 물(100°C)에서 1시간 동안 반응시킨 후 상온(21°C)에 5분 동안 보관하였다. 여기에 toluene 2 ml를 첨가하여 20초 동안 교반한 후 상등액을 취하여 UV spectrophotometer (X-ma 2000, Human Corp.)를 사용하여 520 nm에서 wavelength를 측정하였다. 정량은 proline (Sigma-Aldrich Co. USA)을 표준물질로 사용하여 작성한 검량선에 따라 계산하였으며,  $\mu\text{mol proline/g FW}$ 로 나타내었다.

통계분석

본 실험의 통계분석은 SAS enterprise guide 4.3 프로그램 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA)을 이용하여 ANOVA (Analysis of variance) 분석을 실시하였으며, Duncan's Multiple Range Test (DMRT)로 5% 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

신초생장 평가

염스트레스의 주요 원인 물질인 NaCl을 농도별로 처리한 MS 기본배지에 줄기 단일절편을 치상하여 45일간 배양 후 기내묘의 생장을 조사한 결과, Figure 1의 '수미'에서와 같이 NaCl 무처리와 75 mM 처리배지에서는 기내묘의

생장이 비교적 양호한 것으로 관찰되었다. 반면, 150 mM 과 225 mM 처리배지에서는 신초의 로제트화 및 신엽의 백화현상이 동반되어 묘의 생장이 매우 불량하였다. 특히, NaCl 225 mM 처리배지에서는 절편의 치상부위가 짙은 갈색으로 경화되는 증상이 대부분 품종에서 관찰되었다. 이러한 결과는 Tang et al. (2003)이 보고한 바와 같이 NaCl 0.75M을 처리한 '수미'와 '대서'의 leaf disc에서 무처리구에 비해 엽 손상과 백화현상이 심했으며, 그 정도는 내염성이 강한 '수미'보다 엽에 약한 '대서'에서 더 심했다는 연구결과와 유사하였다. 염스트레스에 의한 백화현상의 주된 원인으로는 감자(Tang et al. 2003), 토마토(Khavarinejad and Mostofi 1998), 콩(Amira and Abdul 2011) 등 많은 작물에서 확인된 바와 같이 다양한 이온들의 불균형에 따른 엽록소함량의 감소 때문으로 추정되었다. 또한, NaCl 고농도 처리배지에서 기내 배양묘의 로제트화 및 작은 잎의 출생 증상은 NaCl 로 인한 배양배지의 삼투압 변화에 대응하여 식물체가 내부 삼투압의 조정수단으로 상하부 표피세포 및 액포에 수분저장이 증가하는 반면 엽육세포는 작고 조밀해지기 때문이며, 내염성이 약할수록 근과 줄기의 생장지연이 심화된다고 밝혀져 있다(Gulati and Pawan 1993; Ruiz Carrasco et al. 2007). NaCl 처리에 따른 기내묘의 신초길이를 조사한 결과는 Figure 2와 같았다. 무처리구와 차이가 가장 적었던 품종은 '대지'였으며, '수미', '자영', '하령'도 비교적 양호하였다. 반면, '고운', '대서', '추백', '홍영', '산테' 등은 NaCl 75 mM의 저염조건에서도 대조구 대비 20% 미만으로 불량하였다. 신초무게는 NaCl 75 mM 처리배지에서는 '대지', '서홍', '수미'가 대조구 대비 60% 내외, NaCl 150 mM에서는 '서홍'과 '수미'가 30% 내외로서 다른 품종들보다 양호한 것으로 관찰되었다. NaCl 225 mM에서는 시험품종 모두 대조구 대비 5% 미만으로 품종간 변별력이 없었다(Fig. 3). 한편, NaCl 150 mM 처리농도 이상에서는 신초무게가 대부분



Fig. 1 Effects of different NaCl concentrations on shoot and root growth of *Solanum tuberosum* 'Superior' plantlets after 45 days of in vitro culture

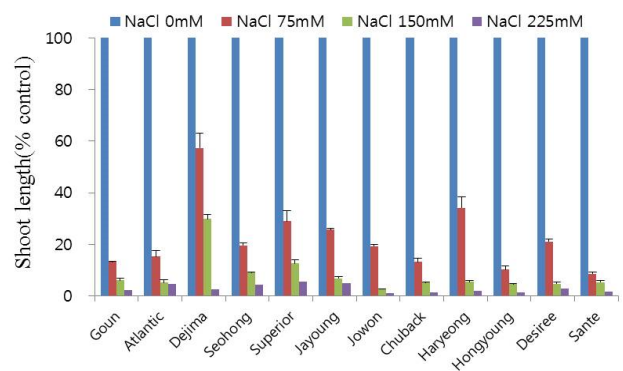
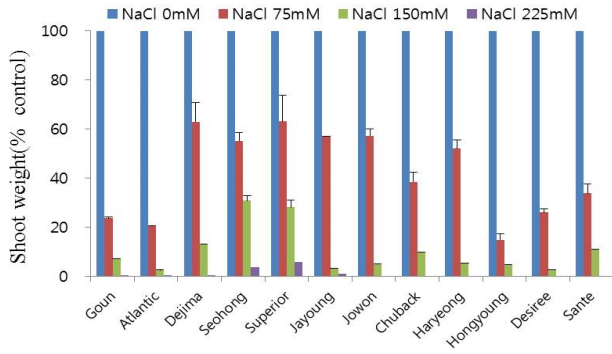
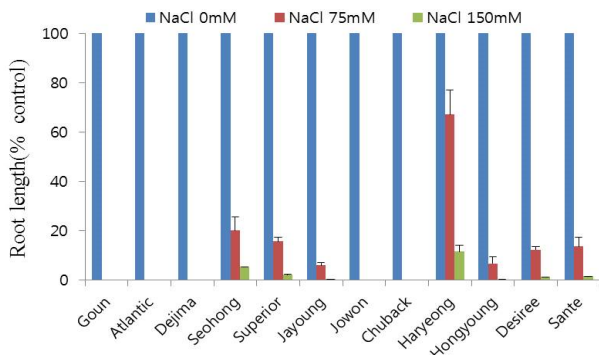


Fig. 2 Effects of different NaCl concentrations on shoot length of plantlets of twelve cultivars after 45 days of in vitro culture. Results are expressed as percentages from the shoot length of control (NaCl 0 mM). Vertical bars represent the means  $\pm$  standard error of three replicates



**Fig. 3** Effects of different NaCl concentrations on shoot weight of plantlets of twelve cultivars after 45 days of in vitro culture. Results are expressed as percentages from the shoot weight of control (NaCl 0 mM). Vertical bars represent the means ± standard error of three replicates

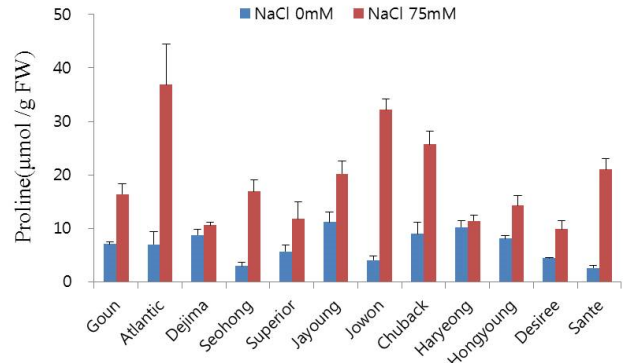


**Fig. 4** Effects of different NaCl concentrations on root length of plantlets of twelve cultivars after 45 days of in vitro culture. Results are expressed as percentages from the root length of control (NaCl 0 mM). Vertical bars represent the means ± standard error of three replicates

품종에서 로제트 형태로 심하게 변형된 엽에 의한 것이어서 정상 생장으로 보기 어려웠다.

근생장 평가

근은 식물체 조직 중 토양이나 배지에 함유된 염에 직접 접촉되어 가장 먼저 영향을 받는 기관이며, 근에서 물이나 미네랄 등의 흡수는 염에 의해 민감하게 장애를 받는다(Zidan et al. 1990). 본 실험에서 NaCl 처리에 따른 근생장을 조사한 결과(Fig. 4), 양호했던 품종들은 ‘하령’, ‘서홍’, ‘수미’, ‘테지레’, ‘산테’ 등이었다. NaCl 처리농도별 근이 발생한 품종수를 보면 NaCl 75 mM 처리배지에서는 7품종, 150 mM에서는 세 품종이었다. NaCl 225 mM 처리배지에서는 모든 시험품종에서 근이 관찰되지 않았다. 본 결과를 신초생장의 결과와 비교할 때, 근이 신초보다 NaCl 처리에 의해 더 민감하게 영향을 받았음을 알 수 있었다. 이런 관점에서 근생장은 식물체의 내염성 개체 선



**Fig. 5** Effects of NaCl on proline concentration of plantlets of twelve cultivars after 45 days of in vitro culture. Vertical bars represent the means ± standard error of three replicates

발이나 평가 시 줄기나 엽보다 상대적으로 중요한 조사 항목으로 여겨진다(Bilski et al. 1988; Kim et al. 1995; Naik and Widholm 1993). 본 실험결과에서, ‘하령’, ‘수미’가 다른 품종들보다 신초와 근생장 모두 양호한 것으로 관찰되었으며, NaCl에 대한 내성이 강한 품종들로 판단되었다.

Proline 함량 변화

식물은 염스트레스에 견디기 위하여 osmolyte의 일종인 proline을 생성한다(Nanjo et al. 1999; Steward and Lee 1974). Proline은 식물체 내부의 삼투압 안정에 관여하여 내염성을 높이며(Hasegawa et al. 2000; Szabados and Savoure 2010), 염스트레스 조건에서 carbon과 nitrogen의 저장(Fukutaku and Yamada 1984), cytoplasmic enzymes 보호(Paleg et al. 1984), free radicals로부터 식물체를 보호하는 단백질과 막을 안정화시키는 역할 등을 한다(Mansour 1998). 본 실험에서 proline 함량은 모든 시험품종에서 공히 NaCl 75 mM 처리구가 무처리구보다 눈에 띄게 높았다(Fig. 5). 다만, NaCl 처리배지에서 신초와 근생장이 양호했던 ‘수미’, ‘하령’ 등이 저조했던 ‘대서’, ‘조원’, ‘추백’, ‘산테’ 등보다 proline의 축적량이나 증가폭이 낮은 경향이였다. 본 결과는 *Solanum* species 간 비교에서 proline 함량이 식물체의 내염성과 정의상관이 있었다고 보고한 일부 연구결과(Martinez et al. 1996)와 다소 차이가 있는 것이였다. 그러나, 내염성 품종보다 감수성 품종에서 proline의 축적이 항상 더 많았다고 보고한 Cano et al. (1996)이나 Feitosa et al. (2001)의 연구결과와는 동일한 경향이였다. 이와 관련하여, 염에 대한 감수성 품종이 내염성 품종보다 염 조건에서 proline의 축적이 더 많은 것은 proline의 생성에 관여하는 key enzymes (P5CS:pyrroline-5-carboxylate synthetase, ProDH:proline dehydrogenase)의 활력 차이에서 기인된다고 밝혀졌다(Rahnama and Ebrahimzadeh 2004). 즉, 염스트레스 환경에서 염감수성 품종이 내염성 품종보다 P5CS

의 활력증가 및 proline을 glutamate로 전환시키는 ProDH의 활력감소의 차이가 더 크기 때문으로 보고되었다. 한편, Jaarsma et al. (2013)은 감자의 내염성과 proline함량 간 명확한 상관성은 없었으며, 감자에서 내염성은 Na<sup>+</sup> 이온의 축적장소와 관련이 깊었다고 보고하였다. 즉, 내염성 품종들은 줄기에, 감수성 품종들은 엽에 Na<sup>+</sup> 이온의 축적이 많았다고 하여, 감자의 내염성에는 단일 기작이 아닌 다양한 기관과 물질들의 복합적인 기작들이 연관되어 있음을 시사하였다. 내염성과 관련된 proline의 많은 기작들과 역할들이 보고되고 있으나 감자에서 내염성과 proline함량 사이의 관계는 아직 명확하게 밝혀져 있지 않아 보다 정밀한 추가연구가 필요한 것으로 사료되었다. 본 실험에서 감자 품종들 간 내염성 및 염감수성 차이를 관찰할 수 있었다. 내염성이 강한 것으로 나타난 품종들을 활용하면 염이 문제되는 우리나라 간척지에서 감자재배가 가능할 것으로 기대된다. 이와 관련하여 현재 포장 평가 시험이 진행 중이며 향후 보다 정확한 판단이 가능할 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 농림축산식품부 골든씨드프로젝트(세부과제명: 중국(북방지역) 및 중앙아시아 지역 적응 수출용 감자 품종 육성, 세부과제번호: 213001-04-1-SB520)에 의해 이루어진 것임.

## References

- Amira MS, Abdul Q (2011) Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.). J Saudi Soc Agricul Sci 10:7-15
- 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
- Bates LS, Waldren RP, Teare ED (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil 39:205-207
- Bilski JJ, Nelson DC, Conlon RL (1988) The response of four potato cultivars to chloride and sulfate salinity. Am Potato J 65:85-90
- Bruns S, Caesar K (1990) Shoot development and tuber yield of several potato cultivars under high salt concentrations at different stages of development. Potato Res 33:23-32
- Burgutin AB, Butenko RG, Kaurov BA, Iddagoda N (1996) In vitro selection of potato for tolerance to sodium chloride. Russ J Plant Physio 143:524-531
- 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
- Delauney AJ, Verma DPS (1993) Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. Plant J 4:215-223
- FAOSTAT (2012) <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- 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
- Fukutaku Y, Yamada Y (1984) Sources of proline nitrogen in water-stressed soybean II. Fate of 5N-labeled protein. Plant Physiol 61:622-628
- Gulati A, Pawan KJ (1993) In vitro selection of salt-resistant *Vigna radiata* (L.) Wilczek plants by adventitious shoot formation from cultured cotyledon explants. J Plant Physiol 142:99-102
- 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
- Hmida-Sayari A, Gargouri-Bouzid R, Bidani A, Jaoua L, Savoure A, Jaoua S (2005) Overexpression of Delta(1)-pyrroline-5-carboxylate synthetase increases proline production and confers salt tolerance in transgenic potato plants. Plant Sci 169:746-752
- 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*). PLoS ONE 8:e60183
- Jefferies RA (1996) Evaluation of seedling selection for salinity tolerance in potato (*Solanum tuberosum* L.). Euphytica 88:207-213
- Khavarinejad RA, Mostofi Y (1998) Effects of NaCl on photosynthetic pigments, saccharides, and chloroplast ultrastructure in leaves of tomato cultivars. Photosynthetica 35:151-154
- Khrais T, Leclerc Y, Donnelly DJ (1998) Relative salinity tolerance of potato cultivars assessed by in vitro screening. Amer J of Potato Res 75:207-210
- 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 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
- Levy D, Fogelman E, Ytzhak Y (1993) Influence of water and soil salinity on emergence and early development of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars and effect of physiological age of seed tubers. Potato Res 36:335-340
- Levy D, Veilleux RE (2007) Adaptation of potato to high temperatures and salinity—a review. Potato Res 84:487-506
- Maas EV (1985) Crop tolerance to saline sprinkling water. Plant Soil 89:273-284
- 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
- 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
- Morpurgo R (1991) Correlation between potato clones grown in vivo and in vitro under sodium chloride stress conditions. *Plant Breed* 107:80-82
- Murashige T, Skoog F (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol plantarum* 15:473-497
- Naik PS, Widholm JM (1993) Comparison of tissue culture and whole plant responses to salinity in potato. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 33:273-280
- 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
- Paleg LG, Steward GR, Bradbeer JW (1984) Proline and glycine betaine influence protein solvation. *Plant Physiol* 75:974-978
- Paliwal KV, Yadav BR (1980) Effect of saline irrigation water on the yield of potato. *Indian J Agricultural Sci* 50:1-33
- Queiros F, Fidalgo F, Santos I, Salema R (2007) *In vitro* selection of salt tolerant cell lines in *Solanum tuberosum* L. *Biologia Plantarum* 51:728-734
- Rahnama H, Ebrahimzadeh H (2004) The effect of NaCl on proline accumulation in potato seedlings and calli. *Acta Physiol Plantarum* 26:263-270
- Rains DW, Croughan SS, Croughan TP (1986) Isolation and characterization of mutant cell lines and plants: salt tolerance. I.K. Vasil (Ed.), *Cell Culture and Somatic Cell Genetics of Plants*, Academic Press Inc, Orlando pp 537-547
- Rhoades JD, Loveday J (1990) Salinity in irrigated agriculture. In: Stewart BA, Nielsen DR, (eds.), *Irrigation of Agricultural Crops*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp 1089-1142
- Ruiz Carrasco KB, Baroni Fornasiero R, Tassoni A, Bagni N (2007) Identification of two phenotypes of *Arabidopsis thaliana* under in vitro salt stress conditions. *Biologia Plantarum* 51:436-442
- Rural Development Administration (2011) *The potato*. RDA, Suwon, Korea, pp 208-209
- Silva JAB, Otoni WC, Martinez CA, Dias LM, Silva MAP (2001) Microtuberization of Andean potato species (*Solanum* spp.) as affected by salinity. *Scientia Horticulturae* 89:91-101
- Steward CR, Lee JA (1974) The rate of proline accumulation in halophytes. *Planta* 120:279-289
- Szabados L, Savoure A (2010) Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Sci* 15:89-97
- Tai M (1984) Physiological genetics of salt resistance in higher plants: studies on the level of the whole plant and isolated organs, tissues and cells. R.C. Staples, G.H. Toenniessen (Eds.), *Salinity Tolerance in Plants, Strategies for Crop Improvement*, Wiley, New York, pp 301-320
- Tang L, Kwon SY, Kwak SS, Sung CK, Lee HS (2003) Susceptibility of two potato cultivars to various environmental stresses. *Korean J Plant Biotechnol* 30:405-410
- van Hoorn JW, Katerji N, Hamdy A, Mastrorilli 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
- Werner JE, Finkelstein RR (1995) *Arabidopsis* mutants with reduced response to NaCl and osmotic stress. *Physiol Plantarum* 93:659-666
- Yun DJ (2005) Molecular mechanism of plant adaption to high salinity. *Korean J Plant Biotechnol* 32:1-14
- Zidan M, Azaizeh 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