수경재배 시스템에서 양액의 NaCl 농도 및 처리시기에 따른 갯방풍의 생육 및 생리활성화합물의 함량

권수민¹ · 정현우¹ · 이혜리¹ · 조현규¹ · 황희성² · 황승재^{3,4,5*}

¹경상국립대학교 대학원 응용생명과학부 대학원생, ²경상국립대학교 대학원 작물생산과학부 대학원생,

³경상국립대학교 농업생명과학대학 원예학과 교수, ⁴경상국립대학교 농업생명과학연구원 교수,

⁵경상국립대학교 생명과학연구원 교수

Growth and Bioactive Compound Contents of *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miquel as Affected by Different NaCl Concentrations and Treatment Timing on Nutrient Solution of Hydroponic System

Su Min Kwon¹, Hyeon Woo Jeong¹, Hye Ri Lee¹, Hyeon Gyu Jo¹,
Hee Sung Hwang², and Seung Jae Hwang^{3,4,5*}

¹Graduate Student, Division of Applied Life Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

²Graduate Student, Division of Crop Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

³Professor, Department of Horticulture, College of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁴Professor, Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

⁵Professor, Research Institute of Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Abstract. This study was conducted to investigate the effect of different NaCl concentrations and treatment timing on growth and bioactive compound content in *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miquel. In the first experiment, seedlings were transplanted and grown during 30 days into a deep floating technique system (DFT system) on Hoagland solution (EC 1.5 dS·m⁻¹ and pH 6.5) with 40, 80, 120, 160, and 200 mM NaCl in a greenhouse. In the second experiment, *G. littoralis* was grown during 50 days into DFT system, and treated 50, 100, 150, and 200 mM NaCl at 5 and 10 days before harvest (DBH), respectively. In both experiments, non-treatment was set as the control. Plant growth and photosynthetic characteristic, total phenolic contents, total flavonoid contents, and antioxidant activity were measured. When NaCl concentration was higher than 80 mM, growth of *G. littoralis* Fr. Schmidt ex Miquel was decreased. In the second experiment, growth characteristics, such as number of leaves, leaf area, dry weights of shoot and root were the highest in the 50 mM NaCl with 10 DBH. The photosynthetic rate was observed the highest in the control and 50 mM treatments, and significantly decreased in the NaCl concentration of more than 100 mM regardless of NaCl treatment timing. In addition, visible leaf injury was observed in the NaCl concentrations of more than 100 mM. The total phenolic and flavonoid concentrations were the highest in the 200 mM with 5 DBH treatment. However, antioxidant activity was the highest in the control and 50 mM with 10 DBH treatment. In conclusion, these results suggest that the application of 50 mM NaCl with 10 DBH on nutrient solution will be effective for cultivation of high quality and bioactive compound content of *G. littoralis* in a hydroponic system.

Additional key words : antioxidant activity, deep floating technique, photosynthetic rate, total flavonoid content, total phenolic content

서 론

식물의 생장과 생리활성화합물 함량에 영향을 미치는 환경

조건에는 광, 수분, 습도, 양분, 온도, CO₂ 등이 있으며 그 중 양분은 작물의 생리적 특성 및 품질에 직접적인 영향을 주는 중요한 요소이다(Müller 등, 2000). 많은 수경재배 농가에서는 양액의 형태로 양분을 식물체에 공급하게 되며 양액 농도 또는 특정 이온을 조절하여 작물의 생육을 관리하거나 생산성을 증가시키는 방법을 이용한다. 하지만, 양액의 조성, 조제 및 농

*Corresponding author: hsj@gnu.ac.kr

Received March 17, 2021; Revised April 10, 2021;

Accepted April 12, 2021

도가 부적절하게 이루어졌을 경우 작물에 스트레스가 발생할 수 있으며, 특히 Na^+ 나 Cl^- 등 특정 이온은 과도한 흡수로 인한 이온 독성 반응 및 이온의 식물 체내 축적으로 인한 이온 불균형 현상, 수분과 이온의 복합작용을 통한 스트레스 반응으로 생육억제 및 생리장해 등의 부정적인 반응과 함께 당도, 색, 생리활성 화합물의 증가 등의 긍정적인 반응도 동시에 나타난다 (Bernstein, 1975; Kim 등, 2019; Shabala 등, 2015; Termaat와 Munns, 1986).

이러한 염 스트레스에 대해 내성을 가지는 식물을 염생식물이라고 하며, 염생식물은 일반적인 식물의 한계 염 수준 (40mM NaCl)을 초과하는 환경에서도 정상적으로 성장한다 (Choi 등, 2013; Kim 등, 2019; Matthew와 Hasegawa, 2013; Termaat와 Munns, 1986). 염생식물에는 개기장(*Panicum bisulcatum* Thunb.), 까마중(*Solanum nigrum*), 바랭이(*Digitaria ciliaris*), 어치귀(*Abutilon theophrasti*), 갯방풍(*Glehnia littoralis* F. Schmidt ex Miquel) 등이 있으며 바닷물이나 천일염, NaCl 등 염분처리를 통한 간척지 토양에서의 염생식물의 재배 및 생리활성화합물, 성장에 관한 연구가 진행되어왔다(Kim 등, 2011; Lee 등, 1999; Lee 등, 2010; Lee 등, 2020; Sohn 등, 2009).

방풍은 중화본초(CFDA, 1999)에 진통, 해열의 약리효과가 명시되어 있으며 뿌리와 뿌리줄기를 치료에 사용한다. 생약으로 사용되는 방풍류에는 방풍(당방풍, 진방풍; *Saposhnikovia divaricate* Turcz.), 갯기름나물(빈해전호, 식방풍; *Peucedanum japonicum* Thunb.), 그리고 갯방풍(빈방풍, 복사삼, 해방풍) 등이 있다(CFDA, 1999; Choo 등, 2008; Song 등, 2014). 갯방풍은 우리나라 해안사구 모래언덕에 주로 자생하는 산형과(Umbelliferae)의 갯방풍속(*Glehnia*) 염생식물로, 잎은 톱니가 있는 작은 3개의 잎으로 갈라져 있으며 꽃잎은 길고 흰색이다. 잎과 뿌리에는 항진통, 항염증, 항암작용을 하는 coumarin, polyacetylene, saposhnikovian A, sesquiterpene 등의 약리적 효과를 가진 화합물이 함유되어 있어 어린 잎줄기는 채소로 식용하고 뿌리는 약용으로 사용한다(Choo 등, 2008; Lee, 2020; Um 등, 2010). 현재 갯방풍은 기능성 채소 및 고부가가치 상품으로 판매되고 있지만, 생약, 식생, 유전 및 형태 연구가 주로 이루어지고 있어 재배관리를 통한 생산 및 생리활성 화합물 함량을 증진하는 고품질 갯방풍 생산을 위한 연구가 필요한 실정이다(Choi 등, 1997; Kim 등, 2008; Moon 등, 2010; Song 등, 2014).

따라서, 본 연구는 염생식물인 갯방풍을 이용한 담액식 재순환 수경재배 시스템에서 다양한 NaCl 농도와 수확 전 처리 시기에 따른 생육반응 및 생리활성화합물 함량을 구명하고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 식물재료 및 재배환경

실험을 위해 갯방풍 종자를 3일간 베노밀 수화제(Farmhannong benomyl, FarmHannong Co., Jinju, Korea)를 사용하여 소독한 후 암조건, 5°C에서 10주간 저온 습윤 처리하였다. 그 후 종피를 제거한 종자를 128구 플러그 트레이(54cm × 28cm × 4.8cm, Bumnong Co. Ltd., Jeongeup, Korea)에 우레탄 스펀지(W × L × H: 30mm × 30mm × 40mm, Gafatec Co., Ltd., Korea)를 충전 하여 1구당 1립씩 파종하였다. 파종 후 경상국립대학교 시설원예학연구실의 밀폐형 식물 생산 시스템(C1200H3, FC Poibe Co. Ltd., Seoul, Korea)내에서 육묘하였으며 본엽이 출현한 이후 양지봉형 유리온실에서 수경재배하였다. Hoagland 배양액(Hoagland and Arnon, 1950)을 조제 하여 2주 간격으로 교체하여 사용하였다. 양액의 EC는 1.5dS·m⁻¹, pH는 6.5로 조절하여 공급하였다.

2. NaCl 농도 및 처리 시기

두 실험 모두 NaCl 무처리구를 대조구로 사용하였다. 실험은 각각 독립적으로 실시하였으며, 첫 번째 실험은 갯방풍의 수경재배 기간 동안 적절한 NaCl 농도를 확인하기 위해 수행되었다. 2020년 3월 6일에 파종한 묘를 본엽이 출현한 2020년 5월 25일에 정식 한 후 배양액에 NaCl을 각각 40, 80, 120, 160, 200mM 농도로 처리하여 2020년 6월 24일까지 30일간 재배하였다.

두 번째 실험은 수확 전 NaCl 처리가 갯방풍의 생육과 생리활성 화합물에 미치는 영향을 확인하기 위해 수행되었다. 2020년 5월 25일에 파종한 갯방풍을 본 엽이 출현한 2020년 6월 30일에 정식 하고 2020년 8월 19일까지 50일 동안 재배하였다. 수확 전 NaCl 처리는 수확 10일 전이었던 2020년 8월 10일과 수확 5일 전인 2020년 8월 15일에 50, 100, 150, 200mM 농도로 NaCl을 각각 처리하였다.

3. 생육 및 생리활성화합물

3.1 갯방풍 수경재배 시 NaCl 처리 농도에 따른 효과(실험 1)

생존율은 정식 후 4일 간격으로 모든 개체를 육안으로 조사하여 생존한 개체 수를 전체 정식 개체 수로 나누어 백분율로 나타내었다. 생육조사는 처리 당 6주를 무작위 선발하여 가장 큰 잎의 엽병장, 엽장, 엽폭, 엽수를 측정하였고, 근장은 크라운부터 지하부의 총 길이를, 경경과 근경은 각각 부위별로 가장 굵은 부분을 버니어캘리퍼스(CD-20CPX, Mitutoyo Co. Ltd., Kawasaki, Japan)를 이용하여 측정하였다. 엽록소 함량

은 엽록소 측정기(SPAD 502, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 완전히 전개된 잎 3매에서 측정하였고, 엽면적은 엽면적 측정기(LI-3000, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA)로 줄기를 제외한 잎의 면적만을 측정하였다. 생체중과 건물중은 전자저울(EW220-3NM, Kern&Sohn GmbH., Balingen, Germany)을 이용하여 측정하였는데, 건물중은 70°C 항온 건조기(Venticell-222, MMM Medcenter Einrichtungen GmbH., Planegg, Germany)에서 72시간 이상 건조한 시료의 지상부, 지하부 무게를 측정하였다.

3.2 갯방풍 수경재배 시 수확 전 NaCl 처리에 따른 효과 (실험 2)

NaCl 처리에 따른 생리장해 정도를 확인하기 위해 50일 후 처리 당 무작위로 선발된 6주의 모든 잎에서의 시각적인 피해 정도를 조사하여 백분율로 나타내었다. 피해가 나타나지 않은 잎은 0점, 얼룩이 나타난 잎은 1점, 황색 반점이 생긴 잎은 2점, 색이 연해지고 반점이 생긴 잎은 3점, 색이 연해지고 시든 잎은 4점, 시든 잎은 5점으로 계산하였다. 생육조사는 실험 1과 동일한 방법으로 수행하였으며, 광합성률은 처리 당 6주를 무작위로 선발하여 휴대용 광합성측정장치(CIRAS-3, PP Systems International Inc., Amesbury, MA, USA)로 생장점 으로부터 완전히 전개된 5번째 잎을 측정하였다.

총 페놀함량과 총 플라보노이드의 함량 측정은 처리 당 6주를 무작위로 선발하여 조사하였으며, 액체질소로 동결시킨 갯방풍 잎을 초저온 냉동고(NF-140SF, Nihon Freezer Co. Ltd., Yushima, Japan)에 -72°C의 온도로 보관하였다가 막 자사발에 분쇄한 후 시료 0.4g에 2mL의 80% methanol을 첨가하여 2mL 튜브에 넣고 암 상태에서 교반기에 45° 기울여 원심분리(15,000rpm, 25°C, 10min)후, 상층액을 추출하여 사

용하였다. 총 페놀함량은 Folin-ciocalteu's reagent 방법 (Singleton과 Rossi, 1965)을 일부 변형하여 측정하였고 분광 광도계로 735nm에서 흡광도를 측정하여 식물체 1g당 Gallic acid equivalent(mg)로 나타내었다. 총 플라보노이드 함량은 Kumaran과 Karunakaran 방법(2007)을 일부 변형하여 측정 하였으며 반응이 끝난 시료를 분광광도계 415nm에서 흡광도를 측정하여 식물체 1g당 quercetin equivalent(mg)로 나타내었다.

항산화 활성은 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) free radical scavenging activity method(Yamaguchi 등, 1998)를 일부 변형하여 측정 하였으며 반응이 끝난 시료를 분광광도계로 517nm에서 상층액의 흡광도를 측정하여 1g당 trolox(mg)로 표현하였다.

4. 통계분석

실험은 처리당 12개체씩 3반복의 난괴법으로 배치하였으며 균일한 6개체를 채취하여 조사하였다. 통계분석은 SAS 프로그램(SAS 9.4, SAS Institute Inc, Cary, NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 평균 간 비교는 던컨의 다중검정(Duncan's multiple range test)을 이용하여 5% 유의수준에서 각 처리 간 유의성을 검증하였다. 그래프는 SigmaPlot 프로그램(SigmaPlot 12.0, Systat Software, San Jose, CA, USA)을 이용하여 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 갯방풍 수경재배 시 NaCl 처리 농도에 따른 생육(실험 1)

정식 후 30일째에 갯방풍의 최종생육 결과를 Fig. 1에 나타냈다. 가장 농도가 높은 200mM NaCl에서 정식 7일째부터 고

Fig. 1. Growth of *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miquel as affected by different NaCl concentrations at 30 days after transplanting.

Fig. 2. Survival rate of *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miquel as affect by different NaCl concentrations at 30 days after transplanting. Vertical bars represent the stand deviation of the mean (n = 6). Different letters above bars indicate significant differences by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

사하는 갯방풍 묘가 관찰되었으며(Fig. 2), 160mM NaCl은 처리 8일, 120mM NaCl은 12일, 80mM NaCl은 16일부터 고사하는 개체가 나타났다. 또한, 정식 28일째에 200mM NaCl에서는 29.2%의 개체만 생존하였으나 40mM과 0mM에서는 고사하는 개체가 나타나지 않았다. 따라서 갯방풍 수경재배 시 배양액의 NaCl 농도가 80mM 이상일 때 갯방풍 묘에 염류 장애가 나타나는 것으로 판단된다.

Table 1은 갯방풍 정식 후 30일째의 생육을 나타낸 결과이다. 대조구 그리고 40mM 처리구와 비교해서 80mM 이상의 NaCl 처리에서 유의성 있게 생육이 감소하기 시작했다. 또한, NaCl 처리에 따른 양액의 EC 수준은 80mM NaCl 처리에서 평균 $9.3\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 측정되었는데(data not shown) Jang 등 (2019)이 보고한 EC $8.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상에서 갯방풍의 생육 저해가 나타났다는 결과와 비슷한 경향이였다. 이와 같은 결과는

NaCl 처리가 식물체와 양액의 수분퍼텐셜에 영향을 주어 수분 흡수가 감소한 것으로 판단되며, Park 등(2010)이 연구한 내염성 수종의 NaCl 농도별 성장 반응과 유사한 경향으로 나타났다.

2. 갯방풍 수경재배 시 수확 전 NaCl 처리에 따른 생육 (실험 2)

정식 후 50일째에 갯방풍의 잎에 나타난 가시적 피해를 Fig. 3와 Fig. 4에 나타내었다. 수확 10일 전 NaCl 처리에서는 200mM NaCl 처리에서 3.49의 유의적인 가시적 피해가 나타났으며, 수확 5일 전 150mM NaCl 처리에서 3.32, 200mM NaCl 처리에서 2.14의 유의적인 가시적 피해가 관찰되었다(Fig. 4). 염분은 토양에 축적되면 토양의 이온 농도를 높이고 수분 퍼텐셜을 감소시켜 식물의 수분흡수를 방해한다(Marschner, 1995). 본 실험에서도 고농도의 NaCl 처리로 양액의 수분 퍼텐셜이 낮아졌고, 이것이 식물에 삼투 스트레스로 작용하여 수분 부족과 위조 현상을 일으켜 잎에 생리장애가 나타난 것으로 판단된다.

정식 후 50일째에 갯방풍의 최종생육 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 갯방풍에 NaCl을 처리하였을 때 대조구 대비 50mM NaCl 처리 시 엽장 10.77cm , 근경 13.87mm , 지하부 생체중 6.78g 및 지상부 건물중 3.11g 으로 증가 되었다(Table 2). 그러나 염 농도가 높아지면서 생육이 감소되는 경향도 관찰되었는데, 특히 수확 5일 전 200mM 처리에서 지상부 생체중이 4.05g , 건물중이 0.69g , 지하부의 생체중이 2.07g , 건물중이 0.60g 으로 가장 낮았다. SPAD는 대조구와 수확 10일전, 5일 전 모두 50mM NaCl 처리 및 100mM NaCl 처리에서 가장 높았고, 수확 10일 전 200mM NaCl 처리에서 가장 낮았다(Fig. 6A). 엽면적은 수확 5일 전 200mM NaCl 처리에서 가장 낮게 나타났다(Fig. 6B). 염분 스트레스에 대한 식물의 반응은 식물 종과 품종, 생육 단계 및 환경조건 등에 따라 다양하게 나타

Table 1. Growth characteristics of *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miquel as affected by different NaCl concentrations at 30 days after transplanting.

NaCl concentration (mM)	Petiole length (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	Root length (cm)	Root diameter (mm)	Fresh weight (g/plant)		Dry weight (g/plant)	
							Shoot	Root	Shoot	Root
0 (control)	9.88 a ^z	7.70 a	12.25 a	15.67 a	17.20 b	13.42 a	19.01 a	10.30 a	2.97 a	1.20 a
40	8.60 ab	6.70 b	9.18 b	9.00 b	22.35 a	10.42 b	10.88 b	8.85 a	1.80 b	1.12 a
80	7.00 bc	3.92 c	4.68 c	6.00 bc	14.38 b	8.20 c	3.80 c	2.20 b	0.55 c	0.31 b
120	7.05 bc	3.53 c	3.52 c	4.17 c	11.05 c	8.38 c	2.56 c	1.50 b	0.39 c	0.36 b
160	5.95 c	3.70 c	3.92 c	3.33 c	8.43 cd	7.36 c	3.19 c	1.81 b	0.36 c	0.40 b
200	6.68 bc	2.63 d	2.53 c	2.33 c	6.28 d	4.25 d	0.85 c	0.50 b	0.15 c	0.14 b

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$ (n = 6).

Fig. 3. Visible injury score of *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miquel as affected by different NaCl concentrations with treatment timing at 50 days after transplanting.

Fig. 4. Visible injury score of *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miquel as affected by different NaCl concentrations and treatment timing at 50 days after transplanting. Vertical bars represent the stand deviation of the mean ($n = 6$). Different letters above bars indicate significant differences by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Fig. 5. Growth of *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miquel as affected by different NaCl concentrations with treatment timing at 50 days after transplanting.

난다(Giuliano 등, 1993). 적정 염 농도에서 시금치의 수확량이 증가(Osawa, 1963)했고, 저농도 단기간 NaCl 처리한 양상추의 생육이 증가(Kim과 Hyun, 2011) 했다는 연구 결과가 있으며, Bolu와 Polle(2004)은 저농도의 NaCl 처리가 세포질을 산성화시키고 세포벽 구성을 늦추어 세포를 성장시킨다고 보고했다. Kim 등(2019)은 염생식물인 나문재(*Suaeda glauca*)가 50mM NaCl 처리에서 생육이 증가하였다고 보고하였는데, 이는 척박한 해안사구에 자생하는 염생식물이 생장 환경에 최적으로 진화한 결과라고 하였다. 이러한 결과들을 통해 염분 스트레스가 작물에 부정적인 영향만 주는 것은 아니며(Shannon과 Grieve, 1998), 적절한 스트레스를 통해 작물 생육을 증진시킬 수 있음을 알 수 있다. 따라서 저농도의 NaCl 처리가 갯방풍의 생육을 증진하는 긍정적인 스트레스로 작용했으며, 특히 수확 10일 전 50mM NaCl 처리가 유의성 있게 효과적이었다.

식물의 잎 단위면적당 CO₂ 동화율은 식물의 광합성 능력에 따라 달라지며 이는 작물 생산량에 영향을 미치고(Gimenez 등, 1992; Peng 등, 1991), 축적된 NaCl은 식물의 수분흡수를 방해하고 식물세포의 기공폐쇄와 함께 광합성 기구 활성을 저해하여 광합성을 감소시킨다(Shannon과 Grieve, 1998; Termaat와 Munns, 1986). 본 실험에서 갯방풍의 기공전도도는 대조구 대비 수확 10일 전 NaCl 150mM 처리에서 56.22%, 수확 5일 전 100mM 처리에서 50.76%의 유의적인 감소가 나타났다(Fig. 7A). 갯방풍의 수분 이용효율은 대조구 대비 수확 10일 전 NaCl 50mM 처리에서 47.58%, 수확 5일 전 NaCl 100mM 처리에서 31.40%의 유의적인 감소가 관찰되었다(Fig. 7B). 광합성률은 대조구 대비 수확 10일 전 NaCl 50mM 처리에서 45.76% 감소, 수확 5일 전 NaCl 100mM 처리에서 57.81%의 유의적인 감소가 나타났다(Fig. 7C). 이와 같은 광합성 지표

의 감소는 Lee 등(1998)이 연구한 담배(*Nicotiana tabacum* L. cv. NC82), 수리취(Lee와 Lee, 2018) 및 고들빼기(Lee 등, 2020)에서 나타난 결과와 일치하였으며 염 스트레스로 식물체 내 이온이 과다하게 축적되어 식물의 수분 퍼텐셜이 낮아지고, 광합성 기구 활성이 저해되었음을 시사한다.

정식 후 50일째에 갯방풍의 총 페놀과 플라보노이드 함량은 NaCl 농도가 증가함에 따라 상대적으로 높아졌으며 특히 수확 5일 전 200mM NaCl 처리에서 가장 우수했다(Fig. 8A와 8B). 스트레스로 광합성 기구가 정상적으로 작동하지 못하면 식물체 내에 활성산소가 축적되는데, 이것은 독성물질로 작용하여 식물세포를 파괴하는 등 생장을 저해한다. 따라서 식물은 생리활성화합물을 생산하여 산화 방어 기작을 개시하는데, 이와 같은 생리활성화합물 함량의 증가는 보리(*Hordeum vulgare*), 스피어민트(*Mentha spicata* L.), 양초(*Leymus Chinensis* Trin.), 타임(*Thymus vulgaris* L.)의 연구에서 보고되었다(Bistgani 등, 2019; Choi와 Chiang, 2017; Kim 등, 2006; Shim 등, 2018). 마찬가지로 본 실험에서도 갯방풍의 총 페놀, 플라보노이드 함량이 증가하는 경향이었으나, 항산화 활성은 상대적으로 감소하였다(Fig. 8C). 이는 수리취(*Synurus deltoides*), 가는갯쟁이(*Atriplex gmelinii* C. A. Meyer), 로켓풀(*Cakile maritima*)에서 한계 수준 이상의 산화스트레스에 의해 항산화 능력이 감소하여 나타난 결과와 일치했다(Amor 등, 2006; Bae 등, 2003; Lee와 Lee, 2018). 따라서 200mM NaCl에서 항산화 활성 감소는 갯방풍의 항산화

Fig. 6. The SPAD (A) and leaf area (B) of *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miquel as affected by different NaCl concentrations at 50 days after transplanting. Vertical bars represent the standard deviation of the mean (n = 6). Different letters above bars indicate significant differences by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 2. Growth of *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miquel as affect by different NaCl concentrations with treatment timing at 50 days after transplanting.

Days before harvest (A)	NaCl concentration (mL) (B)	Leaf length (cm)	No. of leaves	Crown diameter (mm)	Root diameter (mm)	Fresh weight (g/plant)		Dry weight (g/plant)	
						Shoot	Root	Shoot	Root
10	Control	8.55 b-d ^z	6.33 a-c	9.47 a-c	10.40 bc	11.64 ab	4.25 b-d	2.05 bc	1.09 ab
	50	10.77 a	7.17 a	11.86 a	13.87 a	14.71 a	6.78 a	3.11 a	1.45 a
	100	9.17 a-c	6.83 ab	11.16 ab	11.47 ab	13.25 a	5.01 a-c	2.29 ab	1.00 bc
	150	7.50 c-e	5.50 a-c	6.93 cd	9.01 bc	7.29 bc	3.37 cd	1.19 cd	0.67 c
	200	7.87 c-e	5.00 bc	7.28 cd	8.94 bc	6.37 bc	4.44 bc	1.35 bc	0.84 b-d
5	50	7.10 c-e	6.83 ab	10.09 a-c	11.24 ab	10.79 ab	6.07 ab	2.06 ab	1.11 ab
	100	10.05 ab	6.17 a-c	10.00 a-c	10.14 bc	12.62 a	4.58 a-c	2.35 a	1.08 ab
	150	6.23 e	5.50 a-c	8.22 b-d	8.07 bc	6.67 bc	3.43 cd	1.21 bc	0.78 b-d
	200	6.73 ed	4.50 c	5.88 d	7.60 c	4.05 c	2.07 d	0.69 d	0.60 b
F-test	A	**	*	NS	*	NS	NS	NS	NS
	B	***	**	***	***	***	***	***	***
	AxB	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$ (n = 6).

NS, *, **, *** Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

Fig. 7. Stomatal conductance (A), water use efficiency (B), and photosynthetic rate (C) of *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miquel as affected by different NaCl concentrations and treatment timing at 50 days after transplanting. Vertical bars represent the stand deviation of the mean (n = 6). Different letters above bars indicate significant differences by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

능력을 초과하여 누적된 활성산소로 산화스트레스가 주어졌기 때문이라고 판단된다.

이상의 결과들을 종합하면, 정식 후 30일 동안 40mM 이상의 NaCl 처리 시 생리장해가 나타났으며 NaCl 농도가 증가함에 따라 광합성 지표는 낮아졌다. 수확 10일, 5일 전 NaCl 200mM 처리 시 총 페놀과 플라보노이드 함량이 유의적으로 증가하였으나 낮은 농도의 염 처리구 대비 생육이 저조하였으며, 생존률 및 생장을 고려하였을 때 고품질 갯방풍 생산에는 적합하지 않다고 판단된다. 결론적으로 담액식 수경재배 시스템에서 수확 10일 전 NaCl을 50mM 농도로 처리하는 것이 고품질 갯방풍의 생산을 위해서 효과적인 것으로 판단된다.

Fig. 8. Total phenolic compound (A), total flavonoid compound (B), antioxidant activity (C) of *Glehnia littoralis* Fr. Schmidt ex Miquel as affected by different NaCl concentrations and treatment timing at 50 days after transplanting. Vertical bars represent the stand deviation of the mean (n = 6). Different letters above bars indicate significant differences by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

적 요

본 연구는 갯방풍의 생장 및 생리활성화합물 함량에 대한 NaCl 농도 및 처리 시기의 효과를 조사하기 위해 수행되었다. 첫 번째 실험에서 갯방풍 묘는 온실에서 호글랜드(EC 1.5dS·m⁻¹, pH 6.5) 배양액에 NaCl 40, 80, 120, 160, 200mM을 첨가하여 담액식 수경재배 시스템에 정식 후 30일 동안 재배되었다. 두 번째 실험에서 갯방풍은 수확 10일 전, 5일 전에 양액에 NaCl 50, 100, 150, 200mM을 첨가하여 담액식 수경

재배 시스템에서 50일 동안 재배되었다. 두 실험 모두 NaCl 처리를 하지 않은 것을 대조군으로 사용했다. 식물 생장과 광합성 특성, 총 페놀함량, 총 플라보노이드 함량, 항산화 활성이 조사되었다. NaCl 농도가 80mM 이상일 때 갯방풍의 생육이 유의적으로 감소하였다. 두 번째 실험에서 엽수, 엽면적, 지상부와 지하부 건물중 같은 생육 특성은 수확 10일 전 50mM NaCl에서 유의적으로 우수했다. 광합성률은 대조구와 50mM NaCl 처리에서 가장 높게 나타났으며, 처리 시기와 관계없이 NaCl 농도가 100mM 이상일 때 유의적으로 감소하였다. 또한, 100mM 이상의 NaCl 농도에서 잎의 가시적 피해가 관찰되었다. 총 페놀함량 및 플라보노이드 함량은 수확 5일 전 200mM 처리에서 가장 높았다. 그러나, 항산화 활성은 대조구와 수확 10일 전 50mM 처리에서 가장 높았다. 결론적으로, 수경재배 시 양액에 수확 10일 전 50mM의 NaCl을 처리하는 것이 고품질 갯방풍 생산에 효과적이었다.

추가 주제어 : 광합성률, 담액식수경재배, 총페놀함량, 총플라보노이드함량, 항산화활성

Literature Cited

- Amor N.B., A. Jiménez, W. Megdiche, M. Lundqvist, F. Sevilla, and C. Abdelly 2006, Response of antioxidant systems to NaCl stress in the halophyte *Cakile maritima*. *Physiol Plant* 126:446-457. doi:10.1111/j.1399-3054.2006.00620.x
- Bae J.J., H.S. Yoon, Y.S. Choo, and S.D. Song 2003, The responses of antioxidative enzymes and salt tolerance of *Atriplex gmelini*. *Korean J Ecol* 26:273-280. (in Korean) doi:10.5141/JEFB.2003.26.5.273
- Bernstein L. 1975, Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Annu Rev Phytopathol* 13:295-312. doi:10.1146/annurev.py.13.090175.001455
- Bistgani Z.E., M. Hashemi, M. DaCosta, L. Craker, Maggi, and M.R. Morshedloo 2019, Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. *Ind Crops Prod*. 135:311-320. doi:10.1016/j.indcrop.2019.04.055
- Bolu W.H., and A. Polle 2004, Growth and stress reactions in roots and shoots of a salt-sensitive poplar species (*Populus x canescens*). *Trop Ecol* 45:161-171.
- China Food and Drug Administration (CFDA). 1999, Chinese herbal medicine. Ed 7, Shanghai Science and Technology Publisher, Shanghai, China, pp 687-693.
- Choi H.Y., S.I. Lee, and Y. Suh 1997, PCR-mediated RFLP to identify 'Bangpoong', a crude drug. *Kor J Pharmacogn* 28:1-8. (in Korean)
- Choi S.C., J.K. Kim, and Y.S. Choo 2013, Effects of salt stress on inorganic ions and glycine betaine contents in leaves of *Beta vulgaris* var. *cicla* L. *Korean J Ecology and Environment* 46:388-394. (in Korean) doi:10.11614/KSL.2013.46.3.388
- Choi Y., and M. Chiang 2017, Effect of jasmonic acid and NaCl on the growth of spearmint (*Mentha spicata* L.). *Protected Hort Plant Fac* 26:133-139. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2017.26.2.133
- Choo B.K., Y.I. Ji, B.C. Moon, B.B. Kim, A.Y. Lee, T.S. Yoon, H.K. Song, and H.K. Kim 2008, Ecological characteristics and native preservation method of *Glehnia littoralis* community in Korea coast. *J Korean Env Res & Reveg Tech* 11:38-48. (in Korean)
- Gimenez C., V.J. Mitchell, and D.W. Lawlor 1992, Regulation of photosynthetic rate of two sunflower hybrids under water stress. *Plant Physiol* 98:516-524. doi:10.1104/pp.98.2.516
- Giuliano G., G.E. Bartley, P.A. Scolnik 1993, Regulation of carotenoid biosynthesis during tomato development. *The Plant Cell* 5:379-387. doi:10.1105/tpc.5.4.379
- Hoagland D.R., and D.I. Arnon 1950, The water-culture method for growing plants without plant, Ed 3, Univ Calif Agric Exp Stat Circular-347, CA, USA.
- Jang J.H., H.I. Shin, and J.S. Park 2019, Analysis of growth and functional substance for *Cyperus rotundus* and *Glehnia littoralis* by EC treatment in reclaimed soil conditions. *Protected Hort Plant Fac* 28:411-419. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2019.28.4.411
- Kim D.W., H.Y. Heo, S.J. Suh, Y.H. Lee, and S.J. Kim 2006, Differentiation of barley response to drought and salt stress in antioxidant enzyme activity and free amino acid content. *Korea J Crop Sci* 51:133-138. (in Korean)
- Kim J.S., and T.K. Hyun 2011, Effect of NaCl stress on the growth, antioxidant materials, and inorganic ion content in head lettuce seedlings. *Kor J Hort Sci Technol* 29:433-440. (in Korean)
- Kim J.Y., P.M. Seong, D.B. Lee, and N.J. Chung 2019, Growth and physiological characteristics in a halophyte *Suaeda glauca* under different NaCl concentrations. *Korean J Crop Sci* 64:48-54. (in Korean) doi:10.7740/kjcs.2019.64.1.048
- Kim S.J., Y.W. Chin, K.D. Yoon, M.Y. Ryu, M.H. Yang, J.H. Lee, and J.W. Kim 2008, Chemical constituents of *Saposhnikovia divaricata*. *Kor J Pharmacogn* 39:357-364. (in Korean)
- Kumaran A., and R.J. Karunakaran 2007, In vitro antioxidant activities of methanol extracts of five *Phyllanthus* species from India. *Food Sci Technol* 40:344-352. doi:10.1016/j.lwt.2005.09.011
- Lee B.M., S.J. Shim, S.G. Lee, B.H. Kang, I.M. Chung, and K.H. Kim 1999, Physiological response on saline tolerance between halophytes and glycophytes. *Korean J Environ Agric* 18:61-65. (in Korean)
- Lee K.C., S.K. Han, K.K. Yoon, H.B. Lee, and J.M. Song 2020, Effects of NaCl on the growth and physiological characteristics

- of *Crepidiastrum sonchifolium* (Maxim.) Pak & Kawano. Korean J Medicinal Crop Sci 28:1-8. (in Korean) doi:10.7783/KJMCS.2020.28.1.1
- Lee K.C., and H.B. Lee 2018, Effects of NaCl on growth and physiological characteristics of *Synurus deltoides* (Aiton) Nakai. J Agric Life Sci 52:55-72. (in Korean) doi:10.14397/jals.2018.52.2.55
- Lee S.B., C.K. Kang, B.M. Lee, M.S. Kim, M.C. Cho, C.S. Choi, Y.J. Oh, J.S. Shim, D.Y. Choi, H.S. Nam, H.J. Jee, and M.K. Hong 2010, The salt tolerance of vegetable crops - red peppers and cucumber. Korean J Soil Sci Fert 263-263. (in Korean)
- Lee H.R. 2020, CO₂ concentration and light intensity affect growth and bioactive compound content of medicinal plants grown in a closed-type plant production system. Master Dissertation, Gyeongsang National Univ., Jinju, Korea, pp 7-13.
- Lee S.G., J.S. Shin, Y.S. Seok, and G.K. Bae 1998, Effects of salt stress on photosynthesis, free proline content and ion content in tobacco. Korean J Environ Agric 17:215-219. (in Korean)
- Marschner H. 1995, Mineral nutrition of higher plant., Ed 2, Academic press, London, pp 662-663.
- Matthew A.J., and P.M. Hasegawa 2013, Plant abiotic stress, Ed 2, John Wiley & Sons, West Sussex, UK, pp 133-145.
- Moon J.H., Y.A. Jang, H.K. Yun, S.G. Lee, and J.W. Lee 2010, Determination of salt type, salt concentration, and salt application method and timing for suppression of stem elongation in grafted cucumber seedlings. Protected Hort Plant Fac. 19:317-323. (in Korean)
- Müller I., B. Schmid, and J. Weiner 2000, The effect of nutrient availability on biomass allocation patterns in 27 species of herbaceous plants. Perspect Plant Ecol Evol Syst 3:115-127. doi:10.1078/1433-8319-00007
- Osawa T. 1963, Studies on the salt tolerance of vegetable crops with special reference to osmotic effects and specific ion effects. J Jpn Soc Hortic Sci 32:211-223. doi:10.2503/jjshs.32.211
- Park W.J., B.S. Seo, C.M. Park, C.H. Choi, and S.M. Choi 2010, Growth responses of 4 species to NaCl concentration in artificial soil. Kor J Env Eco 24:735-743. (in Korean)
- Peng S., D.R. Krieg, and F.S. Girma 1991, Leaf photosynthetic rate is correlated with biomass and grain production in grain sorghum lines. Photosyn Res 28:1-7. doi:10.1007/BF00027171.
- Shabala S.G., H.H. Wu, and J.K. Bose 2015, Salt stress sensing and early signalling events in plant roots: current knowledge and hypothesis. Plant Sci 241:109-119. doi:10.1016/j.plantsci.2015.10.003
- Shannon M.C., and C.M. Grieve 1998, Tolerance of vegetable crops to salinity. Sci Hortic 78:5-38. doi:10.1016/s0304-4239(98)00189-7
- Shim D.H., K.J. Nam, and Y.H. Kim 2018, Analysis of antioxidant enzyme activity during seedling growth of *Leymus chinensis* Trin under salt and dehydration stresses. J Life Sci 28:772-777. (in Korean) doi:10.5352/JLS.2018.28.7.772
- Singleton V.L., and J.A. Rossi 1965, Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. Am J Enol Vitic 16:144-158.
- Sohn Y.M., G.Y. Jeon, J.D. Song, J.H. Lee, and M.E. Park 2009, Effect of drip irrigation on soil salinity control and growth of cabbage at the newly reclaimed tidal lands in Korea. Korean J Soil Sci Fert 42:492-499. (in Korean)
- Song K.S., S.J. Kwon, J.H. Yoon, C.H. Kim, Y.B. Park, and J.J. Kim 2014, Characteristics of growth and root development of *Peucedanum japonicum* seedling by shading rate and container size. Korean J Medicinal Crop Sci 22:384-390. (in Korean) doi:10.7783/KJMCS.2014.22.5.384
- Termaat A., and R. Munns 1986, Use of concentrated macronutrient solutions to separate osmotic from NaCl-specific effects on plant growth. Aust J Plant Physiol 13:509-522. doi:10.1071/PP9860509
- Um Y.R., J.I. Lee, J.H. Lee, H.J. Kim, S.S. Yea, and Y.W. Seo 2010, Chemical constituents of the halophyte *Glehnia littoralis*. J Kor Chem Soc 54:701-706. (in Korean) doi:10.5012/jkcs.2010.54.6.701
- Yamaguchi T., H. Takamura, T. Matoba, and J. Terao 1998, HPLC method for evaluation of the free radical-scavenging activity of foods by using 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl. Biosci Biotechnol Biochem 62:1201-1204. doi:10.1271/bbb.62.1201