

염농도에 따른 갯질경(*Limonium tetragonum*) 종자의 발아와 식물체의 생장 및 항산화 활성

정재혁¹, 황운하¹, 안승현¹, 정한용¹, 이현석¹, 백정선¹, 최경진¹, 이견휘¹, 나지은², 정남진³, 이승재⁴, 윤성중^{3*}

¹농촌진흥청 국립식량과학원 작물재배생리과, ²농촌진흥청 국립식량과학원 작물기초기반과
³전북대학교 농업생명과학대학 작물생명과학과, ⁴전북대학교 자연과학대학 화학과

Seed Germination, Plant Growth and Antioxidant Capacity of *Limonium tetragonum* under Different Salt Concentrations

Jae-Hyeok Jeong¹, Woon-Ha Hwang¹, Sung-Hyun An¹, Han-Yong Jeong¹, Hyeon-Seok Lee¹, Jung-Sun Baek¹, Kyung-Jin Choi¹, Geon-Hwi Lee¹, Ji-Eun Ra², Nam-Jin Chung³, Seung Jae Lee⁴ and Song Joong Yun^{3*}

¹Crop Production and Physiology Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

²Crop Foundation Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

³Department of Crop Science & Biotechnology, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

⁴Department of Chemistry and Research Institute of Physics and Chemistry, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

Abstract - *Limonium tetragonum* is a halophyte grown naturally in the coastal region in South Korea. This study was conducted to investigate the effects of salt concentrations on seed germination, seedling growth, and antioxidant capacity of *L. tetragonum*. Seeds were collected from naturally grown plants of *L. tetragonum* and those at full maturity were used in this experiment. All experiments were performed at 0%, 0.5%, 1.0%, or 2.0% of salt concentrations. Seed germination rate was highest as 86% at 20°C and followed as higher in order of 25°C, 30°C and 15°C. The germination rate was about 80% at 0% or 0.5% of salt concentration, but it was very low at the salt concentrations higher than 1%. Growth of *L. tetragonum* seedlings showed no difference in Hoagland solution containing NaCl in the range of 0% to 1.0% and seedlings survived at 2.0% of NaCl concentration. As the salt concentration increased, the content of Na⁺ in the shoot increased, but that of K⁺, Ca⁺⁺, or Mg⁺⁺ decreased. The antioxidant activity and the content of total polyphenol and total flavonoid in the shoot were similar at 0% and 0.5% of NaCl and were highest at 2.0% of NaCl concentration. In conclusion, performance of seed germination and plant growth of *L. tetragonum* was highest at 0% and 0.5% of NaCl concentration, and showed no difference in antioxidant activity, total polyphenol contents, and total flavonoid contents at the same salt concentrations.

Key words - Antioxidant capacity, Germination, Growth, Halophyte, *Limonium tetragonum*

서 언

우리나라 서해안과 남해안의 해안염습지 및 간척지에는 다

양한 종류의 염생식물이 자생하고 있다(Kim, 1983; Shim *et al.*, 2002). 염생식물은 염분 농도가 높은 토양에 잘 적응하여 생장하고, 고염 환경 적응성과 관련된 형태적 특성과 체내 염분을 제거하기 위한 생리적 기작을 가지고 있다(Waisel, 1972). 또한 오염물질의 정화 능력이나 다양한 약리작용으로 인해 관심

*교신저자: sjyun@jbnu.ac.kr

Tel. +82-63-270-2508

© 본 학회지의 저작권은 (사)한국자원식물학회지에 있으며, 이의 무단전재나 복제를 금합니다.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

의 대상이 되고 있으며 재배를 통한 이용 가능성이 날로 증가하고 있다(Lee *et al.*, 2004; Min, 1998).

염생식물에는 항산화 활성이 높은 다양한 종류의 2차 대사산물이 다량 함유되어 있는데(Ksouri *et al.*, 2008), 이들 2차 대사산물은 식품과 화장품 등 다양한 분야의 산업용 소재로서의 잠재성이 높다(Meot-Duros *et al.*, 2008). 특히 페놀성 화합물은 자유 라디칼을 소거하는 활성을 기반으로 항균, 항암 등의 다양한 생리적 기능을 나타내며(Madsen *et al.*, 1996; Moller *et al.*, 1999), 2차 페놀성 물질의 한 부류인 플라보노이드도 높은 항산화 활성을 가지는 것으로 보고되었다(Heim *et al.*, 2002).

염생식물인 갯질경(*Limonium tetragonum*)은 바닷가에서 서식하는 두해살이풀인데, 그 뿌리와 잎은 자궁 출혈, 만성 골수 출혈, 이명 등을 치료하는 민간 요법의 재료로 사용되어 오고 있다(Yang *et al.*, 2014). 갯질경은 식용 및 약용으로 활용 가능한 식물이고, 추출물은 세포독성이 거의 없으며 간암 진행에 중요한 요인인 Matrix metalloproteinases 활성을 억제하고(Bae *et al.*, 2016), 간 섬유증 억제와 항암활성에 효과가 있다고 보고되었다(Yang *et al.*, 2014; Kong *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2016). 또한 갯질경은 혈중알코올 농도를 빠르게 낮추어 급성알코올 독성에 대한 간 보호 효과가 있고(Kim *et al.*, 2015), 간에서 항산화 활성이 높는데 주요 활성물질은 플라보노이드 계열인 myricetin과 quercetin으로 동정되었다(Lee *et al.*, 2011). 갯질경은 주로 간에 대해서 다양한 효과를 나타내지만 골다공증을 억제하는 효과도 있다(Kwon *et al.*, 2016).

염생식물은 염농도가 2~100배 차이가 나는 토양 표면에서 삼투압, 이온 독성 등을 성공적으로 극복하여 발아를 하고 종에 따라 다양한 발아 양상을 보인다(Ungar, 1978). 예를 들면,

*Hordeum jubatum*은 염농도 1.0%까지 80% 발아율을 보이고 염농도 2.0%에서는 발아율이 10%로 낮아지지만(Ungar, 1974), 상대적으로 높은 염농도에서 서식하는 *Salicornia herbacea*는 염농도 3.0%까지 60% 이상의 발아율을 보인다(Jeong *et al.*, 2013).

식물은 염 스트레스 상태에서 생장의 감소와 대사활성의 변화 등의 다양한 형태적·생리적 반응을 보인다(Lee *et al.*, 1999). 따라서 각 염생식물 종은 특정 염농도 범위 내에서 생장이 양호한 반응을 나타낸다. 예를 들면, 대표적인 염생식물인 통통마디는 염농도 0.6%~1.2%에서 생장이 좋고, 갯개미자리는 염농도 0.3%에서 생장이 양호하다(Jeong *et al.*, 2013; Jeong *et al.*, 2014). 갯질경은 항암, 항산화, 혈중알코올 분해 등의 효과를 나타내는 성분을 함유하고 있어 유망한 약용자원으로서의 활용가치가 높으나 염 스트레스에 대한 생리 반응 연구 등 갯질경의 재배화에 필요한 조사와 연구가 거의 이루어지지 않은 상황이다.

본 연구는 갯질경의 재배기술 개발에 필요한 기초자료를 얻기 위하여 염농도에 따른 종자의 발아와 식물체의 성장 그리고 식물체 내 무기성분, 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량 변화 양상 등을 조사·분석하였다.

재료 및 방법

식물 재료

전라북도 새만금 간척지 유역에서 2015년 11월 10일에 갯질경 종자를 채종하였고, 종자를 정선하여 10°C 창고에서 보관하면서 3월부터 본시험에 사용하였다(Fig. 1). 충실하게 결실된 종

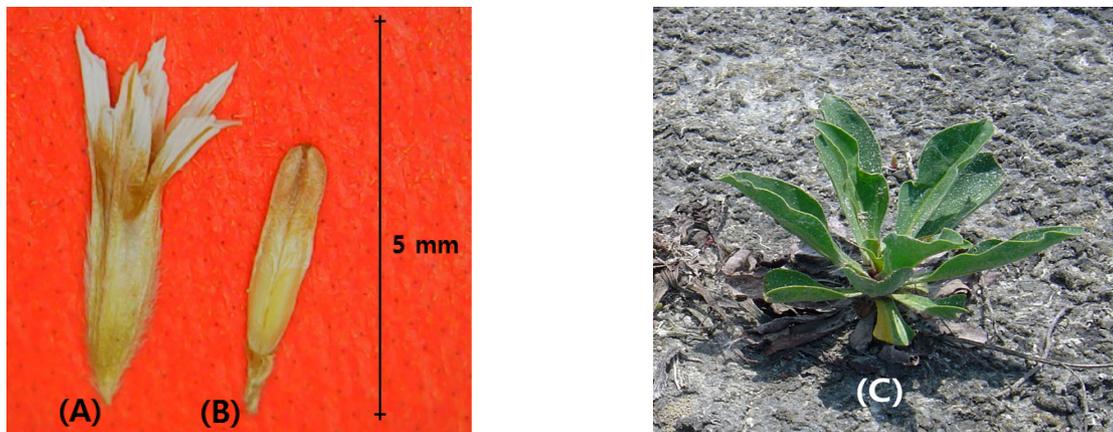


Fig. 1. Morphological characteristics of *Limonium tetragonum*; flower (A), exposed seed (B), and plant growing in the reclaimed land at the end of May (C).

자를 발아율과 식물체의 생장 특성을 조사하였다.

온도 및 염농도에 따른 발아율

갯질경 종자의 온도 및 염 농도에 따른 발아율은 반복당 종자 30립을 치상하여 5반복으로 조사하였다. 페트리디쉬에 여과지 1장을 깔고 실험에 따라 증류수 및 NaCl 용액을 5 ml 씩 첨가하여 종자를 침지시켰다. 발아상의 광주기는 주/야 12h로 하였으며, 발아율은 14일 동안 조사하였다. 온도에 따른 발아율은 증류수로 침중한 종자를 15°C, 20°C, 25°C 및 30°C에서 배양하여 조사하였다. 염농도에 따른 발아율은 발아가 가장 양호한 20°C에서 종자가 치상된 여과지에 각각 0%, 0.5%, 1.0% 및 2.0%의 NaCl 용액을 처리하여 조사하였다.

양액재배 조건에서 염농도에 따른 생장 반응

갯질경의 염농도에 따른 생장반응은 온도 조절이 가능한 실험 온실에서 조사하였다. 실험 온실의 평균온도는 24±0.5°C, 주야간 일교차는 10±0.5°C로 설정하였다. 식물체는 Hoagland 용액(Table 1)을 이용하여 수경재배 하였다. 배양액의 염농도는 NaCl을 이용하여 각각 0%, 0.5%, 1.0% 및 2.0% 수준으로 조정하였으며, 배양액은 1주일 간격으로 교체하였다. 총 14개의 구멍이 8 cm×10 cm 간격으로 뚫려있는 스티로폼 양액 정식판의 각 구멍에 식물체를 1개체 씩 9주 동안 재배하였다. 초장, 엽수, 생체중량, 건물중량 등은 9주 동안 재배한 식물체를 대상으로 조사하였다.

무기성분 함량 조사

식물체의 무기성분은 식량작물환경 분석법 핸드북을 기준으로 분석하였다(NICS, 2014). 채취된 식물체 시료는 70°C에서 2일 동안 건조시켜 분쇄하였다. 건물 0.5 g의 분쇄 시료를 과산화 수소-황산 방법으로 분해하여, 200배액의 분석 시료액을 만들었다. 무기성분(Ca⁺⁺, K⁺, Mg⁺⁺ 및 Na⁺) 함량은 ICP-OES (Varian Vistar-MPX, USA)으로 조사하였으며, 무기성분에 따라 K-766.490 nm, Ca-396.847 nm, Mg-279.553 nm, Na-589.592 nm 파장에서 측정하였다(Jeon and Park, 2011).

ABTS 라디칼 소거능 측정

염농도별로 9주 동안 수경재배한 갯질경의 지상부를 채취하여 분석용 시료로 사용하였다. 건조분말 시료 1 g을 80% 메탄올 10 ml로 37°C에서 12시간 교반하여 추출한 다음 감압농축하여 분석용 추출액을 제조하였다. ABTS (2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate)) 라디칼 소거능은 Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) 분석법(Ra *et al.*, 2014)을 변형하여 96 well plate를 이용하여 측정하였다. ABTS 용액은 7 mM ABTS 용액에 potassium persulfate를 2.4 mM이 되도록 용해시킨 다음 암실에서 4~8시간 동안 반응시켜 흡광도 값을 안정시킨 후 사용하였다. ABTS 용액 0.9 ml에 일정 농도의 시료액 0.1 ml을 가하여 잘 혼합한 다음 실온에서 1분간 반응시켜 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. ABTS 라디칼 소거능은 시료 무첨가구에 대한 시료 첨가구의 흡광도(A) 비(%)로 나타내었다.

$$ABTS \text{ 라디칼 소거능}(\%) = [(A_{blank} - A_{sample}) / A_{blank}] \times 100$$

DPPH 라디칼 소거능 측정

DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 라디칼 소거능은 ABTS 라디칼 소거능 측정을 위해 준비한 추출액을 이용하여 Dietz *et al.* (2005)의 방법에 따라 96 well plate를 이용하여 측정하였다. 추출물과 0.15 mM DPPH 시약을 실온조건 암실에서 30분간 반응시킨 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH 라디칼 소거능은 시료 무첨가구에 대한 시료 첨가구의 흡광도(A) 비(%)로 나타내었다.

$$DPPH \text{ 라디칼 소거능}(\%) = [(A_{blank} - A_{sample}) / A_{blank}] \times 100$$

총 폴리페놀 함량 분석

건조 분말 시료 1 g에 80% 메탄올 10 ml을 37°C에서 12시간 교반하여 분석용 추출액을 준비하였다. 총 폴리페놀 함량은 Folin-Denis method를 변형하여 측정하였다(Isabelle *et al.*, 2008). 96 well plate에 추출액 10 µl와 2% sodium carbonate

Table 1. Ingredients of Hoagland solution

Macronutrients	N	P	K	Ca	Mg
	----- me/L -----				
Concentration	12	3	6	7	4

*Micronutrients (ppm) : Fe-0.8, B-0.5, Mn-0.5, Zn-0.05, Cu-0.02, Mo-0.01.

200 μ l를 혼합하여 3분 동안 반응시킨 후, 0.2 N Folin-Ciocalteu's phenol reagent 10 μ l을 첨가하여 실온에서 27분 동안 반응을 진행시켰다. 이후 750 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 총 폴리페놀 함량은 gallic acid의 함량과 비교하여 계산하였다.

총 플라보노이드 함량 분석

총 플라보노이드 함량은 Colorimetric method를 96 well plate에 맞게 변형하여 측정하였다(Dewanto *et al.*, 2002). 추출액 시료 25 μ l에 초순수 100 μ l와 5% NaNO₂ 7.5 μ l를 넣고 5분 동안 반응시킨 후, 10% Al₃·6H₂O 15 μ l을 넣고 6분 동안 반응시켰다. 이후 1 M NaOH 50 μ l을 넣고 37°C에서 11분 후에 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 플라보노이드는 catechin의 함량과 비교하여 계산하였다.

통계분석

통계분석은 R (3.2.1) 프로그램을 이용하여 성적의 분산분석(ANOVA) 및 처리평균간 유의성을 검정하였다. 처리평균간 유의성은 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

결과 및 고찰

온도 및 염농도에 따른 발아율

갯질경 종자의 온도에 따른 발아율은 20°C에서 86%로 가장 높았으며, 이어서 25°C, 30°C, 15°C 등의 순서로 발아율이 낮았다. 20°C와 25°C 발아율은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 2). 갯질경이속 식물인 *Limonium lilacinum*와 *L. iconicum*은 평균온도 20°C (최저 15/최고 25°C)와 25°C (최저

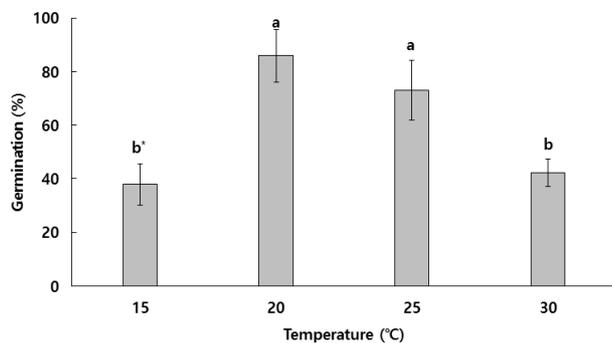


Fig. 2. Germination of *Limonium tetragonum* seeds under different temperatures. *Means with the same letters are not significantly different by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

20/최고 30°C)에서 발아율이 90% 이상으로 높은 반면에 15°C (최저10/최고 20°C)에서는 발아율이 60% 이하로 낮아서(Yildiz *et al.*, 2008), 본 연구의 갯질경과 유사한 경향이였다.

종자의 발아율이 가장 높은 20°C에서 갯질경의 염농도에 따른 발아율을 조사하였다(Fig. 3). 염농도 0%와 0.5%에서 종자의 발아율이 각각 86%와 79%로 높았고 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 염농도 1.0% 이상에서는 발아율이 매우 낮았다. 갯질경이속의 *L. lilacinum*과 *L. iconicum*은 염농도 0% 수준에서 발아율이 90% 이상으로 높았지만, 염농도 0.5% 수준에서는 발아율이 40%로 급격히 낮아졌다고 보고하였다(Yildiz *et al.*, 2008). 반면에 갯질경 종자는 염농도 0.5%까지는 안정적인 발아가 가능한 것으로 판단된다. 소금기가 있는 땅에 자생하는 염생식물이라도 발아율은 낮은 염농도에서 높다는 보고(Ungar, 1978)와 같은 경향을 보였다.

양액재배 조건에서 염농도에 따른 생장 반응

갯질경 식물체의 염농도에 따른 생장 반응은 Hoagland 배양액에서 9주 동안 재배한 식물체를 대상으로 조사하였다. 최적 염농도는 조사항목에 따라 다르게 나타났는데, 초장은 1.0%에서 13.0 cm, 엽수는 0%에서 15.7개, 생체중량은 0.5%에서 11.5 g, 건물중량은 0%에서 1.5 g으로 각각 최고치를 보였다(Table 2). 하지만 모든 생장 조사 항목은 염농도 0~1.0%에서 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 갯질경 식물체는 염농도 2.0%에서도 생존하였고, 건물중량은 염농도 0%와 비교하여 약 60%에 해당하였다. 염생식물의 생장에 적합한 염농도는 식물 종에 따라 다른데, 갯능쟁이는 0%, 갯개미자리는 0.3%, 통통마

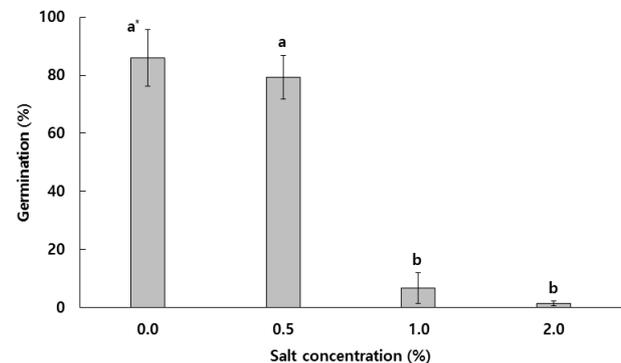


Fig. 3. Germination of *Limonium tetragonum* seeds under different salt concentrations. *Means with the same letters are not significantly different by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

Table 2. The effect of salt concentration on the growth of *Limonium tetragonum* seedlings in Hoagland culture medium

Concentrations (%)	Length (cm)	No. of leaves (ea./plant)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
0.0	12.4±0.52 ^{a,z}	15.7±0.25 ^a	10.9±1.18 ^a	1.5±0.24 ^a
0.5	12.9±0.55 ^a	15.3±1.87 ^a	11.5±1.23 ^a	1.4±0.16 ^a
1.0	13.0±0.68 ^a	14.3±1.00 ^a	9.9±1.57 ^a	1.3±0.26 ^a
2.0	10.1±1.10 ^b	11.4±0.76 ^b	5.4±1.57 ^b	0.8±0.24 ^b
ANOVA	** ^y	**	**	**

^zDuncan's multiple range test, $P < 0.05$.

^yANOVA P values: ** $P < 0.01$.

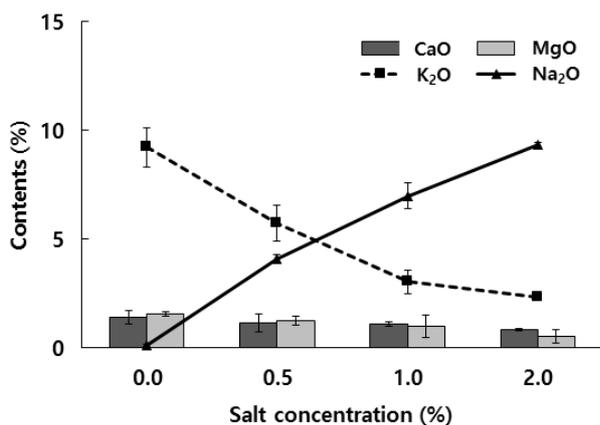


Fig. 4. Content of mineral elements in the shoots of *Limonium tetragonum* seedlings grown under different salt concentrations for nine weeks.

이는 0.6~1.2%에서 생장이 가장 양호한 것으로 알려져 있다 (Ungar, 1996; Jeong *et al.*, 2014; Jeong *et al.*, 2013). 본 연구에서 처음으로 조사한 갯질경의 경우는 생육에 가장 적합한 염농도가 0~1.0%로 나타나서, 갯질경은 다소 넓은 염농도 범위에서 안정적인 생장이 가능한 염생식물로 판단된다.

무기성분 함량

염농도별로 수경재배한 갯질경 식물체의 지상부 조직의 무기성분 함량은 염농도가 높아질수록 Na⁺ 함량은 높아지고, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ 함량은 낮아지는 경향을 보였다(Fig. 4). Ca⁺⁺와 Mg⁺⁺ 함량은 변화폭이 작았지만, Na⁺와 K⁺ 함량은 상대적으로 변화폭이 컸다. 이러한 결과는 염농도에 따른 Na⁺와 K⁺의 경쟁적인 흡수기작(Erdei and Kuiper, 1979)이 갯질경에서도 분명하게 나타나며, 이는 갯개미자리와 나문재 등의 염생식물에서 염농도가 증가함에 따라 Na⁺ 함량도 증가하는 것과 유사한 경향

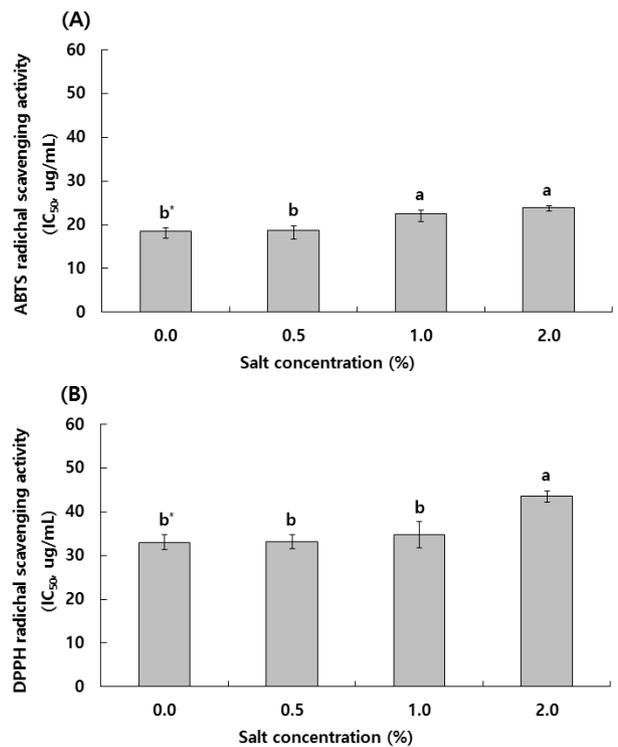


Fig. 5. ABTS(A) and DPPH(B) radical scavenging activities in the shoots of *Limonium tetragonum* seedlings grown under different salt concentrations for nine weeks. *Means with the same letters are not significantly different by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

이었다(Lee, 1999).

ABTS와 DPPH 활성

염농도별로 수경재배한 갯질경 지상부의 항산화 활성을 알아보기 위해, ABTS 라디칼 소거능(Fig. 5A)과 DPPH 라디칼 소거능(Fig. 5B)을 조사하였다. ABTS 라디칼 소거능은 염농도 0%

와 0.5%에서는 차이가 없이 낮았으나, 염농도 1.0%과 2.0%에서는 크게 증가하였고 통계적으로도 유의한 차이가 있었다. DPPH 라디칼 소거능은 염농도 0%, 0.5%, 1.0%에서는 차이가 없었지만, 염농도 2.0%에서는 소거능이 통계적으로 유의한 정도로 높아졌다. 염 스트레스는 식물에서 산화 스트레스 조건을 유도할 수 있다(Zhu, 2000). 염생식물 *Cakile maritima*는 NaCl 농도가 1.2%까지 증가할수록 항산화 효소 활성이 높았고 더 높은 NaCl 농도에서는 생장과 항산화 효소 활성이 낮아졌다(Amor *et al.*, 2006). 갯질경도 염농도가 높아질수록 항산화 활성이 높아 *C. maritima*와 유사한 경향을 보였다. 갯질경은 염농도에 따라 생장과 항산화 활성이 비슷한 경향을 보였으며, 따라서 염농도 1.0% 이내 수준에서는 염에 의한 생리적인 스트레스가 크지 않을 것으로 판단된다.

총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량

염농도별로 수경재배한 갯질경 지상부의 총 폴리페놀(Fig.

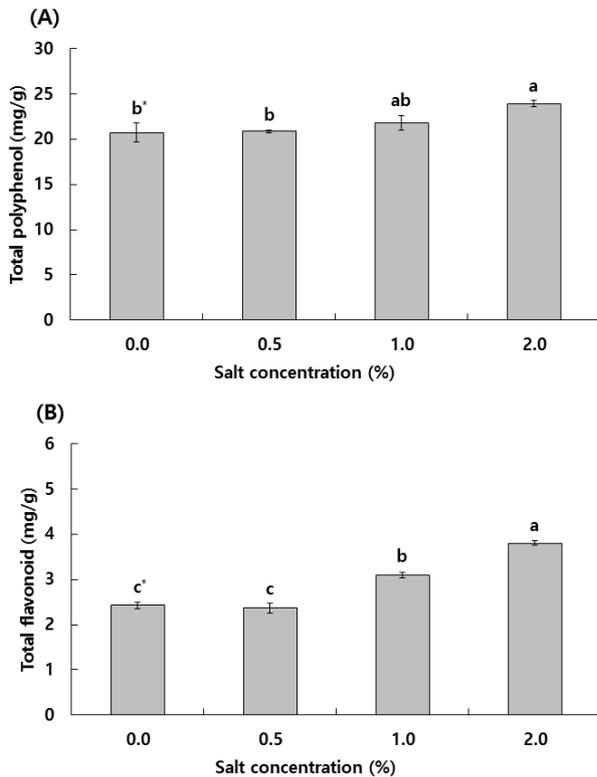


Fig. 6. The total polyphenol (A) and flavonoid (B) contents in the shoots of *Limonium tetragonum* seedlings grown under different salt concentrations for nine weeks. *Means with the same letters are not significantly different by Duncan's multiple range test at $P < 0.05$.

6A)과 총 플라보노이드(Fig. 6B) 함량을 조사하였다. 그 결과, 갯질경은 배양액의 염농도가 증가하면 식물체 조직에 항산화 활성과 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량도 증가하는 경향을 보였다. 특히 염농도 0%와 0.5%에서는 함량 차이가 없었지만, 염농도 1.0%부터는 함량이 증가하기 시작해서 염농도 2.0%에서 가장 높았으며, 통계적으로도 유의적인 차이가 있었다. 폴리페놀 화합물은 식물의 대사가 환경 스트레스에 의해 손상될 때 발생하는 활성 산소에 대한 방어와 관련이 있고(Sreenivasulu *et al.*, 2000), 염생식물의 페놀성 화합물 농도와 항산화 활성 관계를 조사한 결과 유의한 상관관계가 있다고 보고되었다(Stankovic *et al.*, 2015; Kim and Cha, 2017).

적 요

본 연구는 염생식물인 갯질경의 염농도에 따른 종자 발아, 식물체의 생장 및 식물체 내 항산화 활성, 총 폴리페놀 함량, 총 플라보노이드 함량을 조사하고자 수행하였다. 갯질경 종자는 20°C에서 발아율이 86%로 가장 높았고, 이어서 25°C, 30°C, 15°C 순서로 발아율이 높았다. 20°C에서 갯질경 종자의 발아율은 염농도 0%와 0.5%에서 80% 이상으로 높았지만, 염농도 1.0% 이상에서는 발아율이 매우 낮았다. 갯질경 식물체의 생장은 염농도 0%에서 1.0%까지는 차이가 없었고, 염농도 2%에서는 염농도 0%와 비교하여 60% 수준의 건물중량을 보였다. 식물체 내 무기성분 함량은 염농도가 높을수록 Na^+ 함량은 증가하였고, K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} 함량은 감소하였다. 항산화 활성 및 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량은 염농도 0%와 0.5%에서 비슷하였고, 염농도 2%에서 가장 높은 경향을 보였다. 따라서 염농도 0.5% 이하의 토양에서 갯질경을 재배하면 안정적인 발아와 생장이 가능하고, 항산화 활성 및 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량의 변화가 적기 때문에 균일한 품질의 항산화 관련 재료를 얻는데 유용할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 시험연구과제 '염생식물 유전자원에서 내염성 자원의 탐색 및 선발(PJ01106702)'의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Amor, N.B., A. Jimenez, 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.
- Bae, M.J., F. Karadeniz, S.G. Lee, Y.W. Seo and C.S. Kong. 2016. Inhibition of MMP-2 and MMP-9 activities by *Limonium tetragonum* extract. *Prev. Nutr. Food Sci.* 21(1):38-43.
- Dewanto, V., X. Wu, K.K. Adom and R.H. Liu. 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.* 50(10):3010-3014.
- Dietz, B.M., Y.H. Kang, G. Liu, A.L. Eggler, P. Yao, L.R. Chadwick, G.F. Pauli, N.R. Farnsworth, A.D. Mesecar, R.B. van Breemen and J.L. Bolton. 2005. Xanthohumol isolated from *Humulus lupulus* inhibits menadione-induced DNA damage through induction of quinone reductase. *Chem. Res. Toxicol.* 18:1296-1305.
- Erdei, L. and P.J.C. Kuiper. 1979. The effect of salinity on growth, action content, Na⁺-uptake and translocation in salt-sensitive and salt-tolerant *Plantago* species. *Plant Physiol.* 47:95-99.
- Heim, K.E., A.R. Tagliaferro and D.J. Bobilya. 2002. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *J. Nutri. Biochem.* 13:572-584.
- Isabelle, M.B., L. Lee, C.N. Ong, X. Liu and D. Huang. 2008. Peroxyl radical scavenging capacity, polyphenolics, and lipophilic antioxidant profiles of mulberry fruits cultivated in Southern China. *J. Agric. Food Chem.* 56:9410-9416.
- Jeon, B.Y. and D.H. Park. 2011. Effect of glasswort (*Salicornia herbacea* L.) and rice (*Oryza sativa* L.) on quality of Ganjang (Korean soy sauce). *Food Sci. Biotech.* 20(4):979-986.
- Jeong, J.H., S. Kim, J.H. Lee, W.Y. Choi, K.B. Lee and K.M. Cho. 2014. Germination and growth response of *Spergularia marina* Griseb by salt concentration. *Korean J. Crop Sci.* 59(2):139-143.
- Jeong, J.H., T.K. Kim, W.Y. Choi, N.H. Baek, C.H. Yang, D.H. Kim, S. Kim, Y.D. Kim, S.B. Lee, K.B. Lee, K.H. Park and K.M. Cho. 2013. Optimum salinity concentration and nitrogen fertilization for *Salicornia herbacea* growth in reclaimed land. *Korean J. Intl. Agri.* 25(1):62-67.
- Kim, C.S. and T.G. Song. 1983. Ecological studies on the halophyte communities at western and southern coasts in Korea. *Korean J. Ecology* 6(3):167-176.
- Kim, N.H., J.D. Heo, T.B. Kim, J.R. Rho, M.H. Yang and E.J. Jeong. 2015. The extract of *Limonium tetragonum* protected liver against acute alcohol toxicity by enhancing ethanol metabolism and antioxidant enzyme activities. *Nat. Prod. Sci.* 21(1):54-58.
- Kim, N.H., J.D. Heo, T.B. Kim, J.R. Rho, M.H. Yang and E.J. Jeong. 2016. Protective effects of ethyl acetate soluble fraction of *Limonium tetragonum* on diethylnitrosamine-induced liver fibrosis in rats. *Biol. Pharm. Bull.* 39:1022-1028.
- Kim, S.S. and H.C. Cha. 2017. Comparison of the total phenolic and flavonoid contents and antioxidant activities of four kinds of sand dune plants living in Taean, Korea. *Korean J. Plant Res.* 30(1):8-16.
- Kong, C.S., Y.R. Um, J.I. Lee, Y.A. Kim, J.S. Lee and Y.W. Seo. 2008. Inhibition effects of extracts and its solvent fractions isolated from *Limonium tetragonum* of human cancer cells. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* 23(2):177-182.
- Ksouri, R., W. Megdiche, H. Falleh, N. Trabelsi, M. Boulaaba, A. Smaoui and C. Abdelly. 2008. Influence of biological, environmental and technical factors on phenolic content and antioxidant activities of Tunisian halophytes. *C. R. Biologies* 331:865-873.
- Kwon, M.S., F. Karadeniz, S.G. Lee, Y.W. Seo and C.S. Kong. 2016. Adipogenesis inhibitory effects of *Limonium tetragonum* in mouse bone marrow stromal D1 cells. *Food Sci. Biotechnol.* 25(S):125-131.
- Lee, B.M., S.I. 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(1):61-65.
- Lee, H.J., Y.A. Kim, J.W. Ahn, B.J. Lee, S.G. Moon and Y. Seo. 2004. Screening of peroxy nitrite and DPPH radical scavenging activities from salt marsh plants. *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* 19:57-61.
- Lee, J.I., C.S. Kong, M.E. Jung, J.W. Hong, S.Y. Lim and Y.W. Seo. 2011. Antioxidant activity of the halophyte *Limonium tetragonum* and its major active components. *Biotech. Bioprocess Eng.* 16:992-999.
- Madsen, H.L., B.R. Nielsen, G. Bertelsen and L.H. Skibsted. 1996. Screen of antioxidative activity of spices. A comparison between assays based on ESR spin trapping and electrochemical measurement of oxygen consumption. *Food Chem.* 57:331-337.
- McKinstry, P.J., H.E. Indyk and N.D. Kim. 1999. The determination of major and minor elements in milk and

- infant formula by slurry nebulisation and inductively coupled plasma - optical emission spectrometry (ICP-OES). *Food Chem.* 65(2):245-252.
- Meot-Duros, L., G.L. Floch and C. Magne. 2008. Radical scavenging, antioxidant and antimicrobial activities of halophytic species. *J. Ethnopharmacol.* 116:258-262.
- Min, B.M. 1998. Vegetation on the west coast of Korea. *Ocean Polar Res.* 20:167-178.
- Moller, J.K.S., H.L. Madsen, T. Altonen and L.H. Skibsted. 1999. Dittany (*Origanum dictamnus*) as a source of water extractable antioxidants. *Food Chem.* 64:215-219.
- National Institute of Crop Science (NICS). 2014. Analytical Methods of Food Crops and Environments. Rural Development Administration (RDA), Suwon, Korea. pp. 78-86.
- Ra, J.E., J.Y. Park, W.D. Seo, E.Y. Sim, J.Y. Ko, M.H. Nam, I.M. Chung and S.I. Han. 2014. Antioxidative and anti-inflammatory activity of extract from milling by-products of Sorghum cultivar, 'Hwanggeumchal'. *Korean J. Crop Sci.* 59(4):463-469.
- Shim, H.B., S.M. Seo and B.H. Choi. 2002. Floristic survey of salt marshes and dunes on Gyeonggi bay in Korea. *Korean J. Enviro. Biol.* 20(1):25-34.
- Sreenivasulu, N., B. Grimm, U. Wobus and W. Weschke. 2000. Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensitive seedlings of foxtail millet (*Setaria italica*). *Physiol. Plant.* 109:435-442.
- Stankovic, M.S., M. Petrovic, D. Godjevac and Z. D. Stevanovic. 2015. Screening inland halophytes from the central Balkan for their antioxidant activity in relation to total phenolic compounds and flavonoids: Are there any prospective medicinal plants? *J. Arid Environ.* 120:26-32.
- Ungar, I.A. 1974. The effect of salinity and temperature on seed germination and growth of *Hordeum jubatum* L. *Can. J. Bot.* 52:1357-1362.
- Ungar, I.A. 1978. Halophyte seed germination. *Bot. Rev.* 44(2):233-264.
- Ungar, I.A. 1996. Effect of salinity on seed germination, growth, and ion accumulation of *Atriplex patula* (Chenopodiaceae). *Am. J. Bot.* 83(5):604-607.
- Waisel, Y. 1972. Biology of Halophytes. Academic Press, New York, USA. pp. 212-215.
- Yang, M.H., N.H. Kim, J.D. Heo, S.H. Sung and E.J. Jeong. 2014. Hepatoprotective effects of *Limonium tetragonum*, edible medicinal halophyte growing near seashores. *Pharmacogn. Mag.* 10 (Suppl 3):S563-S568.
- Yildiz, M., S. Cenkci and M. Kargioglu. 2008. Effects of salinity, temperature, and light on seed germination in two Turkish endemic halophytes, *Limonium iconicum* and *L. lilacinum* (Plumbaginaceae). *Seed Sci. Technol.* 36:646-656.
- Zhu, J.K. 2000. Genetic analysis of plant tolerance using Arabidopsis. *Plant Physiol.* 124:941-948.

(Received 28 February 2017 ; Revised 15 May 2017 ; Accepted 22 May 2017)