

염화나트륨 처리 및 재배방법이 새싹밀의 항산화 성분 및 활성에 미치는 영향

양지영 · 이한결* · 서우덕** · 이미자** · 송승엽*** · 최준열** · †김현영***

농촌진흥청 국립식량과학원 작물기초기반과 박사후연구원, *전북대학교 자연과학대학 생물학과 박사과정생,
농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관, *농촌진흥청 국립식량과학원 작물기초기반과 농업연구사

The Effects of Sodium Chloride and the Cultivation Method on Antioxidant Compounds and Activities in Wheat (*Triticum aestivum*) Sprouts

Ji Yeong Yang, HanGyeol Lee*, Woo Duck Seo**, Mi Ja Lee**,
Seung-Yeob Song***, June-Yeol Choi** and †Hyun Young Kim***

Postdoctoral Associate, Crop Foundation Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

*Doctor's Student, Division of Life Sciences, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

**Research Officer, Crop Foundation Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

***Associate Researcher, Crop Foundation Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

Abstract

Sprouts have various health benefits. Specifically, wheat sprouts are rich in bioactive compounds, such as vitamins and polyphenols. Elicitation induces and enhances secondary metabolite biosynthesis in plants. Therefore, in this study, we investigated the effects of sodium chloride (NaCl) treatments on the growth profile, free amino acid content, and antioxidant activity of germinated wheat (*Triticum aestivum*). Wheat seeds were germinated at 20°C for 10 days and treated with 0, 2, 4, 7.5, and 10 mM of NaCl 10 days before harvesting. Treating the soil bed with NaCl increased the nutritional component amounts, such as free amino acids and γ -aminobutyric acid. The chlorophyll a and b concentrations were the highest in the hydroponic system treated with 7.5 mM NaCl. In addition, the polyphenol and flavonoid contents of sprouts treated with 2 and 7.5 mM NaCl were 1.94 and 1.34 times higher than that of the control sprouts (0 mM NaCl, water only), respectively. These results suggest that 2 to 4 mM NaCl treatments improve the nutritional and food quality of wheat sprouts more than water only.

Key words: wheat, sprout, NaCl, antioxidant activity, polyphenol, flavonoid, free amino acid

서 론

최근 몇 년간 ‘코로나 19’ 팬데믹 현상으로 건강기능식품에 관한 관심이 높아짐에 따라 항산화 활성이 높은 농산물에 대한 소비자의 관심도 함께 증가하는 추세다. 농산물은 같은 작물이라도 재배 조건과 종자의 종류, 상태에 따라 항산화 활성 및 성분 등이 변화할 수 있으며, 특히 새싹작물의 경우 발아 시간과 같은 작은 변화에도 비타민 함량과 항산화 활성의 차이를 나타낸다고 보고하고 있다(Yun 등 2004; Cha 등 2011). 식물의 성장과 생리활성을 가지는 기능성 물질 함량

에 영향을 미치는 생육 조건에는 광, 습도, 양분, 온도, 공기 성분 등 매우 많은 요소가 포함되어 있으며, 그중 성장하는데 가장 중요한 양분은 작물의 성장속도, 함유 물질 및 최종 품질에 직·간접적으로 영향을 주는 핵심적인 요소 중 하나이다(Müller 등 2000). 많은 실내재배 농가에서는 양액 또는 유기농 비료 등의 형태로 영양분을 식물체에 공급하게 되며, 특히 양액 재배의 경우 농도 또는 특정 성분을 조절하여 식물의 생육을 관리, 생산성 증대 등의 효과를 기대할 수 있다. 하지만, 양액의 조성, 조제 및 농도가 부적절하게 이루어졌을 경우 작물에 스트레스가 발생할 수 있으나, 이러한 작물

† Corresponding author: Hyun Young Kim, Associate Researcher, Crop Foundation Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea. Tel: +82-63-238-5334, Fax: +82-63-238-5305, E-mail: hykim84@korea.kr

재배 시 스트레스 반응으로 생육억제 및 생리장해 등의 부정적인 반응이 일어나는 반면 당도, 색, 생리활성 화합물의 증가 등의 긍정적인 반응도 동시에 나타난다(Shabala 등 2015; Kim 등 2019a).

밀(*Triticum aestivum*)은 쌀, 옥수수과 함께 인류의 식량에 있어 가장 메이저한 곡물 중 하나이다. 보통 밀은 영양소 중 탄수화물 섭취의 주요 작물로 대부분의 나라에서 밀가루로 정선하여 식품가공 및 첨가물로 활용되고 있다. 그러한 밀의 다양한 활용 방법의 하나인 새싹밀(wheat sprout or wheat grass)은 종자가 발아 및 생육하는 과정에서 밀의 첫 마디가 생성되기 전 어린 새싹을 말한다. 보통 밀 종자 발아 후 10일 전후로 재배한 새싹을 말하며 그 길이는 약 15 cm 내외의 어린잎을 말한다. 밀싹에는 유리아미노산, GABA, 클로로필 등의 영양소가 풍부하며 뛰어난 항산화 활성을 가지고 있다(Kim 등 2019b; Yang 등 2021). Benincasa 등(2015)은 밀 종류 및 기간별 새싹을 재배하여 실험한 결과 폴리페놀과 항산화 활성이 재배기간이 증가할수록 유의적으로 증가하였다고 보고하고 있으며, Jeong 등(2010)의 연구결과에 따르면 새싹밀에서 분리한 유용물질인 sinapic acid는 BHT보다 DPPH 라디칼 소거능이 우수하다고 발표했다. 또한 새싹밀 추출물이 MMP-1 유전자 발현 억제 효과 및 그에 따라 피부 미백 효과가 탁월하다고 보고되고 있으며 (You & Moon 2016), 비스페놀-A에 의한 산화적 스트레스 억제활성(Yi 등 2011), catalase 및 peroxidase 활성에 의한 노인성 백내장 감소 효과 우수 (Singh 등 2010), 새싹밀 착즙 주스 섭취의 암 환자의 항암제 투여에 대한 부작용 개선 효과 (Bar-Sela 등 2007), DNA 손상 보호 효과 (Falcioni 등 2002), 대장암 효과(Okarter N 2012), 발암성 물질에 대한 억제 효과(Tudek 등 1988) 등 다양한 분야로 연구되고 있다.

그러나, 이러한 다양한 기능성 및 생리활성 효능이 보고된 새싹밀의 재배방법 및 재배 시 NaCl과 같은 염처리에 따른 이화학적 성분 변화 및 항산화 활성 변화에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 새싹밀 재배 시 수경 및 상토 재배 별 NaCl 처리 농도에 따른 이화학적 성분 변화 및 항산화 활성 변화를 분석하고자, 각 처리된 새싹밀의 유리아미노산, GABA, 총 폴리페놀, 총 플라보노이드, 총 클로로필 함량 분석과 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능을 검정하여, 추후 일반성분 및 항산화 활성이 우수한 새싹밀의 재배와 식품산업의 소재화를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

연구 내용 및 방법

1. 재료 및 시약

본 연구에 사용된 밀은 전라북도 완주군 소재의 국립식량

과학원 시험용 포장에서 2021년도에 생산된 ‘새금강’ 품종을 실험재료로 사용하였다. 종자는 밀싹 재배 전 4℃ 냉장고에서 저장하면서 사용하였다. 사용된 시약은 Gallic acid, Folin-Ciocalteu reagent, sodium carbonate, trolox, ABTS(2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)), DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl), potassium persulphate, dimethyl sulfoxide (DMSO), Chlorophyll 등은 Sigma사(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였으며, 그 밖의 추출 및 분석 용매와 시약은 analytical 및 HPLC 등급을 사용하였다.

2. NaCl 처리 새싹밀 재배

상토 및 수경 재배방법으로 새싹밀 재배 시 NaCl 농도별로 처리하여 재배하였으며 그 방법은 다음과 같다. ‘새금강’ 종자를 상온에서 24시간 침지 후 일정 온도와 습도에서 24시간 이상 발아하여 전체 80% 이상 발아 완료 시 상토 및 수경 재배 모판(600 mm×300 mm)에 파종하였다. 파종 후 3일 이후부터 압축 분무기를 사용하여 NaCl을 처리하였으며, Kim 등(2021)의 연구결과를 바탕으로 0 mM, 2 mM, 4 mM, 7.5 mM 및 10 mM으로 매일 일정량(25 mL) 분주하였다. 이렇게 재배한 새싹밀은 파종 후 10일 이후 15 cm에서 수확하였다. 수확한 새싹밀은 세척 후 50℃에서 24시간 건조하고 실험실용 분쇄기(NSG-100 2SS, Hanil, Seoul, Korea)기로 분쇄하여 사용하였다. 분쇄한 시료 1 g에 주정 50 mL를 가하여 상온에서 24시간, 3반복 추출하였다. 3반복 추출용매는 감압농축기(N-1000, EYELA, Tokyo, Japan)를 이용하여 제거하였으며, 용매를 제거한 추출물은 일정농도로 재용해하여 DPPH와 ABTS 라디칼소거능, 폴리페놀 함량, 플라보노이드 함량을 측정하는데 사용하였다.

3. 유리아미노산 및 GABA 분석

NaCl 농도별 처리 새싹밀의 유리아미노산 및 GABA (gamma-Aminobutyric acid) 함량은 AccQ · Tag UPLC(Waters, Milford, MA) 분석 시스템을 이용하여 Iimure 등(2009)의 방법을 응용하여 분석하였다. 건조하여 분쇄한 시료 1 g에 DW 30 mL를 첨가한 후 상온에서 24시간 교반추출(130 rpm)을 진행하였다. 추출한 샘플은 gaps 필터 하였으며, 필터한 샘플은 AccQ-Tag kit 방법을 이용하여 유도체화 하였다. 기기분석은 Waters Acquity를 사용하였고, 컬럼은 AccQ-Tag ultra amino acid analysis column(3.9 mm×150 mm I.d., 0.25 μm film thickness; Waters), 컬럼 온도는 49℃, 시료 온도는 20℃ 로 분석하였다. 이동상은 A는 100% AccQ · Tag ultra UPLC amino acid analysis eluent A, B는 10% AccQ · Tag ultra UPLC amino acid analysis eluent B, C는 100% 증류수, D는 100% AccQ · Tag ultra UPLC amino acid analysis eluent B를 기울기 용리하

였다. 분석 샘플은 1 μL , 유속은 0.7 mL/min 조건으로 분석하였으며, 시료는 각각 3반복으로 측정하였다. GABA를 제외한 아미노산 함량 분석은 Waters amino acids standards (Waters)를 이용하여 검량하였다.

4. 클로로필 a,b 함량 분석

NaCl 농도 처리 및 재배방법별 새싹밀의 클로로필 분석은 Caldwell & Britz(2006)의 방법을 응용하였다. 처리한 새싹밀 분말 0.1 g에 80% 차가운 아세톤 10 mL를 첨가한 후 1분 동안 가볍게 교반 추출한다. 그 후 원심분리하여 상등액을 0.25 μm 멤브레인 필터 후 HPLC를 이용하여 분석하였다. 분석 컬럼은 XTerra RP18 column(3.5 μm , 4.6 \times 150 mm, waters, Milford, MA, USA)을 이용하였고, 컬럼 온도는 20 $^{\circ}\text{C}$, 검출기는 UV detector(agilent, CA, USA)로 파장은 430 nm로 분석했다. 이동상은 A는 75% MeOH, B는 100% ethly acetate를 기울기 용리하였으며, 시료 주입량은 10 μL 로 하였고, 유속은 1.0 mL/min으로 분석하였으며, 각 조건별 샘플은 3반복으로 추출 및 측정하였다. Chlorophyll a, b 각각 검량선을 만들어 시료의 함량을 정량하였다.

5. ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능 측정

각 처리별 새싹밀 추출물의 항산화 활성을 측정하기 위하여 ABTS와 DPPH 라디칼 소거능을 각각 측정하였다. 추출물의 2,2'-Azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) 라디칼 소거능 측정은 Lee YR(2021)의 방법을 참고하여 분석하였다. 7 mM ABTS와 2.45 mM potassium persulfate을 DW에 용해 후, 빛이 차단된 곳에서 48시간 이상 방치하여 ABTS 라디칼을 충분히 형성시킨 후, 734 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 DW로 희석하여 실험에 사용하였다. 시료 5 μL 에 ABTS 시약 300 μL 를 가한 후 실온에서 1시간 방치한 다음, 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 2,2-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH) 라디칼 소거능 측정은 방법은, DPPH 시약을 분석용 에탄올에 0.2 mM로 제조하여 라디칼 형성을 위하여 2시간 이상 상온에서 교반하여 사용하였다. 시료 50 μL 에 DPPH 용액 200 μL 를 가한 후 실온에서 30분간 반응시킨 후, 520 nm에서 흡광도를 측정하였다(Blois MS 1958). DPPH 및 ABTS radical 소거활성 모두 Trolox를 이용하여 표준곡선을 작성한 후 추출물의 항산화력(Trolox equivalent antioxidant capacity, TEAC)을 계산하였으며, mg TEAC/g sample 로 나타냈다.

6. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 분석

NaCl 농도 및 재배방법에 따른 새싹밀 주정 추출물에 대한 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량은 Woo 등(2015)의 방법을 참고하여 분석하였다. 총 폴리페놀 함량은 샘플 10 μL

에 2% Na_2CO_3 용액 200 μL 를 첨가 후 3분간 반응시키고, 50% Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 10 μL 를 가하였다. 30분 반응 뒤, 750 nm 파장에서 흡광도를 측정하였고, 표준물질인 gallic acid(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 검량선을 작성하였으며, 시료 g중의 mg gallic acid equivalents(GAE, dry basis)로 나타내었다. 총 플라보노이드 함량 분석 실험은 시료 250 μL 에 증류수 1 mL와 5% NaNO_2 75 μL 를 가한 후 5분간 반응한 다음, 10% $\text{AlCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 을 150 μL 첨가한 후 6분간 방치 한다. 그 다음 1M NaOH을 500 μL 첨가한 후 11분간 방치하고 510 nm에서 흡광도를 측정한다. 측정된 흡광도는 catechin hydrate를 이용하여 작성된 검량선으로부터 총 플라보노이드 함량을 계산하였다.

7. 통계분석

각 실험 데이터는 3회 이상 반복 측정하여 평균과 표준편차로 나타내었다. 통계 처리는 SPSS(Statistics Package for the Social Science, Ver. 19.0, IBM, Chicago, IL, USA) 프로그램으로 일원배치 분산분석(One way-ANOVA)을 실시하였고, 실험군 간의 유의성 검증은 Duncan의 다중범위검정으로 $p < 0.05$ 수준에서 실시하였다. 또한 분석 항목 간의 상관관계는 Pearson 상관계수(Pearson correlation coefficient)로 분석하였다.

결과 및 고찰

1. NaCl 처리별 새싹밀의 유리아미노산 및 GABA 함량

유리아미노산은 아미노산끼리 펩타이드 결합을 하거나 다른 분자들간의 사이에서 에스터 결합 등을 하지 않는 유리상태의 아미노산을 일컫는다. 농도별 NaCl 처리하여 재배한 새싹밀의 유리아미노산 함량 변화를 분석한 결과는 Table 1 과 Table 2에 나타났다. 유리아미노산 16종류를 분석한 결과 NaCl 농도별 처리에 따라서 그 함량 변화가 다소 크게 나타났다. 우선, 수경재배(Table 1)한 새싹밀의 경우 유리아미노산 함량은 NaCl 처리 시 대부분 감소하는 것으로 나타났으며, 그와 상이하게 상토에서 재배한 새싹밀의 경우 NaCl 처리 시 대부분의 유리아미노산 함량이 증가하는 것으로 나타났다. 수경재배하면서 NaCl 처리한 새싹밀의 경우 NaCl 처리 농도가 증가할수록 유리아미노산이 감소하였는데 특히, his(히스티딘)은 0 mM 처리시 199.4 $\mu\text{g/g}$ 이었으나, 10 mM NaCl 처리시 21.0 $\mu\text{g/g}$ 으로 약 80% 이상 크게 감소하는 것으로 나타났다. 염기성 아미노산의 일종인 arg(아르기닌)도 0 mM 처리하고 재배한 새싹밀의 경우 774.5 $\mu\text{g/g}$ 인 반면 10 mM NaCl 처리시 285.4 $\mu\text{g/g}$ 으로 500 $\mu\text{g/g}$ 정도 함량이 감소하였다. Ala(알라닌), ile(이소류신) 및 phe(페닐알라닌)의 함량도 각각

Table 1. Comparison of free amino acids compositions of wheat sprout affected by different NaCl concentrations at 10 days after transplanting. (hydroponic system) (ug/g)

NaCl	His	Ser	Arg	Gly	Asp	Thr	Ala	Pro	Cys	Lys	Tyr	Met	Val	Ile	Leu	Phe
0 mM	199.45 ±23.42	343.55 ±57.86	774.55 ±101.53	89.09 ±1.66	274.00 ±61.87	327.95 ±40.66	692.60 ±31.22	487.73 ±26.50	317.05 ±20.82	766.64 ±40.09	2,961.08 ±157.68	542.64 ±12.83	493.84 ±21.19	260.31 ±14.20	432.86 ±23.00	255.23 ±11.55
2 mM	197.95 ±10.10	374.28 ±11.94	832.18 ±31.94	85.36 ±6.75	281.13 ±3.13	343.95 ±9.71	673.72 ±2.31	482.14 ±1.30	320.27 ±3.51	695.54 ±13.72	3,917.08 ±18.97	524.07 ±9.31	471.96 ±12.40	259.84 ±9.33	438.43 ±14.84	240.18 ±16.64
4 mM	46.12 ±5.42	119.54 ±13.99	336.88 ±31.38	50.39 ±2.41	131.90 ±7.83	166.00 ±10.10	311.17 ±12.67	466.11 ±17.48	266.83 ±1.20	400.00 ±18.02	2,557.89 ±65.62	410.93 ±10.01	214.32 ±21.97	97.16 ±10.56	225.99 ±19.35	117.95 ±9.31
7.5 mM	37.69 ±4.36	104.58 ±7.79	328.61 ±21.01	34.88 ±3.33	75.33 ±6.13	99.02 ±5.58	214.06 ±9.34	331.47 ±10.87	266.02 ±4.16	307.88 ±1.13	2,223.45 ±56.17	386.28 ±7.14	181.58 ±8.22	56.69 ±3.97	165.90 ±8.70	105.70 ±2.50
10 mM	21.01 ±0.96	88.52 ±1.15	285.44 ±4.23	35.75 ±1.39	76.15 ±2.49	86.12 ±16.13	222.76 ±3.49	317.53 ±20.80	250.68 ±1.63	287.76 ±4.48	1,989.19 ±65.13	372.54 ±3.34	163.87 ±1.66	46.22 ±1.41	149.01 ±3.22	86.93 ±3.52

692.6 µg/g에서 222.7 µg/g, 260.3 µg/g에서 46.2 µg/g 및 255.2 µg/g에서 86.9 µg/g으로 모두 감소하는 경향으로 나타났다. 그러나, 상토재배의 경우(Table 2) NaCl 처리 농도가 증가할수록 유리아미노산 함량이 증가하는 종류가 대부분이었다. 특히 asp(아스파르트산)은 0 mM 처리 재배시 30.3 µg/g인데 10 mM NaCl 처리 재배 새싹밀에서는 118.8 µg/g으로 3배 이상 함량이 증가하였다. 또한 ala(알라닌)도 0 mM 처리 시 66.2 µg/g에서 NaCl 4 mM 처리 시 399.6 µg/g으로 증가했으며, 더 높은 농도로 처리한 경우 다시 감소했다. Arg(아르기닌), ser(세린) 및 pro(프롤린)의 함량도 각각 84.9 µg/g에서 300.7 µg/g, 59.0 µg/g에서 111.1 µg/g 및 138.3 µg/g에서 318.8 µg/g으로 모두 증가하는 경향으로 나타났다. NaCl 처리에 따른 개정향품의 유리아미노산을 분석한 결과(Kim & Kim 2021) 유리아미노산 총량은 NaCl 고농도(2%) 처리시 가장 높게 나타났으며, GABA를 포함한 대부분의 유리아미노산이 NaCl 처리 농도가 증가할수록 증가하여 본 연구와 유사하게 나타났다. 또한 Shon 등(2003)의 연구에서도 50 mM NaCl 첨가 시 새싹매자기와 벼의 유리아미노산 함량이 2배 이상 증

가했다고 보고하고 있다. GABA 함량은 전체적으로 수경에서 재배한 새싹밀의 함량이 상토에서 재배한 새싹밀보다 높은 함량으로 나타났다(Fig. 1). 수경재배 새싹밀의 경우 NaCl 농도가 높게 처리될수록 그 함량이 유의적으로 감소하는 것으로 나타났다($p<0.05$). 수경재배시 새싹밀에 0 mM만 처리한 경우 184.2 mg/g 으로 나타났지만 NaCl 10 mM 처리시 48.6 mg/g으로 농도의존적으로 함량이 감소하였다. 상토재배시 새싹밀에 0 mM만 처리한 경우 78.1 mg/g, NaCl 4 mM 처리 시 86.9 mg/g, NaCl 10 mM 처리 시 81.3 mg/g으로 처리 농도와 상관없이 비슷한 GABA 함량을 나타냈다. 가바(GABA)는 신경 세포 사이의 메시지 전달을 가능하게 하는 뇌 내의 화학물질이다. 뇌의 대사과 순환 촉진작용을 하는 물질로 알려져 있는데 이 물질의 증가로 인하여 뇌기능 활성화 등의 효과를 기대할 수 있을 것이다. 재배 방법 및 NaCl 처리별 유리아미노산 함량 변화는 상토에서 NaCl 처리하며 재배한 새싹밀이 GABA를 포함한 유리아미노산 함량이 증가한 것으로 분석되었는데, 이는 식물체 내 유리아미노산을 포함한 1차 대사산물이 NaCl 등 여러 성분들의 영향을 받아 함량

Table 2. Comparison of free amino acids compositions of wheat sprout affected by different NaCl concentrations at 10 days after transplanting. (soil bed system) (µg/g)

NaCl	His	Ser	Arg	Gly	Asp	Thr	Ala	Pro	Cys	Lys	Tyr	Met	Val	Ile	Leu	Phe
0 mM	9.89 ±0.39	59.0 ±3.88	84.7 ±4.56	53.68 ±1.42	30.33 ±2.39	173.95 ±2.66	66.25 ±3.43	138.30 ±9.48	110.94 ±1.23	449.55 ±12.14	2,057.12 ±69.89	350.54 ±0.72	203.38 ±6.37	29.55 ±1.79	115.39 ±4.25	76.37 ±1.58
2 mM	21.17 ±3.24	105.63 ±11.25	267.83 ±17.06	35.93 ±1.04	120.70 ±19.55	117.37 ±20.97	358.26 ±42.93	281.15 ±11.77	260.44 ±0.07	271.70 ±31.00	1,426.84 ±50.35	392.53 ±10.25	161.81 ±2.94	45.79 ±9.62	154.05 ±20.52	94.90 ±7.19
4 mM	24.37 ±0.06	118.62 ±0.18	295.18 ±1.61	39.31 ±0.12	119.72 ±1.21	124.15 ±0.25	399.61 ±3.23	323.35 ±6.57	277.48 ±0.63	364.61 ±4.17	1,477.69 ±4.82	399.16 ±0.26	166.34 ±0.11	56.19 ±0.65	182.56 ±0.65	108.41 ±0.43
7.5 mM	23.38 ±2.42	103.66 ±11.96	302.54 ±19.64	42.70 ±2.27	105.32 ±3.42	103.86 ±6.33	301.73 ±12.83	299.01 ±1.84	272.33 ±2.38	313.48 ±0.47	1,457.29 ±10.25	386.103 ±11.75	140.85 ±9.23	41.65 ±6.87	154.01 ±15.83	114.24 ±1.24
10 mM	27.38 ±0.31	111.14 ±0.04	300.77 ±0.06	39.51 ±0.27	118.80 ±0.30	120.86 ±1.08	358.08 ±0.68	318.81 ±2.58	285.18 ±0.13	337.71 ±0.12	1,441.54 ±19.64	397.80 ±4.38	161.74 ±0.35	52.88 ±0.74	173.86 ±0.08	102.83 ±0.35

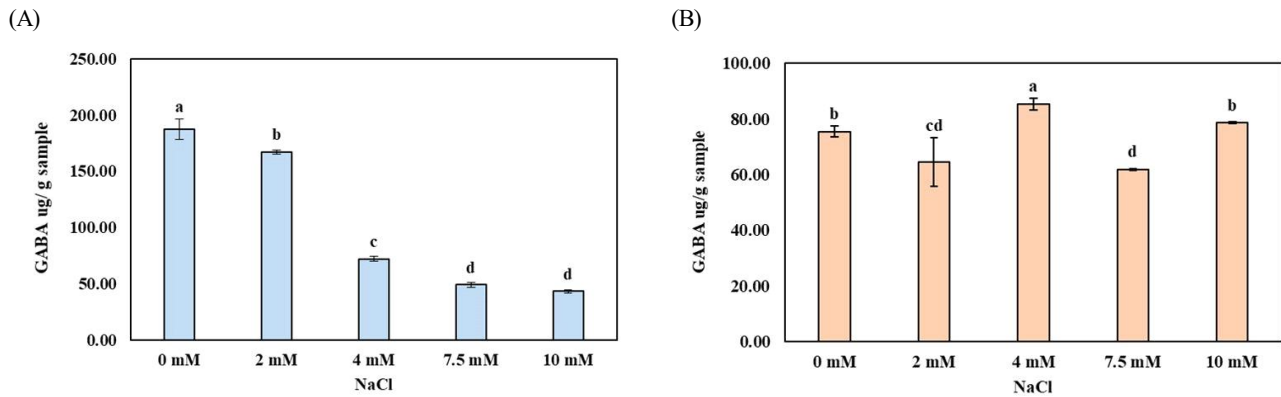


Fig. 1. GABA(γ -aminobutyric acid) content in wheat sprout affected by different NaCl concentrations at 10 days after transplanting (A: hydroponic system, B: soil bed system). ¹⁾ Vertical bars represent the stand deviation of the mean (n=3). ^{a-d}Different letters above bars indicate significant differences by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

감소 및 증가하는 것으로 사료된다.

2. NaCl 처리별 새싹밀의 클로로필 a,b 함량

NaCl 농도별 처리한 새싹밀의 클로로필 함량을 분석한 결과는 Fig. 2에 나타났다. 각 클로로필 a, b 함량을 살펴보면 NaCl 처리 농도에 따라 유의적으로 함량이 변화하는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 수경(A) 및 상토(B)에서 재배한 새싹밀의 클로로필 함량은 수경재배보다는 상토에서 재배한 새싹밀이 조금 더 높은 것으로 나타났으며, NaCl 농도별 처리군을 증류수(0mM)를 처리한 새싹밀보다 NaCl 7.5 mM 처리하여 재배한 새싹밀에서 가장 높게 나타났다. 클로로필 종류별로 살펴보면 종류와 상관없이 처리 농도에 따라 대부분 유사한 경향으로 분석되었다. 증류수(0 mM) 처리 수경재배 새싹밀에서 클로로필 a+b 함량이 998 mg/100 g으로 나타났으나 NaCl

7.5 mM로 처리하여 재배한 새싹밀 클로로필 a+b 함량은 1,367 mg/100 g으로 유의적으로 증가하는 경향을 나타냈다. Cho & Kim(2000)의 연구 결과에서는 NaCl 스트레스에 의한 콩 생육과 광합성 반응을 살펴본 결과 0 mM 처리 시 클로로필 함량은 1엽과 2엽 모두 재배 기간이 길수록 증가하였으나, 100 mM 처리 시 서서히 감소하는 것으로 보고하여 본 연구와 반대의 결과를 보였으나, 양액 처리에 따른 수경재배 새싹보리의 클로로필 함량은 양액 농도가 높은 처리구에서 증가하였으며(Kim & Kim 2021), 이탈리아라이그래스(Lee 등 1995)는 배지의 NaCl 농도가 높아짐에 따라 클로로필 함량이 증가한다고 보고하여 본 연구와 매우 유사한 결과를 나타냈다. 이는 작물의 종류, 엽의 크기 및 다양한 작용기작에 따라 NaCl 처리 및 양액처리에 따른 클로로필 함량 변화가 상이한 것으로 사료된다.

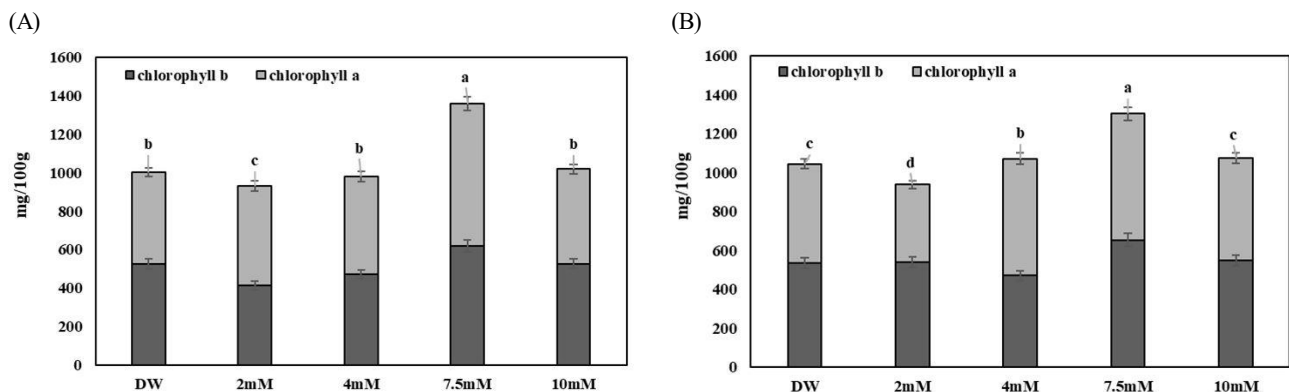


Fig. 2. Chlorophyll a and b content in wheat sprout affected by different NaCl concentrations at 10 days after transplanting (A: hydroponic system, B: soil bed system). ¹⁾ Vertical bars represent the stand deviation of the mean (n=3). ^{a-d}Different letters above bars indicate significant differences by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

3. NaCl 처리별 새싹밀의 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능

Free radical은 이론적으로 하나 또는 그 이상의 짝을 짓지 못한 전자를 갖는 원자 또는 분자를 말하며, 불안정한 상태로 반응성이 매우 큰 화합물이다. 그중 형태학적으로 분류하면, superoxide 형태와 nitric oxide 형태로 나눌 수 있다(Halliwell 등 1995; Powers 등 2011). 생체 내 정상세포의 대사과정으로 생성되거나 여러 외부 환경적인 요인으로 인해 생성된 활성산소는 세포막 손상 및 DNA 돌연변이 등 노화의 원인이 되기도 한다(Kim 등 2008). 이러한 인체 노화의 주된 원인인 free radical 소거 활성을 살펴보기 위하여 새싹밀의 상토와 수경 재배 시 NaCl 농도별 처리에 따른 주정 추출물의 ABTS와 DPPH 라디칼 소거 활성을 각각 평가하였다. 각 재배방법 및 처리 농도별 새싹밀 추출물의 ABTS 라디칼 소거능 결과는 Fig. 3에 나타났다. ABTS 라디칼 소거능은 수경재배

및 상토재배에 대한 차이는 크게 나타나지 않았으나, NaCl 농도별 처리 간에 활성은 유의적인 유의적으로 나타났다($p < 0.05$). 특히 수경 재배(A)의 경우 NaCl 4 mM 농도로 처리한 새싹밀의 경우 23.8 mg TEAC/g sample로 가장 높은 라디칼 소거활성을 나타냈으며, 4 mM보다 더 높은 함량으로 처리하였을 경우 활성이 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 상토(B)에서 재배한 새싹밀의 경우 NaCl 처리 농도에 따라 활성의 변화가 크게 나타나지 않았으며, NaCl을 처리하였을 경우 0 mM로 재배했을 때보다 ABTS 라디칼 소거 활성이 낮아지는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 새싹밀을 상토재배시 0 mM 처리시 18.6 mg TEAC/g sample로 나타났으나, NaCl 7.5 mM 처리시 15.89 mg TEAC/g sample로 소거활성이 더 낮아지는 것으로 나타났다.

처리별 새싹밀 추출물의 DPPH 라디칼 소거능 결과는 Fig. 4에

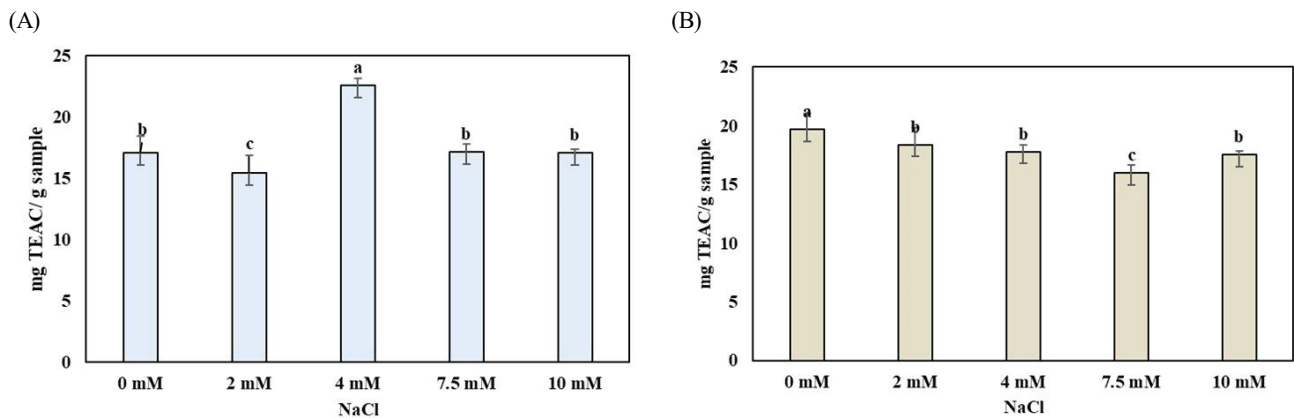


Fig. 3. Contents of ABTS radical scavenging activity of wheat sprout affected by different NaCl concentrations at 10 days after transplanting (A: hydroponic system, B: soil bed system).¹⁾ Vertical bars represent the stand deviation of the mean (n=3).^{a-c}Different letters above bars indicate significant differences by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

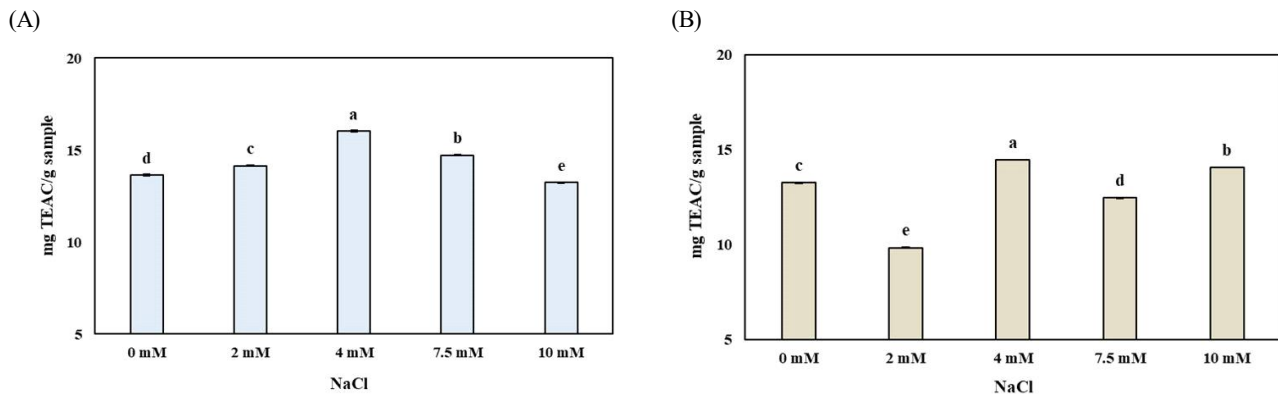


Fig. 4. Contents of DPPH radical scavenging activity of wheat sprout affected by different NaCl concentrations at 10 days after transplanting (A: hydroponic system, B: soil bed system).¹⁾ Vertical bars represent the stand deviation of the mean (n=3).^{a-e}Different letters above bars indicate significant differences by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

나타냈다. 그 결과, ABTS 라디칼 소거활성과 경향은 유사하게 나타났다. 새싹밀 수경(A)재배 시 NaCl 4 mM 처리구에서 16.27 mg TEAC/g sample로 가장 높은 활성을 나타냈으며 더 높은 농도 처리 시 활성이 감소하는 것으로 나타났다(14.56 및 12.94 mg TEAC/g sample). 반면 상토(B)재배 새싹밀은 NaCl 처리 농도와 무관하게 활성이 나타났으나, 수경재배방법과 유사하게 4 mM 처리(15.54 mg TEAC/g sample) 시 0 mM(13.79 mg TEAC/g sample) 처리보다 높게 나타났($p < 0.05$) 으며, 2 mM로 처리 재배시 8.79 mg TEAC/g sample로 가장 낮은 DPPH 라디칼 소거활성을 나타냈다. ABTS 라디칼 및 DPPH 라디칼 소거 활성이 경향은 비슷하나 활성 차이가 상이하게 나타난 것은 DPPH의 경우 자유 라디칼이지만 ABTS는 양이온 라디칼이라는 점 또는 페놀물질의 종류가 다름에 따라 두 기질에 결합하는 정도가 달라서 결국 라디칼을 제거하는 능력 차이가 나는 것으로 사료된다(Wang 등 1998). 담액식 재순환 수경재배 시스템에서 다양한 NaCl 농도에 따른 갯방풍 나물 추출물의 항산화 활성을 살펴본 결과(Kwon 등 2021), NaCl 처리 농도는 상이했으나, 본 연구 결과와 유사하게 ABTS와 DPPH 라디칼 소거능은 50 mM 처리에서 가장 높은 활성을 나타냈으며, 그 이상의 고농도 처리 시 오히려 활성이 감소하는 것으로 본 연구와 유사하게 나타났다. Choi 등(2014)의 연구에서도 본 연구와 유사하게 치커리 재배 시 Cr^{3+} 및 selenium을 첨가하여 재배한 추출물에서 FRAP 환원능 및 DPPH, ABTS 라디칼 소거능이 증가하였다고 보고하고 있다. 대부분 연구결과에서 작물 재배 시 NaCl 등과 같은 염 처리 및 이온 처리 시 그 활성이 높아지는 것으로 나타났는데, 이는 각 작물의 적당한 스트레스 기작 및 염, 이온의 흡수로 2차 대사산물인 활성 물질이 증가하는 것으로 생각된다.

4. NaCl 처리별 새싹밀의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량

재배방법별 NaCl 처리 농도에 따른 새싹밀의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량을 분석하여 새싹밀 재배시 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 높은 재배방법을 알아보려고 하였다. Fig. 5는 수경 및 상토 재배시 NaCl 처리 농도별 총 폴리페놀 함량을 분석한 결과이다. 우선 수경(A)재배를 살펴보면 NaCl 처리 농도가 증가할수록 총 폴리페놀 함량도 증가하는 경향을 나타냈다($p < 0.05$). 수경재배 시 NaCl 7 mM을 처리하여 재배한 새싹밀이 43.57 mg GAE eq/g sample로 가장 높은 함량을 나타냈으며 10 mM을 처리한 경우 함량이 다시 감소하였다(39.71 mg GAE eq/g sample). 반면, 상토재배 시 NaCl 처리하여 재배한 새싹밀의 경우 처리 농도가 높아질수록 총 폴리페놀 함량이 감소하거나 비슷한 경향을 나타냈다($p < 0.05$). 0 mM 처리 재배 시 40.68 mg GAE eq/g sample로 나타났지만 NaCl 10 mM 처리 시 36.62 mg GAE eq/g sample로 NaCl 처리 농도가 높아질수록 총 폴리페놀 함량이 낮게 분석됐다. 총 플라보노이드 함량 결과는 Fig. 6으로 나타났다. 수경(A) 재배와 상토(B) 재배를 살펴봤을 때, 플라보노이드 함량은 새싹밀을 상토재배시 더 높은 함량을 나타냈다. 또한 폴리페놀과 다르게 수경 및 상토 재배 모두 NaCl 2 mM로 처리시 가장 높은 함량을 나타냈다. 수경재배 시 0 mM 처리한 경우 11.08 mg Catechin eq/g sample에서 2 mM 처리시 약 20 mg Catechin eq/g sample로 2배 이상 증가하는 것으로 나타났다. 상토에서 새싹밀을 재배시에도 NaCl 2 mM 처리시 33.49 mg Catechin eq/g sample로 가장 높게 나타났으며, 0 mM 처리구는 15.37 mg Catechin eq/g sample로 가장 낮은 함량을 나타냈다. 작물에 스트레스를 가할 경우 정상적인 광합

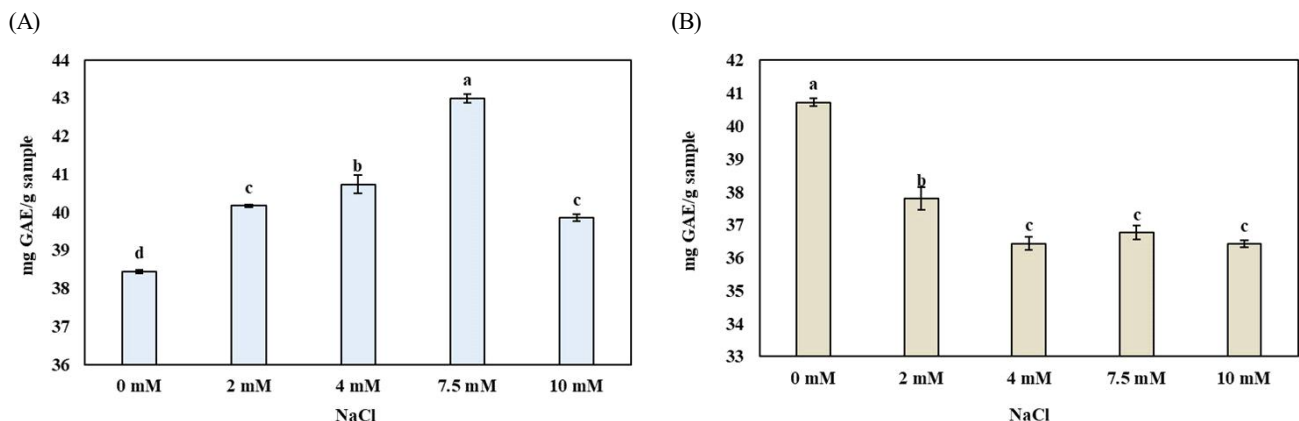


Fig. 5. Total polyphenol content in wheat sprout affected by different NaCl concentrations at 10 days after transplanting (A: hydroponic system, B: soil bed system). ¹⁾ Vertical bars represent the stand deviation of the mean (n=3). ^{a-d}Different letters above bars indicate significant differences by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

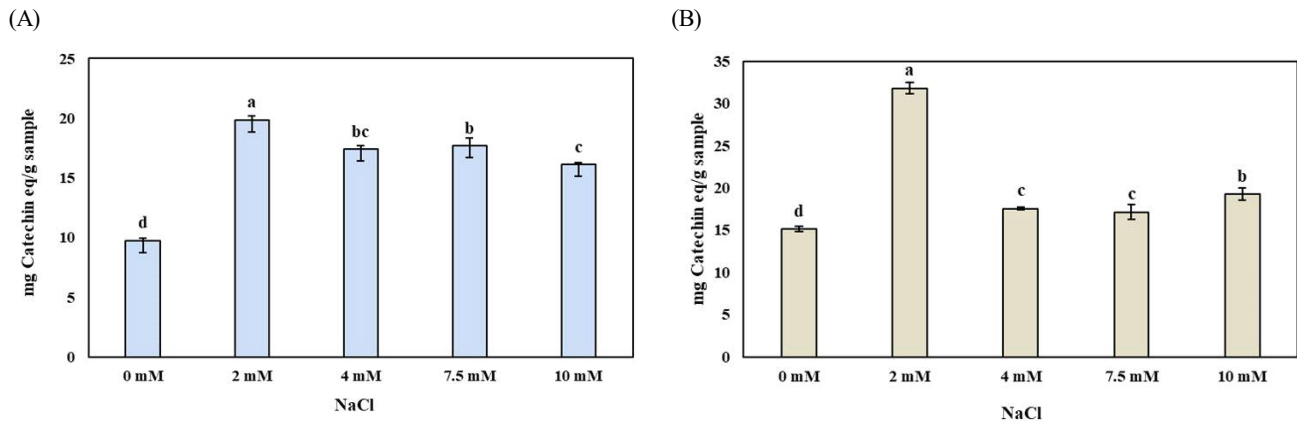


Fig. 6. Total flavonoid content in wheat sprout affected by different NaCl concentrations at 10 days after transplanting (A: hydroponic system, B: soil bed system). ¹⁾ Vertical bars represent the stand deviation of the mean (n=3). (^{a-d}) Different letters above bars indicate significant differences by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

성 기구가 작동하지 못하게 되고, 식물체 내에 활성산소가 축적되는데, 이것은 독성물질로 작용하여 식물세포를 파괴하는 등 성장을 저해한다(Bistgani 등 2019). 그에 따라 식물은 세포 내에서 생리활성 화합물을 생산하여 산화 방어 기작을 개시하는데, 이와 같은 생리활성 화합물 함량의 증가는 보리(*Hordeum vulgare*), 스피아민트(*Mentha spicata* L.), 양초(*Leymus Chinensis* Trin.), 타임(*Thymus vulgaris* L.)의 작물에서도 잘 발생한다고 보고 되었다(Choi와 Chiang 2017; Shim 등 2018; Bistgani 등 2019). 마찬가지로 본 실험에서도 수경재배시 새싹밀의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량이 증가하는 경향이였으나, 항산화 활성은 상대적으로 큰 변화가 없었다. 이는 새싹밀이라는 작물에서 한계 수준 이상의 산화스트레스에 의해 항산화 능력이 감소하여 나타난 결과라고 판단된다.

각각의 라디칼 소거능(ABTS 및 DPPH), 총 폴리페놀, 총 플라보노이드 및 총 클로로필 함량간의 상관관계를 분석한 결과는 Table 3에 나타내었다. 총 폴리페놀 함량과 총 클로로필 함량(0.804, $p < 0.10$), ABTS 라디칼 소거능과 DPPH 라디칼

소거능(0.806, $p < 0.10$) 사이에 높은 상관성을 나타냈고, 총 플라보노이드 함량과 총 클로로필 함량(0.795, $p < 0.10$) 간에도 높은 상관성을 나타냈다. 반면 클로로필 함량과 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능은 각각 0.606 및 0.620으로 낮은 상관성으로 나타났다. 본 연구결과 NaCl 처리에 따른 새싹밀 추출물의 항산화활성은 총 플라보노이드 함량이 라디칼 소거능 및 클로로필 함량에 미치는 영향이 큰 것으로 생각되며, 플라보노이드의 주요 페놀 성분이 라디칼과 공여 반응을 일으킴으로써 억제 시키고, 항산화 활성이 우수한 것으로 판단된다.

요약 및 결론

본 연구에서는 새싹밀 재배 방법에 따른 염(NaCl) 농도별 처리에 따른 유리아미노산 및 GABA 함량, 항산화 활성 및 성분 변화에 관해 연구하였다. 그 결과 새싹밀 재배시 수경 및 상토 재배 방법에 따른 차이가 큰 것으로 나타났다. 총 16가지 아미노산 및 GABA 함량은 수경재배시 NaCl 처리 농도가 높아질수록 감소하였으며, 상토에서 재배시 NaCl 처리

Table 3. Correlation coefficients among total polyphenolics, ABTS radical scavenging activity, DPPH radical scavenging activity, total flavonoid, and total chlorophyll of the extracts from the treated wheat sprout

	Polyphenol	ABTS	DPPH	Flavonoid	Chlorophyll
Polyphenol	1.000	-	-	-	-
ABTS	0.527	1.000	-	-	-
DPPH	0.592	0.806*	1.000	-	-
Flavonoid	0.632	0.624	0.749*	1.000	-
Chlorophyll	0.804*	0.606	0.620	0.795*	1.000

* $p < 0.10$.

농도가 높아질수록 증가하였다. 또한 클로로필 함량(a+b)은 수경 및 상토 재배 간 차이는 크지 않았으나 NaCl 처리 농도가 7.5 mM일 때 각각 1,367 mg/100 g 및 1,485 mg/100 g으로 가장 높은 함량을 나타냈다. 항산화 활성 분석을 위한 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능의 경우 수경재배 NaCl 4 mM 처리구에서 각각 23.8 mg TEAC/g sample 및 16.27 mg TEAC/g sample 소거 활성을 나타냈다. 또한 총 폴리페놀 함량은 수경재배의 경우 NaCl 농도가 증가할수록 폴리페놀 함량이 높게 나타났으며, 상토재배의 경우 NaCl 처리구에서 함량이 감소하는 경향으로 나타내었으며($p < 0.05$), 총 플라보노이드 함량은 상토재배 시 NaCl 2 mM 처리 시 33.49 mg Catechin eq/g sample로 가장 높은 함량을 나타냈다. 이상의 결과를 살펴보면, 새싹밀은 재배방법 및 NaCl 농도별 처리에 따라 이화학적 특성 및 항산화 활성이 달라지며, 본 연구결과를 바탕으로 새싹밀을 활용한 건강기능성 식품 소재개발을 위한 적절한 재배 방법 선정에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단한다.

감사의 글

본 연구결과는 농촌진흥청 연구사업(PJ013483032022), 농촌진흥청 국립식량과학원 전문연구원 과정 지원사업 및 농촌진흥청 학·연협동연구과정 지원사업에 의해 이루어진 것입니다.

References

- Bar-Sela G, Tsalic M, Fried G, Goldberg H. 2007. Wheat grass juice may improve hematological toxicity related to chemotherapy in breast cancer patients: A pilot study. *Nutr Cancer* 58:43-48
- Benincasa P, Galieni A, Manetta AC, Pace R, Guiducci M, Pisante M, Stagnari F. 2015. Phenolic compounds in grains, sprouts and wheatgrass of hulled and non-hulled wheat species. *J Sci Food Agric* 95:1795-1803
- Bistgani ZE, Hashemi M, DaCosta M, Craker L, Maggi F, Morshedloo MR. 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
- Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181:1199-1200
- Caldwell CR, Britz SJ. 2006. Effect of supplemental ultraviolet radiation on the carotenoid and chlorophyll composition of green house-grown leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars. *J Food Compos Anal* 19:637-644
- Cha BC, Kim MD, Ryu HS. 2011. Effect of vitamin C, germanium oxide and selenium treatment on the during cultivation of sprouts. *Korean J Food Nutr* 24:226-232
- Cho JW, Kim CS. 2000. Response of growth and photosynthesis to NaCl stress in soybean (*Glycine max* L.) seedlings. *Korean J Environ Agric* 19:166-170
- Choi JH, Park YH, Lee SG, Lee SH, Yu MH, Lee MS, Park SH, Lee IS, Kim HJ. 2014. Antioxidant activities and α -glucosidase inhibition effects of chicories grown in hydroponics added with Cr^{3+} or selenium. *J Food Hyg Saf* 29:53-59
- Choi Y, Chiang M. 2017. Effect of jasmonic acid and NaCl on the growth of spearmint (*Mentha spicata* L.). *Prot Horticult Plant Fac* 26:133-139
- Falcioni G, Fedeli D, Tiano L, Calzuola I, Mancinelli L, Marsili V, Gianfranceschi G. 2002. Antioxidant activity of wheat sprout extract *in vitro*: Inhibition of DNA oxidative damage. *J Food Sci* 67:2918-2922
- Halliwell B, Aeschbach R, Löliger J, Aruoma OI. 1995. The characterization of antioxidants. *Food Chem Toxicol* 33:601-617
- Iimure T, Kihara M, Hirota N, Zhou T, Hayashi K, Ito K. 2009. A method for production of γ -amino butyric acid (GABA) using barley bran supplemented with glutamate. *Food Res Int* 42:319-323
- Jeong EY, Sung BK, Song HY, Yang JY, Kim DK, Lee HS. 2010. Antioxidative and antimicrobial activities of active materials derived from *Triticum aestivum* sprouts. *J Korea Soc Appl Chem* 53:519-524
- Kim HY, Seo HY, Seo WD, Lee MJ, Ham H. 2019b. Evaluation of biological activities of wheat sprouts with different extraction solvents. *Korean J Food Nutr* 32:636-642
- Kim JH, Lee JM, Park YG, Chiang MH, Baik JA. 2021. Analysis of free amino acids and antioxidant components by NaCl treatment of Korean native *Apocynum lancifolium* Russanov. *J Agric Life Environ Sci* 33:299-310
- Kim JY, Seong PM, Lee DB, Chung NJ. 2019a. Growth and physiological characteristics in a halophyte *Suaeda glauca* under different NaCl concentrations. *Korean J Crop Sci* 64:48-54
- Kim KC, Kim JS. 2021. Comparative analysis of hydroponically cultivated barley sprouts yield, polyphenol and mineral content by nutrient solution treatment. *J Plant Biotechnol*

- 48:193-200
- Kim SH, Choi HJ, Oh HT, Chung MJ, Cui CB, Ham SS. 2008. Cytoprotective effect by antioxidant activity of *Codonopsis lanveloata* and *Platycodon grandiflorum* ethyl acetate fraction in human HepG2 cells. *Korean J Food Sci Technol* 40:696-701
- Kwon SM, Jeong HW, Lee HR, Jo HG, Hwang HS, Hwang SJ. 2021. 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. *J Bio-Environ Control* 30: 101-109
- Lee KS, Choi SY, Choi CW. 1995. Effect of NaCl concentration on germination and seedling growth of Italian ryegrass. *Korean J Crop Sci* 40:340-350
- Lee YR. 2021. Biological activities of extracts from leaf of *Angelica gigas* Nakai. *Korean J Food Nutr* 34:181-186
- Müller I, Schmid B, Weiner J. 2000. The effect of nutrient availability on biomass allocation patterns in 27 species of herbaceous plants. *Perspect Plant Ecol Evol Syst* 3:115-127
- Okarter N. 2012. Phenolic compounds from the insoluble-bound fraction of whole grains do not have any cellular antioxidant activity. *Life Sci Med Res* 2012:LSMR-37
- Powers SK, Ji LL, Kavazis AN, Jackson MJ. 2011. Reactive oxygen species: Impact on skeletal muscle. *Compr Physiol* 1:941-969
- Shabala S, Wu H, Bose J. 2015. Salt stress sensing and early signalling events in plant roots: Current knowledge and hypothesis. *Plant Sci* 241:109-119
- Shim D, Nam KJ, Kim YH. 2018. Analysis of antioxidant enzyme activity during seedling growth of *Leymus chinensis* Trin under salt and dehydration stresses. *J Life Sci* 28: 772-777
- Shon YG, Choi SH, Kim SR, Park EJ, Park DM, Lee JJ. 2003. Effect of NaCl stress on the alteration of inorganic ion and soluble amino acid level in sea club rush and rice seedlings. *Korean J Weed Sci* 23:343-350
- Singh K, Pannu MS, Singh P, Singh J. 2010. Effect of wheat grass tablets on the frequency of blood transfusions in thalassemia major. *Indian J Pediatr* 77:90-91
- Tudek B, Peryt B, Miłoszewska J, Szymczyk T, Przybyszewska M, Janik P. 1988. The effect of wheat sprout extract on benzo(a)pyrene and 7,2-dimethylbenz(a)anthracene activity. *Neoplasma* 35:515-523
- Wang M, Li J, Rangarajan M, Shao Y, LaVoie EJ, Huang TC, Ho CT. 1998. Antioxidative phenolic compounds from sage (*Salvia officinalis*). *J Agric Food Chem* 46:4869-4873
- Woo KS, Song SB, Ko JY, Lee JS, Jung TW, Jeong HS. 2015. Changes in antioxidant contents and activities of adzuki beans according to germination time. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44:687-694
- Yang JY, Song SY, Seo WD, Lee MJ, Kim HY. 2021. Evaluation of the antioxidant activity of wheat sprouts produced by different cultivation methods and harvest times. *Korean J Food Nutr* 34:584-592
- Yi B, Kasai H, Lee HS, Kang Y, Park JY, Yang M. 2011. Inhibition by wheat sprout (*Triticum aestivum*) juice of bisphenol A-induced oxidative stress in young women. *Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen* 724:64-68
- You S, Moon J. 2016. Study on the whitening effect and deterrent effect on gene expression of MMP-1 in wheat sprout extracts. *J Korean Oil Chem Soc* 33:13-22
- Yun HK, Seo TC, Park D, Choi KY, Jang YA. 2004. Effect of selenium source and concentrations on growth and quality of endive and Pak-choi in deep flow culture. *Kor J Horticult Sci Technol* 22:151-155

Received 04 March, 2022

Revised 07 June, 2022

Accepted 13 June, 2022