pISSN 1225-4339 eISSN 2287-4992
Korean J. Food Nutr. Vol. 34. No. 6, 584~592 (2021)
https://doi.org/10.9799/ksfan.2021.34.6.584

THE KOREAN JOURNAL OF
한국식품영양학회지
FOOD AND NUTRITION

새싹밀의 재배방법과 수확시기에 따른 항산화 성분 및 활성 평가

양지영 · 송승엽* · 서우덕** · 이미자** · †김현영*
농촌진흥청 국립식량과학원 작물기초기반과 박사후연구원, *농촌진흥청 국립식량과학원 작물기초기반과 농업연구사,
**농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관

Evaluation of the Antioxidant Activity of Wheat Sprouts Produced by Different Cultivation Methods and Harvest Times

Ji Yeong Yang, Seung-Yeob Song*, Woo Duck Seo**, Mi Ja Lee** and †Hyun Young Kim*
Post-Doctor, Division of Crop Foundation, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea
**Associate Researcher, Division of Crop Foundation, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea*
***Research Officer, Division of Crop Foundation, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea*

Abstract

In this study, the antioxidant activity of methanol extracts of wheat sprouts grown in wild fields and cultivated fields and harvested at various times were analyzed to compare the quality characteristics of the wheat sprouts as a function of their cultivation and harvest time, as well as for the development of functional materials. The total polyphenolic and flavonoid content, as well as antioxidant activity of the wheat extracts, were subsequently analyzed. The ABTS radical scavenging activity of the wheat extract increased from 16.97 mg TEAC/g sample on cultivation day three in cultivated field wheat sprouts to 25.99 mg TEAC/g sample after seven days of wild field cultivation. The total polyphenol content increased from 17.08 mg GA eq/100 g in cultivated field wheat sprouts grown for three days to 28.70 mg GA eq/100 g after seven days of wild field cultivation. In addition, the flavonoid content increased from 7.02 mg catechin eq/100 g (7 days) to 8.47 mg/g after 12 days of wild field cultivation. Notably, the activity subsequently decreased. These results suggest that the wheat sprouts with higher biological activity were those produced from the wild field after 20 days.

Key words: wheat, sprout, antioxidant activity, polyphenol, flavonoid, chlorophyll

서 론

최근 소득 및 생활수준의 향상과 더불어 서구화된 식습관, 1인 가구의 증가, 혼밥 문화 정착 등으로 고지방, 고열량의 식품 섭취가 증가하고, 과일이나 채소 등의 섭취는 부족해지고 있다. 그로 인하여 성인병 및 만성질환의 발병률이 증가하고 있으며, 고령층뿐만 아니라 중장년층에서도 건강 및 질병 예방에 대한 관심도 급속하게 증가하는 추세이다(Ha TY 2006). 이런 복합적인 요소들로 인하여 건강기능식품 시장은 계속 성장하고 있는 실정이며 그에 따른 기능성 원료에 대한 다양성도 많이 요구되고 있다. 또한 건강기능식품 원료 중 천연유래 생리활성을 갖는 식물성 재료와 신선편이 채소류의 소비도 증가하며, 원료에 대한 안전성이 중요하다는 인식이 많은 만큼 잔류농약, 환경호르몬 등에 대한 소비자 인식이 높아짐으로 인해 안전한 먹거리와 기능성 식품에 대한 선호도가 점차 증가하고 있는 추세이다(Lee 등 2012).

최근까지 천연소재를 활용한 수많은 연구가 진행되고 있으며, 특히 다양한 질병의 원인이 되는 산화방지 소재 관련 연구가 꾸준하게 진행되고 있다. 자유라디칼은 산화적 스트레스를 유발하는 것으로, 인체 내 모든 대사 작용 및 스트레

† Corresponding author: Hyun Young Kim, Associate Researcher, Division of Crop Foundation, 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

스 등 외적요인에 의해 생성되고 있으며, 생성된 활성 산소 등은 체내 항산화 방어 체계에 의해 제거되지만 잔존하는 반응성이 높은 자유라디칼들은 체내 및 세포내 과산화반응을 일으켜 정상세포를 공격하고 손상을 유발시켜 여러 가지 질병의 원인이 되는 것으로 알려져 있다(Halliwell 1995; Valko 등 2007). 따라서 많은 항산화제 중 천연 항산화제에 대한 필요성 및 소비자의 수요에 따라 안전하고 확실한 기능성 식품들에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 하며, 여러 생리활성 연구 소재로 이용되고 있다(Han & Kim 2017).

밀은 세계적으로 고대부터 주식으로 섭취해 온 식량작물로서 가장 중요한 작물 중 하나이다(Kim DE 2012). 밀 배아에 들어있는 vitamin E는 암의 원인이 되는 인체내 산화작용을 억제하고, 그로 인하여 성인병 예방 및 항노화 활성이 우수하다고 알려져 있다(Sin HT 2006). 새싹밀은 밀을 파종하고 15~20 cm 자란 어린잎으로 보통 종자에서 15여일 키운 싹을 말한다. 새싹밀은 강력한 항산화제인 비타민 및 클로로필 등 기능성 물질이 다량 함유되어 있어 항산화활성, 지질 및 당의 대사작용에 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Nagaoka H 2005). 새싹밀을 활용한 다양한 연구들이 보고되고 있으며, 추출용매 별 생리활성 평가(Kim 등 2019), 구강세균에 대한 항균활성(Jeong 등 2010), 모발 촉진 및 탈모 염증 관련 활성(Ryu E 2014) 및 노인성 백내장 효과(Marsili 등 2004) 등의 연구가 보고되고 있다.

따라서 본 연구에서는 새싹밀의 재배 방법 및 재배 기간에 따른 항산화 활성 물질 함량 변화를 알아보고자, 각각 샘플의 총 폴리페놀, 총 플라보노이드, 총 클로로필 함량 분석과 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능 검정을 하고 평가 항목들간 상관관계를 살펴보며, 추후 항산화활성 및 함량이 우수한 새싹밀의 재배와 산업화 소재화를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

본 연구에 사용된 밀은 전라북도 완주군 소재의 국립식량과학원 시험용 포장에서 2020년도에 생산된 '새금강' 품종을 실험재료로 사용하여 4℃ 냉장고에서 저장하면서 실험에 사용하였다. 그리고 본 연구에서 사용된 표준시약, 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), 등은 Sigma사(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다. 그 외에 사용된 모든 용매 및 시약은 analytical 및 HPLC 등급을 사용하였다.

2. 새싹밀 재배 방법 및 수율 측정

실내와 노지에서 재배한 새싹밀의 재배방법은 다음과 같다. 실내재배 새싹밀의 경우 우리밀 종자를 24시간 침지 후 일정 온도(20℃)와 습도(50%)에서 발아시간을 거친 후 일반 모판에 상토를 도포하고 파종하여 재배하였으며, 파종 후 3일, 5일, 7일, 9일, 11일, 13일 및 15일간 각각 재배한 새싹을 수확하여 시험용 자료로 사용하였다. 노지재배 새싹밀의 경우 2020년 9월에 국립식량과학원 시험포장에서 재배한 것으로 우리밀 종자를 전처리없이 바로 파종하여 파종 후 7일, 12일 17일 및 21일간 각각 재배한 새싹밀을 수확하여 시험용 사료로 사용하였다. 새싹밀의 수율 측정은 각 파종한 밀 종자 무게 대피 재배방법 및 일수별 재배한 건조 후 새싹밀 무게에 대한 %로 나타냈다.

새싹밀 수율(%)=
(건조 후 새싹밀 무게(g)/파종한 밀 종자 무게(g))×100

3. 메탄올 추출물 제조

메탄올 추출물 제조는 재배방법 및 재배일수별로 수확한 새싹밀을 세척 후 50℃에서 24시간 이상 건조하고 실험실용 분쇄기(NSG-100 2SS, Hanil, Seoul, Korea)로 분쇄하여 시료로 사용하였다. 분쇄한 시료 1 g에 MeOH 용매 30 mL를 가하여 상온에서 24시간, 2반복 교반추출 하였다. 추출 후 원심분리 및 여과를 하여 상등액을 취하고, 그 상등액은 진공 회전 감압농축기(N-1000, EYELA,Tokyo, Japan)를 이용하여 제거하였으며, 용매를 제거한 고형분을 일정농도로 DMSO에 재용해하여 각 분석 항목들을 분석하였다.

4. DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성 측정

재배 방법 및 기간에 따른 새싹밀 메탄올 추출물에 대한 DPPH 및 ABTS radical 소거활성은 Woo 등(2015)의 방법을 참고하여 측정하였다. DPPH 라디칼 소거활성은 96well plat를 활용하여 측정하였으며, 99.9% 에탄올을 이용하여 0.2 mM DPPH 용액을 제조한 후, 라디칼 용액 200 μL에 시료 50 μL를 첨가하고 25℃에서 30분간 암반응 후 520 nm에서 흡광도를 측정하였다.

ABTS radical 소거활성은 ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 증류수에 녹여 24시간 이상 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시켰다. 그 후 이 용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 몰 흡광계수(ε=3.6×10^4 M^{-1}cm^{-1})를 이용하여 증류수로 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 200 μL에 추출액 10 μL를 가하여 암반응하였으며, 흡광도의 변화를 정확히 60분 후에 측정하였다. DPPH 및 ABTS radical 소거활성 모두 Trolox를 이용하여 표준곡선을 작성한 후 추

출물의 항산화력(Trolox equivalent antioxidant capacity, TEAC)을 계산하였으며, mg TEAC/g sample로 나타냈다.

5. 총 폴리페놀 함량 측정

재배방법 및 재배기간에 따른 새싹밀 추출물에 대한 총 폴리페놀과 함량은 Lee YR(2021)의 방법을 참고하여 분석하였다. 총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu phenol reagent가 추출물의 폴리페놀 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 하여 측정하였다. 추출물 10 μL에 2% Na_2CO_3 용액 200 μL를 가한 후 3분간 방치하여 50% Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 10 μL를 가하였다. 30분 후, 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.

6. 총 플라보노이드 함량 측정

추출된 샘플의 총 플라보노이드 함량분석 실험은 Kim 등(2019)의 방법을 활용하여 분석하였다. 시료 250 μL에 증류수 1 mL과 5% $NaNO_2$ 75 μL를 가한 후 5분간 방치한 후, 10% $AlCl_3 \cdot 6H_2O$를 150 μL 첨가한 후 6분간 방치한다. 그 다음 1 M NaOH을 500 μL 첨가한 후 11분간 방치하고 510 nm에서 흡광도를 측정한다. 측정된 흡광도는 catechin hydrate(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 이용하여 작성된 검량선으로부터 총 플라보노이드 함량을 시료 g중 mg catechin hydrate equivalents(dry basis)로 계산하여 나타냈다.

7. 새싹밀 클로로필 함량 분석 방법

각 재배 기간 및 방법별 새싹밀 클로로필 함량 분석은 Caldwell & Britz(2006)의 방법을 응용하였다. 각 샘플 건조분말 10 mg에 80% 차가운 아세톤 1 mL를 첨가한 후 1분 이상 교반하여 추출한다. 그 후 2,000 rpm으로 원심분리 하고 상등액은 0.25 μm 멤브레인 필터로 필터 후 클로로필 함량 분석 샘플로 사용하였다. 클로로필 a, b 함량 분석은 HPLC-UV 방법을 이용하였으며, 분석조건은 Table 1과 같다. 각 샘플은 3반복으로 추출 및 측정하였으며, chlorophyll a,b 각각 검량선을 만들어 시료의 함량을 정량하였다.

8. 통계분석

각 실험 데이터는 3회 이상 반복 측정하였으며, 통계처리는 SPSS(Statistics Package for the Social Science, Ver. 19.0, IBM, Chicago, IL, USA) 프로그램으로 일원배치 분산분석(One way-ANOVA)을 하여 평균, 표준편차 및 Ducan의 사후검정을 사용하여 $p<0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다. 또한 각 평가 항목 간의 상관관계는 Pearson 상관계수(Pearson correlation coefficient)로 분석하였다.

Table 1. Chlorophyll a and b analysis condition in wheat sprouts

Items	Conditions
HPLC system	Agilent Technologies
Column	XTerra RP18 column (3.5 um, 4.6×150 mm, waters, Milford, MA, USA)
Mobile phase	A: 75% methanol B: 100% ethly acetate
Detector	DAD(430 nm)
Flow rate	1.0 mL/min
Injection volume	1 μL
Oven temperature	25℃

결과 및 고찰

1. 새싹밀 재배 방법 및 수확시기에 따른 수율

고기능성 새싹밀 생산을 위한 기초자료 확보 측면에서 새싹밀 재배 방법 및 재배시기에 따라 최적의 재배조건을 선정하고자 각 재배 기간에 따른 새싹 수율을 연구한 결과는 Table 2에 나타냈다. 새싹 재배 수율은 재배 전 '새금강' 밀 종자 무게에 따른 수확 후 건조된 새싹밀 무게에 대한 수율을 %로 나타냈다. 새싹밀 재배 시 실내재배(A)의 경우 파종 후 13일 재배하였을 경우 약 14.27%로 가장 높은 수율을 나타냈으며, 3일 재배했을 때 3.67%로 가장 낮은 함량을 나타냈다. 또한, 국립식량과학원 노지 시험포(B)에서 재배하였을 경우 7일째부터 새싹을 수확하였으며, 7일, 12일, 17일 및 21

Table 2. Effect of different cultivation methods and harvest time condition on wheat sprout yield (A: indoor production, B: outdoor production)

	Day	Cultivation yield (Dry sample, %)
A	3	3.67±0.06
	5	4.83±0.31
	7	9.58±0.72
	9	11.19±0.88
	11	13.23±1.91
	13	14.27±0.75
B	7	5.06±0.91
	12	11.83±0.37
	17	16.46±0.56
	21	20.06±1.41

일 총 4회에 걸쳐 수확한 결과 각각 5.06%, 11.83%, 16.46% 및 20.06%로 새싹밀 재배 수율이 나타났다. 실내재배(A) 방법과 노지재배(B) 방법을 비교하면 노지에서 재배한 새싹밀 수율이 약 6% 이상 높게 나타났으며 실내재배 시 재배 일수는 짧은 반면 생산 수율은 노지에서 재배한 경우보다 낮은 것으로 나타났다. LED 광질에 따른 브로콜리 새싹의 생장에 미치는 영향을 살펴본 Cho 등(2008)의 연구에서는 LED 광질에 따라 차이가 있으나, 파종 후 8일째의 신선중이 가장 높은 수율로 나타났으며, Lee 등(2009)의 우엉 종자 이용 새싹채소의 재배환경 구축에 대한 연구에서는 우엉 새싹채소 재배 시 암조건 및 20℃조건에서 재배 시 가장 재배 속도 및 수율이 높다고 보고하였다. 새싹의 종류 및 재배 조건들이 상이하기 때문에 단순 비교가 어려움이 따르나, 보통 새싹작물이 실내재배 시 약 8일~10일 정도 사이에 가장 높은 재배수율이 나타나는 것으로 사료되며 또한, 새싹채소의 재배 수율이 중요한 이유 중 하나는 산업화 소재 개발 시 수확량은 곧 경제적 이익으로 연관될 수 있음으로 높은 수율의 재배 조건 선정 위한 기초 데이터로 활용되고자 한다.

2. 새싹밀 재배 방법 및 수확시기에 따른 DPPH 라디칼 소거 활성 평가

본 연구에서 평가 방법으로 활용한 DPPH 라디칼 소거 활성 평가 방법은 가장 간단한 항산화활성 평가 방법이나, DPPH 라디칼이 에탄올과 같은 유기용매에 용해되기 때문에 추출물의 수용성 항산화물질보다는 지용성 항산화물질의 정도를 평가하기 유리한 방법 중 하나이다(Arnao MB 2000). 재배 방법별 수확시기에 따른 새싹밀의 DPPH 라디칼 소거 활성을 나타낸 결과는 Fig. 1과 같다. DPPH 라디칼 소거능을 Trolox를 이용하여 표준곡선을 작성한 후 각각 재배한 새싹밀의 항산화력(mg TEAC/g sample)으로 나타냈다. 새싹밀 노지재배(b)의 경우 재배 일수별 수확한 새싹밀의 DPPH 라디칼 소거 활성은 유의적으로 큰 차이를 타나내지 않았으며 (p<0.05) 대부분 약 15 mg TEAC/g sample 내외로 나타났다. 또한, 새싹밀 실내재배(a)시 파종 후 3일부터 13일까지 2일 간격으로 수확한 가운데, 가장 처음 수확한 3일차 새싹밀의 라디칼 소거능이 15.87 mg TEAC/g sample로 가장 높게 나타났으며, 9일차 이후에는 14.00 mg TEAC/g sample 미만으로 재배일수가 길어질수록 DPPH 라디칼 소거활성이 미미하게 낮아지는 것으로 나타났다(p<0.05). 3일차 재배 새싹밀에서 높은 활성의 DPPH 라디칼 소거능을 나타냈으나, 앞에 설명한 재배 수율을 살펴보면 3일차 새싹의 수율이 매우 낮은 것으로 나타났다. 항산화 활성이 우수하더라도 재배 수율이 너무 낮은 재배 조건은 여러 가지를 고려할 때 재배 최적 조건이라고 판단하기 힘들다. 또한 실내재배와 노지재배 시 새싹밀 추출물의 DPPH 라디칼 소거 활성은 큰 차이가 나타나지 않는 것으로 평가되었으며, 이는 새싹밀의 경우 DPPH 라디칼 소거활성은 재배 기간과 재배방법 변화에 따른 활성 변화가 크게 없는 것으로 분석된다. Lee 등(2014)의 콜라비 및 무순 새싹 에탄올 추출물의 DPPH 등 항산화활성을 평가한 연구에서는 각 새싹 추출물이 양성대조군 만큼 우수한 활성이 나타나진 않았으나 각각 새싹채소 추출물 농도 의존적으로 라디칼 소거활성이 높아지는 것으로 보고하고 있으며, Hwang 등(2019)의 새싹 더덕의 수확 시기 및 새싹 부위별 추출물의 DPPH 라디칼 소거능을 연구한 결과 2차 수확한 줄기와 잎 부위 추출물이 50.58 mg ascorbic acid eq/g으로 가장 높은 활성을 나타냈다고 보고하고 있다. 이와 같이 대부분 새싹채소들은 일반 성숙된 채소들에 비하여 높은 항산화활성을 나타내는 것으로 보고되고 있으며(Fahey 등 1997), 본 연구결과에서도 DPPH 라디칼 소거능은 수확시기에 따른 활성 차이보다는 재배방법에 따른 라디칼 소거활성 차이가 큰 것으로 나타났으며, 이는 새싹밀을 재배하여 활용할 경우 최적 재배 조건을 선정할 때 고려해야 할 것으로 사료된다.

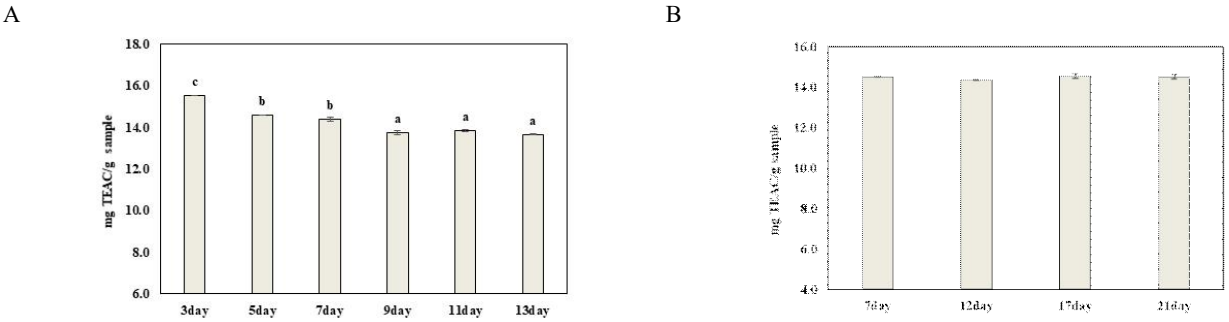

Fig. 1. Contents of DPPH radical scavenging activity in wheat sprout cultivates according to different cultivation method (a: indoor production, b: outdoor production). [1)]Means in the same group with the different letters ([a-c]) are significantly (p<0.05) different by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

3. 새싹밀 재배 방법 및 수확시기에 따른 ABTS 라디칼 소거 활성 평가

인간이 섭취하는 모든 식품 내 다양한 성분의 항산화활성의 평가는 항산화물질 함량을 측정하여 산화에 대항하는 능력을 측정하거나, 생체 내에서 일어나는 작용들이 항산화활성을 갖는지에 대한 능력을 측정하여 수치로 표현하고 알 수 있다(Serrano 등 2007; Sarmadi & Ismail 2010). 항산화제는 산화를 방지하는 물질을 통틀어 일컫는 말로, 생체 내에서의 산화반응은 주로 라디칼이 관여하는 연쇄 반응을 통하여 이루어지고, 최종적으로 세포에 피해를 주게 된다. 본 연구에서는 새싹밀 추출물의 항산화력중 ABTS 라디칼 소거 활성을 측정하였으며 그 결과는 Fig. 2에 나타냈다. 재배일수별로 ABTS 라디칼 소거 활성을 살펴보면, 재배방법 및 기간에 따라 큰 차이를 나타내지 않은 DPPH 라디칼 소거능과는 다르게, 실내재배의 경우 재배 일수가 길어질수록 활성이 증가하는 경향으로 나타났으며, 노지재배의 경우 재배일수가 길어질수록 라디칼 소거활성이 어느 정도 감소한 후 다시 증가하는 경향으로 나타났다(p<0.05). 실내재배의 경우 3일차 새싹밀이 가장 낮은 라디칼 소거 활성을 나타냈으며(16.97 mg TEAC/g sample), 파종 후 7일째 수확한 새싹밀에서 가장 높은 활성을 나타냈다(19.15 mg TEAC/g sample). 그러나 7일 이후 9~13일까지 재배한 새싹밀에서는 큰 변화가 나타나지 않았다. 노지재배의 경우 재배시기가 길어질수록 라디칼 소거활성이 감소하는 경향으로 나타났으며(p<0.05), 파종 후 7일차 새싹밀에서는 25.99 mg TEAC/g sample로 노지 새싹밀 중 가장 높은 활성을 나타냈으며, 파종 후 17일차는 23.08 mg TEAC/g sample로 가장 낮은 활성을 나타냈다. 그러나, 노지에서 재배한 새싹밀 중 가장 낮은 라디칼 소거활성을 나타낸 17일차 새싹밀의 활성이, 실내에서 재배한 새싹밀 중 가장 높은 라디칼 소거 활성을 나타낸 7일차 보다 높은 활성을 나타냈다. 하우스와 노지 재배방법에 따른 아스파라거스 항산화 활성을 평가한 Kim 등(2016)의 연구에 따르면 노지 재배보다 하우스 재배 아스파라거스가 수확 수량 및 항산화활성이 유의적으로 높게 나타나 본 연구와 상이하게 나타났으며, 이는 식물의 종류가 다르기 때문인 것으로 판단된다. Jin 등(2014)의 연구에 따르면 재배조건 및 수확시기별 갯기름나물의 항산화활성 변화를 분석한 결과 하우스와 노지에서 재배한 각각의 갯기름나물의 항산화활성은 하우스 재배 나물 보다 노지 재배 나물의 항산화력이 조금 더 우수한 것으로 보고하고 있으며 본 연구와 유사한 경향을 나타냈다.

4. 새싹밀 재배 방법 및 수확시기에 따른 총 폴리페놀 함량 분석

폴리페놀 화합물은 벤젠고리 탄소에 페놀릭 하이드록실기가 결합되어 있는 물질로서, 세계 식물계에 널리 분포되어 있는 물질 중의 하나이며, 여러 가지 구조를 가지는 화합물이다. 또한, 폴리페놀 화합물은 –OH가 있어 다양한 항산화활성을 가지며 그로 인하여 여러 가지 항암 및 항노화, 항치매, 항균효과 등 생리활성을 가지는 것으로 보고되고 있다(Halliwell 등 1995). 본 연구에서 각 재배 조건별 새싹밀 추출물의 총 폴리페놀은 Folin-Denis 방법에 따라 표준물질 gallic acid를 기준으로 분석하였다. 그 결과(Fig. 3) 전체적으로 실내재배(a)보다 노지재배(b) 새싹밀의 폴리페놀 함량이 높게 나타났으며, 모든 새싹밀 중 폴리페놀 함량이 가장 높은 것은 노지에서 7일 재배한 새싹밀이고, 그 함량은 28.70 mg GAE/g sample로 나타냈다. 가장 낮은 함량을 나타낸 것은 실내재배에서 3일차 재배한 것으로 17.08 mg GAE/g sample로 분석되었으며, 두 샘플은 약 10 mg GAE/g sample의 차이를 나타냈다. 실내에서 새싹밀 재배 시, 재배기간별 폴리페놀 함량을 살펴보면 파종 후 9일 차까지는 폴리페놀 함량이 유

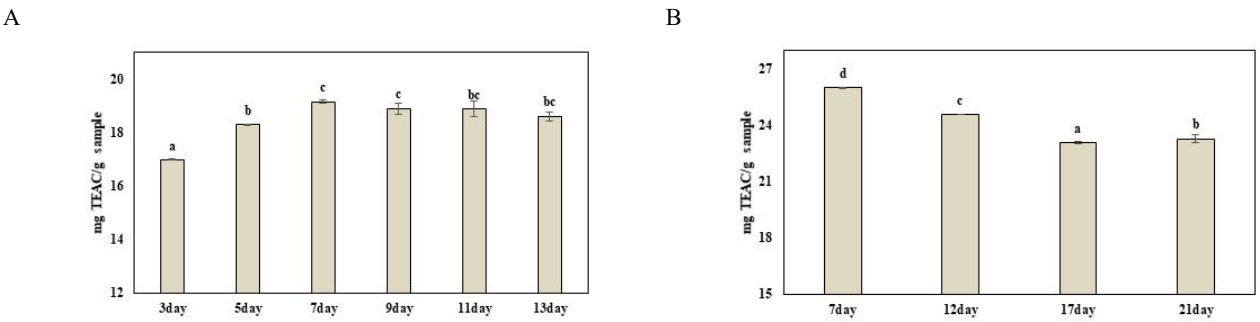

Fig. 2. Contents of ABTS radical scavenging activity in wheat sprout cultivates according to different cultivation method (a: indoor production, b: outdoor production). [1)] Means in the same group with the different letters ($^{a-d}$) are significantly (p<0.05) different by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

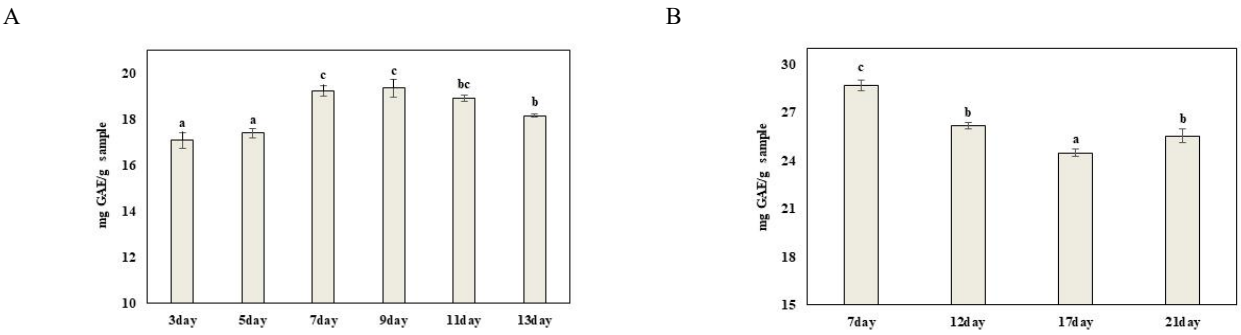

Fig. 3. Total polyphenol content in wheat sprout cultivates according to different cultivation method (a: indoor production, b: outdoor production). [1)] Means in the same group with the different letters ($^{a-c}$) are significantly ($p<0.05$) different by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

의적으로 증가하다가 9일 이후 재배한 새싹밀 추출물에서는 다시 감소하는 경향을 나타냈다($p<0.05$). 파종 후 3일부터 13일까지 2일 간격으로 수확한 새싹밀의 폴리페놀 함량은 각각 17.08, 17.39, 19.22, 19.35, 18.93 mg GAE/g sample 및 18.16 mg GAE/g sample로 나타났다. 반면, 노지에서 재배한 새싹밀의 경우 재배 기간이 길어질수록 감소하다가, 21일째 새싹밀에서 소량 증가하는 것으로 나타났다. 노지 파종 후 7일째 수확한 새싹밀의 경우 28.70 mg GAE/g sample에서 수확 시기가 길어질수록 점점 감소하여 각각 26.54 mg GAE/g sample(12 day) 및 24.49 mg GAE/g sample(17 day)로 나타났다. 이후 21일 까지 재배한 새싹밀의 경우 유의적으로 폴리페놀함량이 소량 증가(25.51 mg GAE/g sample)하는 것으로 나타났다. 새싹밀의 에탄올 농도별 추출물의 폴리페놀 함량을 연구한 Kim 등(2019)의 연구에서 50% 에탄올 추출물에서 26.3 mg GAE/g sample로 나타나 본 연구와 유사한 함량으로 분석되었으며, Lee 등(2019) 연구에서는 생육시기별 새싹율무의 폴리페놀 함량을 분석한 결과 3일차 새싹율무에서 가장 높은 폴리페놀 함량이 나타났고, 그 뒤 재배기간이 길어질수록 폴리페놀 함량은 유의적으로 감소하는 것으로 보고한 바 있다. 이는 본 연구와도 일부분 유사한 경향을 나타냈으며, 새싹작물 성장 초기에 함량이 높았다가 이후 일시적으로 감소하는 것은 새싹 재배 생리적으로 폴리페놀 함량이 일시적으로 감소 후 다시 증가하는 것으로 판단된다. 또한, 작물 및 새싹채소의 항산화 성분 분석 시 추출용매 차이도 있으나, 재배방법 및 조건에 대한 함량 증감 정도도 큰 것으로 판단된다.

5. 새싹밀 재배 방법 및 수확시기에 따른 총 플라보노이드 함량 분석

실내와 노지에서 각각 재배한 새싹밀의 총 플라보노이드 함량을 분석한 결과 Fig. 4와 같다. 실내재배의 경우 총 플라보노이드 함량은 총 폴리페놀 함량 경향과 유사하게 재배 기간이 7일~9일까지 길어질수록 함량이 증가하는 것으로 나타났으나, 노지재배의 경우는 12일까지 재배한 새싹밀에서 가장 높은 함량의 플라보노이드를 함유하고 있으며 그 뒤로 재배할 경우 함량이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 실내재배 새싹밀의 경우 플라보노이드가 대부분 4.0~5.0 mg catechin eq/g sample로 나타났으나, 노지지배의 경우 7.0~8.5 mg catechin eq/g sample의 함량으로 실내재배보다 약 1.5배 이상 높은 함량을 나타냈다. 특히 노지에서 12일 재배한 새싹밀은 8.47 mg catechin eq/g sample로 가장 높은 함량 분석됐으며, 재배방법에는 상관없이 실내 또는 노지에서 재배하는 새싹밀의 경우 일정기간 재배 이후 플라보노이드 함량이 소량 감소하는 것으로 나타났다($p<0.05$). Hong 등(2014)의 연구결과에 따르면 야생 및 재배 참취나물의 플라보노이드 함량을 분석한 결과, 최고 5.40 mg quercetin eq/g sample로 본 연구의 실내재배 새싹밀과 유사한 함량으로 연구되었으며, 또한 Jin 등(2014)의 재배조건별 갯기름나물의 항산화물질 분석한 결과 하우스 재배보다 노지에서 재배된 나물의 플라보노이드 화합물 함량이 더 높게 분석되어 본 연구와 비슷한 경향으로 나타났다. 이상의 연구결과를 살펴 본 결과 새싹밀을 포함한 대부분의 식물체는 실내에서 재배하였을 때보다 노지나 밖에서 재배하였을 경우 항산화 활성 및 성분의 함량이 월등이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 식물 재배 시 작용 할 수 있는 다양한 영향이 원인으로 작용될 수 있으며, 작물 성장 시 적당한 스트레스는 함유하고 있는 항산화성분을 증가시킬 수도 있다고 사료된다.

6. 새싹밀 재배 방법 및 수확시기에 따른 chlorophyll a, b 함량 분석

Chlorophyll(클로로필)은 다른 명칭으로 엽록소라고도 일컫는다. 새싹밀을 포함한 모든 식물체내 클로로필에는 a와 b 두 종류로 존재하며 a는 청록색을 나타내고, b는 황록색을

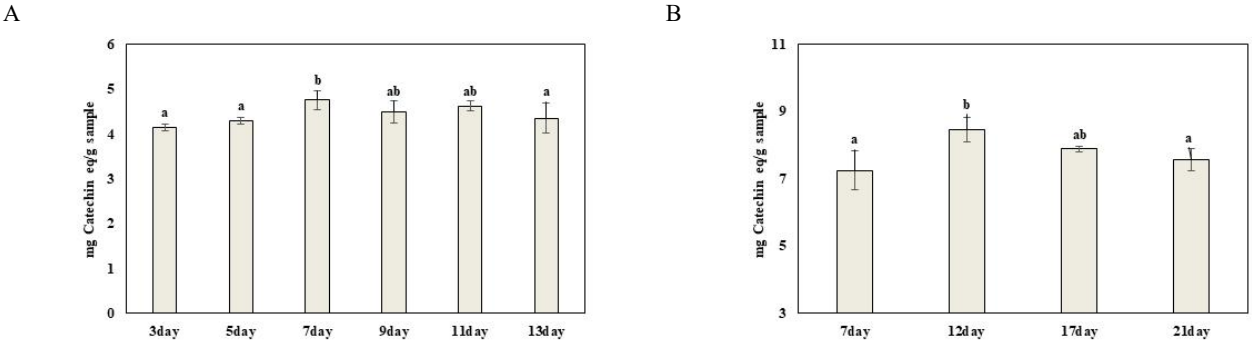

Fig. 4. Total flavonoid content in wheat sprout cultivates according to different cultivation method (a: indoor production, b: outdoor production). [1)] Means in the same group with the different letters ([a,b]) are significantly (p<0.05) different by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

나타낸다. 모든 광합성을 하는 식물체는 클로로필 함량과 광합성간에 밀접한 관계가 있으므로 재배 방법 및 생육 조건하고 밀접한 관련이 있는 항산화 물질이다. 또한, 엽록소는 또한 건강기능식품 고시형 원료로 등록되어 있으며, '피부건강 · 항산화에 도움을 줄 수 있음'으로 표기 가능하며 일일섭취량은 8~150 mg으로 고시되어 있는 기능성 물질이다. 따라서 본 연구에서 고시형 건강기능성 원료인 클로로필 함량이 새싹밀 재배 방법 및 수확시기별 차이를 알아보기 위하여 분석하였다. 재배 기간에 따른 새싹밀의 클로로필 함량 변화를 살펴보면(Fig. 5) 재배 기간이 어느 정도 길어질수록 함량이 높아지는 것으로 나타났으며, 일정 시간이 지나면 다시 감소하는 것으로 나타났다. 실내와 노지 재배를 비교하면 실내재배보다 노지재배 새싹밀의 클로로필 함량이 약 150 mg/100 g 이상 많이 함유한 것으로 나타났다. 재배 기간별로는 실내재배시 11일까지 재배한 새싹밀에서 1,050 mg/100 g으로 가장 높은 함량을 나타냈으며, 노지재배에서는 밀 종자 파종 후 17일까지 재배한 새싹밀에서 1,223 mg/100 g으로 클로로필 함량이 가장 높게 나타났다. 실내재배시 3일에는 새싹밀의 경우 412 mg/100 g의 함량으로 나타났으나 11일까지 재배하면 1,050 mg/100 g으로 약 2.5배 증가하는 것으로 나타났다. 노지재배의 경우에는 최저 함량 클로로필 a와 b의 비율을 살펴보면 재배 방법 및 수확 시기와는 상관없이 대부분이 1:1의 비율로 나타났다. Kim 등(2012)의 연구에서는 다른 광원 조사로 재배된 홍화 새싹채초의 클로로필 함량 변화를 분석한 결과 적색광원이 강할수록 클로로필 함량이 높게 분석됐다고 보고하고 있는데, 새싹밀의 경우에도 재배시 광원의 종류에 따라 클로로필 등 영양성분 함량 변화를 볼 필요가 있을 것으로 사료된다.

총 폴리페놀, 총 플라보노이드, 각 라디칼 소거활성(DPPH 및 ABTS) 및 클로로필 함량 사이의 상관관계를 분석한 결과는 Table 3에 나타내었다. 총 폴리페놀 함량과 ABTS 라디칼 소거능(0.993, p<0.01), 총 플라보노이드 함량(0.946, p<0.05) 사이에 높은 상관성을 나타냈고, ABTS 라디칼 소거능과 총 플라보노이드 함량(0.923, p<0.05) 사이에도 높은 상관성을

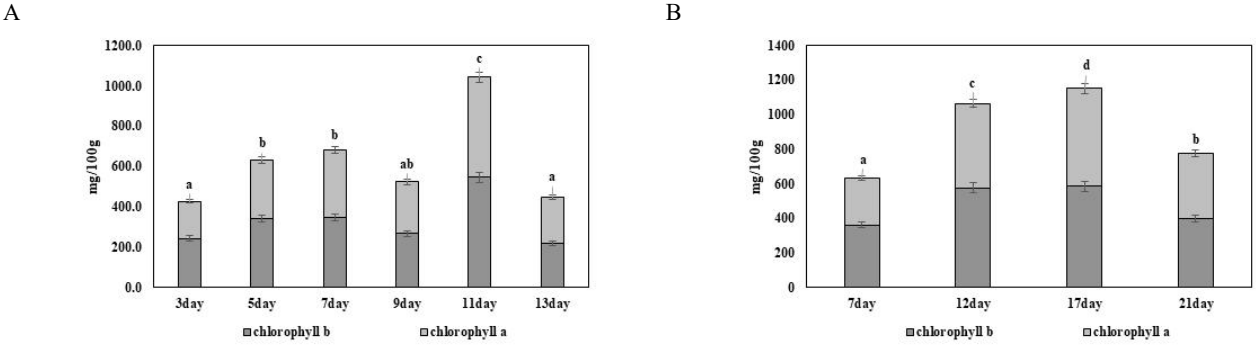

Fig. 5. Chlorophyll a and chlorophyll b in wheat sprout cultivates according to different cultivation method (a: indoor production, b: outdoor production). [1)] Means in the same group with the different letters ([a-d]) are significantly (p<0.05) different by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

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

	Polyphenol	ABTS	DPPH	Flavonoid	Chlorophyll
Polyphenol	1.000	-	-	-	-
ABTS	0.993***	1.000	-	-	-
DPPH	0.842	0.888*	1.000	-	-
Flavonoid	0.946**	0.923**	0.649	1.000	-
Chlorophyll	0.751	0.763	0.649	0.813	1.000

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

나타냈다, 반면 클로로필 총 함량과 라디칼 소거능 및 폴리페놀 함량과는 각각 0.649, 0.763 및 0.751 등 상관성이 낮은 것으로 나타났다. 본 연구 결과, 총폴리페놀 함량이 라디칼 소거능 및 플라보노이드 함량에 미치는 영향이 큰 것으로 생각되며, 폴리페놀의 페놀릭 하이드록실기(OH)가 자유 라디칼에 공여함으로써 라디칼 반응을 억제시키는 것으로 사료된다. 또한 새싹밀에는 폴리페놀류 뿐만 아니라 플라보노이드류까지 다양한 항산화물질이 포함되어 있는 것으로 사료된다. 그러나, 클로로필 함량은 모든 항산화활성 및 성분 분석 데이터와 낮은 상관관계를 나타낸 것으로 보아 다른 물질에 비하여 항산화활성에 큰 영향은 없는 것으로 생각된다.

요약 및 결론

본 연구는 재배방법 및 수확시기에 따른 새싹밀의 항산화 성분 및 활성 변화를 살펴보고자 하였다. 재배방법은 실내와 노지에서 각각 재배하였으며, 재배기간은 실내재배는 파종 후 3일~13일, 노지재배는 파종후 7일~21일의 새싹밀을 각각 분석하였다. 그 결과 DPPH 라디칼 소거능은 재배방법 및 수확시기의 변화와 상관없이 활성차이가 미미하게 나타났다. ABTS 라디칼 소거능은 실내재배의 경우 3, 4번째 수확한 7, 9일차 새싹밀에서 가장 높은 활성을 나타냈으며, 노지재배의 경우 가장 초기인 7일차의 라디칼 소거활성이 25 mg TEAC/g sample 이상 높은 활성을 나타냈다. 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 모두 실내재배보다는 노지에서 재배한 새싹밀에서 높은 함량을 나타냈고, 그 중 총 폴리페놀 함량은 노지에서 7일 재배, 플라보노이드 함량은 노지에서 12일 재배 하였을 경우 가장 높게 나타났으며, 각각 28.70 mg GAE/ g sample 및 8.47 mg catechin eq/g sample로 나타났다. 또한 식물체의 엽록소로 많이 알려진 클로로필 a와 b의 함량을 살펴보면 노지에서 17일 재배하였을 경우 1,223 mg/100 g으로 가장 높은 함량을 나타냈다. 5가지 분석 항목의 상관관계를 살펴본 결과 총 폴리페놀 함량과 ABTS 라디칼 소거활성의 상관관계가 0.993(p<0.05)으로 가장 높은 상관성을 나타냈다. 이상의 결과를 종합하여 보면 새싹밀의 경우 실내보다는 노지에서 재배한 새싹밀의 항산화력이 우수한 것으로 나타났으며, 새싹 재배 수율까지 고려하였을 때 파종 후 21일 정도 재배한 것이 우수한 항산화 활성을 나타낼 것으로 판단된다. 또한, 지속적으로 발전하고 커지고 있는 건강기능성식품 시장 및 그들의 소재개발에 관한 생리활성 연구에 있어 기초적인 자료로 활용될 것이며, 나아가 새싹밀의 활용성과 다양한 소비를 촉진하는데 영향을 끼칠 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 AGENDA 연구사업(ATIS 과제번호: PJ01348302) 및 농촌진흥청 국립식량과학원 전문연구원 과정 지원 사업에 의해 이루어진 것임.

References

Arnao MB. 2000. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. *Trends Food Sci Technol* 11:419-421

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

Cho JY, Son DM, Kim JM, Seo BS, Yang SY, Bae JH, Heo BG. 2008. Effect of LED as light quality on the germination, growth and physiological activities of broccoli sprouts. *J Bio-Environ Control* 17:116-123

Fahey JW, Zhang Y, Talalay P. 1997. Broccoli sprouts: An exceptionally rich source of inducers of enzymes that protect against chemical carcinogens. *Proc Natl Acad Sci USA* 94:10367-10372

Ha TY. 2006. Development of functional food materials for

healthy life. *Proceedings of the Korean Society of Crop Science Conference* Cheonan

Halliwell B, Aeschbach R, Löliger J, Aruoma OI. 1995. The characterization of antioxidants. *Food Chem Toxicol* 33: 601-617

Han I, Kim JH. 2017. Antioxidant and physiological activities of water and ethanol extracts of diverse parts of welsh onion. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 46:426-434

Hong JY, Kim KM, Nam HS, Shin SR. 2014. Antioxidant activities of hot-water extracts from *Aster scaber* by cultivation and drying methods. *Korean J Food Preserv* 21:82-90

Hwang BS, Kwon SH, Kim JY, Kim GC, Hwang IG. 2019. Antioxidant activity of Deodeok (*Codonopsis lanceolata*) sprout. *Korean J Food Nutr* 32:630-635

Jeong EY, Sung BK, Song HY, Yang JY, Kim DK, Lee HS. 2010. Antioxidative and antimicrobial activities of active materials derived from *Triticum aestivum* sprout. *J Korean Soc Appl Chem* 53:519-524

Jin YX, Cho YS, Choi Y. 2014. Nutritional quality of *Peucedanum japonicum* Thunb. leaves in relation to ripening time, growing condition and blanching. *Korean J Food Preserv* 21:784-789

Kim DE. 2012. Mitochondrial proteomics of wheat; metabolomics of wheat root under salinity stress. Master's Thesis, Chungbuk National Univ. Cheongju. Korea

Kim HC, Heo BG, Bae JH, Lee SY, Kang DH, Ryu CS, Kim DE, Choi IJ, Ku YG. 2016. Comparison of plant growth characteristics and biological activities of four asparagus cultivars by cultural method. *Korean J Plant Resour* 29: 495-503

Kim HY, Seo HY, Seo WD, Lee MJ, Ham H. 2019. Evaluation of biological activities of wheat sprouts with different extraction solvents. *Korean J Food Nutr* 32:636-642

Kim TS, Chang MS, Ju YW, Park CG, Park SI, Kang MH. 2012. Nutritional evaluation of leafy safflower sprouts cultivated under different-colored lights. *Korean J Food Sci Technol* 44:224-227

Lee HJ, Lee JH, Jung JT, Lee YJ, Oh MW, Chang JK, Jeong HS, Park CG. 2019. Changes in free sugar, coixol contents and antioxidant activities of adlay sprout (*Coix lacryma-jobi* L. var. *ma-yuen* Stapf.) according to different growth stage. *Korean J Med Crop Sci* 27:339-347

Lee MY, Shin SL, Park SH, Kim NR, Chang YD, Lee CH. 2009. Development of optimal cultivation conditions and analysis of antioxidant activities of *Arctium lappa* sprout vegetables. *Korean J Plant Resour* 22:304-311

Lee YJ, Kim JH, Oh JW, Shin GH, Lee JS, Cho JH, Park JJ, Lim JH, Lee OH. 2014. Antioxidant and anti-adipogenic effects of kohlrabi and radish sprout extracts. *Korean J Food Sci Technol* 46:531-537

Lee YJ, Yoon BR, Kim DB, Kim MD, Lee DW, Kim JK, Lee OH. 2012. Antioxidant activity of fermented wild grass extracts. *Korean J Food Nutr* 25:407-412

Lee YR. 2021. Biological activities of extracts from leaf of *Angelica gigas* nakai. *Korean J Food Nutr* 34:181-186

Marsili V, Calzuola I, Gianfranceschi GL. 2004. Nutritional relevance of wheat sprouts containing high levels of organic phosphates and antioxidant compounds. *J Clin Gastroenterol* 38:S123-S126

Nagaoka H. 2005. Treatment of germinated wheat to increase levels of GABA and IP_6 catalyzed by endogenous enzymes. *Biotechnol Prog* 21:405-410

Ryu E. 2014. Effect of wheat sprout extracts on hair growth. Master's Thesis, Chosun Univ. Gwangju. Korea

Sarmadi BH, Ismail A. 2010. Antioxidative peptides from food proteins: A review. *Peptides* 31:1949-1956

Serrano J, Goñi I, Saura-Calixto F. 2007. Food antioxidant capacity determined by chemical methods may underestimate the physiological antioxidant capacity. *Food Res Int* 40:15-21

Sin HT. 2006. A study on the improvement in the marketing channel structure of Korean wheat. Master's Thesis, Chosun Univ. Gwangju. Korea

Valko M, Leibfritz D, Moncol J, Cronin MTD, Mazur M, Telser J. 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Int J Biochem Cell Biol* 39:44-84

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

Received 18 October, 2021
Revised 06 November, 2021
Accepted 18 November, 2021