

배추 유전자원의 항산화 효과

황병순 · 김지영* · 권수현** · 김기창*** · 강해주*** · 이주희**** · †황인국***

농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 박사전문연구원, *농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 석사전문연구원,
농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 공무원연구원 *농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부 농업연수사,
****농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원센터 농업연구관

Antioxidant Activity of Chinese Cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) using Different Genotypes

Byung Soon Hwang, Ji Yeong Kim*, Su Hyun Kwon**, Gi-Chang Kim***,
Hae Ju Kang****, Ju Hee Rhee**** and †In Guk Hwang****

Post-Doctor, Dept. of Agrofood Resources, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea

*Post-Master, Dept. of Agrofood Resources, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea

**Assistant Researcher, Dept. of Agrofood Resources, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea

***Researcher, Dept. of Agrofood Resources, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea

****Senior Researcher, National Agrobiodiversity Center, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea

Abstract

This experiment was conducted to assess the high antioxidant activity varieties of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) from the 55 accessions. The antioxidant activity of Chinese cabbage were determined by the TPC, TFC, DPPH, ABTS, and chlorophyll, carotenoid contents. The TPC and TFC showed a range of 1.21~4.61 mg GAE/g DW, 0.18~3.09 mg CE/g DW. The DPPH and ABTS assay were in the range of 0.65~4.36 and 1.42~6.91 mg ascorbic acid equivalent (ASCE)/g DW, respectively. The UPLC analysis was performed quantitatively to identify chlorophyll and carotenoid in the Chinese cabbage extract. The levels of the total chlorophyll and total carotenoid were 86.60~1,235.91, and 75.86~490.11 µg/g, respectively. The comprehensive differences in the total and individual chlorophyll contents have also been observed among different varieties. These results will be valuable as basic data for the standardization of Chinese cabbage.

Key words: *Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*, Chinese cabbage, antioxidant activity

서 론

활성산소종(Reactive oxygen species, ROS)은 세포 내 미토콘드리아와 같은 기관의 정상적인 대사 및 세포질 내 일부 효소들에 의하여 자연적으로 생성되는 산소 부산물이며, 세포 반응을 조절할 수 있는 신호분자가 되므로 활성산소종의 항상성을 유지하는 것은 세포의 성장과 생존에 매우 중요하다. 하지만 과량의 활성산소는 사람 몸속에서 산화작용을 일으켜 세포막, DNA, 그 외의 모든 세포 구조가 손상당하고 손상의 범위에 따라 세포가 기능을 잃거나 변질되어 심장병,

고혈압, 당뇨병, 알츠하이머, 암, 세포노화 등이 유발된다고 알려져 있다(Kim 등 2010; An 등 2012). 이러한 건강 문제를 해결할 수 있는 소재와 항산화제에 대한 관심이 높아지고 있으며 항산화 물질 개발에 많은 노력을 기울이고 있다. 초기에는 인위적 결합에 의한 합성 항산화제가 사용되었지만 생물학적 활동 억제와 발암성 논란이 되면서 보다 안전하고 질병의 예방과 억제에 대한 방어 기능이 우수한 천연물을 이용한 항산화제 개발에 관심이 집중되고 있다.

배추(*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*)는 우리나라 사람들이 섭취하는 대표적인 십자화과에 속하는 식물로서 한국, 중국,

† Corresponding author: In Guk Hwang, Researcher, Dept. of Agrofood Resources, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea. Tel: +82-63-238-3672, Fax: +82-63-238-3843, E-mail: ighwang79@korea.kr

일본 등지에서 널리 재배되고 있다(Hwang 등 2012). 특히 배추는 김치의 원료로 연간 전체 채소류 소비량 1위를 차지하고 있고 한국인의 식단에서 빼어놓을 수 없는 가장 주요한 재료로 사용되고 있다(Choi 등 2004). 배추 유전체의 완전 해독과 차세대 염기서열 분석(NGS) 기술이 발달하면서 표준 유전체 정보를 바탕으로 우수 계통에 대한 유전체 비교 분석 및 이를 통한 특정 형질 관련 유전자의 탐색 및 분자 표지 개발 연구가 활발하게 진행 중에 있다(Zou 등 2013; Seo 등 2014). 배추는 다양한 생리활성 물질이 함유되어 있고, 항산화 및 항암효능이 우수할 것으로 사료된다. 배추의 항암효과는 glucosinolates의 분해산물로 isothiocyanate로 알려져있고(Hong 등 2011), sinapic acid methylester, 4-hydroxy-3-methoxycinnamic acid methylester는 phenolic acid 성분으로 항산화, 항염증 성분으로 알려져있다(Choi 등 2004; Lee 등 2014). 또한 강력한 항산화 잠재력을 가진 식물화합물의 풍부한 공급원으로 polyphenols, flavonoids, carotenoids, chlorophylls, vitamin C 등 다양한 화합물 등이 보고된 바 있다(Cartea 등 2011; Baek 등 2016; Seong 등 2016). 배추는 다양한 연구가 진행되어 왔지만 유전자원 간의 항산화 활성과 성분의 함량을 비교할 수 있는 기초연구자료는 미흡하였다.

농촌진흥청 국립농업유전자원센터에는 다양한 유전자원을 보존하고 있으며, 이들은 육종소재로 활용될 뿐만 아니라 관련 바이오산업의 소재로 활용범위가 넓어지고 있다. 천연식품을 통해 노화억제, 면역증강 등의 효과를 얻어 젊고 건강한 삶에 대한 관심이 증대되고 있으며, 다양한 생리활성에 대한 연구들이 보고되면서 천연유래 생리활성물질의 효능에 대한 관심이 증대되고 있고, 특히, 천연물질의 항산화, 항암 등의 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 본 연구는 배추의 이용성을 높이고자 농촌진흥청 국립농업유전자원센터에서 보유하고 있는 배추 유전자원 55점과 대조군 6종을 대상으로 항산화활성이 높은 자원을 선별하고자 하였으며 그 결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 시약

본 실험에 사용한 배추유전자원 55점과 대조군 6점은 형태적 특징이 결구배추형(*Chinese cabbage*, *Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*)으로 2016년 국립농업과학원 농업유전자원센터의 시험포장에서 증식 재배하여 동결건조 한 시료를 제공받아 사용하였다(Table 1). 추출 및 이동상 용매로 사용한 acetonitrile, methanol, ethanol, water는 HPLC grade를 사용하였고 Fisher-Brand(Waltham, MA, USA)에서 구입하였다. 실험에 사

용한 Na_2CO_3 , NaNO_2 , $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NaOH, potassium persulfate, potassium hydroxide(KOH), Folin-Ciocalteu reagent, 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH), 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid(ABTS), L-ascorbic acid, gallic acid, (+)-catechin hydrate, capsanthin, lutein, β -cryptoxanthin, α -carotene, β -carotene, chlorophyll A, chlorophyll B 등은 analytical grade 및 특급을 사용하였으며, 실험에 사용된 시약은 Sigam-Aldrich(St. Louis, MO, USA)에서 구입하였다.

2. 추출물 제조

각각의 시료 1.00±0.05 g에 70% ethanol 25 mL를 넣고 30분 동안 초음파 추출한 후 3,000 rpm에서 10분간 원심분리(Union 55R, Hanil Scienceindustrial Co., Inchen, Korea)하여 상등액을 회수하였다. 위 과정을 2회 반복하여 회수한 상등액을 여과지(Whatman No. 2)로 여과한 후 감압 농축하여 70% ethanol 10 mL로 재용해하여 총 폴리페놀, 총 플라보노이드 및 항산화 활성 분석용으로 시료로 사용하였다.

3. 총 폴리페놀 함량

총 폴리페놀 함량은 Folin-Denis의 방법을 이용하여 측정하였다. 각각의 시료 추출물 100 μL 에 2% Na_2CO_3 용액 2 mL를 가한 후 실온에서 3분간 방치한 다음 50% Folin-Ciocalteu reagent 100 μL 를 가하였다. 30분간 실온에서 방치 후 UV spectrophotometer, SpectraMax M2(Molecular Devices, San Jose, CA, USA)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 gallic acid를 사용하여 검량선을 작성한 후, 총 폴리페놀 함량을 건조시료 g당 mg gallic acid equivalent(GAE)로 나타내었다(Dewanto 등 2002; Kim 등 2020).

4. 총 플라보노이드 함량

총 플라보노이드 함량은 각각의 시료 추출물 250 μL 에 증류수 1 mL과 5% NaNO_2 75 μL 를 첨가한 후 5분간 실온에 방치하였다. 이후 10% $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 150 μL 를 첨가하여 6분간 실온에서 방치한 후에 1 M NaOH 500 μL 를 첨가하였다. 11분 후 반응액의 흡광도 값을 UV spectrophotometer, SpectraMax M2를 이용하여 510 nm에서 측정하였다. 표준물질로는 (+)-catechin hydrate(Sigma, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 검량선을 작성한 후, 총 플라보노이드 함량은 시료 g 중의 mg (+)-catechin hydrate equivalent(CE)로 나타내었다(Zhishen 등 1999; Hwang 등 2006).

5. DPPH 라디칼 소거능 측정

DPPH 라디칼 소거능 측정은 DPPH를 methanol에 2시간 동안 충분히 용해하여 제조한 후, 520 nm에서 흡광도 값이 1.0

Table 1. Antioxidant activities of *Brassica rapa* germplasm (n=55) and control (n=6)

IT number	Total polyphenol contents ¹⁾	Total flavonoid contents ²⁾	Radical scavenging activity ³⁾	
			DPPH radical	ABTS radical
187917	1.51±0.01	0.53±0.01	0.90±0.15	1.67±0.02
187918	1.40±0.16	0.53±0.00	0.90±0.16	1.67±0.03
187921	1.43±0.14	0.46±0.01	0.91±0.19	1.75±0.06
191050	1.65±0.05	0.30±0.07	0.96±0.13	1.71±0.04
199680	1.46±0.15	0.21±0.04	0.96±0.14	1.66±0.03
199684	2.01±0.26	0.66±0.02	1.12±0.29	2.11±0.04
199686	2.41±0.19	1.05±0.03	1.27±0.31	2.40±0.06
199689	1.21±0.05	0.45±0.00	0.65±0.15	1.42±0.03
199713	1.68±0.16	0.56±0.01	1.01±0.15	1.69±0.01
200163	1.86±0.25	0.80±0.01	1.09±0.14	1.76±0.00
203422	1.74±0.20	0.60±0.00	1.20±0.15	1.93±0.03
210058	1.31±0.13	0.57±0.00	0.91±0.13	1.50±0.02
210521	2.02±0.20	0.71±0.00	1.10±0.32	2.03±0.03
212908	2.24±0.31	0.68±0.00	1.21±0.27	2.35±0.10
212916	1.56±0.17	0.20±0.03	1.06±0.14	1.78±0.02
212917	1.37±0.01	0.18±0.01	0.81±0.10	1.55±0.02
212918	2.48±0.08	0.65±0.01	1.36±0.19	3.51±0.17
212919	2.55±0.20	1.04±0.04	1.68±0.25	2.99±0.05
212922	2.21±0.25	1.02±0.02	1.73±0.05	3.23±0.05
212925	2.31±0.48	1.10±0.03	1.71±0.01	3.16±0.01
212926	2.56±0.12	1.82±0.02	1.46±0.02	2.70±0.07
227894	2.08±0.24	0.91±0.03	1.98±0.06	3.31±0.08
227900	1.68±0.03	0.77±0.02	1.72±0.18	2.45±0.16
234953	3.47±0.03	1.25±0.02	2.80±0.15	5.03±0.12
235681	2.09±0.11	0.85±0.01	1.85±0.09	3.67±0.03
247784	2.34±0.11	1.23±0.01	1.78±0.09	3.10±0.13
247934	1.77±0.16	0.87±0.03	1.99±0.15	3.64±0.04
247935	1.58±0.04	0.62±0.04	1.08±0.04	2.04±0.04
247936	2.13±0.11	1.04±0.02	1.44±0.04	2.88±0.04
247937	1.90±0.05	1.65±0.02	2.04±0.17	3.72±0.03
247939	3.55±0.17	2.80±0.09	2.16±0.05	3.31±0.01
247940	2.14±0.31	2.07±0.11	1.56±0.05	2.95±0.05
247964	1.45±0.11	0.42±0.10	1.09±0.08	2.26±0.08
247967	1.76±0.06	0.49±0.01	1.68±0.28	3.40±0.07
247969	2.10±0.12	0.57±0.03	1.91±0.06	3.54±0.14
247971	1.34±0.15	0.35±0.01	0.90±0.04	1.86±0.05
247973	2.74±0.48	0.84±0.04	2.36±0.09	4.52±0.18
247975	2.47±0.15	0.92±0.04	2.00±0.06	3.75±0.01
247977	2.63±0.27	1.05±0.11	1.69±0.04	3.12±0.05
247978	3.20±0.07	1.02±0.39	2.74±0.05	4.78±0.32

Table 1. Continued

IT number	Total polyphenol contents ¹⁾	Total flavonoid contents ²⁾	Radical scavenging activity ³⁾	
			DPPH radical	ABTS radical
248598	3.26±0.05	0.93±0.01	2.51±0.16	3.86±0.14
248608	3.09±0.02	0.42±0.01	2.59±0.10	3.25±0.05
248611	2.92±0.08	0.64±0.01	2.23±0.01	3.66±0.13
251121	3.02±0.12	0.87±0.00	2.38±0.09	4.09±0.18
251122	2.40±0.17	0.68±0.01	1.70±0.03	2.49±0.09
251126	2.37±0.17	0.97±0.01	1.51±0.07	2.32±0.19
259267	2.45±0.17	0.97±0.02	1.45±0.09	2.55±0.08
259337	2.39±0.09	0.73±0.03	1.37±0.10	2.47±0.04
260816	2.11±0.05	0.83±0.01	1.35±0.05	2.23±0.03
277762	2.78±0.06	0.81±0.04	2.29±0.08	3.86±0.24
277765	4.61±0.13	3.09±0.02	4.36±0.21	6.91±0.16
278545	2.22±0.09	1.94±0.03	1.91±0.12	3.02±0.02
280401	2.86±0.01	0.61±0.00	2.27±0.11	3.71±0.03
293076	3.05±0.13	1.74±0.04	2.22±0.10	3.49±0.10
293133	1.82±0.08	0.91±0.05	1.49±0.08	2.81±0.06
Minimum	1.21	0.18	0.65	1.42
Maximum	4.61	3.09	4.36	6.91
Mean±S.D.	2.23±0.68	0.91±0.57	1.64±0.66	2.88±1.05
Control 1	3.64±0.04	0.87±0.02	1.13±0.05	1.73±0.15
Control 2	3.01±0.07	1.05±0.02	1.25±0.05	2.02±0.23
Control 3	2.81±0.09	0.96±0.04	1.02±0.03	1.49±0.03
Control 4	3.36±0.04	1.07±0.01	1.23±0.07	2.27±0.05
Control 5	4.67±0.38	3.34±0.17	1.64±0.08	3.17±0.29
Control 6	3.64±0.35	1.33±0.05	1.44±0.02	2.29±0.19
Minimum	2.81	0.87	1.02	1.49
Maximum	4.67	3.34	1.64	3.17
Mean±S.D.	3.52±0.65	1.44±0.94	1.28±0.22	2.16±0.58

¹⁾ mg gallic acid equivalents/g, DW.

²⁾ mg (+)-catechin equivalents/g, DW.

³⁾ mg L-ascorbic acid equivalents/g, DW.

이 되도록 methanol로 희석하였다. 희석된 DPPH 용액 1 mL에 각각의 시료 추출물 50 µL를 첨가하여 실온에서 30분간 방치한다. 이후 520 nm에서 UV spectrophotometer SpectraMax M2를 이용하여 흡광도의 감소치를 측정하여 L-ascorbic acid equivalent antioxidant capacity(AEAC)로 나타내었다(Hwang 등 2013; Jeong 등 2016).

6. ABTS 라디칼 소거능 측정

ABTS 라디칼 소거능 측정은 7 mM ABTS와 2.45 mM pota-

ssium persulfate를 12~16시간 실온에서 암반응하여 ABTS radical 양이온을 형성시킨 후, UV spectrophotometer Spectra-Max M2를 이용하여 735 nm에서 흡광도 값이 1.0이 되도록 증류수로 희석하였다. 희석한 ABTS 용액 1.0 mL에 각각의 시료 추출물 50 μ L를 첨가하여 실온에서 30분간 방치한다. 이후 735 nm에서 흡광도의 감소치를 측정하여 AEAC로 나타내었다(Hwang 등 2013; Jeong 등 2016).

7. Carotenoid 분석

Carotenoid 함량 분석을 위한 추출물 제조는 시료 0.50 \pm 0.05 g에 추출용매인 ethanol에 녹인 0.2% ascorbic acid 용액 10 mL를 가한 후 80 $^{\circ}$ C의 water bath에서 15분간 추출한다. 10분간 냉각한 다음 추출액에 80% KOH 용액 3 mL를 넣고 water bath에서 10분간 비누화반응 후 10분간 냉각한다. 반응이 정지된 conical tube에 증류수 5 mL과 *n*-hexane 5 mL를 넣고 혼합하였다. 이후 3,000 rpm에서 10분간(4 $^{\circ}$ C) 원심분리(Union 55R)하여 *n*-hexane층을 micro-pipette으로 회수하였다. 위 과정을 2회 더 실시하여 약 15 mL의 *n*-hexane층을 회수한 후 진공농축기를 이용하여 용매를 완전 농축하였다. Methanol과 MTBE 용매를 1:1로 혼합한 용액 1 mL를 넣어 완전히 녹인 후 0.20 μ m syringe filter(PTFE, Whatman, Clifton, NJ, USA)로 여과 후 ACQUITYTM Ultra Performance LC(Waters, Milford, MA, USA) 분석용 시료로 사용하였다. Column으로 HALO[®] C30 column(3.0 \times 150 mm, 2.7 μ m, 160 Å , AMT, Wilmington, DE, USA)을 사용하였고, 온도는 30 $^{\circ}$ C로 유지하였다. 이동상은 methanol과 ethanol을 gradient 조건으로 흘려주었고, gradient 조건은 초기 98% methanol에서 20분에 60% methanol로 설정하였으며, 유속은 0.65 mL/min으로 하였고, 시료 5 μ L를 주입하여 UV detector를 사용하여 471 nm에서 분석하였다. 표준물질로는 lutein, β -cryptoxanthin, α -carotene, β -carotene을 사용하였다(Kim 등 2014; Lee 등 2015).

8. Chlorophyll 분석

Chlorophyll 함량 분석을 위한 추출물 제조는 시료 0.50 \pm 0.05 g에 추출용매 acetone 12 mL를 넣고 20분간 교반추출(200 rpm)한 후 3,000 rpm에서 10분간(4 $^{\circ}$ C) 원심분리(Union 55R)하여 상등액을 회수하였다. 위 과정을 2회 반복하여 회수한 상등액을 최종 25 mL로 정용하였다. 추출물은 0.20 μ m syringe filter(PTFE)로 여과하여 ACQUITYTM Ultra Performance LC분석용 시료로 사용하였다. Column으로 HALO[®] C30 column(3.0 \times 150 mm, 2.7 μ m, 160 Å , AMT, Wilmington, DE, USA)을 사용하였고, 온도는 30 $^{\circ}$ C로 유지하였다. 이동상은 methanol과 ethanol을 gradient 조건으로 흘려주었고,

gradient 조건은 5분간 80% methanol을 유지한 다음 10분에 60% methanol로 설정하였으며, 유속은 0.30 mL/min으로 하였고, 시료 5 μ L를 주입하여 UV detector를 사용하여 662 nm에서 분석하였다. 표준물질로는 chlorophyll A, chlorophyll B를 사용하였다(Edelenbos 등 2001; Ge 등 2012).

9. 통계처리

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0 SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고, 실험군 간 평균값의 비교는 student's *t*-test 방법으로 검정하였다. 상관관계 결과는 상관분석을 실시하여 Person 계수로 상관도를 검정하였다($p < 0.05$).

결과 및 고찰

1. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

배추 유전자원의 총 폴리페놀 함량 분석 결과는 Table 1과 같다. 총 폴리페놀 함량은 건조 분말 시료 g당 gallic acid의 등량 값으로 환산하여 나타낸 결과, 배추 유전자원 55종과 대조구 6종의 총 폴리페놀의 함량은 1.21~4.61, 2.81~4.67 mg GAE/g, DW 범위로 양이 존재하며, 평균값은 2.23 mg GAE/g, DW이다. 배추유전자원 IT277765가 4.61 mg GAE/g, DW으로 가장 높았고 IT199689 1.21 mg GAE/g, DW으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 총 플라보노이드 함량은 건조 분말 시료 g당 catechin hydrate의 등량 값으로 환산하여 나타낸 결과, 총 폴리페놀의 함량은 각각 0.18~3.09, 0.87~3.34 mg CE/g, DW 범위로 양이 존재하며, 평균값은 0.91 mg CE/g, DW이다. 배추 유전자원 IT277765가 3.09 mg CE/g, DW으로 가장 높았고 IT212917 0.18 mg CE/g, DW으로 가장 낮은 값을 나타내었다(Table. 1). 배추유전자원 55종 중 총 폴리페놀 2~3 mg GAE/g, 총 플라보노이드 0.5~1.0 mg CE/g 범위에 각각 가장 많은 27종, 29종이 해당된다(Fig. 1). 배추유전자원 55종 평균과 대조구 6종 평균을 비교한 결과 대조구 6종이 배추유전자원 55종보다 총 폴리페놀과 총플라보노이드 함량이 높았다(Fig. 2).

2. DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능 측정

DPPH는 항산화 물질의 자유라디칼 소거활성을 평가하는데 사용되며 자유라디칼을 환원시키는 환원력을 측정하는 것으로(Anczewicz 등 1998), 배추유전자원 추출물의 DPPH 라디칼 소거활성 결과는 Table 1과 같다. 배추유전자원 IT277765는 4.36 mg AA eq/g으로 높았고, IT1929689는 가장 낮

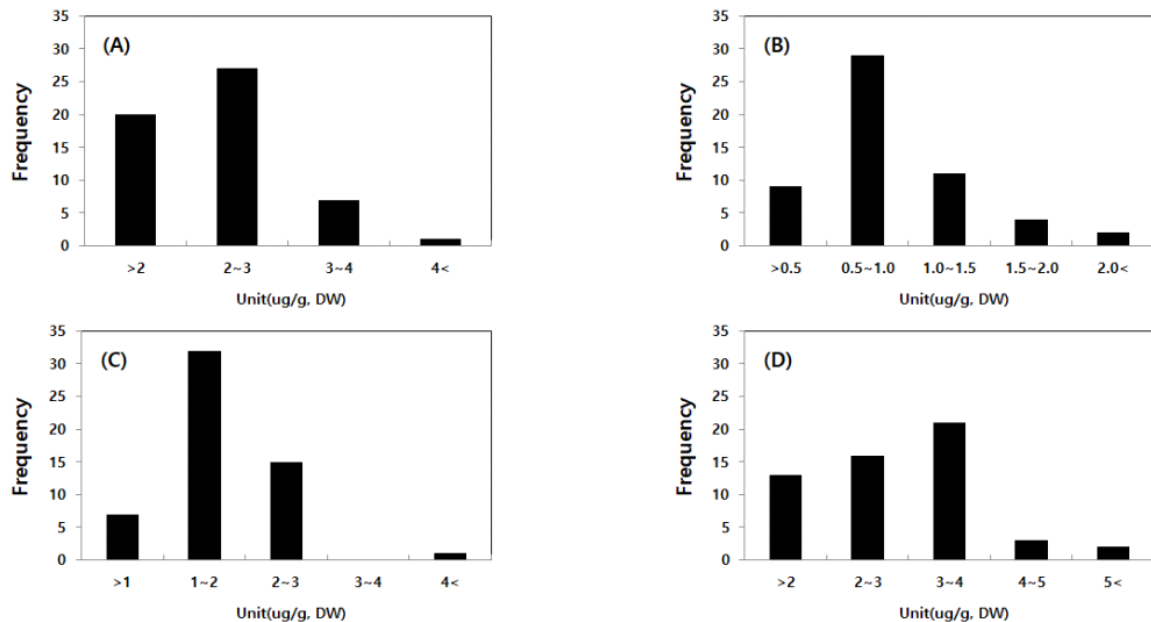


Fig. 1. Distribution of total polyphenol (A), total flavonoid (B) contents, DPPH radical (C) and ABTS radical (D) scavenging activities in 55 *Brassica rapa* germplasms.

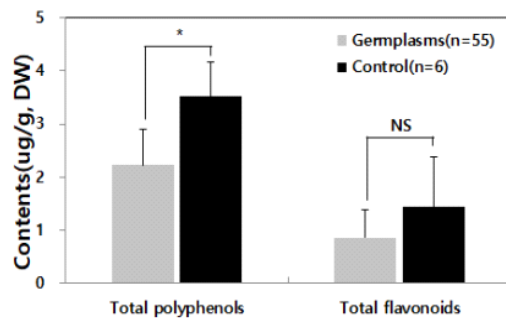


Fig. 2. Comparison of the average contents total polyphenol and total flavonoid in *Brassica rapa* germplasms (n=55) and control (n=6). NS: Not significant, * $p < 0.05$.

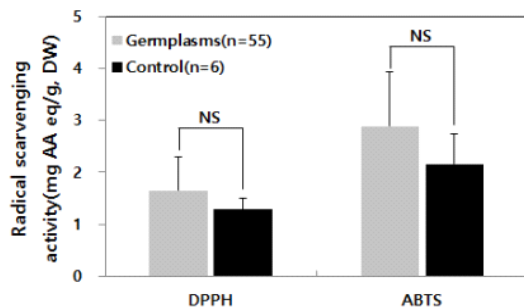


Fig. 3. Comparison of the average DPPH radical and ABTS radical scavenging activity of *Brassica rapa* germplasms (n=55) and control (n=6). NS: Not significant.

은 0.65 mg AA eq/g으로 나타내었다. 배추 유전자원 55종과 대조구 6종의 DPPH 자유라디칼 소거활성 결과는 0.65~4.36, 1.02~1.64 mg AA eq/g 범위로 양이 존재하며, 평균값은 1.64, 1.28 mg AA eq/g 이다. ABTS 라디칼 소거란 산화를 유도시키는 과황산칼륨과 반응하여 형성된 ABTS 양이온 라디칼을 소거시킬 때의 항산화력을 측정하는 것으로(Jeong 등 2016), 배추유전자원 추출물의 ABTS 라디칼 소거활성 결과는 Table 1과 같다. 배추유전자원 IT2 77765는 6.91 mg AA eq/g으로 높았고, IT199689는 가장 낮은 1.42 mg AA eq/g으로 나타내었다. 배추 유전자원 55종과 대조구 6종의 ABTS 자유라디칼 소거활성 결과는 1.42~6.91, 1.49~3.17 mg AA eq/g 범위로 양이 존재하며, 평균값은 2.88, 2.16 mg AA eq/g 이다. 배추유전자원의 ABTS 라디칼 소거활성 결과는 DPPH 라디칼 소거활성 결과와 유사한 경향을 나타냈으며, 유의적인 차이를 나타내었다. 배추유전자원 55종 평균과 대조구 6종 평균을 비교한 결과 배추유전자원 55종 평균이 대조구 6종 평균값 보다 총 DPPH과 ABTS의 AEAC 함량이 높았다(Fig. 3).

3. Chlorophyll 분석

Chlorophyll의 분석 결과는 Table 2와 같다. Chlorophyll B 함량은 배추유전자원 IT187921 420.45 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높았고, chlorophyll A와 전체함량(chlorophyll A, B의 합)은 IT277762 839.89 $\mu\text{g/g}$, 1,235.91 $\mu\text{g/g}$ 으로 각각 가장 높게 나타나는 것을 관찰 할 수 있었다. 가장 낮은 chlorophyll B 함량은 배추유전자원 IT200163 12.27 $\mu\text{g/g}$, chlorophyll A와 전체함량(chloro-

Table 2. Chlorophyll contents of *Brassica rapa* germplasm (n=55) and control (n=6)

IT number	Contents (ug/g, DW)		
	Chlorophyll B	Chlorophyll A	Total
187917	153.58±0.63	436.80±31.12	590.38±31.75
187918	92.78±6.83	254.61±0.31	347.39±6.52
187921	420.45±7.86	251.87±1.64	672.32±9.50
191050	32.28±2.37	127.85±3.47	160.13±1.10
199680	90.52±4.19	268.54±13.96	359.06±9.78
199684	88.86±4.17	311.67±10.28	400.53±14.45
199686	212.67±0.51	652.94±0.58	865.62±0.07
199689	15.48±0.38	93.51±1.01	109.00±0.64
199713	145.55±2.68	455.68±7.41	601.23±10.09
200163	12.27±1.93	104.28±8.92	116.54±10.84
203422	312.88±9.74	785.94±8.74	1,098.82±8.74
210058	126.42±2.55	339.20±12.18	465.62±14.73
210521	131.66±5.96	362.27±18.70	493.93±24.66
212908	106.81±1.80	272.21±10.38	379.02±12.18
212916	302.17±2.53	706.12±11.29	1,008.29±13.81
212917	158.20±0.27	407.79±0.09	565.99±0.18
212918	101.83±19.80	305.71±8.85	407.54±10.95
212919	126.11±1.06	403.01±20.61	529.12±19.55
212922	157.09±12.29	439.82±29.31	596.90±41.59
212925	91.72±9.74	262.54±29.78	354.26±39.52
212926	123.98±21.97	292.50±3.78	416.49±25.75
227894	126.49±0.72	315.02±1.84	441.51±1.12
227900	35.71±2.15	147.49±6.33	183.20±8.48
234953	162.79±10.48	467.25±24.32	630.04±34.79
235681	95.98±2.71	308.50±8.87	404.48±6.15
247784	145.58±8.12	328.26±4.93	473.85±13.05
247934	121.21±3.31	282.57±1.30	403.78±2.02
247935	50.94±2.92	182.51±2.98	233.45±5.90
247936	206.53±5.31	493.88±8.05	700.41±13.37
247937	111.38±3.23	258.33±3.78	369.71±7.01
247939	141.02±3.15	367.22±1.30	508.24±4.45
247940	99.54±16.44	275.23±4.79	374.76±21.23
247964	187.25±2.19	404.87±9.16	592.12±11.35
247967	334.03±27.38	71.39±5.66	405.42±33.04
247969	228.88±28.51	597.73±26.59	826.60±55.10
247971	33.13±3.34	123.38±5.79	156.51±9.13
247973	200.54±9.96	552.99±20.39	753.54±10.43
247975	183.42±9.30	557.54±25.55	740.97±34.86
247977	127.36±5.36	397.37±0.90	524.73±4.47
247978	143.46±0.60	351.24±1.44	494.69±2.04

Table 2. Continued

IT number	Contents (ug/g, DW)		
	Chlorophyll B	Chlorophyll A	Total
248598	116.40±10.66	327.63±14.03	444.03±3.37
248608	151.53±5.47	380.74±19.74	532.27±25.21
248611	150.93±1.15	396.87±4.56	547.80±3.41
251121	155.53±2.57	439.27±2.73	594.79±5.30
251122	148.45±18.63	426.95±1.78	575.40±20.40
251126	226.04±3.73	627.91±55.92	853.96±59.65
259267	126.00±13.55	410.20±16.83	536.20±30.39
259337	45.74±1.21	159.45±3.15	205.19±1.94
260816	68.11±1.32	192.12±15.52	260.23±14.20
277762	396.02±9.04	839.89±27.81	1,235.91±18.77
277765	224.10±17.39	583.29±46.32	807.39±63.72
278545	142.37±9.07	375.26±16.95	517.63±7.88
280401	158.27±1.26	418.69±2.83	576.96±4.10
293076	140.24±13.20	395.16±27.65	535.39±14.46
293133	19.22±0.14	69.38±0.85	88.60±0.99
Minimum	12.27	69.38	86.60
Maximum	420.45	839.89	1,235.91
Mean±S.D.	145.59±86.01	364.74±171.97	510.33±238.91
Control 1	101.08±5.87	164.68±14.38	265.76±20.25
Control 2	125.39±15.53	256.73±3.12	382.12±12.41
Control 3	128.85±15.58	299.97±2.06	428.81±17.65
Control 4	89.52±1.97	149.25±9.97	238.77±11.94
Control 5	217.99±2.01	546.61±22.79	764.60±20.78
Control 6	114.07±2.20	277.50±2.89	391.57±5.09
Minimum	89.52	149.25	265.76
Maximum	217.99	546.61	764.60
Mean±S.D.	129.48±45.81	282.46±143.10	411.94±188.31

phyll A, B의 합)은 배추유전자원 IT293133 69.38 µg/g, 86.60 µg/g으로 각각 가장 낮게 나타나는 것을 관찰 할 수 있었다 (Table. 2). 배추유전자원 55종 중 총 chlorophyll B 100~150 µg/g, chlorophyll A 250~400 µg/g, 총 클로로필 400~600 µg/g 범위에 각각 가장 많은 19종, 24종, 27종이 해당된다(Fig. 4). 배추유전자원 55종 평균과 대조구 6종 평균을 비교한 결과 배추유전자원 55종이 대조구 6종보다 chlorophyll B, chlorophyll A, total chlorophyll 함량이 높았다(Fig. 5). Chlorophyll A와 B의 비율은 일반적으로 3:1로 알려져 있으나 일반배추에서는 2.7:1 정도로 각각 나타내었다(Seong 등 2006)는 연구보고와 유사하였다.

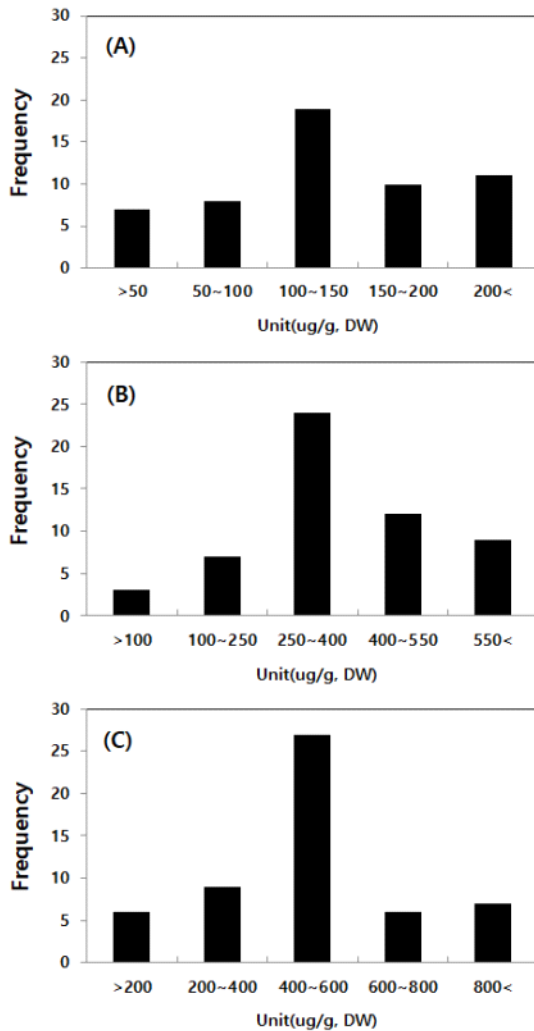


Fig. 4. Distribution of chlorophyll B (A), chlorophyll A (B) and total chlorophyll (C) contents in 55 *Brassica rapa* germplasms.

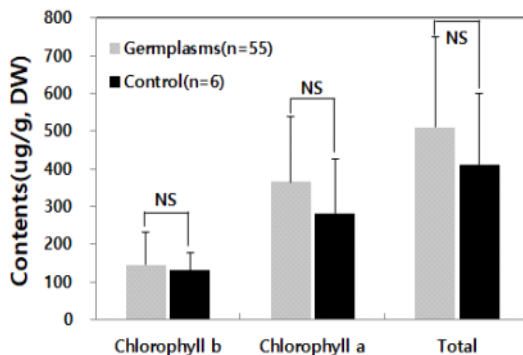


Fig. 5. Comparison of the average contents chlorophyll B, chlorophyll A and total chlorophyll in *Brassica rapa* germplasms (n=55) and control (n=6). NS: Not significant.

4. Carotenoid 분석

Carotenoid 함량 분석 결과는 Table 3과 같다. 배추유전자원 IT277762는 lutein, α -carotene, β -carotene, 전체 함량이 303.21, 19.13, 158.43, 490.11 $\mu\text{g/g}$ 으로 각각 가장 높게 나타났다. 배추유전자원 IT247939는 β -cryptoxanthin의 함량이 15.49 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높은 함량을 나타내었다. 가장 낮은 carotenoid 함량은 배추유전자원 IT293133으로 lutein, β -cryptoxanthin, α -carotene, β -carotene, 전체 함량 49.15, 1.83, 3.59, 21.29, 75.86 $\mu\text{g/g}$ 으로 각각 가장 낮게 나타나는 것을 관찰할 수 있었다(Table 3). 배추유전자원 55종 중 lutein 150~200 $\mu\text{g/g}$, β -cryptoxanthin 6~10 $\mu\text{g/g}$, α -carotene 4~8 $\mu\text{g/g}$, β -carotene 30~60 $\mu\text{g/g}$ 범위에 각각 가장 많은 21종, 27종, 18종, 19종이 해당되며 total carotenoid, 200~300 $\mu\text{g/g}$, 300~400 $\mu\text{g/g}$, 범위에 각각 17종씩 해당된다(Fig. 6). 배추유전자원 55종 평균과 대조구 6종 평균을 비교한 결과 배추유전자원 55종이 대조구 6종보다 β -cryptoxanthin, α -carotene, β -carotene, total carotenoid 함량이 높았다(Fig. 7). 이는 유기농 배추의 성분함량(Seong 등 2006), 결구 배추의 계절적 품종에 따른 카로티노이드 성분함량(Seong 등 2018) 보고와 유사하였다. 같은 품종일지라도 재배시기에 따라 일조량이 많은 여름 이후 수확할 때 카로티노이드 함량이 높다는 연구결과(Kopsell 등 2004; Seong 등 2018)가 있다.

배추 유전자원의 TPC, TFC, DPPH, ABTS와 total chlorophyll, total carotenoid 함량 간의 상관관계는 Table 4와 같다. TPC는 DPPH, ABTS와 높은 상관성을 보였으나($r=0.8840$, 0.8834), TFC, Total chlorophyll, total carotenoid는 유의한 상관관계는 없었다. DPPH는 ABTS와 높은 상관성을 보였고($r=0.9540$), chlorophyll은 carotenoid와 높은 양의 상관관계를 확인하였다($r=0.8350$).

결론적으로 총 폴리페놀, 플라보노이드와 항산화 활성을 비교한 결과 배추유전자원 IT277765가 높게 나타나는 경향을 보였다. 폴리페놀과 플라보노이드 함량이 항산화 활성과 높은 양의 상관관계를 가지며, phenolic 물질이 환원력이 크기 때문에 전자공여능이 높아 radical 소거에 밀접한 관련이 있다는 연구결과(Hertog 등 1993; Cha 등 2004; Lee 등 2006)가 있다.

본 연구는 배추의 이용성을 높이고자 농촌진흥청 국립농업유전자원센터에서 보유하고 있는 배추 유전자원을 대상으로 항산화활성이 높은 자원을 선발하는데 기초자료로서 활용가능성을 제기하는 바이다.

요약 및 결론

본 연구는 배추 유전자원 55종을 대상으로 TPC, TFC, DPPH, ABTS, and chlorophyll, carotenoid 함량을 측정하여 항산화 활

Table 3. Carotenoid contents of *Brassica rapa* germplasms (n=55) and control (n=6)

IT number	Contents (ug/g, DW)				Total
	Lutein	β -Cryptoxanthin	α -Carotene	β -Carotene	
187917	181.45±3.29	10.32±0.16	12.94±0.08	98.19±0.30	302.90±2.76
187918	116.90±1.07	5.49±0.09	7.20±0.20	51.64±0.14	181.23±0.82
187921	127.18±3.57	6.69±0.21	9.41±0.05	69.79±1.37	213.07±5.21
191050	78.13±1.50	2.63±0.04	4.86±0.16	31.13±0.08	116.75±1.30
199680	99.69±6.89	6.35±0.32	6.20±0.25	42.71±2.60	154.96±10.07
199684	164.50±0.97	6.33±0.26	15.85±0.76	102.07±4.42	288.74±4.48
199686	194.98±13.81	5.43±0.37	7.39±0.14	55.40±3.91	263.20±18.23
199689	58.96±5.25	2.54±0.24	5.61±0.05	37.66±1.15	104.77±6.59
199713	184.50±6.59	7.35±0.89	12.42±0.88	90.63±4.65	294.90±13.01
200163	102.15±2.14	2.55±0.23	4.93±0.40	33.41±1.97	143.05±4.73
203422	269.44±12.41	7.27±0.49	17.85±1.12	137.62±2.55	432.18±16.57
210058	131.00±0.55	9.17±0.53	7.67±0.01	57.01±1.39	204.84±1.36
210521	160.37±2.11	10.35±0.70	18.59±0.55	136.68±6.37	325.99±8.62
212908	115.34±5.36	4.24±0.06	7.26±0.33	50.98±2.43	177.82±8.07
212916	235.48±10.54	15.04±0.38	14.32±0.34	113.60±1.31	378.44±12.57
212917	160.72±5.75	3.86±0.16	5.86±0.19	42.69±0.11	213.13±5.89
212918	139.93±5.90	5.00±0.42	9.02±0.24	64.82±2.10	218.76±8.66
212919	157.67±11.39	7.73±0.99	8.53±0.77	65.54±2.78	239.48±15.94
212922	162.29±10.81	8.17±0.41	15.69±0.68	113.61±5.14	299.75±17.05
212925	161.54±1.48	6.69±0.28	11.70±0.01	90.89±1.28	270.82±3.05
212926	138.02±2.67	4.34±0.04	9.30±0.13	68.73±0.22	220.39±2.36
227894	117.43±8.12	3.38±0.17	6.75±0.16	48.09±1.86	175.66±10.31
227900	89.63±5.78	3.27±0.13	5.61±0.45	40.37±1.38	138.88±7.75
234953	167.88±9.48	7.43±0.43	10.78±0.32	84.63±3.85	270.71±14.08
235681	104.07±2.20	3.70±0.34	6.66±0.03	44.44±0.27	158.88±2.84
247784	222.25±0.97	6.48±0.13	10.39±0.33	83.06±1.52	322.18±2.95
247934	140.88±3.13	4.49±0.07	6.91±0.21	48.73±0.10	201.01±2.94
247935	98.90±5.55	4.72±0.38	8.13±0.83	52.64±2.25	164.38±9.01
247936	257.79±10.82	13.62±1.63	15.36±0.05	119.92±6.23	406.70±18.73
247937	69.03±3.83	2.27±0.35	5.78±0.05	35.22±2.71	112.30±6.84
247939	239.14±19.89	15.49±0.27	9.22±0.50	69.80±3.72	333.65±24.38
247940	95.76±8.45	4.13±0.10	9.25±0.75	51.03±3.79	160.17±5.31
247964	177.77±3.62	6.56±0.17	11.32±0.79	89.49±1.83	285.14±6.07
247967	52.14±2.07	3.33±0.21	4.58±0.16	27.82±1.58	87.86±4.04
247969	209.92±2.96	7.69±0.28	11.11±0.34	83.04±0.21	311.76±2.81
247971	50.75±1.72	2.97±0.11	4.58±0.13	28.34±1.21	86.63±3.16
247973	189.44±10.27	7.43±0.34	12.45±0.06	97.67±2.23	306.98±7.63
247975	215.04±10.92	6.31±0.40	13.06±0.93	98.67±4.12	333.08±16.36
247977	179.38±3.01	7.95±0.26	11.39±0.28	80.41±6.56	279.14±3.57
247978	154.02±9.13	4.90±0.26	8.88±0.18	61.99±2.59	229.80±12.16

Table 3. Continued

IT number	Contents (ug/g, DW)				
	Lutein	β -Cryptoxanthin	α -Carotene	β -Carotene	Total
248598	168.98±9.73	9.20±0.06	15.11±0.52	110.00±2.05	303.69±12.23
248608	180.03±10.78	6.89±0.07	14.89±0.41	98.90±3.71	300.71±14.96
248611	175.03±4.42	6.88±0.17	15.39±1.17	105.96±8.66	303.25±14.08
251121	193.68±10.53	7.47±0.48	15.52±1.00	125.88±5.57	342.56±17.59
251122	205.30±5.90	6.86±0.30	10.38±0.14	78.71±1.69	301.25±7.75
251126	228.43±10.40	10.11±0.83	13.02±0.49	92.17±4.56	343.72±14.61
259267	183.60±0.18	9.90±0.60	17.06±0.08	129.13±7.67	339.68±8.16
259337	92.46±8.26	2.04±0.08	6.16±0.46	45.51±2.35	146.18±11.15
260816	93.50±5.93	4.64±0.35	7.62±0.34	55.82±2.43	161.59±9.05
277762	303.21±11.45	9.33±0.42	19.13±0.68	158.43±6.60	490.11±19.15
277765	281.67±26.85	8.32±0.23	16.89±0.96	135.36±11.26	442.23±39.29
278545	152.45±2.95	4.58±0.36	8.13±0.31	58.79±3.50	223.95±7.11
280401	233.66±1.01	7.83±0.24	17.47±0.45	128.93±3.31	387.89±2.09
293076	159.78±1.93	6.37±0.35	11.54±0.20	82.58±1.96	260.27±0.18
293133	49.15±3.00	1.83±0.12	3.59±0.23	21.29±1.07	75.86±4.43
Minimum	49.15	1.83	3.59	21.29	75.86
Maximum	303.21	15.49	19.13	158.43	490.11
Mean±SD	157.68±60.60	6.47±3.04	10.49±4.24	76.87±33.99	251.51±101.87
Control 1	102.31±4.58	2.29±0.03	4.35±0.04	28.43±0.68	137.37±5.33
Control 2	196.87±10.15	4.85±0.07	8.59±1.20	59.29±2.73	269.60±14.02
Control 3	177.15±7.39	4.06±0.02	7.25±0.11	57.61±2.01	246.08±9.53
Control 4	109.09±1.07	2.49±0.05	5.12±0.07	33.98±0.34	150.69±0.60
Control 5	272.92±1.95	2.72±0.05	7.52±0.01	27.22±0.01	310.41±1.02
Control 6	193.87±14.62	4.97±0.55	10.16±0.84	74.44±6.60	283.44±22.61
Minimum	102.31	2.29	4.35	27.22	137.37
Maximum	272.92	4.97	10.16	74.44	310.41
Mean±SD	175.37±63.33	3.57±1.21	7.17±2.16	46.83±19.60	232.93±72.06

Table 4. Correlation coefficients among total polyphenol contents, total flavonoid contents, DPPH radical scavenging activity, ABTS radical scavenging activity, total chlorophyll contents and total carotenoid contents of 55 *Brassica rapa* germplasms

	Total polyphenol	Total flavonoid	DPPH radical	ABTS radical	Total chlorophyll	Total carotenoid
Total polyphenol	1	0.403***	0.884***	0.834***	0.303*	0.505***
Total flavonoid	-	1	0.282*	0.277*	-0.032	0.039
DPPH radical	-	-	1	0.954***	0.295*	0.408***
ABTS radical	-	-	-	1	0.275*	0.345**
Total chlorophyll	-	-	-	-	1	0.835***
Total carotenoid	-	-	-	-	-	1

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

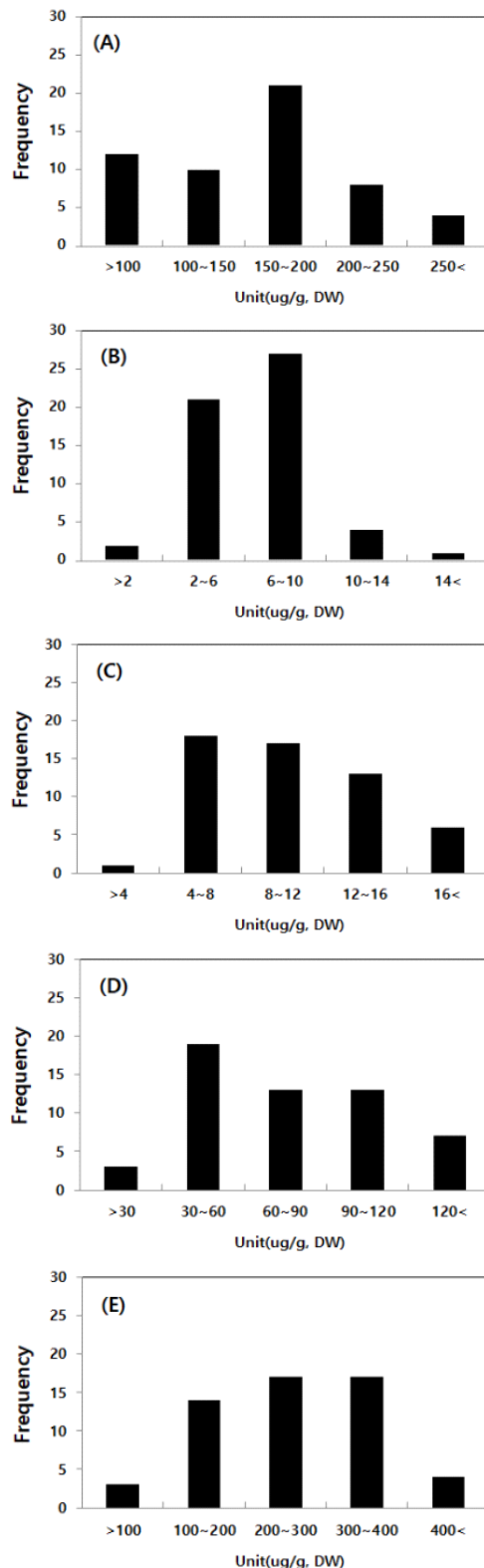


Fig. 6. Distribution of lutein (A), β -cryptoxanthin (B), α -carotene (C), β -carotene (D) and total carotenoid (E) contents in 55 *Brassica rapa* germplasms.

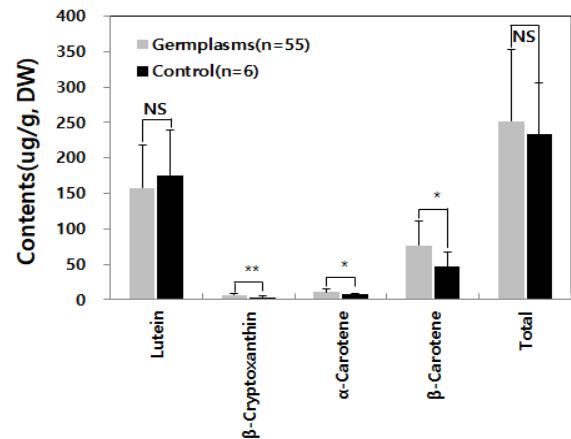


Fig. 7. Comparison of the average contents lutein, β -cryptoxanthin, α -carotene, β -carotene and total carotenoid in *Brassica rapa* germplasms (n=55) and control (n=6). NS: Not significant, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

성과의 상관관계를 조사하였다. 총폴리페놀과 총플라보노이드 함량은 1.21~4.61 mg GAE/g DW, 0.18~3.09 mg CE/g DW 범위를 나타내었고, DPPH 라디칼과 ABTS를 이용한 유리라디칼소거능을 측정하는 DPPH assay와 ABTS assay의 값은 0.65~4.36 및 1.42~6.91 mg ASCE/g DW의 범위를 나타내었다. UPLC를 이용하여 총 chlorophyll과 총 carotenoid를 분석한 결과, chlorophyll 함량은 86.60~1,235.91 μ g/g이고, carotenoid 함량 값은 75.86~490.11 μ g/g이었다. 항산화 활성이 높은 자원을 선별하는 천연항산화제 소재 탐색 및 개발에 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2020년도 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ014255022020) 및 국립농업과학원 전문연구원 과정 지원 사업(과제번호: PJ015115012020)에 의해 이루어진 것임.

References

- An TH, See SY, Cho JW. 2012. Comparison on antioxidant activity of ethanolic extracts of Chinese matrimony vine (*Lycium chinensis* M.). *Korean J Crop Sci* 57:22-28
- Ancerewicz J, Migliavacca E, Carrupt PA, Testa B, Brée F, Zini R, Tillement JP, Labidalle S, Guyot D, Chauvet-Monges AM, Crevat A, Ridant AL. 1998. Structure-property relationships of trimetazidine derivatives and model compounds as potential antioxidants. *Free Radical Biol Med* 25:113-120

- Baek SA, Jung YH, Lim SH, Park SU, Kim JK. 2016. Metabolic profiling in Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. subsp. *pekinensis*) cultivars reveals that glucosinolate content is correlated with carotenoid content. *J Agric Food Chem* 64:4426-4434
- Cartea ME, Francisco M, Soengas P, Velasco P. 2011. Phenolic compounds in *Brassica* vegetables. *Molecules* 16:251-280
- Cha WS, Shin HR, Park JH, Oh SL, Lee WY, Chun SS, Choo JW, Cho YJ. 2004. Antioxidant activity of phenol compounds from mulberry fruits. *Korean J Food Preserv* 11: 383-387
- Choi YH, Kim JS, Seo JH, Lee JW, Kim YS, Ryu SY, Lee KR, Kim YK, Kim SH. 2004. Chemical constituents of *Brassica campestris* ssp. *pekinensis*. *Korean J Pharmacogn* 35:255-258
- Dewanto V, Wu X, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50:4959-4964
- Edelenbos M, Christensen LP, Grevsen K. 2001. HPLC determination of chlorophyll and carotenoid pigments in processed green pea cultivars (*Pisum sativum* L.). *J Agric Food Chem* 49:4768-4774
- Ge Y, Wang T, Wang N, Wang Z, Liang C, Ramchiary N, Choi SR, Lim YP, Piao ZY. 2012. Genetic mapping and localization of quantitative trait loci for chlorophyll content in Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*). *Sci Hort* 147:42-48
- Hertog MG, Feskens EJ, Hollman PC, Katan MB, Kromhout D. 1993. Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: The Zutphen elderly study. *Lancet* 342:1007-1011
- Hong EY, Kim SJ, Kim GH. 2011. Identification and quantitative determination of glucosinolates in seeds and edible parts of Korean Chinese cabbage. *Food Chem* 128:1115-1120
- Hwang ES, Hong E, Kim GH. 2012. Determination of bioactive compounds and anti-cancer effect from extracts of Korean cabbage and cabbage. *Korean J Food Nutr* 25:259-265
- Hwang IG, Kim HY, Park BR, Han HM, Yoo SM. 2013. Effect of heat treatment on the antioxidant properties of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Korean J Food Nutr* 26:857-864
- Hwang IG, Woo KS, Kim TM, Kim DJ, Yang MH, Jeong HS. 2006. Change of physicochemical characteristics of Korean pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) juice with heat treatment conditions. *Korean J Food Sci Technol* 38:342-347
- Jeong YS, Lee SH, Song J, Hwang KA, Noh GM, Jang DE, Hwang IG. 2016. Phytochemical contents and antioxidant activities of *Opuntia ficus-indica* var. *saboten*. *Korean J Food Nutr* 29:767-776
- Kim HW, Kim JB, Poovan S, Chung MN, Cho SM, Lee YM, Cho YS, Kim JH, Kim HR. 2014. Effect of processing conditions on the content of cis/trans carotene isomers as provitamin A carotenoids in Korean sweet potato varieties. *Int J Food Sci Nutr* 65:821-826
- Kim JY, Park YH, Park SE, Hwang BS, Hwang IG, Kim GC. 2020. Antioxidant activity and phenolic acid analysis of *Rudbeckia lanciniata* var. *hortensis* extract. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 49:46-53
- Kim SH, Chung MJ, Jang HD, Ham SS. 2010. Antioxidative activities of the *Codonopsis lanceolata* extract *in vitro* and *in vivo*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39:193-202
- Kopsell DA, Kopsell DE, Lefsrud MG, Curran-Celentano J, Dukach LE. 2004. Variation in lutein, *B*-carotene, and chlorophyll concentrations among *Brassica oleracea* cultivars and seasons. *HortScience* 39:361-364
- Lee MK, Cho SY, Cho SJ, Shin JH, Kim HW, Kim SG, Ko HC, Ro NY, Kim JB, Baek HJ. 2015. Changes in carotenoid contents of colored pumpkin (*Cucurbita* spp.) germplasm. *Korean J Environ Agric* 34:186-191
- Lee MK, Chun JH, Byeon DH, Chung SO, Park SU, Park S, Arasu MV, Al-Dhabi NA, Lim YP, Kim SJ. 2014. Variation of glucosinolates in 62 varieties of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) and their antioxidant activity. *LWT-Food Science Technol* 58:93-101
- Lee YS, Joo EY, Kim NW. 2006. Polyphenol contents and antioxidant activity of *Lepista nuda*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35:1309-1314
- Seo MS, Shon SH, Park BS, Ko HC, Jin M. 2014. Efficiency of microspore embryogenesis in *Brassica rapa* using different genotypes and culture conditions. *J Plant Biotechnol* 41: 116-122
- Seong GU, Hwang IW, Chung SK. 2016. Antioxidant capacities and polyphenolics of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) leaves. *Food Chem* 199:612-618
- Seong GU, Kim JB, Chung SK. 2018. Carotenoid contents of head-type Kimchi cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) leaves. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 47:912-916
- Seong JH, Park SG, Park EM, Kim HS, Kim DS, Chung HS. 2006. Contents of chemical constituents in organic Korean cabbages. *Korean J Food Preserv* 13:655-660

Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 64:555-559

Zou Z, Ishida M, Li F, Kakizaki T, Suzuki S, Kitashiba H, Nishio T. 2013. QTL analysis using SNP markers developed by next-generation sequencing for identification of candidate

genes controlling 4-methylthio-3-butenyl glucosinolate contents in roots of radish, *Raphanus sativus* L. *PLOS ONE* 8:e53541

Received 11 September, 2020

Revised 25 September, 2020

Accepted 29 September, 2020