

자색옥수수 포엽과 속대 혼합 추출물의 영양성분, 항산화 활성 물질 함량분석 및 생리활성 평가

이기연 · 김태희 · 김재은 · 박아름 · 노희선 · 김시창 · 안문섭 · 김희연*
강원도농업기술원 농식품연구소

Assessment of Nutritional Components, Antioxidant Contents and Physiological Activity of Purple Corn Husk and Cob Extracts

Ki Yeon Lee, Tae hee Kim, Jai Eun Kim, A-Reum Park, Hee Sun Noh,
Si Chang Kim, Mun Seob Ahn, and Hee Yeon Kim*

Agriproduct Processing Experiment Station, Gangwon-do Agricultural Research and Experiment Services, Chuncheon, Korea
(Received August 6, 2018/Revised September 15, 2018/Accepted November 6, 2018)

ABSTRACT - The objective of this study was to investigate the worth of extract husk and cobs of the Seakso 1 (EHCS) for the functional foods. We aimed to investigate the proximate composition, fatty acids, amino acids, antioxidant active substance contents, antioxidant activity, inhibitory activity of the α -amylase and α -glucosidase. The proximate composition of the EHCS have represented 6.90% moisture, 7.31% crude ash, 0.52% crude fat and 7.07% crude protein. Among the 17 kinds of amino acids that were analyzed in thd EHCS, the glutamic acid was the highest, with 736.08 mg / 100 g. The fatty acids detected in the EHCS were palmitic acid oleic acid and linoleic acid. The proportion of the unsaturated fatty acids was 83.33%. We determined the contents of the antioxidant active substance by the total polyphenol and flavonoid. The total polyphenol and flavonoid contents were 99.87 mg/g and 25.02 mg/g, respectively. The antioxidative activity of the EHCS were determined using a DPPH and ABTS assay. In the antioxidative activity determination, the DPPH and ABTS radical scavenging activities were 95.62% (1,000 μ g/mL) and 92.00% (10,000 μ g/mL), respectively. The inhibitory activity of α -amylase and α -glucosidase (10 mg/mL) were 95.86% and 76.92%, respectively. These results suggest that the EHCS could be potentially used as a resource for the bioactive materials for health functional foods.

Key words : Purple corn, Anthocyanin, Fatty acids, Amino acids, Anti-oxidative, Anti-diabetes

체내 대사 과정 중 산화반응에 의하여 생성된 superoxide anion radical ($\cdot\text{O}_2^-$), hydrogen peroxide (H_2O_2), hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$), nitric oxide (NO) 등과 같은 산화생성물은 free radical 형태의 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)으로 산소이온 및 과산화수소를 포함한 불안정한 전자상태의 화학적 반응이 큰 물질이다^{1,2)}. 이러한 활성산소는 체내 대사 과정에서 자연 생성되며 신체 항상성을 유지시켜주는 순기능을 하고 체내 방어시스템에 의해 제거되지만 외부 환경에 의한 스트레스나 다양한 병리적 요인으로 과도하게 생성된 활성산소는 세포손상을 일으켜 산

화 스트레스를 유발한다²⁾. 산화스트레스로 인한 체내 항산화체계의 이상과 불균형은 체내 지질과산화 축적 및 노화 촉진, 암, 당뇨, 심혈관계질환 등의 질병을 유발하는 원인이 된다^{2,3)}. 체내 활성산소 생성을 억제시키고 정상적인 항산화 체계를 유지하는 것은 산화스트레스로 야기된 다양한 질병을 예방하는 수단이 될 수 있다. 활성산소로 인한 산화적 손상을 예방하고 억제시킬 수 있는 폴리페놀, 플라보이드, 카로티노이드 등과 같은 천연물 기원의 생리활성물질 등에 관한 연구가 보고되었으며 이러한 성분을 함유하고 있는 식품을 섭취하였을 시 만성질환 예방과 개선, 노화방지 등에 효과가 있는 것으로 알려져 있다⁴⁻⁶⁾. 그러나 천연 유래 항산화제의 낮은 추출수율, 추출물의 안정성 등의 문제와 합성 항산화제의 독성 유발 등과 같은 문제로 이를 보완하여 좀 더 안전하며 항산화 활성이 높은 항산화 물질에 관한 연구가 요구되고 있다⁷⁾.

*Correspondence to: Hee Yeon Kim, Agriproduct Processing Experiment Station, Gangwon-do Agricultural Research and Experiment Services, Chuncheon 24203, Korea
Tel: 82-33-248-6526, Fax: 82-33-248-6555
E-mail: heeya80@korea.kr

안토시아닌은 플라보노이드 계열에 속하는 수용성 색소로 적색, 자색, 청색 또는 흑색 등을 나타내는 다양한 과일, 채소 그리고 유색 곡물의 표피에 집적되어 있는 천연 식물 대사 화합물이다⁸⁾. 다양한 식물에 함유되어 있는 천연 안토시아닌 색소는 식품 산업에서 합성 식품 착색제의 대안으로 사용되고 있으며⁹⁾ 옥수수에서 추출한 식용색소인 'Corn red'에는 10여종의 안토시아닌 색소를 함유하고 있다고 보고되었다¹⁰⁾. 안토시아닌은 자연계 존재하는 항산화 물질 가운데 가장 우수한 항산화 작용을 하는 것으로 알려져 있으며^{11,12)} 항염증¹³⁾, 항암¹⁴⁾, 항비만 및 혈당 강하¹⁵⁾ 등 다양한 생리활성에 관한 연구가 진행되었다. 또한 안토시아닌은 지질과산화물과 활성산소의 생성억제 및 제거에 관하여 우수한 항산화 활성을 가진 것으로 보고되었다^{16,17)}.

국내의 연구에서 자색옥수수 포엽에서 추출된 색소는 C-3-G (cyanidin-3-glucoside), Pg-3-G (pelargonidin-3-glucoside), Pn-3-G (peonidin-3-glucoside) 등이었고 이중 C-3-G의 상대적 함량은 40% 이상이였으며 전체 색소 중 cyanidin 유도체가 80% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 또한, 자색옥수수 포엽 색소 추출물은 항산화, 항당뇨 및 항비만 활성이 우수한 것으로 보고되었다¹⁸⁾. 자색옥수수의 포엽, 속대, 잎에서 C-3-G, Pg-3-G, Pn-3-G 등을 포함한 총 10종의 안토시아닌 색소가 확인되었고, 확인된 안토시아닌 색소 중 C-3-G의 항산화 활성이 가장 높은 것으로 나타났다¹⁹⁾. 이에 따라 자색옥수수에 집적되어 있는 주요 안토시아닌 색소는 C-3-G인 것을 알 수 있으며, 본 연구에 사용된 색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물의 총 안토시아닌 함량과 HPLC를 통하여 분석한 C-3-G의 함량은 각각 $8.61 \pm 0.11\%$, $1.46 \pm 0.01\%$ 인 것으로 확인되었다²⁰⁾. 자색옥수수의 생리 활성에 관한 연구에 따르면 안토시아닌을 함유한 자색 옥수수 알곡과 속대 추출물의 투여로 비만을 유도한 생쥐의 간에서의 인슐린 신호전달의 개선과 염증 완화의 효과가 있는 것으로 보고되었으며²¹⁾ 또한, 색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물이 pancreatic lipase 활성을 저해시키고 지방전구세포의 분화와 지방생성 관련 유전자의 활성을 억제시키는 것으로 나타났다²⁰⁾. 색소 2호 알곡 및 속대 추출물이 첨가된 식이의 투여는 고지방-고콜레스테롤 식이로 비만이 유도된 흰 쥐의 간 조직 내 지질과산화물 축적을 억제하고 catalase 효소의 활성을 증가시켜 비만으로 손상된 체내 항산화 체계에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보고되었다²²⁾.

색소 1호는 알곡은 노란색인 반면, 알곡을 제거한 속대와 알곡을 감싸고 있는 포엽에 자색이 발현되는 품종으로 속대와 포엽에 안토시아닌 색소가 집적된 반경립종 가공용 옥수수이며 2008년 강원도 농업기술원 옥수수 연구소에서 개발되어 2011년도에 품종 등록되었다²³⁾. 본 연구는 자색옥수수 색소 1호 포엽과 속대 혼합 추출물의 일반성

분 분석 및 생리활성 검정을 통하여 향후 천연 안토시아닌 색소를 함유한 항산화제로 활용하기 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

Materials and Methods

실험재료

본 연구에 사용된 자색옥수수 색소 1호 품종은 2016년도에 강원도농업기술원 옥수수연구소에서 표준재배법에 준하여 재배되었다. 재배된 색소 1호를 수확하여 수염과 외피를 제거하고 건조하여 포엽과 속대를 분리한 다음 분쇄하여 추출시료로 사용하였다. 옥수수 포엽과 속대 건조분말시료 500 g에 0.1% citric acid가 함유된 30% 에탄올을 10 L씩 첨가하고 12시간 동안 상온 교반하여 3회 반복 추출하였다. 추출액을 여과하여 감압농축하고 부형제로 30% dextrin을 첨가한 다음 분무건조하여 일반성분 분석 및 생리활성 검정용 시료로 사용하였다.

일반성분 분석

색소 1호 포엽 및 속대 혼합추출물의 일반성분 분석은 식품공전법²⁴⁾에 따라 실시하였다. 일반성분 분석에 사용된 ethyl ether, H₂SO₄는 Merck Co. (Kenilworth, NJ, USA), KOH는 Sigma Co. (St Louis, MO, USA), 분해촉매제 (Kjeltabs)는 FOSS (Hilleroed, Denmark)의 제품을 사용하였다. 수분 함량은 수분 건조기(MA 40, Sartorius, Gottingen, Germany)를 사용하여 측정하였으며 조회분은 600°C 회화로에서 직접 회화시켜 회화되기 전 시료의 무게와 회화된 후의 시료의 무게의 차이로 함량을 산출하였다. 조단백질은 Kjeldahl 법에 의해 분석시료에 분해촉매제와 H₂SO₄ 10 mL를 첨가하여 420°C에서 50분간 가열하여 분해시키고 Kjeltec 장치(Kjeltec auto sampler system 1035 Analyzer, FOSS, Hilleroed, Denmark)를 이용하여 조단백질의 함량을 측정하였다. 조지방 함량은 soxhlet 추출법을 사용하여 분석하였다. 지방 자동추출장치인 Soxtec (2050 SOXTEC, FOSS, Hilleroed, Denmark)을 이용해 측정하였다. 조지방 분석통을 1시간 건조시킨 후 무게를 측정한 후 원통형 여과지에 분석시료를 넣고 솜으로 위를 덮은 다음 ethyl ether 80 mL를 넣고 Soxtec에 장착하였다. 추출장치의 수기를 130°C에서 20분간 끓이고 40분간 세척, 20분간 회수, 20분간 건조되도록 조절하였다. 분석이 완료되면 분석통을 분리하여 흡후드에서 남아있는 ethyl ether를 휘발시키고 100°C의 건조기에서 1시간 건조한 후 30분간 진공방냉하여 무게를 측정하였다. 조섬유는 AOAC법²⁵⁾에 의해 조섬유 분석장치인 Fibertec (FOSS, Hilleroed, Denmark)을 이용하여 분석하였다. 1.25% H₂SO₄과 1.25% KOH를 사용하여 시료 내 섬유질만을 남긴 후, 회화를 통해 조섬유 함량을 측정하였다.

지방산 분석

본 실험에서 추출 및 전처리 과정에 사용한 유기용매인 petroleum ether, diethyl ether, chloroform, toluene, n-hexane은 Merck Co. (Kenilworth, NJ, USA)의 GR등급을 사용하였으며 pyrogallol, sodium sulfate anhydrous, BF₃-Methanol, 표준품으로 사용된 Supelco 37 Component FAME Mix는 Sigma Co. (St Louis, MO, USA), 내부표준 물질 triundecanoin은 Nu-Chek-prep, INC. (Elysian, MN, USA)의 제품을 사용하였다. 색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물의 지방산 조성 및 함량은 시료 내 지방을 산분해하여 diethyl ether로 추출하고 BF₃-Methanol 용액으로 methyl-ether화하여 gas chromatography (Agilent GC, Santa Clara, CA, USA)로 분석하였다. 분석 시료 0.1 g을 마조니아어관에 넣고 내부 표준물질 2 mL과 8.3 M 염산용액 10 mL를 첨가하고 산화방지를 위하여 pyrogallol (50 mg/mL in ethanol) 용액 2 mL을 첨가하여 혼합 후 밀봉하였다. 밀봉된 마조니아어관의 용액을 70~80°C 항온수조에서 40분간 분해시킨 후 실온 냉각하여 에탄올을 첨가하고 petroleum ether와 diethyl ether를 각각 25 mL씩 첨가하여 5분간 진탕 추출 하였다. 분해된 용액을 1시간 이상 실온 방치한 후 분리된 상층액을 filter paper로 여과하여 40°C에서 감압 농축하였다. 용매가 제거된 농축물에 chloroform 2 mL과 diethyl ether 3 mL를 첨가하여 재용해하고 질소로 농축한 다음 7% BF₃-Methanol 2 mL과 toluene 1 mL 첨가 후 밀봉 하여 100°C 건조기에서 45분간 반응시켰다. 반응이 끝난 용액을 실온에서 완전히 냉각 시키고 증류수 5 mL과 n-hexane 1 mL을 첨가하여 충분히 혼합한 뒤 정지시켰다. 수층으로부터 분리된 상층액에 sodium sulfate anhydrous를 첨가하여 탈수하고 0.45 µm membrane filter에 통과시켜 분석시료로 사용하였다²⁶⁾.

지방산 분석을 위한 column은 SP-2560 (100 m × 0.25 mm, 0.2 µm, Supelco, USA)을 사용하였다. 시료주입기와

Table 1. GC analytical condition of fatty acid

Classification	Condition
Instrument	GC (Agilent GC, Santa Clara, CA, USA)
Detector	FID
Carrier gas	He
Column	SPTM-2560 (100 m × 0.25 mm, 0.20 µm)
Column flow	0.75 mL/min
Injection volume	1.00 µL
split ratio	200 : 1
Injection temperature	225°C
Detector temperature	285°C
Oven temperature	100°C (4 min), 208°C (3°C/min), 244°C (15 min)

검출기(Flame Ionization Detector, FID) 온도는 각각 225°C, 285°C, split ratio는 200:1이었다. Carrier gas는 헬륨을 사용하였으며, flow rate 0.75 mL/min으로 column 온도는 100°C에서 4분간 유지 후, 244°C까지 1분당 3°C씩 승온시켜 15분간 유지하였다(Table 1).

아미노산 분석

색소 1호 포엽 및 속대 혼합추출물의 아미노산 조성 및 함량은 시료 내 단백질을 가수분해하고 유도체화(ZORBAX Eclipse AAA, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)하여 HPLC (Agilent LC system, Santa Clara, CA, USA)로 분석하였다(Table 2). 아미노산 분석을 위한 전처리

Table 2. HPLC analytical condition of amino acid

Classification	Condition		
Instrument	Agilent LC system (Agilent GC, Santa Clara, CA, USA)		
Injector	Auto-sampler		
Detector	PDA (338 nm, 262 nm)		
Column	Capcellpack UG120 C ₁₈ (Shiseido, Japan) (250 × 4.6 mm, 5 µm)		
Column temp	40°C		
Injection volume	Injector program		
Flow rate	1.5 mL/min		
Run time	38 min		
Mobile phase	A: 40 mM NaH ₂ PO ₄ (pH 7.8) B: ACN : MeOH : d-water (45 : 45 : 10, v/v/v)		
Gradient table			
Time (min)	Flow rate (mL)	%A	%B
initial	1.5	95	5
31	1.5	44	56
33	1.5	44	56
34	1.5	0	100
38	1.5	0	100
Derivatization injector program table			
1	DRAW 5.0 µL from Borate buffer		
2	DRAW 1.0 µL from sample		
3	MIX 6.0 µL in air, max. speed, 2 times		
4	WAIT 0.5 min		
5	DRAW 0.0 µL from d-water (washing)		
6	DRAW 1.0 µL from Borate buffer		
7	MIX 7.0 µL in air, max. speed, 6 times		
8	DRAW 0.0 µL from d-water (washing)		
9	DRAW 1.0 µL from FMOc reagent		
10	MIX 8.0 µL in air, max. speed, 6 times		
11	DRAW 16.0 µL from d-water		
12	MIX 24.0 µL in air, max. speed, 6 times		
13	INJECT		

건강식품공전²⁷⁾을 참고하여 수행하였다. 분석에 사용된 시약으로 2-mercaptoethanol과 sodium citrate는 Sigma Co. (St Louis, MO, USA)의 제품을 사용하였고 HCl 용액은 Merck Co. (Kenilworth, NJ, USA)의 제품을 사용하였다. 분석 시료 0.1 g에 0.05% 2-mercaptoethanol (w/v)을 함유한 6 N HCl 10 mL를 첨가하고 드라이 아이스와 에탄올로 동결한 다음 탈기장치에 장착하였다. 탈기장치에서 용해, 동결을 반복하여 충분히 탈기시킨 다음 밀봉하여 110 ± 1°C에서 22~24시간 동안 가수분해 하였다. 가수분해된 시료를 40°C에서 감압, 농축 건조를 반복하여 HCl을 최대한 제거하였다. 농축된 시료에 0.2 N sodium citrate 완충액(pH 2.2) 또는 0.02 N HCl용액을 가하여 재용해하고 0.45 µm membrane filter에 통과시킨 다음 아미노산 분석을 위한 유도체화용 시료로 사용하였다. 색소 1호 포엽 및 속대 혼합추출물의 아미노산 조성 및 함량 분석을 위한 유도체화 및 HPLC 분석 조건은 Table 2와 같다.

항산화활성 측정

DPPH radical 소거활성

색소 1호 포엽 및 속대 혼합추출물의 DPPH radical에 대한 소거활성은 Blois²⁸⁾의 방법에 따라 수행하였다. 반응에 사용된 시약으로 DPPH 및 ascorbic acid는 Sigma Co. (St Louis, MO, USA)의 제품을 사용하였다. 시료 용액 0.2 mL에 0.2 mM DPPH 용액 0.8 mL를 첨가하여 혼합한 뒤 상온에서 30분간 반응시킨 후 ELISA reader (FLUOstar Omega, BGM LABTECH, Ortenberg, Germany)를 사용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH 소거능은 시료 용액 첨가구와 무첨가구 사이의 흡광도차이를 백분율로 나타내었으며 대조구로 ascorbic acid를 사용하였다.

DPPH radical scavenging activity (%) =

$$\left(1 - \frac{\text{시료 첨가구의 흡광도}}{\text{무첨가구의 흡광도}}\right) \times 100$$

ABTS radical 소거활성

색소 1호 포엽 및 속대 혼합추출물의 ABTS radical에 대한 소거활성은 Pellegrin 등²⁹⁾의 방법에 따라 수행되었다. 반응에 사용된 시약으로 ABTS, potassium persulfate, ascorbic acid는 Sigma Co. (St Louis, MO, USA)의 제품을 사용하였다. ABTS 반응시약은 7.4 mM ABTS 용액과 2.6 mM potassium persulfate를 혼합하여 실온 암소에서 15시간 방치하여 radical을 형성시킨 다음 실험 직전에 ABTS 용액의 흡광도가 734 nm에서 0.70 ± 0.03이 되도록 에탄올로 희석하여 조제하였다. 시료 용액 20 µL에 희석된 ABTS 용액 300 µL를 첨가하여 혼합하고 20분간 실온 방치한 다음 ELISA reader (FLUOstar Omega, BGM LABTECH,

Ortenberg, Germany)를 사용하여 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. ABTS radical 소거능은 시료 용액 첨가구와 무첨가구 사이의 흡광도차이를 백분율로 나타내었으며 대조구로 ascorbic acid를 사용하였다.

ABTS radical scavenging activity (%) =

$$\left(1 - \frac{\text{시료 첨가구의 흡광도}}{\text{무첨가구의 흡광도}}\right) \times 100$$

항산화물질 함량 분석

총 폴리페놀 함량 측정

색소 1호 포엽 및 속대 추출물의 총 폴리페놀 함량은 시료 내 폴리페놀성 화합물에 의하여 Folin-ciocalteu reagent가 환원되어 몰리브덴 청색으로 발색되는 원리를 이용하여 측정하였다³⁰⁾. 총 폴리페놀 함량 측정에 사용된 시약으로 Folin-ciocalteu's phenol reagent, Na₂CO₃, tannic acid는 Sigma Co. (St Louis, MO, USA)의 제품을 사용하였다. 시료 용액 0.2 mL에 증류수 1.8 mL를 첨가하고 Folin-ciocalteu's phenol reagent를 0.2 mL 첨가하여 3분간 반응시키고, Na₂CO₃ 포화용액 0.4 mL와 증류수 1.4 mL를 첨가하고 혼합하여 1시간 동안 실온에서 반응시킨 후 분광광도계(Evolution 201, Thermo, Waltham, MA, USA)를 사용하여 반응액의 흡광도를 760 nm에서 측정하였다. 표준물질로 tannic acid를 사용하여 검량선을 작성하고 색소 1호 포엽 및 속대 혼합추출물의 총 폴리페놀 함량을 정량하였다.

총 플라보노이드 함량 측정

색소 1호 포엽 및 속대 추출물의 총 플라보노이드 함량은 Ja 등³¹⁾의 방법을 참고하여 측정하였다. 총 플라보노이드 함량 측정에 사용된 시약으로 NaNO₂, AlCl₃, NaOH, rutin은 Sigma Co. (St Louis, MO, USA)의 제품을 사용하였다. 시료 용액 1 mL에 증류수 4 mL 첨가하고 5% NaNO₂ 0.3 mL 첨가, 혼합하여 5분간 실온방치 한 다음, 10% AlCl₃ 0.3 mL 첨가하고 혼합하여 5분간 실온방치 하였다. 반응 후 1 M NaOH 2 mL를 첨가하여 분광광도계(Evolution 201, Thermo, Waltham, MA, USA)를 사용하여 반응액의 흡광도를 510 nm에서 측정하였다. 표준물질로 rutin을 사용하여 검량선을 작성하고 색소 1호 포엽 및 속대 혼합추출물의 총 플라보노이드 함량을 정량하였다.

항당뇨 활성 측정

α-Amylase 저해활성

색소 1호 포엽 및 속대 혼합추출물의 α-amylase에 대한 저해활성은 starch를 기질로 하여 측정하였다³²⁾. 반응에 사

용된 시약으로 α -amylase, starch, 3,5-dinitrosalicylic acid, sodium potassium tartarate, NaOH, acarbose, potassium phosphate buffer 조제에 사용된 KH_2PO_4 및 K_2HPO_4 는 Sigma Co. (St Louis, MO, USA) 제품을 사용하였다. 시료 0.5 μL 에 pancreatin 기원의 12 unit/ml α -amylase 50 μL 와 0.2 M potassium phosphate buffer (pH 6.8) 50 μL 를 첨가하여 혼합한 후 37°C에서 20분 동안 반응시켰다. 반응이 끝난 후 1% starch 용액 100 μL 을 가하여 37°C에서 5분간 반응시키고 DNS 발색시약(3,5-dinitrosalicylic acid and 30% sodium potassium tartarate in 0.5 M NaOH)을 250 μL 첨가한 다음 100°C에서 10분간 가열하여 발색시켰다. 발색이 된 반응액을 4°C에서 5분간 냉각하고 이 반응액의 3배의 증류수를 가하여 교반한 후 ELISA reader (FLUOstar Omega, BGM LABTECH, Ortenberg, Germany)를 사용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하여 흡광도의 변화로부터 효소 저해활성을 계산하였다. 대조구로는 경구용 혈당강하제로 쓰이는 acarbose를 사용하였다.

$$\alpha\text{-Amylase inhibitory activity (\%)} = \left[1 - \left(\frac{\text{시료 처리구의 흡광도}}{\text{무처리구의 흡광도}} \right) \right] \times 100$$

α -Glucosidase 저해활성

색소 1호 포엽 및 속대 혼합추출물의 α -glucosidase에 대한 저해활성은 Lee 등³³⁾의 방법에 따라 측정하였다. 반응에 사용된 시약으로 α -glucosidase, pNPG (4-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside), acarbose, potassium phosphate buffer 조제에 사용된 KH_2PO_4 및 K_2HPO_4 는 Sigma Co. (St Louis, MO, USA) 제품을 사용하였다. 시료 100 μL 에 yeast baker 기원의 0.15 unit/mL α -glucosidase 200 μL 와 0.2 M potassium phosphate buffer (pH 6.8) 1 mL를 첨가하여 ELISA reader (UVM-340, ASYS, Engendorf, Austria)를 사용하여 405 nm에서 흡광도를 측정하고 37°C에서 10분간 반응시킨 다음, 5 mM pNPG 200 μL 를 가하여 37°C에서 20분간 더 반응시켰다. 최종 반응 후 ELISA reader (FLUOstar Omega, BGM LABTECH, Ortenberg, Germany)를 사용하여 405 nm에서 흡광도를 측정하여 흡광도의 변화로부터 효소 저

해활성을 계산하였다. 대조구로는 경구용 혈당강하제로 쓰이는 acarbose를 사용하였다.

$$\alpha\text{-Glucosidase inhibitory activity (\%)} = \left[1 - \left(\frac{\text{시료 처리구의 흡광도}}{\text{무처리구의 흡광도}} \right) \right] \times 100$$

Results and Discussion

일반성분 분석

색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물의 일반성분 분석 결과는 Table 3과 같다. 추출물의 수분은 6.90%, 조회분은 7.31%, 조지방은 0.52%, 조단백질은 7.07%인 것으로 나타났다. 추출물의 조회분 함량은 색소 1호 포엽과 속대 건조시료에 비하여 조회분 함량이 약 2배~2.8배 정도 높았으며 조지방의 함량은 건조 포엽 시료의 함량과 유사하였고 건조 속대 시료에 비하여 약 1.7배 낮은 것으로 나타났다. 색소 2호 종실의 일반 성분³⁴⁾과 비교하였을 때, 색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물의 조단백질과 조지방 함량은 색소 2호 종실의 함량보다 낮았으며 조지방의 함량은 약 10배 정도 낮게 측정되었다.

지방산 분석

색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물의 지방산 조성을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 추출물에 함유되어 있는 지방산은 palmitic acid (C16:0), oleic acid (C18:1), linoleic acid (C18:2n-6), linolenic acid (C18:3n-3)이었으며 포화 지방산과 불포화 지방산의 비율은 16.67:83.33로 oleic acid와 linoleic acid가 각각 33.33%로 가장 높게 나타났다. Lee 등³⁵⁾의 연구에서 색소 2호 종실의 포화 지방산과 불포화 지방산의 비율은 16.09:83.91이었으며 linoleic acid가 50.86%로 가장 높게 나타났고 oleic acid, palmitic acid, stearic acid, linolenic acid 순으로 검출되었다. 국내 육성 옥수수 자식계통, F1과 F2 종실의 지방산 조성은 linoleic acid와 oleic acid가 주요 지방산으로 색소 2호 종실의 지방산 조성과 유사한 경향을 보였다³⁶⁾. Song 등³⁷⁾의 연구에서 재배 방법 별 흑진주찰의 포화 지방산과 불포화 지방산은 비율

Table 3. General components in husk and cob extracts of 'Saekso 1'

General components (%)	EHCS ¹⁾	Dried samples		
		Husk	Cob	Kernel
Carbohydrate	78.20 ± 0.30 ²⁾	84.52 ± 0.15	81.39 ± 0.44	73.95 ± 0.73
Moisture	6.90 ± 0.03	7.26 ± 0.03	7.97 ± 0.01	8.84 ± 0.03
Crude ash	7.31 ± 0.11	2.60 ± 0.03	3.54 ± 0.04	1.44 ± 0.21
Crude fat	0.52 ± 0.08	0.55 ± 0.10	0.90 ± 0.16	5.46 ± 0.35
Crude protein	7.07 ± 0.09	5.07 ± 0.03	6.20 ± 0.27	10.31 ± 0.14

¹⁾Extracts husk and cob of Saekso 1

²⁾Mean ± standard deviation (n = 3)

Table 4. Fatty acid contents in husk and cob extracts of 'Saekso 1'

	Fatty acids	% of sum all fatty acids
Saturated	Lauric acid (C12:0)	-
	Myristic acid (C14:0)	-
	Palmitic acid (C16:0)	16.67 ± 0.01 ¹⁾
	Stearic acid (C18:0)	-
	Arachidic acid (C20:0)	-
	cis-11-Eicosenoic acid (C20:1)	-
Monounsaturated	Palmitoleic acid (C16:1)	-
	Oleic acid (C18:1n-9 cis)	33.33 ± 0.02
Poly-unsaturated	Linoleic acid (C18:2n-6 cis)	33.33 ± 0.02
	Linolenic acid (C18:3n-3)	16.67 ± 0.01

¹⁾Mean ± standard deviation (n = 3)

은 약 18:82이었고 주요 지방산은 oleic acid와 linoleic acid라고 보고되었다. 색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물에 함유되어 있는 지방산의 종류는 옥수수 종실에 함유되어 있는 지방산의 종류수와 다소 차이가 있었지만 포화 지방산과 불포화 지방산의 비율 및 주요 지방산이 oleic acid와 linoleic acid로 검출된 것은 유사한 경향을 보였다. 옥수수에 함유되어 있는 oleic acid와 linoleic acid는 체내 합성되지 않는 필수 지방산으로³⁸⁾ 옥수수 종실뿐만 아니라 옥수수의 포엽 및 속대에도 필수 불포화 지방산이 함유되어 있음을 확인할 수 있었다.

아미노산 분석

색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물의 아미노산 조성을 분석한 결과는 Table 5와 같다. 총 17종의 아미노산이 분석되었고 glutamic acid가 전체 아미노산의 29.09%로 가장 높았으며 그 다음으로 aspartic acid (22.11%), alanine (8.93%), lysine (4.77%), valine (4.41%)의 순으로 조성비가 높았다. 전체 구성아미노산의 51.21%를 차지한 아미노산은 glutamic acid와 aspartic acid로 glutamic acid는 체내 알코올 분해과정에서 요구도가 높은 비타민 B₁의 흡수를 돕고 간의 해독작용을 강화시켜 알코올에 의한 간 손상을 예방하고, aspartic acid는 알코올 분해를 촉진하는 것으로 알려져 있다³⁹⁾. 아미노산 중 lysine, valine, leucine, threonine, isoleucine, phenylalanine, histidine, methionine, tryptophan은 체내에서 합성되지 않아 식품으로 섭취가 요구되는 필수 아미노산이며 arginine, tyrosine, cysteine은 성장기 어린이에게 영양적으로 중요한 준필수 아미노산이다⁴⁰⁾. 색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물 중 필수 아미노산은 tryptophan을 제외한 8종이 검출되었으며 전체의 23.08%를 차지하였고 준필수 아미노산은 전체의 6.74%를 차지하였다.

Son 등³⁶⁾의 연구에서 국내 육성 옥수수 자식계통, F1 종실, F2 종실의 아미노산 조성은 glutamic acid와 leucine의

Table 5. Amino acids contents in husk and cob extracts of 'Saekso 1'

Amino acids ¹⁾	Contents	
	mg/100g	% of sum all amino acids
Glu	736.08 ± 2.14 ³⁾	29.09
Asp	559.61 ± 3.15	22.11
Ala	226.00 ± 1.54	8.93
Lys (EAA)	120.62 ± 1.05	4.77
Val (EAA)	111.49 ± 2.48	4.41
Gly	87.66 ± 0.98	3.46
Pro	85.61 ± 0.74	3.38
Leu (EAA)	82.02 ± 1.07	3.24
Ser	80.87 ± 2.06	3.20
Arg	70.96 ± 0.96	2.80
Thr (EAA)	69.30 ± 0.85	2.74
Tyr	66.01 ± 1.65	2.61
Ile (EAA)	65.37 ± 0.85	2.58
Phe (EAA)	54.18 ± 1.09	2.14
His (EAA)	51.37 ± 1.24	2.03
Cys	33.71 ± 0.99	1.33
Met (EAA)	29.85 ± 0.87	1.18
Sum of all amino acids	2497.00	100.00
Sum of EAA ²⁾	548.20	23.08

¹⁾Amino acids abbreviations follow IUPAC standard

²⁾Sum of essential amino acids

³⁾Mean ± standard deviation (n = 3)

함량이 비교적 높고 lysine이 함량은 가장 낮은 것으로 보고되었으며 QPM (quality protein maize) 계통 및 non-QPM 계통에서도 lysine의 함량이 가장 낮은 것으로 보고되었다⁴¹⁾. 옥수수의 아미노산 중 필수아미노산의 함량이 비교적 부족하고 특히 lysine은 옥수수와 같은 화곡류의 제한 아미노산으로 알려져 있으며 국내 육성 옥수수 자식계통, F1 종실, F2 종실의 lysine의 함량은 세계보건기구 (WHO, World Health Organization) 권장량인 5.5 g / 100 g protein에 비해 낮은 것으로 나타났다³⁶⁾. 반면, 자색옥수수 색소 1호 포엽 및 속대 추출물의 lysine의 함량은 120.62 mg / 100 g으로 전체 아미노산의 4.77%를 차지하였으며 추출물의 조단백질 함량 대비 lysine의 함량은 1.70 g / 100 g protein인 것으로 나타났다. 일반 옥수수에 비하여 단백질과 lysine의 함량을 높인 QPM 계통 옥수수 종실의 lysine의 함량이 전체 아미노산의 1.02%인 것과 비교하였을 때⁴¹⁾, 색소 1호 포엽 및 속대 추출물의 lysine의 함량은 옥수수 종실의 lysine 함량에 비하여 높은 것으로 판단된다.

항산화 활성

색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물의 DPPH와 ABTS radical 소거능 측정을 통하여 항산화 활성을 검정한 결과

Table 6. DPPH and ABTS radical scavenging activities in husk and cob extracts of 'Saekso 1'

Contents ($\mu\text{g/mL}$)	DPPH radical scavenging (%)					ABTS radical scavenging (%)				
	1	10	100	1,000	$\text{IC}_{50}^{1)}$	10	100	1,000	10,000	IC_{50}
Vit.C	$6.42 \pm 1.07^{2)}$	22.91 ± 0.65	97.09 ± 0.16	-	46	13.23 ± 2.33	48.07 ± 1.15	99.74 ± 0.59	-	321
EHCS ³⁾	-	6.83 ± 0.95	24.10 ± 0.46	95.62 ± 0.48	460	1.67 ± 0.88	19.19 ± 1.10	63.21 ± 2.64	92.00 ± 1.32	760

¹⁾The half maximal inhibitory concentration

²⁾Mean \pm standard deviation (n = 3)

³⁾Extracts husk and cob of Saekso 1

는 Table 6과 같다. DPPH radical 소거능은 비교적 안정적인 free radical인 DPPH가 ascorbic acid, tocopherol, BHT 등과 같은 항산화제와 반응하여 짙은 보라색에서 노란색으로 탈색되는 원리를 이용한 방법으로 시료 내 항산화 활성을 평가하는 지표로 사용된다⁴²⁾. ABTS radical 소거능은 potassium persulfate와 ABTS 양이온 radical이 항산화제와 반응하여 청록색에서 투명한 하늘색으로 탈색되는 원리를 이용하여 측정하는 방법으로 수용성과 지용성 물질의 항산화 활성을 동시에 측정할 수 있다^{43,44)}. 색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물의 DPPH radical 소거능은 1,000 $\mu\text{g/mL}$ 에서 95.62%, ABTS radical 소거능은 10,000 $\mu\text{g/mL}$ 에서 92.00%로 각각의 radical에 대하여 우수한 항산화 활성을 나타내었다. 같은 추출물을 대상으로 2종류의 radical 소거능을 측정한 결과, 각 radical에 대한 소거능이 모두 우수하였으나 추출물의 같은 농도처리에서 ABTS 양이온 radical보다 DPPH free radical의 소거능이 우수하게 나타났는데 이는 DPPH 및 ABTS radical과 반응하는 항산화 성분의 차이로 색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물에 함유되어 있는 hydroxyl기를 가진 화합물이 free radical과 더 효과적으로 반응하는 것이라 추론된다^{45,46)}. Won 등⁴⁵⁾의 연구에서 안토시아닌 색소가 다량 함유된 머루 과피 추출물이 DPPH 및 ABTS radical의 소거활성이 우수한 것으로 나타났으며 Ko 등⁴⁷⁾의 연구에서 블루베리보다 총 안토시아닌의 함량이 높았던 상동열매 추출물의 DPPH 및 ABTS radical의 소거활성이 우수한 것으로 보고되었다. 또한, 국내 흑자색미에 속하는 벼 품종의 우수한 DPPH radical 소거활성은 C-3-G 색소농도 의존성을 나타낸다고 보고되었으⁴⁸⁾ Kim 등⁴⁹⁾의 연구에서 타 계통보다 C-3-G 함량이 높았던 일품검정콩의 DPPH radical 소거활성이 타 품종 대비 우수한 것으로 보고되었다. 안토시아닌의 페놀성 화합물은 활성 산소종을 제거함으로써 우수한 항산화 활성을 나타내는 것으로 알려져 있으며⁵⁰⁾ 본 연구에 사용된 색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물의 높은 항산화 활성은 시료 내 함유되어 있는 주요 안토시아닌 색소인 C-3-G의 항산화력에 기인한 결과라 판단된다.

총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량

색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물의 총 폴리페놀 및

Table 7. Total polyphenol and Total flavonoid contents in husk and cob extracts of 'Saekso 1'

Contents	Total polyphenol	Total flavonoid
	mg/g	
EHCS ²⁾	$99.87 \pm 0.57^{1)}$	25.02 ± 0.28

¹⁾Mean \pm standard deviation (n = 3)

²⁾Extracts husk and cob of Saekso 1

총 플라보노이드 함량을 분석한 결과, 추출물의 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량은 각각 99.87 mg/g, 25.02 mg/g이었다(Table 7). Chung⁵¹⁾의 연구에서 안토시아닌 색소가 함유되어 있는 블랙 초크베리와 블루베리 70% 메탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량은 각각 117.20 mg/g, 42.26 mg/g 이었고, 총 플라보노이드의 함량은 각각 32.50 mg/g, 26.39 mg/g인 것으로 보고되었다. 블랙 초크베리의 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량은 색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물의 함량보다 다소 높은 것으로 나타났고, 블루베리의 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량은 본 연구 결과와 유사한 함량을 나타내었다. Park 등⁵²⁾의 연구에서 안토시아닌 색소를 함유하고 항산화 효과 및 다양한 생리활성을 가진 오미자의 에탄올 추출물의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드의 함량은 각각 9.53 mg/g, 3.97 mg/g인 것으로 보고되었으며, 색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물의 총 폴리페놀 및 플라보노이드의 함량은 오미자에 비하여 매우 높은 수치로 추출물 내 풍부한 폴리페놀 및 플라보노이드 화합물을 함유하고 있다고 판단된다.

플라보노이드 계열에 속하는 anthocyanin을 비롯한 다양한 폴리페놀 화합물은 식물계 존재하는 2차 대사산물로 과일 및 엽채류에 다량 함유되어 있는 것으로 알려져 있다⁵³⁾. 플라보노이드는 폴리페놀에 속하는 화합물로 채소류, 곡물, 과일류 등 과 일반 식물의 잎, 꽃, 과일, 줄기 및 뿌리 등 거의 모든 부위에 함유되어 있다⁵⁴⁾. 페놀성 화합물에 존재하는 hydroxyl (-OH)기는 단백질 또는 효소 단백질, 기타 거대분자들과 같은 여러 화합물과 쉽게 결합하는 특성이 있어 다양한 생리활성을 나타낸다⁵⁵⁾. 페놀성 화합물이 다양한 생리활성을 나타내는 것은 화합물 내 페놀이 라디칼에 수소원자를 제공하여 유리 라디칼을 안정화시키기 때문이다⁵⁶⁾. 폴리페놀 및 플라보노이드계 화합물은

Table 8. Inhibitory activity α -amylase and α -glucosidase in husk and cob extracts of 'Saekso 1'

Contents (mg/mL)	α -Amylase (%)		α -Glucosidase (%)	
	1	10	1	10
Acarbose	61.10 \pm 3.60 ¹⁾	95.37 \pm 0.36	25.47 \pm 1.97	75.45 \pm 0.85
EHCS ²⁾	58.28 \pm 5.17	95.86 \pm 0.34	30.30 \pm 1.25	76.92 \pm 2.59

¹⁾Mean \pm standard deviation (n = 3)

²⁾Extracts husk and cob of Saekso 1

활성 산소종을 제거하는 효과가 탁월하여 항산화능이 우수하다고 알려져 있으며 일반적으로 총 폴리페놀 함량이 높을수록 항산화 등의 생리활성이 증가하는 경향이 있는 것으로 보고되었다⁵⁷⁾.

항당뇨 활성

색소 1호 포엽 및 속대 혼합 추출물의 항당뇨 활성을 α -amylase과 α -glucosidase 저해활성 측정을 통하여 검정한 결과는 Table 8과 같다. 색소 1호 포엽 및 속대 추출물의 α -amylase와 α -glucosidase 저해 활성은 추출물 10 mg/mL의 처리농도에서 각각 95.86%, 75.45%이었으며 양성대조군으로 사용된 acarbose의 저해활성과 유사한 값으로 우수한 저해율을 나타내었다.

α -Amylase는 타액과 췌장에서 분비되는 효소로 탄수화물의 α -D-(1,4)-glucan 결합을 분해하고, α -glucosidase는 소장 상피세포의 brush-border에 존재하는 효소로 maltose나 sucrose를 포도당과 같은 단당으로 분해한다⁵⁸⁾. 따라서 α -amylase와 α -glucosidase와 같은 효소들의 활성이 억제되면 소장 내 탄수화물의 소화 및 포도당의 흡수가 지연되어 식후 급격한 혈당 상승을 예방할 수 있으며 이러한 α -amylase와 α -glucosidase의 저해활성은 혈당수치 상승억제의 지표로 사용된다⁵⁹⁾. 현재까지 acarbose를 비롯한 여러가지 경구용 혈당강하제들이 개발되어 사용되고 있으나 이 약물들은 지속적인 복용에 따른 부작용을 동반하는 것으로 알려져 있어⁶⁰⁾ 이러한 약물들의 부작용을 최소화 하고 혈당을 효과적으로 조절할 수 있는 천연물질에 관한 연구가 진행되고 있다^{61,62)}. Kim 등⁶³⁾의 연구에서 시판되고 있는 흑미의 품종인 흑진주쌀에 비해 C-3-G 함량이 5배 이상 높은 C3GHi 쌀추출물 및 C3GHi쌀 현미의 동결건조 분말이 당뇨 유발 모델에서 혈당 상승을 막고 산화적 손상을 억제하는 것으로 나타났다. Choi 등⁶⁴⁾의 연구에서 C-3-G가 acarbose에 비하여 α -amylase와 α -glucosidase 저해 활성이 우수한 것으로 나타나 고혈당 조절제로서의 가능성을 시사하였다. 천연물질 중 항당뇨 활성이 있는 화합물의 대부분은 항산화 활성을 가지는 것으로 알려져 있으며⁶⁵⁾ 본 연구결과, 색소 1호 포엽 및 속대 추출물은 높은 항산화 활성과 항당뇨 활성을 가진 기능성 식품으로서의 활용가치가 높다고 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “경제협력권산업육성사업(지역주도형 R&D, R0005796)”로 수행된 연구결과입니다.

국문요약

본 연구는 색소 1호 포엽과 속대 추출물의 영양성분을 분석하고 항산화 및 항당뇨 활성을 검정하여 향후 기능성 식품으로서의 활용을 위한 기초자료로 제공하고자 수행되었다. 색소 1호 포엽과 속대 추출물의 일반성분 분석결과, 수분, 조회분, 조지방, 조단백질은 각각 6.90%, 7.31%, 0.52%, 7.07%이었다. 색소 1호 포엽 및 속대 혼합추출물의 지방산은 palmitic acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid인 것으로 나타났으며 불포화 지방산의 비율은 83.33%이었다. 색소 1호 포엽 및 속대 혼합추출물의 구성 아미노산 함량을 분석한 결과 glutamic acid, aspartic acid 등을 포함한 총 17종의 아미노산이 검출되었으며 이중 glutamic acid의 함량이 736.08 mg / 100 g으로 가장 높았다. 색소 1호 포엽 및 속대 추출물의 DPPH 및 ABTS radical 소거활성은 각각 95.62% (1,000 μ g/mL), 92.00% (10,000 μ g/mL)이었으며 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 각각 99.87 mg/g, 25.02 mg/g이었다. 색소 1호 포엽 및 속대 추출물의 α -amylase 및 α -glucosidase 저해활성은 추출물 10 mg/mL의 처리농도에서 각각 95.86%, 76.92%인 것으로 나타났다.

Reference

- Papa, S. and Skulachev, V. P.: Reactive oxygen species, mitochondria, apoptosis and aging. *Mol. Cell Biochem.*, **174**, 305-319 (1997).
- Sen, C. K.: The general case for redox control of wound repair. *Wound Repair Regen.*, **11**(6), 431-438 (2003).
- Wickers, A. P.: Ageing and the free radical theory. *J. Respir Physiol.*, **128**, 379-391 (2001).
- Lee, J. A. and Jung, D. S.: Screening of the antioxidant and anti-elastase activities for the extracts of Jeju endemic plants. *Jeju National University.* **13**(2), 249-269 (2011).

5. Total polyphenols, total flavonoid contents, and antioxidant activity of Korean natural and medicinal plants. *KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL.*, **44**(3), 337-342 (2012).
6. Cha, J. Y., Cho, Y. S., Kim, I., Anno, T., Rahman, S. M., Yanagita, T.: Effect of hesperetin, a citrus flavonoid, on the liver triacylglycerol content and phosphatidate phosphohydrolase activity in orotic acid-fed rats. *Plant Foods Human Nutr.*, **56**, 349-358 (2001).
7. Seo, E. J., Hong, E. S., Choi, M. H., Kim, K. S., Lee, S. J.: The antioxidant and skin whitening effect of *Artemisia iwayomogi* extracts. *KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL.*, **44**(1), 89-93 (2012).
8. Abdel-Aal, E. S. M., Young, J. C., Rabalski, I.: Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. *J. Agric. Food Chem.*, **54**, 4696-4704 (2006).
9. Clifford, M. N.: Anthocyanins-nature, occurrence and dietary burden. *Journal of Food and Agriculture*, **80**, 1063-1072 (2000).
10. Pascual-Teresa, S., Santos-Buelga, C., Rivas-Gonzalo, J. C.: LC-MS analysis of anthocyanins from purple corn cob. *J. Sci. Food Agric.*, **82**, 1003-1006 (2002).
11. Wallace, T. C. and Giusti, M. M.: Anthocyanins. *Advances in Nutrition*, **6**(5), 620-622 (2015).
12. Nam, S. H., Choi, S. P., Kang, M. Y., Kof, H. J., Kozukue, N., Friedman, M.: Antioxidative activities of barn from twenty one pigmented rice cultivars. *Food Chem.*, **94**, 613-620 (2006).
13. Tsuda, T., Horio, F., Osawa, T.: Cyanidin 3-*O*- β -D-glucoside suppresses nitric oxide production during a zymosan treatment in rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol*, **48**, 305-310 (2002).
14. Hyun, J. W. and Chung, H. S.: Cyanidin and malvidin from *Oryza sativa* cv. Heugjinjubyeo mediate cytotoxicity against human monocytic leukemia cells by arrest of G2/M phase and induction of apoptosis. *J. Agric. Food Chem.*, **52**, 2213-2217 (2004).
15. Tsuda, T., Horio, F., Uchida, K., Aoki, H., Osawa, T.: Dietary Cyanidin 3-*O*- β -D-glucoside-rich purple corn color prevents obesity and ameliorates hyperglycemia in Mice. *J. Nutr.*, **133**, 2125-2130 (2003).
16. Duan, X. W., Jiang, Y. M., Zhang, Z. Q., Shi J.: Antioxidant properties of anthocyanin extracted from litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit pericarp tissues in relation to their role in the pericarp browning. *Food Chem.*, **101**, 1365-1371 (2006).
17. Chung, M. G. and Lim, J. D.: Antioxidant, Anticancer and Immune Activation of Anthocyanin Fraction from *Rubus coreanus* Miquel fruits (Bokbunja). *Korean J. Medicinal Crop Sci.*, **20**, 259-269 (2012).
18. Rhee, H. I.: Development of high anthocyanin corn cultivar. Rural Development Administraton Report, pp. 20-49 (2008).
19. Li, C. Y., Kim, H. W., Won, S. R., Min, H. K., Park, K. J., Park, J. Y., Ahn, M. S., Rhee, H. I.: Corn husk as a potential source of anthocyanins. *J. Agric. Food Chem.*, **56**, 11413-11416 (2008).
20. Lee, K. Y., Hong, S. Y., Kim, T. H., Kim, J. E., Park, A. R., Noh, H. S., Kim, S. C., Park, J. Y., Ahn, M. S., Jeong, W. J., Kim, H. Y.: Inhibition of pancreatic lipase activity and adipocyte differentiation in 3T3-L1 cells treated with purple corn husk and cob extracts. *J. Food Hyg. Saf.*, **33**(2), 1-9 (2018).
21. Joung, H. C., Kim, C. H., Lee, Y. J., Kim, S. K., Do, M. S.: Anti-diabetic and anti-inflammatory effects of purple corn extract in high-fat diet induced obesity mice. *Korean J. Food Nutr.*, **30**(4), 696-702 (2017).
22. Lee, K. Y., Kim, J. E., Hong, S. Y., Kim, T. H., Noh, H. S., Kim, S. C., Park, J. Y., Ahn, M. S., Kim, H. Y.: Effect of Saekso 2 corn kernels and cobs extracts on antioxidant activity in rats fed high fat-cholesterol diet. *J. Food Hyg Saf.*, **31**(6), 399-405 (2016).
23. Choi, J. K., Park, J. Y., Park, K. J., Kim, H. Y., Ryu, S. H., Seo, Y. H.: Anthocyanin-rich grain corn hybrid variety 'Saekso 2'. *Korean J. Breed. Sci.*, **49**(3), 289-293 (2017).
24. Food standards codex, Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea, **II**(10-1), pp. 1-33 (2011).
25. AOAC.: Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analysis Chemists, Washington, DC., USA., p. 80 (1990).
26. Food standards codex, Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea, **II**(10), pp. 40-49 (2012).
27. Health Functional Food Code, Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea, **III**(3.3.2), pp. 209-215 (2012).
28. Blois M.A.: Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature*, **181**, 1199-200 (1958).
29. Pellegrin N., Re R., Yang M., Rice-Evans C.: Screening of dietary carotenoids and carotenoid-rich fruit extracts for antioxidant activities applying 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) radical cation decolorization assay. *Method Enzymol.*, **299**, 379-389 (1998).
30. Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R. M.: Analysis of total phenol and other oxidation substrates and antioxidants by means Folin-ciocalteu reagent. *Method. Enzymol.* **299**, 152-178 (1999).
31. Jia, Z., Tang, M., Wu, J.: The determination of flavonoid contents in mulberry and they scavenging effect on superoxide radicals. *Food Chem.*, **64**, 555-559 (1999).
32. Houghton, P. J., Soumyanath, A.: α -Amylase inhibitory activity of some Malaysian plants used to treat diabetes with particular reference to *Phyllanthus amarus*. *J Ethnopharmacol.*, **107**, 449-455 (2006).
33. Lee, B. B., Park, S. R., Han, C. S., Han, D. Y., Park, E. J., Lee, S. C.: Antioxidant activity and inhibition activity against α -amylase and α -glucosidase of *Viola mandshurica* extracts. *J Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **37**, 405-409 (2008).
34. Lee, K. Y., Kim, T. H., Lim, S. H., Park, J. Y., Kim, K. H., Ahn, M. S., Kim, H. Y.: Proximate, free sugar, fatty acids composition and anthocyanins of Saekso 2 corn kernels *J. Food Hyg. Saf.*, **31**(5), 335-341(2016).
35. Lee, K. Y., Kim, T. H., Lim, S. H., Park, J. Y., Kim, K. H., Ahn, M. S., Kim, H. Y.: Proximate, free sugar, fatty acids composition and anthocyanins of Saekso 2 corn kernels. *J. Food Hyg. Saf.*, **31**(5), 335-341 (2016).

36. Son, B. Y., Kim, J. T., Lee, J. S., Baek, S. B., Kim, S. L., Ku, J. H., Hwang, J. J., Cha, S. M., Kwon, Y. U.: Chemical composition of seed from inbred lines and hybrids of maize recently developed in Korea. *Korean J. Crop Sci.*, **57**(2), 188-194 (2012).
37. Song, E. M., Kim, H. Y., Lee, S. H., Woo, S. H., Kim, H. S., Kyung, K. S., Lee, J. S., Jeong, H. S.: Chemical components and quality characteristics of waxy corns cultured by conventional and environmentally-friendly methods. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **40**, 962-968 (2011).
38. Wassef, W. N.: Lipids. In Fennema (Eds.) Food chemistry, second edition Marcel Dekker, Inc., New York and Basel. pp. 140-244 (1985).
39. Cho, K. H., Choo, H. J., Seo, M. G., Kim, J. C., Shin, Y. J., Ryu, G. H., Cho, H. Y., Jeong, C. Y., Hah, Y. S.: Effect of *Semisulcospira libertina* extracts from different extraction processes on liver cell toxicity and ethanol metabolism. *Food Eng. Pro.*, **21**(2), 158-166 (2017).
40. Imura, K. and Okara, A.: Amino acid metabolism in patients. *Nutrition*, **14**, 143-148 (1998).
41. Kim, S. L., Son, B. Y., Jeong, T. Y., Moon, H. G., Son, J. R.: Characterization on fatty acids and amino acids of quality protein maize lines. *Korean J. Crop Sci.*, **51**(5), 458-465 (2006).
42. Cho, M. H., Lee, D. J., You, S. G.: Radical scavenging activity of ethanol extracts and solvent partitioned fractions from various red seaweeds. *Ocean and Polar Research*, **34**, 445-451 (2012).
43. Moon, H. I., Ahn, K. T., Lee, K., R., Zee, O., P.: Flavonoid compounds and biological activities on the aerial parts of *Angelica gigas*. *Yakhak Hoeji*, **44**, 119-127 (2000).
44. Bang, C. S.: Antioxidant and antiproliferative activities of the ethanol extracts from leafy vegetables. MA Thesis Chungbuk National University, Cheongju. pp. 33 (2007).
45. Won, J. H. and Kim, M. R.: Analysis of antioxidative and antimutagenic activities of ethanol extracts from pericarp and seeds of wild grape (*Vitis coignetia*). *J. East Asian Soc. Diet Life*, **26**(2), 192-199 (2016).
46. Lee, S. E., Seong, N. S., Park, C. G.: Screening for antioxidative activity of oriental medicinal plant materials. *Korean J. Medicinal Crop Sci.*, **10**(3), 171-176 (2002).
47. Ko, G. A., Koh, S. Y., Ryu, J. Y., Kim, S. M.: Comparison of proximate compositions, antioxidant, and antiproliferative activities between blueberry and *Sageretia thea* (Osbeck) M.C. Johnston fruit produced in Jeju Island. *J. Appl. Biol. Chem.*, **60**(2), 161171 (2017).
48. Park, S. Z. and Ryu, S. N.: Free radical scavenging and inflammatory from the rice varieties contained high C3G pigment. *Korean J. Crop Sci.*, **51**, 107-112 (2006).
49. Kim, Y. H., Kim, D. S., Woo, S. S., Kim, H. H., Lee, Y. S., Kim, H. S., Ko, K. O., Lee, S. K.: Antioxidant activity and cytotoxicity on human cancer cells of anthocyanin extracted from black soybean. *Korean J. Crop Sci.*, **53**(4), 407-412 (2008).
50. Wang, S. Y. and Jiao, H.: Scavenging capacity of berry crop on superoxide radicals, hydrogen peroxide, hydroxyl radicals, and singlet oxygen. *J. Agric. Food Chem.*, **48**, 5677-5687 (2000).
51. Chung, H. J.: Comparison of total polyphenols, total Flavonoids, and biological activities of black chokeberry and blueberry cultivated in Korea. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **43**(9), 1349-1356 (2014).
52. Park, B. N. and Lee, J. W.: Antioxidation activity of residue after omija (*Schisandra chinensis*) juice extract. *J. Appl. Biol. Chem.*, **60**(2), 95-100 (2017).
53. Urquiaga, I. and Leighton, F.: Plant polyphenol antioxidants and oxidative stress. *Biol. Res.*, **33**, 55-64 (2000).
54. Hetog, M. G. L., Hollman, P. C. H., Van de Putte, B.: Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of tea infusions, wines and fruit juice. *J. Agr. Food Chem.*, **41**, 1242-1246 (1993).
55. Lee, S. O., Lee, H. J., Yu, M. H., Im, H. G., Lee, I. S.: Total polyphenol contents and antioxidant activities of methanol extracts from vegetables produced in Ullung island. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **37**, 233-240 (2005).
56. Ahn, S. I., Heuing, B. J., Son, J. Y.: Antioxidative activity and nitrite-scavenging abilities of some phenolic compounds. *Korean J. Food Cookery Sci.*, **23**, 19-24 (2007).
57. Lee, S. Y., Hwang, E. J., Kim, G. H., Choi, Y. B., Lim, C. Y., Kim, S. M.: Antifungal and antioxidant activities of extracts from leaves and flowers of *Camellia japonica* L. *Korean J. Medicinal Crop Sci.*, **13**, 93-100 (2005).
58. Lee, B. B., Park, S. R., Han, C. S., Han, D. Y., Park, E. J., Lee, S. C.: Antioxidant activity and inhibition activity against α -amylase and α -glucosidase of *Viola mandshurica* extracts. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **37**, 405-409 (2008).
59. Yoshio, K.: Obesity and related diseases. koonja publishing company, Seoul, Korea, pp. 691-692 (2005).
60. Rhinehart, B. L., Robinson, K. M., Liu, P. S., Payne, A. J., Wheatley, M. E., Wanger, S. R.: Inhibition of intestinal disaccharidase and suppression of blood glucose by a new α -glucohydrolase inhibitor-MDL 25. *J. Pharm. Exp. Ther.*, **241**, 915-920 (1987).
61. Oh, S. J., Lee, J. H., Ko, K. S., Shin, D. B., Koh, S. C.: Antioxidative activity, including inhibitory activities of ACE, APN and α -amylase, in Theaceae plants native to Jeju Island. *Korean J. Plant Res.* **23**(5), 406-414 (2010).
62. Ahn, C. H., Nam, Y. M., Kim, S. J., Yang, B. W., Kim, H. C., Ko, S. K.: Inhibitory effects of ginseng seed oil on α -glucosidase and α -amylase activity. *Kor. J. Pharmacogn.*, **47**(1), 24-28 (2016).
63. Kim, H. Y., Kim, J. H., Lee, S. A., Ryu, S. N., Han, S. J., Hong, S. G.: Antioxidative and anti-diabetic activity of C3GHi, novel black rice breed. *Korean J. Crop Sci.*, **55**(1), 38-46 (2010).
64. Choi, K. H., Choi, S. I., Park, M. H., Han, J. S.: Cyanidin-3-O-glucoside Ameliorates Postprandial Hyperglycemia in Diabetic Mice. *Journal of Life Science*, **27**(1), 32-37 (2017).
65. Appleton, J.: Evaluating the bioavailability of isoquercetin. *Natural Medicine Journal*, **2**(1), 1-6 (2010).