

일반과 자색 건조 돼지감자의 식품 성분 및 항산화 활성

정복미 · 신태선

전남대학교 식품영양과학부

Food Components and Antioxidant Activities of Dried Jerusalem Artichoke with White and Purple Colors

Bok-Mi Jung and Tai-Sun Shin

Division of Food and Nutrition, Chonnam National University

ABSTRACT This study investigated the food components and antioxidant activities of dried Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) with white and purple colors. For the proximate composition of dried Jerusalem artichoke, regardless of color, carbohydrate content was highest, followed by crude protein, ash, and moisture contents, and breed-specific differences were not detected. The highest mineral content of dried Jerusalem artichoke was potassium, followed by calcium, magnesium, sodium, and iron. The major minerals of white color sample were calcium, magnesium, and zinc, whereas those of the purple color sample were potassium, sodium, copper, and manganese, and no significant differences between the samples were detected. The main amino acid of dried Jerusalem artichoke was arginine, regardless of color, followed by asparagine, aspartic acid, and γ -amino-*n*-butyric acid in order. Cysteine, leucine, and tyrosine were significantly ($P<0.05$) more abundant in the purple color sample than in the white color sample. In contrast, phosphoethanolamine was significantly ($P<0.05$) higher in the white color sample than in the purple color sample. Antioxidant activity was higher in the purple color sample than in the white color sample for all activities except the 2,2-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) assay methodology. Ferric-reducing antioxidant power and oxygen radical absorbance capacity assays at low concentrations of extracts found no differences between the two samples, although the purple sample at high concentration showed relatively high antioxidant activities.

Key words: Jerusalem artichoke, food components, antioxidant activity

서 론

돼지감자는 아메리칸 인디언의 식량이었으며 유럽에서도 17세기부터 식용으로 사용되었다. 북아메리카가 원산지인 국화과의 귀화식물이며, 기후나 환경에 민감하지 않아 야생에서 자생하고 연평균 6.3~26.6°C에서 생장하므로 우리나라 기후 조건에도 적합하여 전국 각지에 자생하고 있다(1). 돼지감자라고 알려진 덩이줄기는 이눌린이 많이 함유되어 있으며, 이눌린은 장내 효소로는 소화되지 않고 소화관을 통과하므로 혈당을 급격히 올리는 것을 지연시키는 작용이 있어 돼지감자가 당뇨병에 좋다고 알려지게 된 이유는 바로 이 때문이다. 최근 들어 당뇨병과 다이어트에 좋다고 알려지면서 식용으로 많이 사용되고 있다(2). 돼지감자는 주로 볶아 수확하며 생돼지감자의 경우 장기보관이 어려우므로 건조해서 먹는다. 건 돼지감자를 그대로 먹거나 차로 우려먹기도 하며 주스를 만들어 먹기도 한다. 또한, 분말이나 환으로

섭취하기도 하고 100% 진액으로 먹기도 하며, 볶아서 먹기도 한다. 그 외 샐러드에 첨가하여 먹거나 감자 칩처럼 얇게 썬 돼지감자를 식물성 기름에 튀겨 먹기도 하고, 끓인 돼지감자는 푸레로 사용하거나 팬케이크의 소스, 수프나 스튜에 사용할 수 있으며, 구운 돼지감자는 칠면조나 양 요리와 곁들여 먹을 수 있고, 돼지감자 어린 순은 나물로도 먹는다. 최근에는 농촌진흥청에서 돼지감자 간편 분말 수프를 개발하였다고 발표하였다. 현재까지 돼지감자의 연구는 prebiotic의 효능(3), 돼지감자로부터 이눌린 추출(4), 가수분해물질 생산 및 에탄올 발효(5), 생리활성(6), 수확시기 및 저장온도에 따른 가용성 당 변화(7), 돼지감자 잎의 간세포 보호 효과(8), 돼지감자 잎 분획물의 유용성분과 항산화 활성 추출방법에 따른 기능적 특성(9) 등이 있고, 돼지감자를 이용한 식품 개발에 대한 연구보고는 설기떡, 쿠키, 국수, 머핀의 제조 등(10-13)이 보고되어 있으며, 성분 분석 특히 품종별 분석에 대한 자료는 외국(14)에서 1건이 보고되고 있고 국내에서는 거의 보고되지 않은 실정이다. 당뇨 환자들의 경우 하루 총 섭취열량이 중요하므로 돼지감자가 일반 감자보다 당도에 효과적이라 하더라도 섭취량이 많아지면 좋은 효과를 기대하기 어렵다. 그러므로 본 연구는 지금까지

Received 8 April 2016; Accepted 11 May 2016

Corresponding author: Bok Mi Jung, Division of Food and Nutrition, Chonnam National University, Gwangju 61186, Korea
E-mail: jbm@chonnam.ac.kr, Phone: +82-62-530-1353

국내에서는 일반 및 자색 돼지감자로 구분하여 성분 분석 또는 항산화 활성이 보고된 연구가 없으며, 돼지감자를 이용하는 당뇨 환자에게 영양성분에 대한 보다 정확한 자료를 제공하고, 건조한 돼지감자의 품종에 따른 영양성분 및 항산화 활성에 관한 결과를 제시함으로써 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

시료의 추출

본 연구에 사용된 일반과 자색 돼지감자는 2015년 3월 전남 여수시 돌산읍 돼지감자를 재배하는 한 농가에서 직접 구입하여 물에 깨끗이 씻은 후 2 mm 두께로 세로로 썬 다음 재배농가에서 직접 건조하는 조건과 같이 dry oven(60°C)에서 10시간 건조한 후 식품 성분을 측정하였다. 항산화 활성은 -80°C에서 냉동 보관 후 그대로 동결 건조하여 수분을 제거한 다음 100% 메탄올(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)로 5회 추출한 뒤 진공회전농축기(CCA 1110, EYELA Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 농축하고 진공 동결건조기(FD8508, Ilshin Co., Gyeonggi, Korea)를 이용하여 분말화하여 수율을 계산하였다. 예비 실험 결과 시료를 에탄올과 메탄올에서 추출하여 활성을 본 결과 메탄올에서 활성이 더 높았으므로 추출용매로 메탄올을 사용하였고, 수율은 일반 돼지감자가 58.5%, 자색 돼지감자는 19.5%로 나타났다.

일반성분 및 무기질 측정

일반 및 자색 돼지감자의 일반성분인 수분, 단백질, 지방, 회분 측정은 건조한 돼지감자를 막자사발에 곱게 간 후 AOAC 법(15)에 의하여 측정하였으며, 탄수화물은 100에서 수분, 단백질, 지방, 회분을 뺀 값으로 계산하였고 모든 시료는 3회 반복하였다. 무기질 함량 측정은 가루 돼지감자를 습식 분해법을 이용하여 다음과 같이 측정하였으며, 모든 시료는 3회 반복하였다. 세척된 wet ashing 용 tube에 시료 0.5 g을 취해 넣고, 여기에 20% HNO₃ 10 mL, 60% HClO₄ 3 mL를 취한 후 투명해질 때까지 가열시켰다. 투명해진 시료를 냉각시킨 후 0.5 M nitric acid로 50 mL 정용하였다. 이 시료 용액을 측정용 시험관에 채취하고, 분석항목별 표준 용액을 혼합하여 다른 tube에 8 mL를 채취하여 표준용액으로 하였다. Blank test 용에는 0.5 M nitric acid 용액 8 mL를 취해 유도결합플라즈마 분광광도계(OPTIMA 7300 DV, Perkin Elmer Instruments, Shelton, CT, USA)로 분석하였다.

유리아미노산 측정

돼지감자 분말 0.1 g을 칭량하고 증류수 20 mL를 가하여 30°C에서 130 rpm으로 1시간 동안 추출하였다. 추출이 끝난 시료는 감압농축기로 증류수를 제거한 후 lithium citrate

buffer(0.12 N, pH 2.2) 10 mL로 정용하였다. 정용 후 sulfosalicylic acid 0.2 g을 첨가하여 4°C에서 1시간 방치하였다. 방치가 끝난 시료는 0.2 µm membrane filter로 여과하고 이 중 1 mL를 lithium citrate buffer(0.12 N, pH 2.2)와 혼합하여 적절한 농도로 희석한 후 그중 1 mL를 취하여 아미노산 자동분석기(Sykam GmbH, Eresing, Germany)를 이용하여 정량 분석하였다.

색도 측정

건조한 일반 및 자색 돼지감자의 색도 측정은 색차계(Colorimeter JC 801, Color Techno System Corporation, Tokyo, Japan)를 사용하여 L값(명도), a값(+ 적색도/-녹색도), b값(+ 황색도/-청색도)을 시료당 10회 측정하였다. 이때 사용한 표준 백색판(standard plate)의 L값은 98.48, a값은 0.14, 그리고 b값은 -0.41이었다.

총페놀 함량 측정

추출물 내 총페놀 함량은 gallic acid(Sigma-Aldrich Co.)를 표준시약으로 사용하여 Singleton 등(16)의 방법에 따라 760 nm에서 흡광도를 측정함으로써 결정하였다. 시료 추출물의 총페놀 함량 측정을 위해 0, 5, 10, 20, 40, 80 및 160 µM의 gallic acid를 표준시약으로 사용하여 표준곡선을 작성하였다. 총페놀 함량은 3회 반복 측정한 값을 평균으로 하여 µmol gallic acid equivalent(GAE)로 표기하였다.

1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH) 라디칼 소거 활성

DPPH 프리라디칼 소거 활성은 Thaipong 등(17)의 방법에 따라 측정하였다. DPPH 용액(0.15 mmol/L methanol, Sigma-Aldrich Co.)을 추출물과 혼합한 다음 30분간 방치한 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 DPPH 소거 활성은 Trolox(6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) equivalent(TE)로 표기하였다. Trolox의 표준곡선은 0, 25, 50, 100, 200, 400 및 800 µM의 Trolox 표준시약(Sigma-Aldrich Co.)을 사용하여 작성하였다.

2,2-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)(ABTS) 라디칼 소거 활성

ABTS 라디칼을 이용한 항산화력 측정은 ABTS cation decolorization assay에 의한 방법을 일부 변형하여 시행하였다(17). 7.4 mM ABTS reagent(Sigma-Aldrich Co.)와 2.6 mM potassium persulfate를 같은 부피로 혼합하고 암소에서 16시간 동안 방치하여 ABTS 라디칼을 형성시킨 후 734 nm에서 흡광도 값이 1.10(±0.2)이 되도록 희석하였다. 희석된 용액 2,850 µL에 추출액 150 µL를 넣고 30분 후 734 nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다. 시료 추출물의 ABTS 라디칼 소거 활성 측정을 위해 0, 25, 50, 100, 200, 400 및 800 µM의 Trolox 시약을 사용하여 표준곡선을 작

성하였다. ABTS 라디칼 소거능은 $\mu\text{mol Trolox equivalent}$ 로 표기하였다.

Ferric-reducing antioxidant power(FRAP)에 의한 항산화능 측정

FRAP assay는 환원력을 이용한 방법으로 Thaipong 등(17) 방법을 응용하여 실행하였다. 실험에 쓰이는 FRAP reagent는 sodium acetate buffer(pH 3.6, 300 mM)와 40 mM HCl에 용해한 10 mM의 TPTZ(2,4,6-tripyridyl-s-triazine, Sigma-Aldrich Co.), 20 mM의 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 를 10:1:1의 비율로 사용하였다. 시료 추출액 150 μL 와 FRAP reagent 2,850 μL 를 혼합하여 암소에서 30분간 방치한 후 593 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 0, 25, 50, 100, 200, 400 및 800 μM Trolox 농도에서 작성하였으며 FRAP 항산화능은 $\mu\text{mol Trolox equivalent}$ 로 표기하였다.

Oxygen radical absorbance capacity(ORAC) 측정

TEAC와 더불어 총항산화능 측정에 널리 사용되고 있는 ORAC assay는 Thaipong 등(17) 방법에 따라 37°C에서 plate reader(Synergy 2, BioTek, Winooski, VT, USA)를 이용하여 excitation 파장 485 nm와 emission 파장 520 nm에서 1분 간격으로 80분간 측정하였다. ORAC assay는 형광 표지물질에 대한 프리라디칼의 손상 정도를 측정하는 일종의 inhibition method로 형광물질로는 최종 농도로 70 nM fluorescein(Sigma-Aldrich Co.)을 사용하였으며, peroxyl radical을 생성하는 2,2'-azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride(AAPH; Sigma-Aldrich Co.)는 최종 농도가 12 mM이 되게 사용하였다. 만일 추출물 내에 항산화 물질이 존재하게 되면 이들 농도에 비례하여 프리라디칼 손상이 억제되며 형광도의 감소가 억제되게 된다. 표준시약으로 0, 25, 50, 100, 200, 400 및 800 μM Trolox를 사용하였고, ORAC 값은 $\mu\text{mol Trolox equivalent}$ 로 표기하였다.

통계처리

건조한 일반 및 자색 돼지감자의 식품 성분과 항산화 활성의 실험 결과에 대한 통계처리는 SPSS package 21(IBM, Armonk, NY, USA)을 사용하여 평균과 표준편차로 나타내었고, 돼지감자 품종에 따른 차이는 t-test로 검정하였다.

결과 및 고찰

건조 돼지감자의 일반성분

일반 및 자색 건조 돼지감자의 일반성분을 나타낸 결과는 Table 1과 같다. 수분 함량은 일반시료가 3.16%, 자색시료 3.13%로 거의 비슷하였으며, 회분 함량은 일반시료 6.10%, 자색시료 5.93%로 일반이 약간 높았으나 유의적인 차이는 없었다. 조단백 함량은 일반시료 9.99%, 자색시료 9.87%로 비슷하였고, 조지방 함량은 일반시료 0.67%, 자색시료 0.60

Table 1. Proximate composition of dried Jerusalem artichoke

	White	Purple	t-value
Moisture (%)	3.16±0.06 ^{NS1)2)}	3.13±0.06	0.7
Ash (%)	6.10±0.13 ^{NS}	5.93±0.23	1.1
Crude protein (%)	9.99±0.01 ^{NS}	9.87±0.01	12.0
Crude lipid (%)	0.67±0.01 ^{NS}	0.60±0.02	4.5
Carbohydrates (%)	80.06±0.19 ^{NS}	80.46±0.19	-2.6
Kcal (per 100 g)	366.29±0.71 ^{NS}	366.78±0.99	-0.7

¹⁾Mean±SD (n=5). ²⁾Not significant.

%, 탄수화물은 일반 자색 모두 80%로 나타났다. 두 시료 모두 열량은 100 g당 366 kcal로 나타났다. 돼지감자의 일반성분은 품종과 관계없이 탄수화물, 조단백, 회분, 수분 함량 순으로 높았으며, 두 시료의 차이는 나타나지 않았다. 돼지감자는 100 g당 69 kcal의 열량을 내며 당질 15.0 g, 단백질 1.9 g으로 나타났다고 보고(18)되었는데 수분 함량에 따라 차이가 있으므로 비교하기는 어려웠다. Jeon 등(19)의 연구에서 감자의 경우 유색 감자는 계통별로 일반성분의 차이를 나타내었으나, 일반성분과 색소성분 간의 상관성은 없는 것으로 나타났다고 보고하여 본 연구와 일치하는 것으로 나타났다.

무기질 함량

Table 2는 건조 돼지감자의 일반과 자색시료의 무기질 함량을 나타낸 결과이다. 칼슘 함량은 100 g당 일반시료 125 mg, 자색시료 108 mg으로 일반이 약간 높았으나 유의성은 없었고, 칼륨 함량은 일반시료 2,553 mg, 자색시료 2,609 mg으로 자색이 약간 높았으나 유의적인 차이가 없었다. 돼지감자의 칼륨 함량은 100 g당 630 mg으로 고구마보다 약 1.5배 높다고 보고하였는데 측정 시 수분 함량의 차이로 비교하기는 어려웠다(2). 마그네슘 함량은 100 g당 일반시료 70.3 mg, 자색시료 69.0 mg으로 비슷하였고, 철분은 일반이 5.49 mg, 자색이 3.76 mg, 구리는 일반이 0.97 mg, 자색이 1.02 mg, 망간은 일반 0.49 mg, 자색 0.57 mg, 아연은 일반이 1.64 mg, 자색 1.49 mg, 나트륨은 일반 7.23 mg, 자색 12.57 mg으로 나타났다. 돼지감자의 품종과 관계없이 가장 높은 무기질은 칼륨으로 나타났고, 다음으로 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 철분 순으로 나타났다. 일반시료가 자색시

Table 2. Mineral contents of dried Jerusalem artichoke (unit: mg/100 g)

	White	Purple	t-value
Ca	125.17±2.07 ^{NS2)3)}	108.33±3.05	7.89
K	2,553.67±40.5 ^{NS}	2,609.33±54.5	-1.42
Mg	70.32±0.55 ^{NS}	69.00±0.37	3.42
Fe	5.49±0.14 ^{NS}	3.76±0.77	3.82
Cu	0.97±0.01 ^{NS}	1.02±0.02	-3.47
Mn	0.49±0.02 ^{NS}	0.57±0.01	-6.93
Zn	1.64±0.02 ^{NS}	1.49±0.07	3.55
Na	7.23±0.58 ^{NS}	12.17±1.52	-5.27

¹⁾Mean±SD (n=3). ²⁾Not significant.

료보다 높은 무기질은 칼슘, 마그네슘, 철분, 아연이었고 자색이 일반보다 높은 것은 칼륨, 나트륨, 구리, 망간으로 나타났으나 품종 간의 유의적인 차이는 없었다. Jeon 등(19)의 연구에서는 칼륨 함량이 일반품종보다 유색 감자에서 높은 수치를 보였다고 보고하였는데 본 연구에서도 유의적인 차이는 나타나지 않았으나 자색시료에서 높게 나타났으며 이는 자색 돼지감자가 일반 돼지감자보다 고혈압 등 성인병을 예방할 수 있는 기능성 식품으로서 가치가 있을 것으로 생각한다.

유리아미노산 함량

일반 및 자색 건조 돼지감자의 유리아미노산 함량을 나타

낸 결과는 Table 3에 제시하였다. 돼지감자에 가장 많이 함유된 아미노산은 품종과 관계없이 arginine이었고, 다음으로 asparagine, aspartic acid, γ -amino-*n*-butyric acid 순으로 나타났다. 또한, 일반시료보다 자색시료에서 유의적으로($P<0.05$) 높게 나타난 아미노산은 cystine, leucine, tyrosine이었고, 이와는 반대로 일반시료가 자색시료보다 유의적으로($P<0.05$) 높게 나타난 아미노산은 phospho-ethanolamine으로 나타났다. 총아미노산의 함량은 일반시료보다 자색시료에서 높게 나타났으나 유의적인 차이는 없었다. 돼지감자의 품종에 따른 유리아미노산을 연구한 결과가 없으므로 타 연구와 비교하기는 어려웠다.

Table 3. Free amino acids of dried Jerusalem artichoke (unit: mg/100 g)

Free amino acids	White	Purple	t-value
Phosphoserine	5.21±1.01 ¹⁾	5.50±0.75	-2.31
Taurine	- ²⁾	-	-
Phosphoethanolamine	11.63±5.98	3.97±1.82	2.12*
Urea	-	-	-
Aspartic acid	306.99±8.14	278.09±9.91	3.90
Hydroxyproline	-	-	-
Threonine	69.34±6.04	91.35±3.25	-5.55
Serine	33.54±4.07	60.33±3.06	-9.10
Asparagine	605.28±20.19	812.38±33.72	-9.13
Glutamic acid	59.21±2.89	80.82±9.81	-3.66
Sarcosine	-	-	-
α -Aminoadipic acid	-	-	-
Proline	68.01±1.18	46.32±2.64	12.99
Glycine	4.94±0.43	7.18±0.26	-7.69
Alanine	45.23±2.01	50.49±0.92	-4.11
Citrulline	-	-	-
α -Aminobutyric acid	-	-	-
Valine	51.26±1.04	85.12±3.49	-16.12
Cystine	0.55±0.07	0.99±0.26	-2.83*
Methionine	1.55±0.72	1.61±0.48	-0.11
Cystathionine	-	-	-
Isoleucine	32.79±1.55	56.21±1.59	-18.26
Leucine	51.48±0.57	120.61±3.03	-38.82*
Tyrosine	21.56±1.18	30.88±18.54	-0.87*
phenylalanine	69.79±2.39	98.13±1.28	-18.13
Homocystine	-	-	-
β -Alanine	0.33±0.09	0.42±0.05	-1.45
β -Aminoisobutyric acid	1.45±0.53	1.34±0.15	0.34
γ -Amino- <i>n</i> -butyric acid	228.43±16.56	259.14±16.35	-2.29
Histidine	51.04±2.74	55.70±4.68	-1.49
1-Methylhistidine	-	-	-
3-Methylhistidine	-	-	-
Carnosine	-	-	-
Anserine	-	-	-
Tryptophan	52.22±1.94	55.83±0.91	-2.92
Hydroxylysine	-	-	-
Ornithine	1.83±0.42	2.80±0.17	-3.64
Lysine	25.37±0.84	50.54±1.82	-21.78
Ethanolamine	12.77±0.81	9.21±0.59	6.13
Arginine	1,187.16±18.82	1,197.33±33.15	-0.46
Total	2,998.98±56.71	3,462.39±115.59	-6.23

¹⁾Mean±SD (n=3). ²⁾-: not detected. * $P<0.05$ by t-test.

Table 4. Hunter color of dried Jerusalem artichoke

	White	Purple	t-value
L	54.43±0.90 ^{NS(2,3)}	71.53±3.34	-8.57
a	2.84±0.58	3.01±0.47	-0.39
b	23.23±2.01	25.68±0.76	-1.97

¹⁾Mean±SD (n=3). ²⁾Not significant.

색도

Table 4는 건조 돼지감자 두 가지 종류의 색도를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 명도(L)의 경우 일반시료는 54.43, 자색시료는 71.53으로 자색시료의 명도가 높았으나 유의적인 차이는 없었다. 적색도(a) 역시 일반시료 2.84, 자색시료 3.01로 나타났으나 차이가 없었고, 황색도(b)는 일반시료 23.23, 자색시료 25.68로 자색시료가 높았으나 유의성은 없었다. 모든 색도는 일반시료보다 자색시료에서 높게 나타났으나 품종에 따른 유의적 차이는 없는 것으로 나타났다. Jeon 등(19)은 유색 감자의 색소형성 정도는 계통에 따라 다양하다고 보고하였으며, 유색 감자의 계통별 횡단면의 특징에 따라 Type A에서 D까지 분류하였으며, 33가지 계통으로 분류하였는데 본 연구에 사용된 자색 돼지감자는 Type A로 자색소가 거의 형성되지 않아 육질의 색깔은 거의 일반품종과 같으며, 표피 색깔만 자색을 띠고 있는 계통이라고 볼 수 있다. 색도측정에서도 Type A 유색 감자는 일반 감자와 유의적인 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. 그러므로 다른 식품과는 달리 본 연구에서 측정된 자색 돼지감자의 색은 일반 돼지감자와 비교하여 껍질만 조금 차이가 날 뿐 가식 부분은 크게 차이가 나지 않는 데서 비롯된 것으로 볼 수 있다. Kim 등(20)은 돼지감자 분말 첨가량에 따른 부침개의 색도를 측정된 결과 첨가량이 늘어날수록 부침개의 밝기(L value)는 감소하며 적색도(a value)와 황색도(b value)는 유의적으로 증가하는 경향을 보였다고 보고하였는데 분말을 첨가한 부침가루의 경우이고 돼지감자의 경우 타 연구에서 색도측정을 한 연구가 없어 비교하기는 어려웠다.

총페놀 함량

일반과 자색 돼지감자의 총페놀 함량을 나타낸 결과는 Fig. 1과 같다. 일반 돼지감자 추출물 0.1, 0.5 및 1.0 mg/mL 함량은 13.83, 17.90 및 22.60 µmol GAE의 총페놀 함량을 나타내었고(R값 0.99998), 일반 돼지감자 추출물과 총페놀 함량 간의 회귀분석은 $Y=9.4051x+12.928$ 로 나타났다. 자색 돼지감자 추출물 0.1, 0.5 및 1.0 mg 함량은 49.45, 68.20 및 93.89 µmol GAE의 총페놀 함량을 나타내었고(R값 0.99958), 자색 돼지감자 추출물과 총페놀 함량 간의 회귀분석은 $Y=49.377x+43.862$ 를 나타냈다. 전체적으로 폴리페놀 함량은 모든 추출물의 농도에서 자색시료가 일반시료보다 유의적으로($P<0.05$) 높게 나타났다. Tchone 등(21)은 건조된 돼지감자에서 esculin, gentisic, catechin,

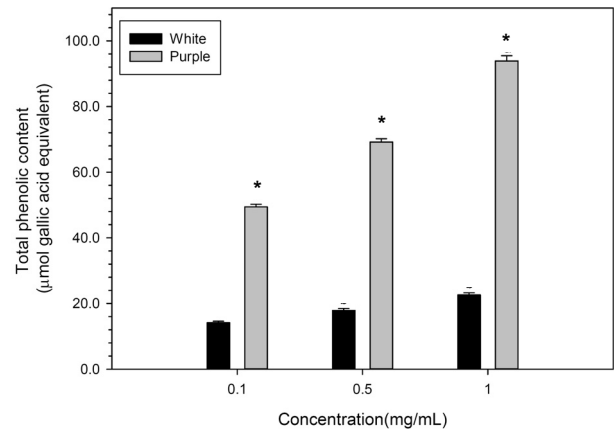


Fig. 1. Total phenolic contents of dried Jerusalem artichoke. Data results were expressed in terms of µmol gallic acid equivalent. Each bar represents the mean±SD of triplicate determinations. * $P<0.05$.

chlorogenic acid, vanillic acid, epicatechin, salicylic acid 등의 페놀성 화합물 22종을 분리 및 동정하여 연구 보고하였다. 또한, Kim 등(22)이 돼지감자 분말을 첨가한 쌀 스펀지케이크의 항산화 활성을 측정된 결과 돼지감자 분말의 첨가량이 증가할수록 총페놀화합물 함량도 유의적으로 증가한다고 보고하여 돼지감자 분말이 항산화 활성이 있음을 나타냈다. Kim 등(8)의 연구에서는 돼지감자 잎에 포함된 총폴리페놀 함량을 측정된 결과, 에탄올 추출물(94±2.03 mg/GAE/g extract)이 물 추출물(89.6±1.96 mg/GAE/g extract)보다 더 많은 총폴리페놀 함량을 포함한다고 보고하여 돼지감자 잎에서도 항산화 활성이 있음을 보고하였고, Jeong 등(23)은 열처리 조건에 따른 돼지감자의 항산화 활성 연구에서 가열온도에 따라 총페놀 함량이 달라짐을 보고하였다. 또한, 생돼지감자의 수율은 본 연구와 같은 메탄올 용액으로 추출한 결과 열처리 전 17%로 나타났으며, 열처리 방법과 시간에 따라 30%까지 나타났음을 보고하였는데 본 연구에서는 건조 돼지감자를 메탄올 처리한 결과 수율이 일반 돼지감자 58.5%, 자색 돼지감자는 19.5%로 크게 차이를 나타냈으며, 수분 함량을 고려해 볼 때 Jeong 등(23)의 수율이 85% 정도로 높게 나타나 본 연구와 같이 일반 돼지감자의 경우 메탄올 용액의 추출수율이 아주 높게 나타남을 알 수 있었다. 그러나 자색 돼지감자의 경우 일반 돼지감자보다 아주 낮게 나타났는데 이는 자색 돼지감자에 관한 연구가 없어 비교하기가 어려웠으며, 앞으로 이에 관한 연구가 필요하다고 볼 수 있다. 앞선 연구들에서 돼지감자와 잎에서 항산화 활성이 있음을 나타냈으며, 본 연구에서 돼지감자의 품종별 총페놀 함량에서 일반시료보다 자색시료에서 항산화 활성이 더 높은 것으로 나타났다.

ABTS assay

총페놀 함량을 제외한 모든 항산화 활성은 Trolox equivalent로 나타냈으며, 일반시료와 ABTS 간의 회귀분석은

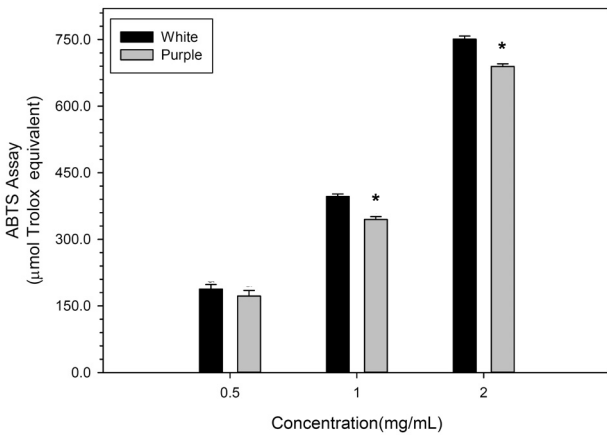


Fig. 2. 2,2-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) assay of dried Jerusalem artichoke. Data results were expressed as in terms of μmol Trolox equivalent. Each bar represents the mean \pm SD of triplicate determinations. * P <0.05.

$Y=374.6x+10.375$, R^2 은 0.9983, 자색시료와 ABTS 간 회귀분석은 $Y=345.27x+2.0$, R^2 은 0.9999로 나타났으며, Fig. 2는 일반과 자색 돼지감자의 ABTS 분석을 나타낸 결과이다. 추출물 농도 0.5 mg/mL에서는 일반시료(187.75 μmol TE)와 자색시료(172.35 μmol TE) 간의 유의적인 차이가 없었으나 1~2 mg/mL 농도에서는 다른 항산화 활성법과 달리 자색시료(각각 340.7, 689.4 μmol TE)보다 일반시료(각각 396.25, 751 μmol TE)에서 유의적으로(P <0.05) 높게 나타났다. Kim 등(8)이 돼지감자 잎의 물 추출물과 에탄올 추출물 모두 5.0 mg/mL 시료의 농도에서 ABTS 라디칼 소거능이 각각 66.41%, 53.37%의 활성을 나타내었으며, 대조군으로 사용된 BHT와 비교하여 낮은 활성을 보였으나 Jeon 등(24)의 고춧잎 물 추출물보다 두 배 이상 높은 ABTS 라디칼 소거 활성을 나타내었다고 보고하였다. Kim 등(9)도 추출방법에 따른 돼지감자 잎의 ABTS 라디칼 소거 활성 비교에서 농도가 낮은 0.1 mg/mL에서는 추출방법에 따른 모든 추출물이 대조군보다는 낮은 활성을 나타냈으나, 0.5 mg/mL 이상의 농도에서는 추출방법과는 상관없이 대조군과 유사하거나 높은 활성을 나타냈다고 보고하였다. 본 연구에서는 시료의 농도가 다르고 소거 활성이 아닌 분석치로 나타나 비교하기가 어려웠다.

DPPH 라디칼 소거 활성

일반시료와 DPPH 라디칼 간의 회귀분석은 $Y=15.17x+40.05$, R^2 은 0.9994, 자색시료와 DPPH 라디칼 사이의 회귀분석은 $Y=17.38x+80.56$, R^2 은 0.9993으로 나타났으며, Fig. 3은 일반 및 자색 돼지감자의 DPPH 라디칼 소거 활성을 나타낸 결과이다. 추출물 5, 10, 20 mg/mL 농도에 따른 돼지감자의 DPPH 라디칼 소거 활성은 자색시료(각각 191.06, 270.56, 429.56 μmol TE)가 일반시료(각각 127.05, 199.55, 344.55 μmol TE)보다 유의적으로(P <0.05) 높게 나타났다. Kim 등(22)이 돼지감자 분말을 첨가한 쌀 스펀지케이크의

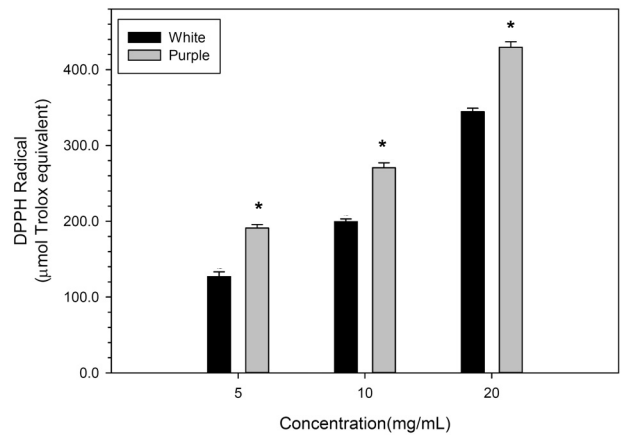


Fig. 3. 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical of dried Jerusalem artichoke. Data results were expressed as in terms of μmol Trolox equivalent. Each bar represents the mean \pm SD of triplicate determinations. * P <0.05.

항산화 활성을 측정한 결과 돼지감자 분말의 첨가량이 증가할수록 DPPH 라디칼 소거능도 유의적으로 증가한다고 보고하여 돼지감자 분말이 항산화 활성이 있음을 나타냈다. Kim 등(20)의 연구에서도 돼지감자 분말의 첨가량이 증가할수록 부침가루의 라디칼 소거능이 유의적으로 증가하는 경향을 보였다고 하였으며, Yuan 등(25)의 연구에서도 돼지감자 잎의 3-O-caffeoyl quinic acid, 1,5-dicaffeoylquinic acid와 같은 페놀 물질들이 강력한 자유라디칼 소거능에 기여한다고 하였는데, 돼지감자의 품종에 따른 연구는 보고되지 않아 비교하기 어려웠다. 또한, 뿌리채소인 감자와 고구마의 경우 일반과 자색의 항산화 활성을 비교한 연구는 없어 고찰하기가 어려웠으나, 자색감자 또는 자색고구마 추출물의 항산화 활성을 측정한 연구에서 Kwak 등(26)은 자색고구마 추출물의 항산화 활성이 농도 의존적으로 증가하는 것은 자색고구마에 들어있는 페놀화합물과 안토시아닌 색소가 라디칼 소거 활성의 주요 물질로 작용하였음을 보고하였는데 본 연구에서도 일반시료보다 자색시료에서 항산화 활성이 높게 나타난 것은 Kwak 등(26)의 연구에서 보고한 것과 유사하리라고 생각한다.

FRAP assay

일반시료와 FRAP 간의 회귀분석은 $Y=1.351x+32.527$, R^2 은 0.9999, 자색시료와 FRAP 사이의 회귀분석은 $Y=2.5926x+21.393$, R^2 은 0.9999로 나타났으며, 일반 및 자색 돼지감자의 FRAP assay를 나타낸 결과는 Fig. 4와 같다. 추출물 농도 10 mg/mL에서는 일반(45.63 μmol TE)과 자색시료(46.5 μmol TE) 간 차이가 없었으며, 50, 100 mg/mL에서는 일반시료(각각 100.83, 167.33 μmol TE)보다 자색시료(각각 152.5, 280 μmol TE)에서 유의적으로(P <0.05) 높게 나타났다. Kim 등(8)은 돼지감자 잎의 물 추출물이 에탄올 추출물보다 높은 효과를 보였을 뿐만 아니라 대조군인 BHT와도 거의 비슷한 활성을 나타내었다고 보고하였다.

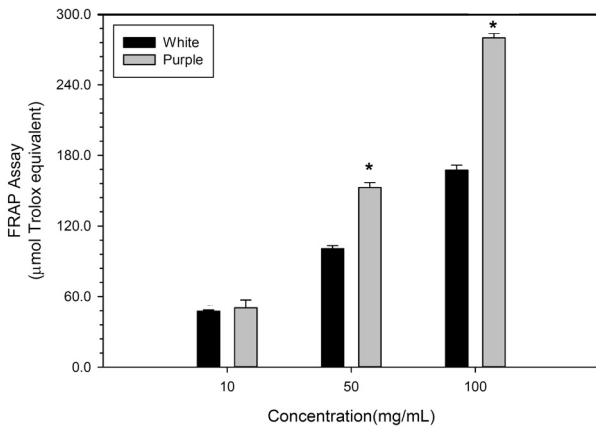


Fig. 4. Ferric-reducing antioxidant power (FRAP) assay of dried Jerusalem artichoke. Data results were expressed as in terms of μmol Trolox equivalent. Each bar represents the mean \pm SD of triplicate determinations. * P <0.05.

FRAP법은 전자공여 능력을 통해 산화 활성을 검증하는 방법의 하나로 즉 산화제로 작용하는 Fe^{3+} 와 항산화제와의 반응을 통해 생성된 Fe^{2+} 를 흡광도를 통해 정량할 방법(8)으로 본 연구에서 측정된 모든 항산화 활성에서 일반시료가 자색시료보다 높게 나타났으나 유일하게 FRAP법으로 측정된 결과에서는 일반시료보다 자색시료에서 높게 나타난 것을 알 수 있었다.

ORAC assay

회귀분석은 일반시료와 ORAC 간 $Y=75.9x+13.122$, R 값 0.99995, 자색시료와 ORAC 사이에는 $Y=87.7x+3.068$, R 값 0.99991로 나타났다. Fig. 5에서는 일반과 자색 돼지감자의 ORAC assay에 의한 항산화 활성을 나타낸 결과이다. 추출물 농도 2, 4 mg/mL에서는 일반시료(각각 164.93, 316.73 μmol TE)와 자색시료(178.47, 353.87 μmol TE) 간 유의적인 차이가 없었으며, 추출물 농도 8 mg/mL에서는 자색시료(704.67 μmol)가 일반시료(620.33 μmol)보다 유의적으로(P <0.05) 높게 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 낮은 농도에서는 일반시료와 자색시료 간의 차이가 없음을 알 수 있었으며, 높은 농도에서는 자색시료의 ORAC 활성이 높은 것을 알 수 있었다. ORAC assay는 형광 표지물질에 대한 프리라디칼의 손상 정도를 측정하는 일종의 inhibition method로서 추출물 내에 항산화 물질이 존재하게 되면 이들 농도에 비례하여 프리라디칼 손상이 억제되며 형광도의 감소가 억제되는 총항산화능 평가 방법이다(27). Jang 등(27)은 자연산 산삼, 산양삼, 인삼의 ORAC 활성을 연구한 결과 산양삼> 산삼> 인삼의 순서로 나타났고 이는 추출물 농도에 의존적이었으며 총페놀 함량과 같은 결과를 나타낸다고 하였는데, 본 연구에서는 총페놀 함량이 낮은 농도에서도 일반시료보다 자색시료에서 유의적으로 높게 나타나는 결과와 달리 추출물의 농도가 높아야 ORAC 활성이 높아짐을 알 수 있었다.

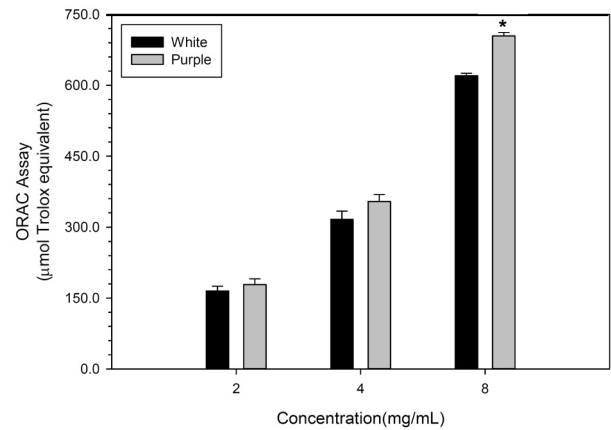


Fig. 5. Oxygen radical absorbance capacities (ORAC) assay of dried Jerusalem artichoke. Data results were expressed as in terms of μmol Trolox equivalent. Each bar represents the mean \pm SD of triplicate determinations. * P <0.05.

요 약

본 연구는 일반과 자색 건조 돼지감자의 일반성분, 무기질 함량, 유리아미노산 함량, 색도, 항산화 활성을 측정하였다. 돼지감자의 일반성분은 품종과 관계없이 탄수화물, 조단백, 회분, 수분 함량 순으로 높았으며, 색의 차이는 나타나지 않았다. 돼지감자의 품종과 관계없이 가장 높은 무기질은 칼륨이었고, 다음으로 칼슘, 마그네슘, 나트륨, 철분 순으로 나타났다. 일반시료가 자색시료보다 높은 무기질은 칼슘, 마그네슘, 철분, 아연이었고 자색이 일반보다 높은 것은 칼륨, 나트륨, 구리, 망간으로 나타났으나 품종 간의 유의적인 차이는 없었다. 돼지감자에 가장 많이 함유된 아미노산은 품종과 관계없이 arginine이었고, 다음으로 asparagine, aspartic acid, γ -amino-*n*-butyric acid 순으로 나타났다. 또한, 일반시료보다 자색시료에서 유의적으로(P <0.05) 높게 나타나는 아미노산은 cystine, leucine, tyrosine이었고, 일반시료가 자색시료보다 유의적으로(P <0.05) 높게 나타나는 아미노산은 phosphoethanolamine으로 나타났다. 색도의 경우 L, a, b 모두 일반시료보다 자색시료에서 높게 나타났으나 유의적 차이는 없었다. 항산화 활성에서는 방법론 중 ABTS assay를 제외하고는 모든 활성에서 자색시료가 일반시료에 비해 항산화 활성이 높게 나타났다. 일부 FRAP와 ORAC assay의 경우 추출물의 낮은 농도에서는 일반시료와 자색시료 간 차이가 없는 것으로 나타났으며, 자색시료의 경우 높은 농도에서 항산화 활성이 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2014년도 전남대학교 학술연구비 지원(2014-2249)에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- Shin SH, Kwon SJ, Jo HJ, Go D, Han J. 2012. Extraction and analysis of inulin from Jerusalem artichoke. *Food Science and Industry* 45(4): 50-58.
- Kim SH. 2014. Jerusalem artichoke and inulin. *J Korean Diabetes* 15: 227-231.
- Jhon DY, Kim MH. 1988. Studies inulase from Jerusalem artichoke. *J Korean Soc Food Nutr* 17: 205-210.
- Chae EM, Chol EH. 1991. Optimization for alcohol fermentation by *Kluyveromyces marxianus* using Jerusalem artichoke powder. *Kor J Appl Microbiol Biotechnol* 19: 265-271.
- Rosengard BR, Cochrane DE. 1983. Complement-mediated cytolysis: a quick, simple method for determining levels of immunoglobulin E bound to mast cells. *J Histochem Cytochem* 31: 441-444.
- Jeong HJ, Kim JS, Sa YJ, Kim MO, Yang J, Kim MJ. 2011. Antioxidant activity and α -glucosidase inhibitory effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) methanol extracts by heat treatment conditions. *Korean J Med Crop Sci* 19: 257-263.
- Kang SI, Han JI, Kim KY, Oh SJ, Kim SI. 1993. Changes in soluble neutral carbohydrates composition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers according to harvest date and storage temperature. *J Korean Agric Chem Soc* 36: 304-309.
- Kim YS, Lee SJ, Hwang JW, Kim EH, Park PJ, Jeon BT. 2011. Antioxidant activity and protective effects of extracts from *Helianthus tuberosus* L. leaves on *t*-BHP induced oxidative stress in Chang cells. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 1525-1531.
- Kim JW, Kim JK, Song IS, Kwon ES, Youn KS. 2013. Comparison of antioxidant and physiological properties of Jerusalem artichoke leaves with different extraction processes. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42: 68-75.
- Park HS. 2010. Quality characteristics of *Sulgidduk* by the addition of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) powder. *Korean J Culinary Res* 16: 259-267.
- Park HY, An NY, Ryu HK. 2013. The quality characteristics and hypoglycemic effect cookies containing *Helianthus tuberosus* powder. *Korean J Community Living Sci* 24: 233-241.
- Shin JY, Byun MW, Noh BS, Choi EH. 1991. Noodle characteristics of Jerusalem artichoke added wheat flour and improving effect of texture modifying agents. *Korean J Food Sci Technol* 23: 538-545.
- Park GS. 2014. Optimization of muffin preparation upon addition of Jerusalem artichoke powder and oligosaccharide by response surface methodology. *Korean J Food Cult* 29: 101-110.
- Cieřlik E, Gębusia A, Florkiewicz A, Mickowska B. 2011. The content of protein and of amino acids in Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.) of red variety Rote Zonenkugel. *Acta Sci Pol Technol Aliment* 10: 433-441.
- AOAC. 1990. *Official methods of analysis*. 15th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. p 31.
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol* 299: 152-178.
- Thaipong K, Boonprakob U, Crosby K, Cisneros-Zevallos L, Byrne DH. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *J Food Compos Anal* 19: 669-675.
- The Korean Nutrition Society. 2000. *Recommended dietary allowances for Koreans*. 7th revision. Seoul, Korea.
- Jeon TW, Cho YS, Lee SH, Cho SM, Cho HM, Chang KS, Park HJ. 2005. Studies on the biological activities and physicochemical characteristics of pigments extracted from Korean purple-fleshed potato. *Korean J Food Sci Technol* 37: 247-254.
- Kim GC, Kim HS, Jo IH, Kim JS, Kim KM, Jang YE. 2013. Qualitative characteristics and antioxidant activities of *Buchingaru* supplemented with Jerusalem artichoke powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42: 1065-1070.
- Tchone M, Barwald G, Annemuller G, Fleischer LG. 2006. Separation and identification of phenolic compounds in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Sci Aliments* 26: 394-408.
- Kim MK, Lee EJ, Kim KH. 2014. Effects of *Helianthus tuberosus* powder on the quality characteristics and antioxidant activity of rice sponge cakes. *Korean J Food Cult* 29: 195-204.
- Jeong HJ, Kim JS, Sa YJ, Kim MO, Yang J, Kim MJ. 2011. Antioxidant activity and α -glucosidase inhibitory effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) methanol extracts by heat treatment conditions. *Korean J Med Crop Sci* 19: 257-263.
- Jeon G, Han J, Choi Y, Lee SM, Kim HT, Lee J. 2008. Antioxidant and antiproliferative activity of pepper (*Capsicum annuum* L.) leaves. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 1079-1083.
- Yuan X, Gao M, Xiao H, Tan C, Du Y. 2012. Free radical scavenging activities and bioactive substances of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) leaves. *Food Chem* 133: 10-14.
- Kwak JH, Choi GN, Park JH, Kim JH, Jeong HR, Jeong CH, Heo HJ. 2010. Antioxidant and neuronal cell protective effect of purple sweet potato extract. *J Agric Life Sci* 44: 57-66.
- Jang HY, Park HS, Kwon KR, Rhim TJ. 2008. A study on the comparison of antioxidant effects among wild ginseng, cultivated wild ginseng, and cultivated ginseng extracts. *J Pharmacopuncture* 11: 67-78.