

국내산 자주색 참마 추출물의 항산화 활성

김현정 · 김명현* · †한영실**

숙명여자대학교 식품영양학과 석사 졸업, *숙명여자대학교 식품영양학과 강사, **숙명여자대학교 식품영양학과 교수

Antioxidant Activities of Purple Yam (*Dioscorea alata* L.) Extract

Hyeon Jeong Kim, Myung Hyun Kim* and †Young Sil Han**

Master of Science, Dept. of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Korea

*Part-Time Instructor, Dept. of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Korea

**Professor, Dept. of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Korea

Abstract

The purpose of this study was to confirm the possibility of using Korean purple yam (*Dioscorea alata*) as proximate composition, material, and antioxidant activity. In the proximate composition of the freeze-dried purple yam powder, the carbohydrate content was the highest at 86.67%, and in minerals, potassium showed the highest content at 1,765.69 mg/100 g. To study the antioxidant activity of purple yam, distilled water and 70% ethanol were used as extraction solvents. The total polyphenol, total flavonoid, and total anthocyanin contents were 1.3~1.6 times higher in 70% ethanol extract, than in the distilled water extract. As a result of ORAC, DPPH and ABTS radical scavenging activity, SOD activity, and reducing power, the 70% ethanol extract showed higher antioxidant activity than the distilled water extract in all results. As a result of freeze-drying purple yam and measuring antioxidant activity by extraction solvents, it is concluded that purple yam can contribute to the food industry as a natural antioxidant and health functional material.

Key words: purple yam, *Dioscorea alata*, proximate composition, antioxidant activity, extraction solvent

서 론

활성산소(reactive oxygen species, ROS)는 대사과정에서 생성되는 물질이지만, 조직이나 인체 내 세포에 손상을 유발하여 노화와 각종 만성 질환을 촉진시키는 것으로 알려져 있다(Shim 등 2005; Lee 등 2007). 이러한 활성산소에 의한 생체 산화를 방지하기 위해 항산화 활성 물질로서 합성 항산화제 및 천연 항산화제가 개발되고 있다(Hyun 등 2019; Lee YR 2021). 기능성 식품에서 활성산소종들을 제거하기 위해 합성 항산화제인 BHT(butylated hydroxytoluene), BHA(butylated hydroxyanisole), PG(propyl gallate) 등을 사용하였지만, 세포 내 독성이 보고되어 보다 안전하고 강한 천연 항산화제의 연구가 이루어지고 있다(Kim 등 2015). 천연 항산화제는 식물

의 나무, 뿌리, 줄기, 잎, 열매, 씨앗 등에 존재하며, 대부분 페놀성 항산화성 화합물로 유리라디칼의 활성을 저해하거나 생성을 지연시키는 항산화 성분으로 작용한다(Lee YR 2021).

자주색 참마(*Dioscorea alata*)는 마의 한 종류로 자주색과 붉은색을 띠는 덩이뿌리 채소이다(Zhang 등 2018). 주로 열대 및 아열대 지역인 동남아시아와 중국, 일본 등에 널리 분포하고 있으며(Kwon 등 2010; Srivichai & Hongprabhas 2020), 현재 우리나라에서도 재배되기 시작하였다. 자주색 참마에는 mucin, allantoin, choline과 같은 기능성 성분이 다량 함유되어 있다고 보고되었다(Fang 등 2011; Liu 등 2019). 특히, 높은 항산화 활성을 나타내는 안토시아닌이 함유되어 있으며, 자주색 참마의 안토시아닌은 cyanidin 3-O-gentiobioside와 같은 cyanidin 기반으로 알려져 있다(Moriya 등 2015; Srivichai &

† Corresponding author: Young Sil Han, Professor, Dept. of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Korea. Tel: +82-2-710-9471, Fax: +82-2-710-9479, E-mail: yshan@sookmyung.ac.kr

Hongsprabhas 2020). 자주색 참마는 항균, 항산화, 항혈전 등과 같은 다양한 생리활성이 알려져 있으나(Kwon 등 2010), 국내산 자주색 참마에 대한 이화학적 및 추출 용매별 연구는 아직도 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 자주색 참마 추출물을 기능성 식품산업의 소재로 활용할 기초자료를 제공하고자 자주색 참마의 일반성분 및 무기질을 분석하고, 추출 용매를 달리하여 항산화 활성을 연구하였다.

재료 및 방법

1. 자주색 참마 추출물 제조

본 연구에서 사용한 자주색 참마는 2020년 영주시에서 수확한 것을 구입하여 실험에 사용하였다. 자주색 참마는 세척하여 껍질을 제거한 후, 동결 건조(MCFA 8508, Ilshin Bio Base, Yangju, Korea)하였다. 건조된 자주색 참마는 분쇄하여 체친 후, deep freezer(New Brunswick Scientific Co., Edison, NJ, USA)에 보관하여 사용하였다.

자주색 참마의 항산화 활성 측정을 위해 추출물을 제조하였으며, 추출용매는 증류수와 70% ethanol을 사용하였다. 자주색 참마 분말 50 g을 삼각 플라스크에 담아 각각 20배의 용매를 가하였으며, 24°C의 shaking incubator(SI-900R, JEIO TECH, Kimpo, Korea)에서 120 rpm, 24시간 동안 상온교반추출을 3회 반복하여 추출액을 얻었다. 추출액은 농축기(NVC-2100, EYELA, Tokyo, Japan)로 농축하고, 동결건조하여 시료로 사용하였다. 용매별 추출 수율은 건조중량을 기준으로 환산하여 구하였다.

2. 실험 시약

본 연구에는 Folin & Ciocalteu's phenol reagent, 2,2'-azino-bis diammonium salt, potassium persulfate, gallic acid, rutin 등이 항산화 실험에 사용되었다. 모든 시약은 Sigma aldrich chemical Co.(St. Louis, MO, USA), Duksan pharmaceutical Co.(Ansan, Korea), Junsei chemical Co.(Nihon-bashi, Tokyo, Japan)의 1급 시약을 사용하였다.

3. 자주색 참마의 일반성분 분석

동결건조된 자주색 참마의 일반 분석은 AOAC(2010)법에 준하여 분석하였으며, 수분, 조단백질, 조지방, 조회분, 탄수화물 함량을 구하였다. 수분은 적외선 수분측정기(MB45 Moisture Analyzer, Ohaus Corporation, Zurich, Switzerland)를 이용하였다. 조단백질은 micro-Kjeldahl 질소 정량법, 조지방은 Soxhlet's 추출법, 조회분은 직접회화법으로 분석하였고, 탄수화물 함량은 100에서 수분, 조단백질, 조지방, 조회분의 함량을 제외하는 차감법을 이용하여 계산하였다.

4. 자주색 참마의 무기질 함량 분석

자주색 참마의 무기질 함량은 AACC(2012)의 방법에 준하여 ICP-OES spectrometer(OPTIMA 8300, PerkinElmer, Waltham, MA, USA)를 이용하여 분석하였다. 시료는 microwave digestion system(C900, Ctrl-M Scientific, Cerritos, CA, USA)를 사용하여 습식 분해하였다. 시료는 0.1 g을 채취하여 teflon vessel에 담고, 2% 질산용액 3 mL와 증류수를 넣어 30분간 방치 후 microwave에서 분해하였다. 분해 후 시료는 50 mL volumetric flask에 정용하여 분석하였다.

5. 총 폴리페놀 함량 측정

총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu법(Swain & Hillis 1959)으로 측정하였으며, gallic acid를 표준물질로 사용하여 계산하였다. 시료액 150 µL에 증류수 2.4 mL와 2 N Folin-Ciocalteu 용액 50 µL를 가한 후 3분간 반응시켰다. 반응시킨 용액에 1 N sodium carbonate 300 µL를 가하고 vortexing한다. Vortexing한 용액은 2시간 동안 암소에서 방치시킨 후 725 nm에서 흡광도(UV/VIS spectrophotometer, T60UV, PG Instruments, Wibtot, UK)를 측정하였고 mg GAE/g로 나타내었다.

6. 총 플라보노이드 함량 측정

총 플라보노이드 함량은 Davis 변법(Chang 등 2002)에 준하여 실험하였으며, rutin을 표준물질로 사용하여 검량선을 작성한 뒤 계산하였다. 시료액 1 mL에 90% diethylene glycol 10 mL와 1 N NaOH 1 mL를 가한 뒤, 37°C의 water bath에서 1시간 동안 반응시켰다. 반응시킨 용액은 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. 실험은 3회 반복하여 평균값 및 표준편차를 구하였으며, mg RE/g로 나타내었다.

7. 총 안토시아닌 함량 측정

총 안토시아닌 함량은 Hosseinian 등(2008)의 pH differential method에 준하여 실험하였다. 시료액 0.5 mL에 0.025 M potassium chloride buffer(pH 1.0)와 0.4 M sodium acetate buffer(pH 4.5)를 각각 가하여 최종부피를 1 mL로 맞추어 510 nm와 700 nm에서 흡광도를 각각 측정하였다. 총 안토시아닌 함량은 cyanidin-3-glucoside의 몰 흡광계수($\epsilon=269,000\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하였으며, 다음과 같은 식에 따라 산출하였다.

$$\text{Total anthocyanin content (mg/kg)} = A \times \text{MW} \times D \times 1000 \div \epsilon \times V$$

$$A \text{ (absorbance value)} = (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}}) \text{ at pH 1.0} - (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}}) \text{ at pH 4.5}$$

$$\text{MW (molecularweight of cyanidin-3-glucoside)} = 449.2$$

D (dilution factor) = dilution ratio of sample
 ϵ (cyanidin-3-glucoside molar absorbance) = $269,000 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$
 V = final volume of sample

8. ORAC(Oxygen radical absorbance capacity) 측정

ORAC은 Ou 등(2001)의 방법을 변형하여 진행하였다. 시료의 희석과 표준물질의 시약 제조는 phosphate buffer(pH 7.4)를 이용하였으며, 96-well plate에 시료 25 μL , fluorescein 150 μL 를 첨가한 후 37°C에서 30분간 incubation하였다. Incubation이 끝난 뒤, AAPH 25 μL 를 첨가하고 microplate reader(spectramax i3x, Molecular Devices, LA, USA)를 이용하여 485 nm에서 전자여기 후 520 nm에서 방출되는 조건으로 1분마다 120분간 fluorescence의 감소율을 측정하였다. 결과 값은 AUC(area under curve)값으로 나타낸 후 trolox를 이용한 검량선에 대입하여 나타내었다.

9. DPPH radical 소거 활성 측정

DPPH radical 소거 활성은 Blois MS(1958) 방법에 준하여 실험하였다. 시료액 900 μL 에 DPPH solution($1.5 \times 10^{-4} \text{ M}$) 300 μL 를 가하고 교반한 후 30분간 암소에서 방치시키고 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료를 첨가하지 않은 대조군의 흡광도를 사용하였으며, 다음과 같은 식을 활용하였다.

$$\text{DPPH free radical scavenging activity (\%)} = (1 - \text{Sample absorbance/control absorbance}) \times 100$$

10. ABTS radical 소거 활성 측정

ABTS radical 소거 활성은 Re 등(1999)의 방법을 변형하여 실험하였다. 7 mM ABTS와 2.45 mM potassium persulfate를 혼합하여 16시간 동안 암소에서 반응시켜 ABTS 라디칼을 생성시켰다. 라디칼이 생성된 ABTS는 734 nm에서 흡광도 값이 0.70 ± 0.02 가 되도록 PBS buffer로 희석하여 사용하였다. 시료액 100 μL 에 ABTS⁺ solution 900 μL 를 가한 후 734 nm에서 흡광도를 측정하였다.

$$\text{ABTS free radical scavenging activity (\%)} = (1 - \text{Sample absorbance/control absorbance}) \times 100$$

11. SOD(Superoxide dismutase) 활성 측정

SOD 활성은 SOD assay kit-WST(DoGenBio Co., Ltd., Seoul, Korea)를 활용하여 실험하였다. 시료는 96-well plate에 넣고 WST working solution과 enzyme working solution을 첨가하여 37°C에서 20분간 incubation하였다. Incubation이 끝난 뒤, microplate reader(Multiskan FC, Thermo Fisher Scientific, USA)

로 450 nm에서 흡광도를 측정하였다.

$$\text{SOD} = \frac{\{(A_{\text{blank1}} - A_{\text{blank3}}) - (A_{\text{sample}} - A_{\text{blank2}})\}}{(A_{\text{blank1}} - A_{\text{blank3}})} \times 100$$

12. 환원력(Reducing power) 측정

환원력은 Yildirim(2001)의 방법에 준하여 실험하였다. 시료액 2.5 mL에 0.2 M sodium phosphate buffer(pH 6.6) 2.5 mL를 가하고, 1% potassium ferricyanide 2.5 mL를 가하였다. 혼합물은 50°C water bath에서 20분간 반응시키고, 10% TCA 2.5 mL를 가하였다. 혼합물의 상등액 5 mL와 증류수 5 mL를 혼합한 뒤, 0.1% ferric chloride 1 mL를 첨가하였다. 반응액은 700 nm 흡광도에서 측정하였으며, 값은 흡광도(O.D.)값으로 나타내었다.

13. 통계처리

모든 실험의 통계분석은 SPSS statistics(ver. 25, IBM Co., Armonk, NY, USA)를 이용하여 3회 이상 측정하고 평균 및 표준편차를 구하였다. 각 샘플 간의 유의성 확인을 위하여 일원배치분산분석하고 Duncan's multiple range test 및 *t*-test를 실시하였다($p < 0.05$). 추출용매에 따른 자주색 참마의 상관관계는 상관분석을 통하여 Pearson 계수로 유의성을 검증하여 나타내었다.

결과 및 고찰

1. 자주색 참마의 일반성분 분석 및 무기질 함량

동결건조한 자주색 참마의 일반성분 분석 결과는 Table 1과 같다. 실험 결과, 자주색 참마의 수분, 조단백질, 조지방, 조회분은 각각 2.83%, 5.91%, 0.13%, 4.47%로 나타났다($p < 0.001$). 탄수화물은 차감법으로 구하였으며, 86.67%의 함량을 나타내었다. Choi WS(2012) 연구에서 둥근마와 장마의 일반성분을 측정된 결과, 둥근마와 장마는 각각 탄수화물

Table 1. Proximate composition of purple yam powder

Composition	Contents DW (%)
Moisture	2.83±0.15 ^d
Crude protein	5.91±0.01 ^b
Crude fat	0.13±0.01 ^e
Crude ash	4.47±0.01 ^e
Carbohydrate	86.67±0.18 ^a

All values are mean±S.D. (n=3).

^{a-c}Values with different letters within a column differ significantly by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

25.90%, 8.48%, 단백질 4.57%, 1.46%, 지방 0.21%, 0.23%로 나타났다. 마는 탄수화물 함량이 가장 높게 나왔으며, 이는 마의 괴근이 전분 15~20%를 포함하고 있기 때문이라고 생각된다(Kwon 등 2010).

무기질은 수분과 유기질을 제거한 나머지 성분으로 필수적인 미량영양소이다. 성장 및 생체대사에 필요하며, 반드시 일정량 이상의 섭취가 요구되어 섭취가 부족할 경우 결핍증이 나타난다(Kim 등 2014). 동결건조한 자주색 참마의 무기질 함량 분석 결과는 Table 2와 같다. 자주색 참마의 칼륨은 1,765.69 mg/100 g, 인 236.60 mg/100 g, 마그네슘 79.65 mg/100 g, 칼슘 31.52 mg/100 g, 나트륨 29.06 mg/100 g, 철 4.47 mg/100 g의 함량을 보였다. 자주색 참마는 무기질 중 칼륨 함량이 가장 높게 나타났으며, 동근마와 장마의 무기질 분석 결과에서도 칼륨 함량이 다른 무기질에 비해 가장 높게 나타난 것을 확인할 수 있었다(Choi WS 2012). 이러한 칼륨은 에너지 대사, 산·알칼리 평형 유지, 세포막의 운반작용, 골격근의 수축 이완, 혈압 유지 등에 필요하며, 중요한 생리작용을 담당하고 있다(Suter PM 1998).

2. 추출 용매에 따른 자주색 참마의 추출 수율 및 총 폴리페놀, 플라보노이드, 안토시아닌 함량

추출 용매를 달리한 자주색 참마의 추출 수율은 Table 3과 같다. 추출 용매는 증류수와 70% 에탄올을 이용하였으며, 증류수, 70% 에탄올 추출물의 추출 수율은 각각 10.00%, 11.40%로 나타났다. 70% 에탄올 추출물의 수율이 높게 나타났으며, 이는 유기용매와 물이 혼합된 용매에서 시료 속 다양한 화합물들의 용매 친화력이 높아져 나타난 현상으로 보여진다(Shin & Lee 2011). Lee 등(2008)은 연잎을 증류수, 50% 에탄올, 70% 에탄올 등 다양한 용매별로 추출을 진행하였으며, 실험 결과 70% 에탄올에서 가장 높은 추출 수율을 보였다. 이는 순수한 증류수를 용매로 활용할 때보다 지용성 성분이 추가로 용출되어 나타난 것으로 보여진다(Lee 등 2008).

Table 2. Mineral contents of purple yam powder

Mineral	Contents DW (mg/100 g)
K	1,765.69±11.81
P	236.60±1.00
Mg	79.65±0.46
Ca	31.52±0.27
Na	29.06±1.04
Fe	4.47±0.01

All values are mean±S.D. (n=3).

Table 3. Extraction yield, total polyphenol, flavonoid, anthocyanin contents of purple yam extracts with different solvents

Extraction yield and antioxidant properties	Deionized water extract	70% ethanol extract
Extraction yield (%)	10.00±0.01 ^b	11.40±0.01 ^a
Total polyphenol content (mg GAE ¹ /g)	40.62±0.48 ^b	51.01±0.59 ^a
Total flavonoid content (mg RE ² /g)	7.24±0.17 ^b	9.75±0.11 ^a
Total anthocyanin content (mg/100 g)	152.52±0.96 ^b	244.92±2.55 ^a

All values are mean±S.D. (n=3).

¹) GAE: Gallic acid equivalent.

²) RE: Rutin equivalent.

^{a,b}Values with different letters within a row significantly different by *t*-test (*p*<0.05).

페놀화합물은 천연 식물성 화합물로 hydroxyl기를 가지며, 활성산소로 일어난 산화를 억제시키는 항산화, 항균, 항암 등의 생리활성 기능을 지닌다고 보고되었다(Nozaki K 1986; Nakatani N 1990). 자주색 참마의 증류수 및 70% 에탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량은 각각 40.62 mg GAE/g, 51.01 mg GAE/g으로 70% 에탄올 추출물이 더 높은 함량을 보였다. 이는 폴리페놀이 hydroxyl group이 포함되어있는 입체구조로 유기용매와 반응하기 적합한 화합물이기 때문으로 생각된다(Kim & Han 2014). 오미자를 물, 50% 에탄올, 75% 에탄올에서 추출하여 총 폴리페놀 함량을 측정된 결과, 물에 비해 유기용매 추출 시 높은 함량을 보여 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다(Kim 등 2004).

플라보노이드는 페놀계 화합물의 총칭으로 채소류, 과일류 및 곡물에 풍부하게 함유되어 있는 것으로 보고되었다(Hertog 등 1993). 이러한 플라보노이드는 폴리페놀과 같이 활성산소를 제거하는 항산화 활성이 높고, 항암, 항염증, 항바이러스 등의 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Heim 등 2002; Williams 등 2004; Sohn 등 2008; Tsao R 2010). 자주색 참마의 증류수 및 70% 에탄올 추출물의 총 플라보노이드 함량은 각각 7.24 mg RE/g, 9.75 mg RE/g으로 나타나 폴리페놀 함량과 비슷한 경향을 보였다. 플라보노이드는 flavone, flavonol, isoflavone 등 여러 가지 생리활성 물질이 존재하며, 용매에 따라 추출되는 정도가 다르다고 알려져 있다(Seo 등 2016). Lee 등(2021) 연구에서도 재래종 병풀을 물, 70% 에탄올에 추출하여 총 플라보노이드 함량을 측정된 결과, 각각 6.46, 80.61 mg%로 70% 에탄올 추출물에서 더 높은 함량을 나타내었다.

안토시아닌은 플라보노이드 화합물로 자색, 적색, 청색 등의 색을 나타내는 천연 색소 성분이며, 주로 과일 및 채소의 잎, 줄기, 열매 등에 폭넓게 분포되어있다(Kim & Han 2016). 안토시아닌은 2차 대사산물로 식물에서 중요한 기능을 수행하며, 인체에서도 항산화 작용, 항암 효과, 항염증 등의 효능을 나타내는 것으로 보고되었다(Tsuda 등 1996; Park 등 2000; Hwang 등 2011; Choi WS 2012). 자주색 참마의 물과 70% 에탄올 추출물의 총 안토시아닌 함량은 각각 152.52 mg/100 g, 244.92 mg/100 g으로 나타났다. 물 추출물보다 70% 에탄올 추출물에서 약 1.6배 높은 안토시아닌 함량을 보였다. Lee 등 (2016)은 하니베리의 추출 용매를 달리하여 안토시아닌을 측정하고, 물로 추출하는 것보다 에탄올이 혼합된 용매에서 안토시아닌 용출이 더 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

3. 추출 용매에 따른 자주색 참마의 항산화 활성

추출 용매에 따른 자주색 참마의 항산화 활성으로는 ORAC, DPPH 및 ABTS radical 소거 활성, SOD 활성, 환원력을 실험하였으며, 실험 결과는 Table 4와 Fig. 1에 나타내었다. ORAC은 radical chain reaction에서 항산화 성분 중 free radical 소거활성을 측정하는 방법으로 hydrophilic 및 hydrophobic 성분에 모두 반응하여 전자 전달 이론과 관련되어있는 항산화 실험들보다 반응 감도가 높은 실험방법이다(Prior 등 2003; Huang 등 2005; Prior 등 2005). 자주색 참마의 물과 70% 에탄올 추출물의 ORAC 측정 결과, 250 µg/mL에서 각각 162.92, 197.73 µM TE/g으로 나타났다.

DPPH 및 ABTS radical 소거 활성은 항산화 활성을 측정하는 보편적인 방법으로 DPPH는 보라색이 노란색으로 탈색되는 것을 이용하며, ABTS는 청록색이 탈색되는 것을 활용한 방법이다(Bondet 등 1997; Kim 등 2009). 본 실험에서는 라디칼을 50% 저해하는 농도를 나타낸 IC₅₀으로 나타내었다. DPPH radical 소거 활성 실험 결과, 물과 70% 에탄올 추출물의 IC₅₀은 각각 437.29 µg/mL, 105.94 µg/mL로 나타나 에탄올 추출물이 더 높은 소거 활성을 보였다($p < 0.001$). ABTS radical 소거 활성 실험 결과, 물과 70% 에탄올 추출물의 IC₅₀은 각각

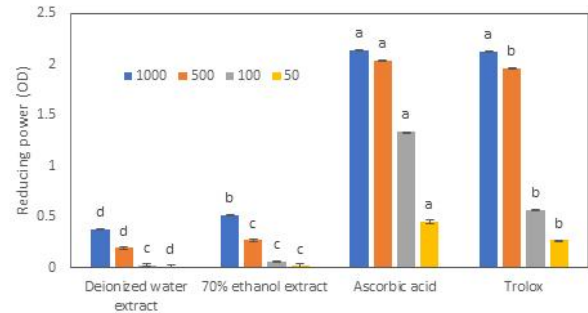


Fig. 1. Reducing power of purple yam extracts with different solvent. Different letters (^{a-d}) indicate significant differences at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

477.13 µg/mL, 307.00 µg/mL로 나타나($p < 0.001$) DPPH 실험 결과와 같이 에탄올 추출물이 더 높은 소거 활성을 보였다. DPPH 및 ABTS radical 소거 활성은 페놀성 물질 함량이 높을수록 소거 활성이 증가되는 것으로 보고되었으며, DPPH radical 소거 활성과 ABTS radical 소거 활성은 유의적인 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다(Villaño 등 2007). 추출 용매를 달리한 등근마 추출물의 실험에서도 에탄올 함량이 증가할수록 DPPH radical 소거 활성이 증가하는 경향을 보여 본 연구와 유사한 결과는 나타내었다(Choi WS 2012).

SOD는 생체 내 superoxide(O_2^-) 소거에 관여하는 효소이며, 생체에 상해를 입히는 것으로부터 보호하는 기능을 나타내는 것으로 알려져 있다(Pryor WA 1986; Kim 등 2010). 따라서 SOD 활성을 지닌 물질들은 superoxide를 제거함으로 산화적 장애 방해와 노화를 억제하는 효과가 있다(Kuramoto T 1992). 자주색 참마 추출물의 SOD 활성 실험 결과는 IC₅₀으로 나타내었으며, 앞선 실험들과 같이 70% 에탄올 추출물이 물 추출물보다 높은 활성을 보였다($p < 0.001$).

환원력은 700 nm에서 ferric-ferricyanide(Fe^{3+}) 혼합물이 수소를 공여하여 유리 라디칼을 안정화시켜 전화된 ferrous(Fe^{2+})의 환원력을 흡광도 값으로 나타낸 실험이다(Sa 등

Table 4. Antioxidant activity of purple yam extracts with different solvent

	Deionized water extract	70% ethanol extract	Ascorbic acid	Trolox
ORAC ¹⁾ (µM TE/g)	162.92±7.74 ^a	197.73±5.49 ^b	-	-
DPPH radical scavenging activity (IC ₅₀ , µg/mL)	437.29±11.23 ^a	105.94±2.44 ^b	1.77±0.05 ^c	2.19±0.12 ^c
ABTS radical scavenging activity (IC ₅₀ , µg/mL)	477.13±3.65 ^a	307.00±5.95 ^b	24.33±0.28 ^c	29.54±1.28 ^c
Superoxide dismutase activity (IC ₅₀ , µg/mL)	678.14±14.62 ^a	579.66±14.94 ^b	227.69±4.55 ^d	405.58±8.98 ^c

All values are mean±S.D. (n=3).

¹⁾ ORAC: Oxygen radical absorbance capacity.

^{a-d}Values with different letters within a row differ significantly by Duncan's multiple range test and *t*-test ($p < 0.05$).

Table 5. Correlation between the total phenolic contents and antioxidant activities of purple yam extracts with different solvent

	Total phenolic contents			Antioxidant activities				
	TPC	FC	AC	ORAC	DPPH	ABTS	SOD	RP
Total phenolic contents								
TPC ¹⁾	1.000							
FC ²⁾	0.996**	1.000						
AC ³⁾	0.997**	0.997**	1.000					
Antioxidant activities								
ORAC	0.943**	0.938**	0.951**	1.000				
DPPH	-0.993**	-0.993**	-0.998**	-0.952**	1.000			
ABTS	-0.994**	-0.994**	-0.999**	-0.950**	1.000**	1.000		
SOD	-0.961**	-0.965**	-0.973**	-0.904**	0.981**	0.981**	1.000	
RP ⁴⁾	0.997**	0.997**	0.997**	0.957**	-0.993**	-0.994**	-0.954**	1.000

¹⁾ TPC: Total polyphenol contents.

²⁾ FC: Flavonoid contents.

³⁾ AC: Anthocyanin contents.

⁴⁾ RP: Reducing power.

** $p < 0.01$.

2010). 자주색 참마 추출물의 환원력 실험 결과, 모든 시료에서 농도가 증가할수록 시료의 환원력은 모두 증가하는 경향을 보였다. 자주색 참마의 환원력은 표준물질인 ascorbic acid와 trolox보다 낮은 흡광도 값을 보였지만, 70% 에탄올 추출물의 1,000 µg/mL 농도에서의 흡광도가 ascorbic acid의 50 µg/mL 농도에서의 흡광도보다 높게 측정되어 환원력을 가진 것으로 보여진다($p < 0.001$).

4. 상관관계 분석

추출 용매별 자주색 참마 추출물의 총 폴리페놀, 플라보노이드, 안토시아닌 함량과 항산화 효과 실험 결과의 상관관계는 Table 5와 같다. 총 폴리페놀 함량과 총 플라보노이드 함량, 총 안토시아닌 함량, ORAC, 환원력은 각각 $r = 0.996$ ($p < 0.01$), $r = 0.997$ ($p < 0.01$), $r = 0.943$ ($p < 0.01$), $r = 0.997$ ($p < 0.01$)로 높은 양의 상관관계를 보였다. 총 폴리페놀 함량이 높을수록 전자공여능의 IC_{50} 값이 낮아지면서 높은 항산화 활성을 보였으며, 총 폴리페놀 함량과 DPPH radical 소거 활성, ABTS radical 소거 활성, SOD 활성은 각각 $r = -0.993$ ($p < 0.01$), $r = -0.994$ ($p < 0.01$), $r = -0.961$ ($p < 0.01$)로 높은 음의 상관관계를 나타내었다.

요약 및 결론

본 연구에서는 국내산 자주색 참마를 기능성 소재로 활용 가능성을 확인하기 위해 이화학적 특성을 측정하고, 용매별

(물, 70% 에탄올)로 추출한 후 각각에 대한 일반성분, 무기질 함량 및 항산화 활성 정도를 측정하고 비교하였다. 일반성분 분석 결과, 다른 마의 일반성분을 연구한 결과와 비슷한 값을 나타내었으며, 무기질에서는 칼륨 함량이 1,765.69 mg/100 g으로 가장 높게 나타났다. 추출 용매를 달리하여 자주색 참마를 물과 70% 에탄올로 추출한 결과, 70% 에탄올 추출물의 추출 수율이 더 높은 것으로 나타났다. 총 폴리페놀 함량, 총 플라보노이드 함량, 총 안토시아닌 함량을 측정한 결과, 물 추출물보다 70% 에탄올 추출물이 모든 실험에서 높은 함량을 보였다. 또한, 항산화 활성 실험에서도 70% 에탄올 추출물이 물 추출물보다 높은 항산화 활성을 나타내었다. 따라서 연구 결과에 기초하여 자주색 참마의 증류수 또는 70% 에탄올 추출물은 천연 항산화제로서 활용 가치가 있다고 보여진다. 또한, 다양한 식품의 원료로서 활용된다면 건강 기능성 소재로서 식품산업 분야에 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

References

- AACC. 2012. Approved Methods of AACC. 10th ed. Method 40-75.01. American Association for Clinical Chemistry
- AOAC. 2010. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th ed. Association of Official Agricultural Chemists
- Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181:1199-1200

- Bondet V, Brand-Williams W, Berset C. 1997. Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH free radical method. *LWT - Food Sci Technol* 30:609-615
- Chang CC, Yang MH, Wen HM, Chern JC. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *J Food Drug Anal* 10:178-182
- Choi WS. 2012. Development of functional beverage using yam (*Dioscorea opposita* Thunb.). *Food Ind Nutr* 17:20-22
- Fang Z, Wu D, Yu D, Ye X, Liu D, Chen J. 2011. Phenolic compounds in Chinese purple yam and changes during vacuum frying. *Food Chem* 128:943-948
- Heim KE, Tagliaferro AR, Bobilya DJ. 2002. Flavonoid antioxidants: Chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *J Nutr Biochem* 13:572-584
- Hertog MGL, Hollman PCH, van de Putte B. 1993. Content of potentially anticarcinogenic flavonoids of tea infusions, wines, and fruit juices. *J Agric Food Chem* 41:1242-1246
- Hosseini FS, Li W, Beta T. 2008. Measurement of anthocyanins and other phytochemicals in purple wheat. *Food Chem* 109:916-924
- Huang D, Ou B, Prior RL. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *J Agric Food Chem* 53:1841-1856
- Hwang YP, Choi JH, Han EH, Kim HG, Wee JH, Jung KO, Jung KH, Kwon K, Jeong TC, Chung YC, Jeong HG. 2011. Purple sweet potato anthocyanins attenuate hepatic lipid accumulation through activating adenosine monophosphate - activated protein kinase in human HepG2 cells and obese mice. *Nutr Res* 31:896-906
- Hyun JM, Jo YJ, Kim YB, Park SM, Yoon KS, Lee NH. 2019. Anti-inflammatory and anti-oxidative activities of flavonoids extracted from *Dendranthema indicum* flowers in Jeju Island. *J Korean Appl Sci Technol* 36:1259-1267
- Kim HK, Na GM, Ye SH, Han HS. 2004. Extraction characteristics and antioxidative activity of *Schizandra chinensis* extracts. *Korean J Food Cult* 19:484-490
- Kim JM, Cho ML, Seo KE, Kim YS, Jung TD, Kim YH, Kim DB, Shin GH, Oh JW, Lee JS, Lee JH, Kim JY, Lee DW, Lee OH. 2015. Effect of extraction conditions on *in vitro* antioxidant activities of root bark extract from *Ulmus pumila* L. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44:1172-1179
- Kim MG, Kim YS, Kim YS, Lee SB, Ryu KS, Yoon MH, Lee JB. 2014. A study on the content of minerals in fortified food. *J Food Hyg Saf* 29:99-104
- Kim MH, Han YS. 2016. Stability study of the pigment extract from *Yangha* (*Zingiber mioga* Rosc). *Korean J Food Cookery Sci* 32:325-332
- Kim MJ, Han YS. 2014. Antioxidant activities of *Cedrela sinensis* tender leaf powder extracts obtained from different solvents. *Korean J Food Nutr* 27:1059-1066
- Kim SI, Sim KH, Ju SY, Han YS. 2009. A study of antioxidative and hypoglycemic activities of omija (*Schizandra chinensis* Baillon) extract under variable extract conditions. *Korean J Food Nutr* 22:41-47
- Kim TY, Jeon TW, Yeo SH, Kim SB, Kim JS, Kwak JS. 2010. Antimicrobial, antioxidant and SOD-like activity effect of *Jubak* extracts. *Korean J Food Nutr* 23:299-305
- Kuramoto T. 1992. Development and application of food materials from plant extract such as SOD. *Up to date Food Process* 27:22-23
- Kwon JB, Kim MS, Sohn HY. 2010. Evaluation of antimicrobial, antioxidant, and antithrombin activities of the rhizome of various *Dioscorea* species. *Korean J Food Preserv* 17:391-397
- Lee BB, Cha MR, Kim SY, Park E, Park HR, Lee SC. 2007. Antioxidative and anticancer activity of extracts of cherry (*Prunus serrulata* var. *spontanea*) blossoms. *Plant Foods Hum Nutr* 62:79-84
- Lee KH, Yu KW, Bae YJ, Kim CY, Joo GY, Yun JH. 2021. Quality characteristics of *Centella asiatica* species and antioxidant activities of solvent extracts. *Korean J Food Nutr* 34:255-262
- Lee KS, Kwon YJ, Lee KY. 2008. Analysis of chemical composition, vitamin, mineral and antioxidative effect of the lotus leaf. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37:1622-1626
- Lee YR. 2021. Antioxidative and α -glucosidase inhibition activity of extracts fraction from *Saururus chinensis* Baill. *Korean J Food Nutr* 34:289-294
- Lee YS, Yoo JH, Lee HJ. 2016. Comparative evaluation of extraction and processing methods on antioxidative contents and radical scavenging activity of honeyberry. *Foodserv Ind J* 12:35-46
- Liu X, Lu K, Yu J, Copeland L, Wang S, Wang S. 2019. Effect of purple yam flour substitution for wheat flour on *in vitro* starch digestibility of wheat bread. *Food Chem* 284:118-124
- Moriya C, Hosoya T, Agawa S, Sugiyama Y, Kozono I, Shin-Ya K, Terahara N, Kumazawa S. 2015. New acylated anthocyanins from purple yam and their antioxidant activity.

- Biosci Biotechnol Biochem* 79:1484-1492
- Nakatani N. 1990. Recent advances in the study on natural antioxidants. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 37:569-576
- Nozaki K. 1986. Current aspect and future condition of phytogetic antioxidants. *Fragrance J* 6:99-106
- Ou B, Hampsch-Woodill M, Prior RL. 2001. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *J Agric Food Chem* 49:4619-4626
- Park SZ, Ryu SN, Han SJ, Kim HY. 2000. Antioxidant activity and varietal difference of cyanidin 3-glucoside and peonidin 3-glucoside contents in pigmented rice. *Korean J Crop Sci* 45:257-260
- Prior RL, Hoang H, Gu L, Wu X, Bacchiocca M, Howard L, Hampsch-Woodill M, Huang D, Ou B, Jacob R. 2003. Assays for hydrophilic and lipophilic antioxidant capacity (oxygen radical absorbance capacity (ORAC_{FL})) of plasma and other biological and food samples. *J Agric Food Chem* 51:3273-3279
- Prior RL, Wu X, Schaich K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J Agric Food Chem* 53:4290-4302
- Pryor WA. 1986. Oxy-radicals and related species: Their formation, lifetimes, and reactions. *Annu Rev Physiol* 48:657-667
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 26:1231-1237
- Sa YJ, Kim JS, Kim MO, Jeong HJ, Yu CY, Park DS, Kim MJ. 2010. Comparative study of electron donating ability, reducing power, antimicrobial activity and inhibition of α -glucosidase by *Sorghum bicolor* extracts. *Korean J Food Sci Technol* 42:598-604
- Seo DJ, Jeon SB, Oh H, Lee BH, Lee SY, Oh SH, Jung JY, Choi C. 2016. Comparison of the antiviral activity of flavonoids against murine norovirus and feline calicivirus. *Food Control* 60:25-30
- Shim JS, Kim SD, Kim TS, Kim KN. 2005. Biological activities of flavonoid glycosides isolated from *Angelica keiskei*. *Korean J Food Sci Technol* 37:78-83
- Shin SL, Lee CH. 2011. Screening of effective extraction conditions for increasing antioxidant activities from fronds of *Osmunda japonica*. *Korean J Plant Res* 24:174-180
- Sohn HY, Ryu HY, Jang YJ, Jang HS, Park YM, Kim SY. 2008. Evaluation of antimicrobial, antithrombin, and antioxidant activity of aerial part of *Saxifraga stolonifera*. *Korean J Microbiol Biotechnol* 36:195-200
- Srivichai S, Hongprabhas P. 2020. Profiling anthocyanins in Thai purple yams (*Dioscorea alata* L.). *Int J Food Sci* 2020:1594291
- Suter PM. 1998. Potassium and hypertension. *Nutr Rev* 56: 151-153
- Swain T, Hillis WE. 1959. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.—The quantitative analysis of phenolic constituents. *J Sci Food Agric* 10:63-68
- Tsao R. 2010. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients* 2:1231-1246
- Tsuda T, Shiga K, Ohshima K, Kawakishi S, Osawa T. 1996. Inhibition of lipid peroxidation and the active oxygen radical scavenging effect of anthocyanin pigments isolated from *Phaseolus vulgaris* L. *Biochem Pharmacol* 52:1033-1039
- Villaño D, Fernández-Pachón MS, Moyá ML, Troncoso AM, García-Parrilla MC. 2007. Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical. *Talanta* 71:230-235
- Williams RJ, Spencer JPE, Rice-Evans C. 2004. Flavonoids: Antioxidants or signalling molecules? *Free Radic Biol Med* 36:838-849
- Yıldırım A, Mavi A, Kara AA. 2001. Determination of antioxidant and antimicrobial activities of *Rumex crispus* L. extracts. *J Agric Food Chem* 49:4083-4089
- Zhang J, Tian H, Zhan P, Du F, Zong A, Xu T. 2018. Isolation and identification of phenolic compounds in Chinese purple yam and evaluation of antioxidant activity. *LWT* 96:161-165

Received 26 July, 2022
Revised 10 August, 2022
Accepted 12 August, 2022