

## 왕까마중(*Solanum nigrum* L.) 열매 분말의 추출 용매에 따른 항산화 및 항균 활성

†신 경 옥 · 음 영 철\*

삼육대학교 식품영양학과 부교수, \*삼육대학교 글로벌한국학과 부교수

### The Antioxidant and Antimicrobial Activity of *Solanum nigrum* L. Fruit Powder by Extraction Solvent

†Kyung-Ok Shin and Yeong-Cheol Eum\*

Associate Professor, Dept. of Food and Nutrition, Sahmyook University, Seoul 01795, Korea

\*Associate Professor, Dept. of Global Korean Studies, Sahmyook University, Seoul 01795, Korea

#### Abstract

This study was conducted in order to investigate the antioxidant and antimicrobial activity of *Solanum nigrum* L. fruit powder after undergoing different extraction solvent processes. The total phenolic content of *Solanum nigrum* L. fruit powder measured 14.66 GAE mg/g after undergoing ethanol extraction, and the total flavonoid content measured at 201.23 mg CE/g when undergoing ethanol extraction. The ABTS radical scavenging activity was 160.38~209.53 TEAC umol/g, and the DPPH radical scavenging activity was 53.99~90.76 TEAC umol/g, which indicated a higher level of antioxidant power in the ethanol extract as opposed to in the water extract. The FRAP (ferric reducing antioxidant power) of *Solanum nigrum* L. fruit powder was 115.58~194.58 TEAC umol/g, and *B. subtilis* KCTC 2189 showed greater antimicrobial activity in the ethanol extract (concentration 200 ug/uL) as opposed to the water extract. *Solanum nigrum* L. fruit powder revealed differences in antioxidant and antimicrobial activity between the different extraction solvents. In particular, ethanol extract had higher antioxidant and antibacterial activity, meaning it is more favorable for usage as a functional food material.

Key words: *Solanum nigrum* L., total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant activity, antibacterial activity

#### 서 론

미세먼지 등의 환경오염이 급격히 증가하면서 국민들은 건강에 대한 관심도가 높아지고, 각종 매체들을 통해 다양한 건강정보와 관련된 식품들이 소개되고 있다. 이 중 컬러푸드 장점이 대두되고 있으며, 특히 보라색 컬러 푸드는 안토시아닌 색소, 폴리페놀, 플라보노이드 및 유기산 등의 함량이 높아서 노화 방지, 활성산소의 생성 억제, 암 성장 억제 및 항암효능 등이 연구를 통해 밝혀지면서 관심도가 증가하였다(Seeram 등 2006). 이러한 보라색 컬러 푸드에는 블루베리를 비롯한 각종 베리류, 가지 및 체리류 등이 대표적인

식품의 예이다. 이 중 까마중(*Solanum nigrum* L.)은 1년생 초본으로 가지과(*Solanaceae*)에 속하며, 아시아, 유럽, 아메리카 등의 온대지방에 널리 분포하고 있다(Oh & Koh 2012). 우리나라의 경우 길가, 밭 등에 서식하고 있으며, 생육기간이 비교적 짧다. 한 나무에 많은 열매가 열리므로 생산성이 높고, 종자번식이나 영양번식 등에 의해 증식이 쉬워서 최근 밭에서 재배 농가가 증가하여 농민들의 주요 수입 농작물로 각광을 받고 있다. 까마중은 약 1 m 내외로 자라며, 가지가 옆으로 퍼지고, 원줄기에는 약간의 능선이 나타난다. 잎은 난형 또는 타원형이며 가장자리가 밋밋하거나 물결형의 톱니가 있다(Oh & Koh 2012). 꽃은 5~7월에 피

† Corresponding author: Kyung-Ok Shin, Associate Professor, Dept. of Food and Nutrition, Sahmyook University, Seoul 01795, Korea. Tel: +82-2-3399-1657, Fax: +82-2-3399-1655, E-mail: skorose@syu.ac.kr

며, 화경이 있는 흰색의 꽃이 산형으로 달리고, 열매는 장과로 둥근 모양이며, 흑색으로 완전히 익으면 단맛이 있어 어린이들이 먹지만, 독성분이 약간 있다(Lee TB 2003). 까마중은 가마중, 까중지, 용안초 및 야가자 등의 다양한 이름으로 불린다(Lim 등 2001). 어린 까마중은 나물로 사용하고, 성숙한 부분은 열매와 더불어 약용으로 이용한다. 전초를 말린 것을 용구(龍葵)라고 하며, solanine, solasonine, solamargine 등 여러 가지 알칼로이드와 비타민 A와 C가 함유되어 있다(Oh & Koh 2012). 선행연구(Lim JG 2003; Yu YB 2004; Heo 등 2009)에 의하면 saponin, asparagine, rutin, atropine, nicotine, carotene 등 다양한 성분을 포함하고 있어 항염증 작용, 혈당저하, 항암작용, 항산화작용, HIV 억제활성 및 간손상 보호효과 등이 있는 것으로 알려져 약리학적으로도 중요한 식물로 보고되고 있다. 또한 민간에서는 궤양이나 감기, 기관지염, 신장염, 고혈압, 황달 및 종기 등에 처방하는 식물로 알려져 있으며, 인도에서도 중요한 약용식물로 이용되고 있다(Oh & Koh 2012).

까마중은 예로부터 민간요법에서 많이 사용해 왔던 식물로써 한의학 및 약리학 분야에서는 꾸준한 연구가 진행되었지만, 식품영양 분야에서는 과학적인 연구가 많이 진행되어 있지 않은 식물로서 최근 보라색 컬러 푸드가 건강식품으로 대두되면서 지속적인 연구가 절실히 요구된다. 이에 본 연구에서는 국내산 까마중의 생산 및 소비 촉진을 위해서 2006년 중국 까마중과 교배하여 전라남도 농업기술원에서 개량한 보라농이라는 왕까마중 열매 분말의 일반성분과 무기질 성분 외에도 용매별 추출물의 항산화 및 항균 활성을 평가하여 식품영양 분야에서 까마중을 기능성 식품으로써 알리는 계기를 마련하고, 왕까마중의 식용으로서의 가치를 향상시키는데 기초자료로 활용하고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

왕까마중은 전라남도 농업기술원에서 개량한 품종인 보라농을 농가에 보급시켜 현재 재배되고 있으며, 이 왕까마중 열매를 2018년 6~9월 사이에 경기도 덕소 왕까마중 재배지에서 직접 채취하여  $-50\sim-40^{\circ}\text{C}$  사이에서 동결 건조(FDTL-4504, Operon, Gimpo, Korea)하여 분말로 만든 후,  $-20^{\circ}\text{C}$  냉동고에서 보관하면서 시료로 사용하였다(Lee 등 2017). Han 등(2019)의 연구에서 제시한 방법에 의해 분쇄한 재료 20 g씩을 500 mL의 탈 이온수(deionized water, DIW)와 에탄올(ethanol, EtOH)에 각각 가하여 환류냉각기가 부착된 heating mantle(MS-E05, Edun, Seoul, Korea)에서 3시간씩 2회 추출하였다. 추출액은 압착 여과 후, 원심분리(6,000 rpm,

30 min,  $4^{\circ}\text{C}$ )하고, 상등액을  $45^{\circ}\text{C}$ 에서 진공농축 후, 동결 건조(LYPH-LOCK 12, Labconco, Kansas, Mo, USA)하여 분말 시료로 하였다. 측정용 시료 조제는 80% 메탄올 10 mL에 동결 건조 분말(1 g)을 가하고, 1시간 초음파 처리하여 용해시켜 상온에서 24시간 방치 후, 원심분리(8,000 rpm, 10 min,  $4^{\circ}\text{C}$ )하여 조제 시료(100 mg/mL)를 제조하였으며, 이를 24시간 이내에 사용하였다.

### 2. 일반성분 분석

왕까마중 열매 분말의 수분은 상압가열건조법(FS-620, Toyo Seisakusho Co., LTD., Tokyo, Japan), 조단백질은 micro-Kjeldahl 법에 준하여 조단백 자동분석장치(Kjeltec TM 2300, FOSS, Höganäs, Sweden), 회분은 직접회화법(KL-160, Toyo Seisakusho Co., LTD., Tokyo, Japan), 조지방의 정량은 Soxhlet (SOX606, LABTECH, Seoul, Korea) 법에 준하여 측정하였다(Lee 등 2008; Choi 등 2016).

### 3. 무기질 분석

Kim 등(2007)과 Choi 등(2016)이 제시한 방법에 따라 구리, 아연, 철 및 셀레늄 등의 무기질 함량을 분석하였다. 시료의 전처리하는 건식분해법에 따라 실시하였으며, 분해 및 여과하여 증류수로 100 mL까지 정용한 시험용액으로 하였고, 공시험도 같은 방법으로 실시하였다. 전처리된 시험용액은 유도결합 플라즈마 분광기(ICP-AES, Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrophotometer, Z 6100, Hitachi, Tokyo, Japan)를 사용하여 분석 조건에 맞추어 분석하였다.

### 4. 총 페놀 함량 및 총 플라보노이드 함량 측정

왕까마중 열매 분말의 총 페놀 함량(Total Phenolic Content: TPC) 측정은 Waterhouse AL(2002)과 Lee 등(2018)의 방법에 의하여 측정하였다. 시료 20  $\mu\text{L}$ 에 탈 이온수 1.58 mL와 Folin-Ciocalteu's reagent 100  $\mu\text{L}$ 를 첨가하여 혼합한 후, 5분간 실온에서 반응시킨 다음 20% sodium carbonate 용액 300  $\mu\text{L}$ 를 첨가하여 암소에서 2시간을 반응시켜서 분광 광도계(Samchun Pure Chemical Co., Ltd., Samchun, Seoul, Korea)를 이용하여 흡광도를 765 nm에서 측정하였다. 총 페놀 함량은 조제 시료 1 g에 해당하는 gallic acid의 용량(GAE mg/g dry weight)으로 표시하였다. 총 플라보노이드 함량 측정은 Moreno 등(2000)과 Shin 등(2014) 방법을 변형하여 1 mg/mL의 농도로 제조한 시료 1 mL에 double distilled water(DDW) 4 mL와 5% sodium nitrite 0.3 mL를 첨가하여 5분간 반응하였다. Aluminum chloride 0.3 mL를 첨가하고 6분간 반응시킨 다음 1 M의 sodium hydroxide 2 mL를 넣었다. DDW로 총 부피를 10 mL로 맞춘 후, microplate reader

를 이용하여 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 catechin을 사용하였으며, 시료의 총 플라보노이드 함량은 작성된 표준곡선을 이용하여 catechin에 상응하는 양(mg catechin equivalent/g)으로 환산하였다.

### 5. ABTS 라디칼 소거활성 측정

2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate)(ABTS) 라디칼 소거활성은 Re 등(1999)과 Lee 등(2017) 방법을 사용하여 측정하였다. ABTS(Sigma-Aldrich Co., Spruce, MO, USA) 용액 7 mM와 potassium persulfate( $K_2S_2O_8$ )(Samchun Pure Chemical Co., Ltd., Seoul, Korea) 140 mM을 혼합하여 12~16시간 암소에서 반응시킨 다음, phosphate buffered saline(PBS, pH 7.4)를 사용하여 734 nm 파장에서 흡광도 값  $0.7(\pm 0.02)$ 이 되도록 희석하여 사용하였다. Radical inhibition(%)이 20~80%가 되도록 희석한 조제 시료 10  $\mu$ L과 1 mL ABTS 용액을 혼합하여 15분간 반응시킨 후, 734 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. ABTS 라디칼 소거활성은 다음에 제시된 공식에 의하여 계산하였으며, 표준물질로 Trolox를 이용하여 작성한 표준곡선으로부터 시료의 항산화력을 Trolox equivalent antioxidant capacity(TEAC)  $\mu$ mol/g dry weight로 나타내었다.

$$\text{ABTS scavenging activity(\%)} = \frac{[\text{ABTS}_{\text{Control}} - \text{ABTS}_{\text{Sample}}]/\text{ABTS}_{\text{Control}} \times 100}$$

### 6. DPPH 라디칼 소거활성 측정

2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH) 라디칼 소거능은 Thaipong 등(2006)과 Lee 등(2017)이 제시한 방법에 따라 측정하였다. DPPH stock solution은 DPPH(Sigma-Aldrich Co., Spruce, MO, USA) 24 mg을 methanol 100 mL에 용해시킨 후  $-20^\circ\text{C}$ 에서 보관하면서 사용하였으며, DPPH 용액은 515 nm 파장에서 흡광도 값  $1.1(\pm 0.02)$ 이 되도록 메탄올로 희석하여 사용하였다. Radical inhibition(%)이 20~80%가 되도록 희석한 조제 시료 50  $\mu$ L와 DPPH 용액 2 mL를 혼합하여 실온의 암소에서 30분간 반응시킨 후, 메탄올을 blank

로 하여 515 nm에서 시료의 잔존 흡광도를 측정하였다. DPPH 라디칼 소거활성은 제시된 공식에 의하여 계산하였으며, 표준물질인 Trolox를 이용하여 작성한 표준곡선을 작성한 후, 시료의 항산화력(TEAC)을  $\mu$ mol/g dry weight로 나타내었다.

$$\text{DPPH Scavenging activity(\%)} = \frac{[\text{DPPH}_{\text{Control}} - \text{DPPH}_{\text{Sample}}]/\text{DPPH}_{\text{Control}} \times 100}$$

### 7. Ferric reducing antioxidant power (FRAP) 측정

왕까마중 열매 분말의 FRAP 활성은 Pulido 등(2000)과 Lee 등(2017)의 방법에 의하여 측정하였다. FRAP 용액은 HCl 40 mM에 10 mM TPTZ(2,4,6-tripyridyl-s-triazine)(Sigma-Aldrich Co., Spruce, MO, USA)을 녹인 용액 2.5 mL와 20 mM  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Samchun Pure Chemical Co., Ltd., Samchun, Seoul, Korea) 2.5 mL를 300 mM acetate buffer(pH 3.6) 25 mL와 혼합하여  $37^\circ\text{C}$ 에서 보관하여 실험에 사용하였다. 900  $\mu$ L FRAP 용액에 시료 30  $\mu$ L와 탈 이온수 90  $\mu$ L를 혼합하여  $37^\circ\text{C}$ 에서 30분간 반응시킨 후, 595 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 활성은 Trolox를 이용하여 TEAC  $\mu$ mol/g dry weight로 표시하였다.

### 8. 항균 활성 분석

본 연구에서 사용된 박테리아 종류와 배양 배지를 Table 1에 제시하였다. 본 연구에 사용된 병원성 미생물은 *Bacillus subtilis* KCTC 2189(Nutrient broth and agar,  $30^\circ\text{C}$ ), *Staphylococcus aureus* KCTC 3881(Tryptic soy broth and agar,  $37^\circ\text{C}$ ), *Pseudomonas aeruginosa* KCTC 2004(Nutrient broth and agar,  $37^\circ\text{C}$ ), *Enterobacter aerogenes* KCTC 2190(Nutrient broth and agar,  $30^\circ\text{C}$ ), *Escherichia coli* KCTC 1682(Tryptic soy broth and agar,  $37^\circ\text{C}$ )이다. 모든 미생물은 한국문화진흥원(Daejeon, Korea)에서 분양받아 사용하였다. 미생물의 특성에 맞추어 위에 제시한 각각의 배지에 접종하고,  $30^\circ\text{C}$ 와  $37^\circ\text{C}$ 에서 각각 12시간 배양하였다. 보존 배양은 글리세롤(20%, v/v)을 함유한 배지에서  $-80^\circ\text{C}$ 로 유지하였다.  $1.0 \times 10^5$  CFU/mL

**Table 1. Microorganisms and culture media**

Microorganisms	Culture media	Culture temperature ( $^\circ\text{C}$ )
<i>Bacillus subtilis</i> KCTC 2189	Nutrient broth and agar	30
<i>Staphylococcus aureus</i> KCTC 3881	Tryptic soy broth and agar	37
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> KCTC 2004	Nutrient broth and agar	37
<i>Enterobacter aerogenes</i> KCTC 2190	Nutrient broth and agar	30
<i>Escherichia coli</i> KCTC 1682	Tryptic soy broth and agar	37

로 배양된 시험 균주들을 멸균된 각각의 agar 배지에 2~3% 접종하여 배지를 조성하였다. 여기에 paper disc를 배지 위에 떨어지지 않도록 부착시킨 후 농도가 50, 100, 200 mg/mL인 시료의 추출물을 30  $\mu$ L 주입하여 배양기(BF-250IN, BioFree, Seoul, Korea)에 넣고 24시간 동안 37°C에서 배양한 후, 생육 억제력 생성 유무를 확인하였다. 추출물을 녹인 용매에 대한 영향을 알아보기 위해 대조군으로는 30% DMSO를 사용하였다.

### 9. 통계처리

실험된 모든 자료는 SPSS package version 18.0 (Statistical Package for Social Science, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 각각 평균과 표준편차를 구하였다. 추출방법에 따른 유의적인 차이는 *t*-test 분석법을 이용해 신뢰수준 95%( $p < 0.05$ )에서 통계적인 유의한 차이를 평가하였다. 왕까마중 열매 분말의 추출 용매별 항산화 활성 간에 상관관계는 Pearson's correlation analysis를 이용해 분석하였다( $p < 0.01$ ).

## 결과 및 고찰

### 1. 일반성분 분석

왕까마중 열매 분말의 일반분석 결과는 Table 2에 제시하였다. 왕까마중 열매 분말의 일반분석 함량은 수분 6.47 $\pm$ 0.14%, 지방 16.84 $\pm$ 0.11%, 단백질 17.70 $\pm$ 0.04%, 회분 23.10 $\pm$ 1.06%로 나타났으며, 다른 성분에 비해 회분의 함량이 높았다. 선행연구(Jeong & Lee 2009)에서 까마중 열매 분말의 일반분석 함량은 수분 4.4%, 지방 9.4%, 단백질 15.5%, 회분 9.8%라고 보고하였다. Lee 등(2018)의 연구에서는 버찌 분말의 일반분석 중 각각의 함량은 수분 6.71%, 조회분이 5.33%로 나타났다고 하였으며, 아로니아 분말(수분 2.72%, 회분 3.49%)과 마키베리 분말(수분 2.48%, 회분 3.08%)보다 높은 함량을 보였다고 보고하였다. 이에 비해 본 연구에서 왕까마중 열매 분말의 경우 버찌보다 수분과 회분 함량이 높은 것으로 조사되었다.

### 2. 무기질 분석

왕까마중 열매 분말의 무기질 함량은 Table 3과 같다. 까

**Table 3. Mineral composition of *Solanum nigrum* L.**

Composition (mg/100 g)	<i>Solanum nigrum</i> L.
Copper	0.14 $\pm$ 0.01 <sup>1)</sup>
Zinc	0.16 $\pm$ 0.01
Iron	0.41 $\pm$ 0.02
Selenium	0.02 $\pm$ 0.00

<sup>1)</sup> Mean $\pm$ S.D.

마중 열매 분말의 각각 무기질 함량은 100 g당 구리 0.14 $\pm$ 0.01 mg, 아연 0.16 $\pm$ 0.01 mg, 철 0.41 $\pm$ 0.02 mg, 셀레늄 0.02 $\pm$ 0.00 mg로 나타났으며, 이 중 철의 함량이 가장 높았다. Lee 등(2018)의 연구에서는 100 g당 철의 함량은 버찌 분말에서 0.96 mg으로 다른 베리류(아로니아 분말 0.60 mg, 마키베리 분말 0.46 mg)에 비해 유의하게 높았다고 보고하였으며, 본 연구에서도 왕까마중 열매 분말의 철의 함량이 0.41 mg로 아로니아 분말이나 마키베리 분말에 비해 높게 측정되었다. 그러나 까마중과 같은 쌍떡잎식물 통화식물목 가지과의 한해살이풀인 토마토의 경우 식물 성장 조절제인 에테폰(ethephon) 살포에 따라 무기질의 함량에는 변화가 없었으며, 100 g당 구리 1.2~1.5 mg, 아연 1.2~1.6 mg, 철 9.0~10.9 mg으로 보고되었는데(Lee YC 1983), 이에 비해 본 연구의 왕까마중 속 무기질 함량이 토마토보다는 낮은 수치를 나타내었다.

### 3. 총 페놀 함량 및 총 플라보노이드 함량

왕까마중 열매 분말의 총 페놀 함량은 Table 4에 제시하였다. 왕까마중 열매 분말의 총 페놀 함량은 7.94~14.66 GAE mg/g 범위로 나타났으며, 탈 이온수 추출물은 7.94 $\pm$ 0.54 GAE mg/g, 에탄올 추출물은 14.66 $\pm$ 0.54 GAE mg/g로서 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ). 식물 내의 페놀성 화합물은 식물의 항산화 및 항균 활성과 연관성이 있으며, Choi & Kang(2018)의 연구에서는 까마중 내의 폴리페놀 함량과 플라보노이드 함량이 각각 14.97 mg/g와 8.23 mg/g로 보고하였다. 또한 Yoem YE(2017)의 연구에서는 폴리페놀 함량이 까마중 전초의 증류수 추출물에서는 76.22 mg/g, 80% 에탄올 추출물에서는 69.05 mg/g로 더 많이 나타났다고 보고하였으며, 이는 사용되는 추출 용매에 따라 함유량이 달라짐을 시사하며 적합한 용매의 사용이 중요함을 강조하고 있

**Table 2. General analysis of *Solanum nigrum* L.**

Composition (%)	Moisture	Crude protein	Crude fat	Crude ash
<i>Solanum nigrum</i> L.	6.47 $\pm$ 0.14 <sup>1)</sup>	17.70 $\pm$ 0.04	16.84 $\pm$ 0.11	23.10 $\pm$ 1.06

<sup>1)</sup> Mean $\pm$ S.D.

**Table 4. Total phenolic and total flavonoid contents of *Solanum nigrum* L.**

<i>Solanum nigrum</i> L.	Total phenolic contents (GAE mg/g)		Total flavonoid contents (mg CE/g)	
	DIW <sup>1)</sup>	EtOH	DIW	EtOH
	7.94±0.54 <sup>2)</sup> *	14.66±0.54	164.33±8.39*	201.23±3.21

<sup>1)</sup> DIW: deionized water extract, EtOH: ethanol extract.

<sup>2)</sup> Mean±S.D.

\*  $p < 0.05$ .

다. Choi 등(2017)은 수확시기에 따른 까마중 열매 에탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량을 측정한 결과는 10월 18일에 수확한 까마중 열매 에탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량은 311.26  $\mu\text{g}/\text{mg}$ 으로 가장 높게 나타났고, 10월 25일에 채취한 까마중 열매 에탄올 추출물에서는 278.12  $\mu\text{g}/\text{mg}$ 로 나타나 수확 시기에 따라 차이가 있음을 강조하였다. 본 연구에서 왕까마중 열매 분말의 총 페놀 함량은 보라색 컬러 푸드의 대표적인 식품인 블루베리 9.03 mg/g와 라즈베리 5.34 mg/g에 비해 높은 수치를 보였고(Jeong 등 2008a), 선행연구(Chung HJ 2016)에서 제시한 마키베리 73.66 GAE mg/g, 아로니아 59.26 GAE mg/g 및 블랙커런트 43.70 GAE mg/g에 비해서는 낮은 수치를 보였다. 또한 Lee 등(2018)의 연구에서는 총 페놀화합물의 함량과 항산화 활성과의 상관성을 볼 때, 베리류에서 총 페놀 함량이 높을수록 항산화 활성이 증가한다고 보고하였는데, 이는 본 연구의 왕까마중 열매 분말에서도 같은 양상을 보였다.

본 연구에서 왕까마중 열매 분말의 총 플라보노이드 함량은 탈 이온수 추출물은 164.33±8.39 mg CE/g, 에탄올 추출물은 201.23±3.21 mg CE/g로 나타났다. 이는 선행연구(Jeong 등 2008b)에서 까마중 분말의 부위별 총 플라보노이드 함량이 잎 4.85 mg/g, 열매 0.75 mg/g 및 뿌리 0.44 mg/g의 순으로 나타났다고 보고한 결과와 비교하였을 때, 본 연구에서 더 높은 수치를 나타내었다.

#### 4. ABTS 라디칼 소거활성과 DPPH 라디칼 소거활성

왕까마중 열매 분말의 ABTS 라디칼 소거활성과 DPPH 라디칼 소거활성은 Table 5에 제시하였다. 왕까마중 열매 분

말의 ABTS 라디칼 소거활성은 160.38~209.53 TEAC  $\mu\text{mol}/\text{g}$ 이며, 탈 이온수 추출물은 160.38±3.76 TEAC  $\mu\text{mol}/\text{g}$ , 에탄올 추출물은 209.53±1.69 TEAC  $\mu\text{mol}/\text{g}$ 로 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 선행연구(Choi 등 2017)에서는 수확시기에 따른 까마중 열매 에탄올 추출물들의 ABTS 라디칼 소거능은 10월 11일에 채취한 까마중 열매 에탄올 추출물과 10월 18일에 수확한 까마중 열매 에탄올 추출물들에서 낮은 IC<sub>50</sub> 값을 나타내어, ABTS 라디칼 소거활성이 가장 강하였으며, 10월 4일 수확한 까마중 열매 에탄올 추출물, 9월 27일에 수확한 까마중 열매 에탄올 추출물, 10월 25일에 수확한 까마중 에탄올 순으로 높은 ABTS 라디칼 소거작용이 나타났다고 보고하였다.

왕까마중 열매 분말의 DPPH 라디칼 소거활성은 53.99~90.76 TEAC  $\mu\text{mol}/\text{g}$ 로 용매별로는 탈 이온수 추출물은 53.99±0.81 TEAC  $\mu\text{mol}/\text{g}$ , 에탄올 추출물은 90.76±0.67 TEAC  $\mu\text{mol}/\text{g}$ 로서 에탄올 추출물에서 DPPH 라디칼 소거활성을 강하게 보였다( $p < 0.05$ ). 선행연구(Lim 등 2001)에서는 까마중의 부위별 DPPH 라디칼 소거활성은 80% 메탄올 추출물 시 뿌리에서 가장 높았고, 줄기, 전 부위, 열매 그리고 잎 순으로 높았으며, 추출 방법 간의 DPPH 라디칼 소거활성은 80% 메탄올에 3일간 침지하여 추출한 것보다 80°C에서 6시간 환류 추출한 것이 높았다고 보고하였다. Lee 등(2018)은 최근 연구에서 베리류의 대표적인 버찌 분말, 아로니아 분말 및 마키베리 분말의 ABTS 라디칼 소거활성 범위는 86.55~282.36 TEAC  $\mu\text{mol}/\text{g}$ 이며, DPPH 라디칼 소거활성 범위는 26.34~493.53 TEAC  $\mu\text{mol}/\text{g}$ 로 보고하였는데, 이와 본 연구의 왕까마중 열매 분말과 비교했을 때, ABTS 라디칼 소거활성은

**Table 5. ABTS radical cation scavenging activity and DPPH radicals scavenging of *Solanum nigrum* L.**

<i>Solanum nigrum</i> L.	ABTS radical cation scavenging		DPPH radicals scavenging	
	TEAC ( $\mu\text{mol}/\text{g}$ dry weight)		TEAC ( $\mu\text{mol}/\text{g}$ dry weight)	
	DIW <sup>1)</sup>	EtOH	DIW	EtOH
	160.38±3.76 <sup>2)</sup> *	209.53±1.69	53.99±0.81*	90.76±0.67

<sup>1)</sup> DIW: deionized water extract, EtOH: ethanol extract.

<sup>2)</sup> Mean±S.D.

\*  $p < 0.05$ .

유사한 경향을 보였다.

5. FRAP 활성

왕까마중 열매 분말의 탈 이온수와 에탄올 추출물의 FRAP 활성은 Table 6에 제시하였다. 왕까마중 열매 분말의 FRAP 활성은 115.58~194.58 TEAC  $\mu\text{mol/g}$ 로 나타났고, 추출 용매에 따라서는 탈 이온수 추출물(115.58 $\pm$ 1.00 TEAC  $\mu\text{mol/g}$ )보다 에탄올 추출물(194.58 $\pm$ 2.92 TEAC  $\mu\text{mol/g}$ )이 더 높았다 ( $p<0.05$ ). 선행연구(Jeong 등 2008b)에서는 비타민 C의 FRAP 활성을 100으로 기준하면 어성초 추출액의 활성은 52.7%, 까마중의 잎, 열매 및 뿌리 추출액의 활성은 각각 60.6%, 23.0% 및 15.5%이며, FRAP 활성은 추출물 첨가량에 따라 증가한다고 보고하였다. 최근 외국산에 비해 국내산 왕까마중은 생과로 유통이 가능하고, 가격도 2배 이상 저렴한 장점이 있으며, 항산화 활성 측면에서 에탄올 추출물의 항산화 활성이 높기 때문에 기능성 식품 소재로 활용도를 증가시키는 것이 중요하다.

6. 유용 성분과 항산화 활성 간의 상관관계

왕까마중의 총 페놀 및 총 플라보노이드 함량, ABTS 및 DPPH 라디칼 소거활성, FRAP 활성 간의 상관관계 분석 결과는 Table 7과 같다. 탈 이온수 추출의 경우 총 페놀 함량은 ABTS 라디칼 소거활성( $r=0.672$ ), DPPH 라디칼 소거활성

( $r=0.711$ )과 양의 상관관계를 보였으며( $p<0.01$ ), 총 플라보노이드 함량은 ABTS 라디칼 소거활성( $r=0.766$ ), DPPH 라디칼 소거활성( $r=0.801$ )과 양의 상관관계를 나타내었다( $p<0.01$ ). 또한 에탄올 추출의 경우 총 페놀 함량은 ABTS 라디칼 소거활성( $r=0.951$ ), DPPH 라디칼 소거활성( $r=0.918$ ) 및 FRAP 활성( $r=0.773$ )과 양의 상관관계를 보였으며( $p<0.01$ ), 총 플라보노이드 함량은 ABTS 라디칼 소거활성( $r=0.907$ ), DPPH 라디칼 소거활성( $r=0.905$ ) 및 FRAP 활성( $r=0.679$ )과 양의 상관관계를 나타내었다( $p<0.01$ ). 이러한 상관관계는 선행연구(Kang 등 1996)에서 DPPH 라디칼 소거활성과 ABTS 라디칼 소거활성은 페놀성 화합물의 함량이 높을수록 높은 활성을 지닌다는 보고와 일치하는 결과를 나타내었다. 본 연구에서 총 페놀 함량 및 총 플라보노이드 함량과 항산화 활성과의 상관관계는 탈 이온수 추출보다 에탄올 추출에서 상관계수( $r$ )가 0.7 이상의 강한 양의 상관관계를 보였다.

7. 항균 활성

왕까마중 열매 분말의 항균 활성은 Table 8에 제시하였다. *B. subtilis* KCTC 2189는 발효식품으로부터 단백질 분해 효소활성을 보유한 균주로서 그람 양성균이다. 본 연구에서 왕까마중 열매 분말은 *B. subtilis* KCTC 2189 균주에서 탈 이온수 추출물보다 에탄올 추출물의 농도 200  $\mu\text{g/uL}$ 에서만 항균 활성 효과를 보였다. 선행연구(Jimoh 등 2010)에서는 까마중 잎을 물, 메탄올, 아세톤으로 추출하여 항세균 활성을 평가한 결과 메탄올과 아세톤 추출물에서 주로 그람 양성균을 억제한다고 보고하였으며, Modilal 등(2015)의 연구에서는 까마중 잎의 에탄올 추출물에서 *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Streptococcus pyrogens*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* 등에서 항세균 활성이 우수하다고 보고하였다. 또한 까마중 식초의 항균력 측정 연구(Kwak YS 2015)에서는 그람 양성균에서 *B. cereus*, *Listeria*

Table 6. FRAP value of *Solanum nigrum* L.

<i>Solanum nigrum</i> L.	FRAP (TEAC $\mu\text{mol/g}$ dry weight)	
	DIW <sup>1)</sup>	EtOH
	115.58 $\pm$ 1.00 <sup>2)</sup> *	194.58 $\pm$ 2.92

<sup>1)</sup> DIW: deionized water extract, EtOH: ethanol extract.

<sup>2)</sup> Mean $\pm$ S.D.

\*  $p<0.05$ .

Table 7. Correlation coefficients among antioxidant activities and functional components with *Solanum nigrum* L.

Factors	DIW <sup>1)</sup>					EtOH				
	TPC <sup>2)</sup>	TFC <sup>3)</sup>	ABTS	DPPH	FRAP	TPC	TFC	ABTS	DPPH	FRAP
TPC	1	0.795**	0.672**	0.711**	0.492	1	0.897**	0.951**	0.918**	0.773**
TFC		1	0.766**	0.801**	0.578		1	0.907**	0.905**	0.679**
ABTS			1	0.897**	0.688**			1	0.974**	0.753**
DPPH				1	0.701**				1	0.791**
FRAP					1					1

<sup>1)</sup> DIW: deionized water extract, EtOH: ethanol extract.

<sup>2)</sup> TPC: Total phenolic contents.

<sup>3)</sup> TFC: Total flavonoid contents.

\*\*  $p<0.01$ .

**Table 8. Antimicrobial activity of *Solanum nigrum* L. fruit powder extract by extraction solvent**

Strain	Clear zone (mm)							
	DIW <sup>1)</sup> (ug/uL)				EtOH (ug/uL)			
	0	50	100	200	0	50	100	200
<i>B. subtilis</i> KCTC 2189	-	-	-	-	-	-	-	+ <sup>2)</sup>
<i>S. aureus</i> KCTC 3881	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P. aeruginosa</i> KCTC 2004	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>E. aerogenes</i> KCTC 2190	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>E. coli</i> KCTC 1682	-	-	-	-	-	-	-	-

<sup>1)</sup> DIW: deionized water extract, EtOH: ethanol extract.

<sup>2)</sup> Growth inhibition size of clear zone; -: not detected, +: 8~12 mm.

*monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*에서 각각 항균력이 38, 20, 30 mm로 *B.cereus*에서 가장 높은 항균력을 보였고, 그람 음성균에서는 *Salmonellas pp.*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Escherichia coli* O157:H7에서 각각 항균력이 19, 41, 32 mm로 *Vibrio parahaemolyticus*에서 가장 높은 항균력을 보였으며, 6종 모두 식중독균에서 항균효과가 있음을 확인하였다. 선행연구(Oh & Koh 2012; Choi & Kang 2018)에서는 포도상 구균, 녹농균, 대장균, 진균, 티푸스균의 발육을 억제하는 항균작용을 가지고 있다고 보고하였으며, 까마중 추출물은 칸디다균 뿐만 아니라 치과분야에서 천연 항균제로 사용될 수 있을 가능성이 있다고 시사하였다. 그러나 본 연구 결과에서는 에탄올 추출물이 200 ug/uL 농도일 때만 항균 활성을 가진 것으로 나타나서 균종에 따른 항균 활성 차이를 분석하여 각 식품에 맞게 왕까마중 열매 추출물을 사용할 수 있도록 왕까마중 열매 분말의 항균 성분에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 요약 및 결론

본 연구는 국내에서 개량한 품종인 보라농 열매 분말을 탈 이온수 추출물과 에탄올 추출물로 나누어 일반성분, 항산화 및 항균 활성 등을 분석하여 까마중의 식품으로 상품 가치를 향상시키는데 기초자료로 활용하고자 실시하였다. 왕까마중 열매 분말의 일반분석 함량은 수분 6.47±0.14%, 지방 16.84±0.11%, 단백질 17.70±0.04% 및 회분 23.10±1.06%로 나타났으며, 무기질 함량은 100 g당 철의 함량이 0.41±0.02 mg로 무기질 중에 가장 높은 수치를 나타냈다. 왕까마중 열매 분말의 총 페놀 함량은 7.94~14.66 GAE mg/g, 총 플라보노이드 함량은 164.33~201.23 mg CE/g, ABTS 라디칼 소거활성은 160.38~209.53 TEAC µmol/g 및 DPPH 라디칼 소거활성은 53.99~90.76 TEAC µmol/g로 나타났으며, 탈 이온수 추출물보다는 에탄올 추출물에서 더

큰 항산화력을 보였다. 왕까마중 열매 분말의 FRAP 활성은 115.58~194.58 TEAC µmol/g로 나타났으며, *B. subtilis* KCTC 2189는 에탄올 추출물에서 항균 활성 효과를 보였다. 이상의 연구 결과를 종합해 볼 때, 왕까마중 열매 분말은 추출 용매에 따라 항산화 및 항균 활성에 차이가 있었으며, 특히 에탄올 추출물의 항산화 활성이 탈 이온수 추출물에 비해 높아 기능성 식품 소재로서 가능성을 확인하였다. 이러한 연구 결과를 토대로 왕까마중 열매를 식품 소재로 활용하기 위해서는 왕까마중 열매 분말의 기능성을 높이기 위한 추출 방법에 대한 연구와 더불어 다양한 식품으로 개발하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

## References

- Choi KS, Kim YH, Shin KO. 2016. Effect of mulberry extract on the lipid profile and liver function in mice fed a high fat diet. *Korean J Food Nutr* 29:411-419
- Choi S, Yun KW, Kim YD, Jin SW, Kim KJ, Kang, Koh YW, Im SB, Jeong SW, Seo KS. 2017. Changes of useful components and biological activities of *Solanum nigrum* Linne fruit according to different harvest time. *Korean J Food Preserv* 24:849-856
- Choi YR, Kang MK. 2018. A convergence study of antibacterial effect of *Solanum nigrum* extract on *Candida albicans*. *J Korea Convergence Soc* 9:69-74
- Chung HJ. 2016. Comparison of bioactive constituents and biological activities of aronia, blackcurrant, and maqui-berry. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 45:1122-1129
- Han KS, Jung TH, Shin KO. 2019. Studies on the general analysis and antioxidant component analysis of *Chenopodium album* var. *centrorubrum* and biochemical analysis of blood of mice administered *C. album*. *Korean J Food*

- Sci Technol* 51:492-498
- Heo YY, Kwon RH, Ha MS, Ha BJ. 2009. The effects of *Solanum nigrum* Linne extract on the hepatotoxicity of rats induced by lipopolysaccharide. *J Food Hyg Saf* 24:285-290
- Jeong CH, Choi SG, Heo HJ. 2008a. Analysis of nutritional compositions and antioxidative activities of Korean commercial blueberry and raspberry. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37:1375-1381
- Jeong KS, Lee NG. 2009. Functional properties and antioxidant effects of *Solanum nigrum*-ethanol extract. *J Environ Sci Int* 18:1207-1214
- Jeong KS, Woo NS, Kang SM, Kim SH. 2008b. Antioxidant activity of the *Solanum nigrum* L. extract. *Proceeding of the Korean Environmental Science Society Conference* Gyeongju
- Jimoh FO, Adedapo AA, Afolayan AJ. 2010. Comparison of the nutritional value and biological activities of the acetone, methanol and water extracts of the leaves of *Solanum nigrum* and *Leonotis leonorus*. *Food Chem Toxicol* 48:964-971
- Kang YH, Park YK, Lee GD. 1996. The nitrite scavenging and electron donating ability of phenolic compounds. *Korean J Food Sci Technol* 28:232-239
- Kim HR, Lee JH, Kim YS, Kim KM. 2007. Chemical characteristics and enzyme activities of Icheon Ge-Geol radish, Gangwha turnip, and Korean radish. *Korean J Food Sci Technol* 39:255-259
- Kwak YS. 2015. Optimization for the fermentation process of *Solanum nigrum* vinegar and its quality evaluation. Master's Thesis, Seoul National University of Science and Technology. Seoul. Korea
- 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 KW, Je HJ, Jung TH, Lee YL, Choi JH, Hwang HJ, Shin KO. 2018. Comparison of components and antioxidant activity of cherry, aronia, and maquiberry. *Korean J Food Nutr* 31:729-736
- Lee KW, Kim YH, Shin KO. 2017. *In vitro* antioxidant activities and antimicrobial activity of lotus (leaf, stem, and seed pod) extracts. *Korean J Food Nutr* 30:771-779
- Lee TB. 2003. Coloured Flora of Korea. Volume II. p.152. Hyangmunsa
- Lee YC. 1983. Effect of ethephon treatment on vitamin and mineral contents of fresh tomatoes. *Korean J Food Sci Technol* 15:409-413
- Lim JG. 2003. Screening of antioxidants and lunasin peptide as cancer chemoprevention in *Solanum nigrum*. Master's Thesis, Andong Univ. Andong. Korea
- Lim JK, Chung GY, Jeong HJ. 2001. Evaluation of the antioxidant potential and identification of active principles of *Solanum nigrum* L. on antioxidant defense systems. *Korean J Life Sci* 11:509-516
- Modilal MRD, Anandan R, Sindhu R, Logeshwari MN. 2015. Screening of *Solanum nigrum* for its phytochemical and antimicrobial activity against respiratory tract pathogens. *Int J Pure Appl Zool* 1:210-215
- Moreno MIN, Isla MI, Sampietro AR, Vattuone MA. 2000. Comparison of the free radical-scavenging activity of propolis from several regions of Argentina. *J Ethnopharmacol* 71:109-114
- Oh SJ, Koh SC. 2012. Adventitious shoot formation and plant regeneration from explants of *Solanum nigrum* L. *Korean J Plant Resour* 25:277-284
- Pulido R, Bravo L, Saura-Calixto F. 2000. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. *J Agric Food Chem* 48:3396-3402
- 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
- Seeram NP, Adams LS, Zhang Y, Lee R, Sand D, Scheuller HS, Heber D. 2006. Blackberry, black raspberry, blueberry, cranberry, red raspberry, and strawberry extracts inhibit growth and stimulate apoptosis of human cancer cells *in vitro*. *J Agric Food Chem* 54:9329-9339
- Shin GH, Lee YJ, Kim JH, Kim YH, Kim DB, Lee JS, Lim JH, Lee OH. 2014. Antioxidant activities of commonly used *Brassica* spp. sprout vegetables in Korea. *Korean J Food Preserv* 21:587-592
- 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



Waterhouse AL. 2002. Determination of total phenolics. *Curr Protoc Food Anal Chem* 6:11.1.1-11.1.8

Yoem YE. 2017. Analysis of physiological active substances in *Solanum nigrum* L. and anti-inflammatory effects on acute ear edema mice. Master's Thesis, Chonnam Univ. Gwangju. Korea

Yu YB. 2004. The extracts of *Solanum nigrum* L. for inhibitory effects on HIV-1 and its essential enzymes. *Korean J Orient Med* 10:119-126

---

Received 13 January, 2021  
Revised 17 February, 2021  
Accepted 02 March, 2021