

## 다양한 조리 방법에 따른 수미감자의 항산화 및 항당뇨 활성 평가

백주하 · 최미주 · 원민혜 · 박은주<sup>†</sup>

경남대학교 식품영양학과

### Evaluation of Antioxidant and Antidiabetic Activities of Superior Potato Prepared by Various Cooking Methods

Juha Baek · Mijoo Choi · Minhye Won · Eunju Park<sup>†</sup>

Dept. of Food and Nutrition, Kyungnam University, Changwon 51767, Korea

#### ABSTRACT

This study examined the antioxidant compounds and functional properties of superior potato (SP) after various cooking methods (sun drying: SD, roasting after sun drying: SR, hot-air drying: HD, roasting after hot-air drying: HR, boiling: B, roasting: R, and air-frying: AF) and compared with uncooked SP. As a result, the total phenolic contents (TPC) in the hot water extract (HWE) were the highest in SR. B showed the highest TPC in the ethanol extract (EE). In the  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity, S was the highest in the HWE, whereas R was the highest in the EE. At 50  $\mu$ g/mL concentration, AF showed the highest oxygen radical absorbance capacity in both HWE and EE compared to others. SP protected HepG2 cells against H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-induced DNA damage. Based on the results, the antioxidant compounds and antioxidant activity differed by the cooking method. Thus, the findings from the current study may provide suitable SP cooking methods for attaining their maximum biological activity.

**Key words** : superior potato, cooking method, antioxidant, antidiabetic, DNA damage

#### 서론

감자(*Solanum tuberosum* L.)는 전 세계적으로 밀, 쌀, 옥수수과 함께 가장 많이 소비되는 식량 작물 중 하나로, 인간의 식단에서 중요한 탄수화물 공급원이며 미네랄, 단백질, 비타민 등 다양한 영양소를 함유하고 있다(Burlingame 등 2009; Schieber & Aranda Saldaña 2009; King & Slavin 2013). 감자는 150여 개국에서 재배되며, 옥수수, 벼, 밀 다음으로 4위의 생산량을 보이고 있으며, 단위 면적당 에너지 공급량과

접수일 : 2024년 9월 26일, 수정일 : 2024년 9월 30일,

채택일 : 2024년 9월 30일

<sup>†</sup> Corresponding author : Eunju Park, Department of Food and Nutrition, Kyungnam University, 7 Gyeongnam daehak-ro, Changwon 51767, Korea

Tel : 82-55-249-2218, Fax : 82-505-999-2139

E-mail : pej@kyungnam.ac.kr

ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-3462-6090>

생산량이 높아 인구 증가에 따른 식량 부족 문제를 해결하기 위해 중요한 작물로 자리 잡고 있다(Devaux 등 2021).

수미감자(superior potato)는 봄과 여름에 주로 수확되며 한국에서 널리 유통되는 대표적인 품종으로, 감자 그 자체를 종자로 사용하는 영양변식의 예를 보여준다(Frost 등 2013; Kawakami 등 2015). 감자의 껍질과 과육에는 파이토케미컬과 같은 생리 활성 성분이 다량 함유되어 있으며, 이들 성분은 항산화제 역할을 하여 죽상동맥경화증 및 암과 같은 만성질환을 예방하는 데 중요한 역할을 한다(Ezekiel 등 2013; Devaux 등 2021).

기존 연구에서는 감자가 조리 후에도 총 페놀 함량이 세 번째로 높게 유지되는 것으로 나타났으며, 이는 감자가 항산화 작용을 통한 건강 개선에 기여할 수 있음을 시사한다(McGill 등 2013; William 등 2013). 그러나 감자의 조리 방법에 따른 항산화 및 항당뇨 활성 변화에 대한 연구는 부족하며, 특히 수미감자의 조리 방법에 따른 생리 활성 성분의 변화를 체계적으로 분석한 연구가 거의 없다.

또한, 감자는 다양한 조리 방법(삶기, 찌기, 굽기, 튀기기 등)으로 조리되어 있으며(Camire 등 2009), 이러한 조리과정에서 발생하는 생물학적, 물리적, 화학적 변형은 식품의 감각적, 영양적, 질감적 특성을 변화시켜 특정 영양소의 손실이나 아크릴아마이드와 같은 독성 물질의 형성 등 부작용을 유발할 수 있다(Song 등 2010). 이에 따라 감자의 건강 기능성을 극대화할 수 있는 최적의 조리 방법을 찾기 위해 다양한 조리 방법이 감자의 생리 활성 성분에 미치는 영향을 평가할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 다양한 조리 방법에 따른 수미감자의 항산화 및 항당뇨 활성을 평가하여, 효과적인 조리 방법을 밝히고자 한다.

## 연구방법

### 1. 시료 준비

본 연구에 사용된 수미감자는 전라북도 김제시 광활면에서 수확된 것을 시중에서 구매하여 분석에 사용하였다. 껍질을 벗기지 않은 생감자(raw superior potato, SP)를 0.5 cm의 두께로 채를 썰어 조리 또는 건조 방법에 따라 삶기(boiled superior potato, B), 볶기(roasted superior potato, R), 자연 건조(sun-dried superior potato, SD), 자연 건조 후 로스팅(roasted superior potato after sun drying, SR), 열풍건조(hot-air dried superior potato, HD), 열풍건조 후 로스팅(roasted superior potato after hot-air drying, HR), 에어프라이(air-fried superior potato, AF)로 나누어 시료를 준비하였다. 생감자 5 g을 기준으로 삶기는 100°C 물에서 4분 30초 삶았으며, 볶기는 100°C에서 기름 없이 5분 30초 볶았다. 햇빛건조는 23°C에서 14시간 햇빛에 건조하였고, 열풍건조는 50°C에서 25시간 건조기에서 건조하였으며, 햇빛건조 및 열풍건조 후 로스팅은 100°C에서 5분간 로스팅 후 다시 5분간 재로스팅을 하였다. 에어프라이는 180°C에서 24분간 조리한 후 시료로 사용하였다. 각 시료의 조리 시간은 감자가 완전히 익거나 건조되는 시간을 기준으로 설정하였다.

각 시료는 생감자 5 g을 기준으로 조리 방법에 따른 수율을 고려하여 100 mL의 증류수와 에탄올을 이용하여 추출하였다. 각 시료의 수율은 SD 20.6%, SR 94.1%, HD 20.5%, DR 94.7%, B 117.1%, R 61.4%, AF 20.46%였다. 열수 추출물은 생감자 기준 5 g의 시료와 3차 증류수 100 mL를 autoclave(DW-AC-131, Dong Won Scientific Co, Korea)를 이용하여 121°C에서 20분간 추출하였으며, 에탄올 추출물은 5 g의 시료와 94.5% ethanol 100 mL에 300 rpm, 72시간 동안 소형 진탕배양기(JSSI 100T, JSR., Korea)에서 진탕하여 추출하였다. 용매는 여과지(Whatman No. 1, 5A, 110 mm)를 이용하여 여과하였다. 열수 추출물은 동결 건조를 진행하였으며, 에탄올 추출물은 회전 진공

농축기(EYELA N-1000, Tokyo Rikakikai, Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 37°C에서 농축하였다. 여과와 농축된 시료는 DMSO에 50 mg/mL의 농도로 녹여 4°C 냉장 보관하여 분석에 사용하였다.

## 2. 총 폴리페놀 함량(total phenolic contents, TPC) 측정

총 폴리페놀 함량 분석은 Folin & Denis(1912)의 방법을 사용하여 측정하였다. 수미감자 추출물 200  $\mu$ L를 첨가하여 vortex한 뒤, 1N Folin ciocalteu's phenol reagent 400  $\mu$ L를 첨가하여 실온에서 3분간 방치하였다. 10%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  400  $\mu$ L를 첨가하여 vortex한 후 암실에서 1시간 동안 실온에서 반응시켰다. 그 후 13,400 g에서 5분간 원심분리하여 상층액 200  $\mu$ L를 96-well plate에 취하여 Epoch(Gen 5, Biotek instruments, inc, USA)를 사용하여 690 nm 흡광도에서 측정하였다. 총 폴리페놀 함량의 표준물질은 gallic acid를 사용하였으며, 검량선을 작성하였다. mg gallic acid equivalents(GAE)/100 g의 단위로 나타내었으며, 본 실험의 반복을 3회 진행하였다.

## 3. 산소 라디칼 흡수 능력(oxygen radical absorbance capacity, ORAC) 측정

ORAC 활성은 Kurihara 등(2004)의 방법을 이용하여 측정하였으며, 40 nM fluorescein 100  $\mu$ L를 96-well plate에 분주하여 시료의 최종 농도가 1, 5, 10, 50  $\mu$ g/mL가 되도록 처리하였다. Peroxyl radical 생성을 위해 최종 농도 20 nM AAPH(2,2'-azobis[2-amidinopropane] dihydrochloride) 50  $\mu$ L를 처리하였으며, 최종 농도 1  $\mu$ M의 농도로 control standard를 사용하였다. FLUOstar OPTIMA micro-plate reader(BMG Labtech, Ortenberg., Germany)를 이용해 485 nm, 535 nm에서 2분 간격으로 250 cycle을 측정하였다. ORAC 측정값은 형광이 감소하는 곡선 아래 부분의 총 면적을 산출하였으며, 1  $\mu$ M trolox equivalents(TE)로 나타냈다.

## 4. 항당뇨 활성( $\alpha$ -glucosidase inhibitor) 측정

$\alpha$ -glucosidase 억제 활성 측정은 50 mg rat intestinal acetone powder에 0.9% NaCl 1,500  $\mu$ L를 가하여 6분간 sonicate한 후 10,000 g, 4°C, 30분간 원심분리하여 상층액을 사용하였으며, 대조군으로 10 mg/mL acarbose를 사용하였다. 효소 상층액 100  $\mu$ L에 시료 50  $\mu$ L를 첨가하여 37°C heating block에서 10분 동안 방치시킨 후 5 mM pNPG 50  $\mu$ L 가한 후 15분간 반응시켰다. 96-well plate에 상층액 200  $\mu$ L를 가한 후 Epoch(Gen5, Biotek Instruments, inc., USA)를 이용하여 흡광도 405 nm에서 측정하였으며, 본 실험은 3회 반복 실험하였다.

## 5. HepG2 세포 배양

HepG2 세포는 10% heat inactivation fetal bovine serum (FBS, Chem-Bio)과 1% penicillin streptomycin(Gibco)을 함유한 DMEM(dulbecco's modified eagle medium) 배양액에서 5%  $\text{CO}_2$ , 37°C 조건으로 incubator에서 배양하였고, 배지는 2일 간격으로 교체하였다.

## 6. 세포 내 항산화 능력(cellular antioxidant capacity, CAC) 측정

최종 농도를  $5 \times 10^5$  cells/mL로 하여 CAC 활성 측정을 위해 96 well plate에 100  $\mu$ L씩 분주하였다. 37°C, 5%  $\text{CO}_2$  조건으로 incubator에서 24시간 배양하였다. 24시간 후 배지를 suction한 후, HBSS(Hank's balanced salt solution)를 각 well에 200  $\mu$ L씩 분주하고 시료의 최종 농도가 5, 10  $\mu$ L/mL가 되도록 처리하여 30분 동안 incubator에서 배양하였다. Peroxyl radical을 발생하기 위해 음성 대조군(negative control, NC)을 제외한 모든 well에 40 nM DCFH-DA AAPH 2  $\mu$ L를 분주하고 암실 조건에서 30분간 배양하였다. FLUOstar OPTIMA micro-plate reader (BMG Labtech, Ortenberg.,

Germany)를 이용하여 excitation wavelength 485 nm, emission wavelength 535 nm에서 측정하였다.

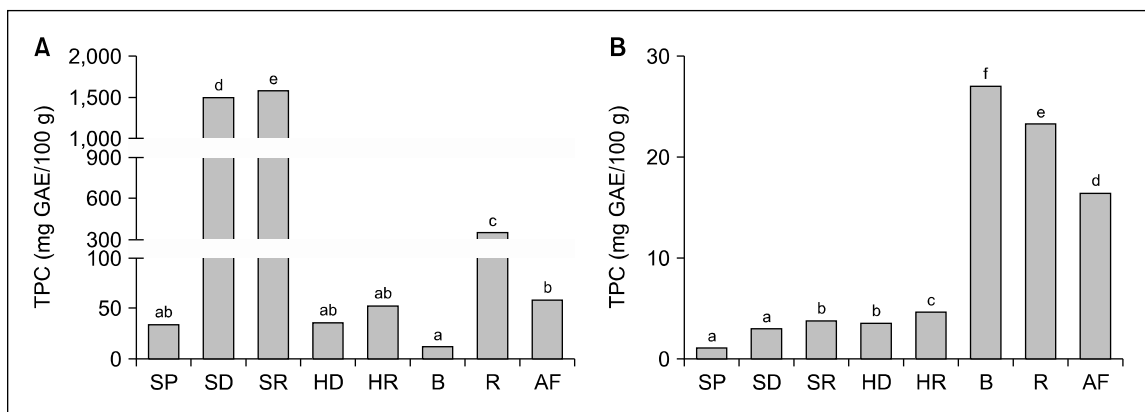
### 7. 항유전독성 평가(COMET assay)

배양된 HepG2 세포  $2 \times 10^4$  cells/mL에 시료의 농도가 1, 5, 10, 25  $\mu\text{g/mL}$ 가 되도록 처리하여 37°C heating block에서 30분간 방치시킨 후 산화적 스트레스를 유발하기 위해 200  $\mu\text{M}$   $\text{H}_2\text{O}_2$ 를 처리하고 Cell PBS(phosphate buffered saline)로 세척하였다. 1,450 rpm, 4°C에서 5분간 원심분리하여 상층액을 제거한 뒤 0.7% LMA(low melting agarose gel) 100  $\mu\text{L}$ 와 혼합하여 1% NMA(normal melting agarose)로 coating된 slide 위에 분주하여 cover glass(Marienfeld superior, 22×22)로 덮어 4°C에서 20분간 gel을 굳혔다. cover glass를 벗기고 1% LMA 70  $\mu\text{L}$ 를 분주하여 cover glass(Marienfeld superior, 24×50)로 덮어 4°C에서 gel을 굳혔다. Alkaline lysis buffer(2.5 M NaCl, 100 mM  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ , 10 mM Tris, 1% sodium lauryl sarcosinate, 1% Triton X-100, 10% dimethyl sulfoxide(DMSO) 70 mL에 slide를 담근 후 4°C 암실에서 1시간 동안 방치시켰다. 방치 후 slide를 전기영동 수조에 올려준

뒤 electrophoresis buffer(300 mM NaOH, 10 mM  $\text{Na}_2\text{EDTA}$ )를 가득 채워 20분 동안 방치시켰다. 방치 후 20 V, 300 mA의 전압에서 20분간 전기영동을 진행하였으며, 그 후 0.4 M Tris buffer로 5분간 3회 세척 후, ethanol에 5분간 담궈 세척하여 slide를 30분간 자연건조 시켰다. DNA 손상 보호능을 측정하기 위해 20  $\mu\text{g/mL}$  ethidium(1% ETBR, PBS)으로 염색한 뒤 형광현미경(LEICA DMLB, Wetzlar., Germany)의 CCD camera(Nikon, Tokyo, Japan)를 통해 항유전독성을 측정하였다.

### 8. 통계 분석

본 실험의 모든 데이터는 SSPS ver. 23.0(IBM SSPS Statistics Version 23.0. for Windows, IBM Corp., Armonk, NY, USA) 통계 프로그램을 사용하였다. 다양한 조리법에 따른 수미감자 추출물의 그룹간 비교는 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 시행하였으며, Duncan's multiple-range test로  $P < 0.05$ 의 수준에서 유의성을 검정하였다. 각 그룹의 측정 결과는 평균±표준편차(SD)로 나타내었다.



**Figure 1.** Total phenolic contents (TPC) of hot water (A) and ethanol (B) extract from superior potato prepared using various cooking methods. SP: raw superior potato, SD: sun-dried superior potato, SR: roasted superior potato after sun drying, HD: hot-air dried superior potato, HR: roasted superior potato after hot-air drying, B: boiled superior potato, R: roasted superior potato, AF: air-fried superior potato. The bars represent the mean±SD. Bars with different superscripts are significantly different at the  $P < 0.05$  level by ANOVA and Duncan's multiple range test.

## 결과 및 고찰

### 1. 총 폴리페놀 함량

총 폴리페놀 함량 측정법은 항산화 관련 연구에서 널리 이용되고 있으며, 자연에 존재하는 주요한 페놀 화합물들은 ROS 소거 능력과 강력한 항산화 능력을 포함한 다양한 생리 활성을 가지고 있는 것으로 보고되고 있다. 수미감자 추출물의 총 폴리페놀 함량 측정 결과는 Fig. 1에 제시되어 있다. 열수 추출물의 경우, SR이 1,584.4 mg GAE/100 g으로 가장 높은 폴리페놀 함량을 보였으며, 그 뒤를 이어 SD>R>AF>HR=HD=SP 순으로 나타났다. 에탄올 추출물에서는 B가 27.1 mg GAE/100 g으로 가장 높은 폴리페놀 함량을 보였고, 그 다음으로 R>AF>HR>SR=HD>SP=SD 순으로 나타났다.

최근 연구에 따르면, 삶기, 찌기, 굽기, 튀기기 등의 다양한 조리 방법이 감자의 폴리페놀 함량에 변화

를 일으킬 수 있으며, 특히 삶기와 찌기는 클로로겐산과 같은 주요 페놀산의 함량을 크게 감소시켜 폴리페놀의 전반적인 함량을 낮추는 것으로 나타났다 (Rasheed 등 2022). 또한, 추출용매에 따라 감자의 폴리페놀 함량에 큰 영향을 미칠 수 있다. Kratchanova 등(2010)에 따르면, 용매의 종류는 폴리페놀 추출의 효율성과 항산화 활성에 중요한 역할을 한다. 예를 들어, 물보다 아세톤과 같은 유기 용매가 더 높은 폴리페놀 함량과 항산화 활성을 제공하는 경우가 많다. 또한 물 또는 에탄올과 물의 혼합 용매를 사용한 추출은 친수성 폴리페놀의 추출에 효과적일 수 있다 (Baron 등 2021). 이는 감자의 폴리페놀 함량을 최대화하기 위해 다양한 용매 시스템을 사용하는 것이 중요함을 시사한다. 폴리페놀의 함량 변동은 또한 감자의 항산화 활성에도 영향을 미칠 수 있어, 이러한 용매 선택은 건강상의 이점을 극대화하는 데 중요한 요소가 된다(Álvarez 등 2016).

**Table 1.** Oxygen radical absorbance capacity(ORAC) of hot water and ethanol extracts from superior potato prepared using various cooking methods. (unit:  $\mu\text{M TE}$ )

	Hot water ( $\mu\text{g/mL}$ )				Ethanol ( $\mu\text{g/mL}$ )			
	1	5	10	50	1	5	10	50
SP <sup>1)</sup>	0.0±0.1 <sup>9a</sup>	0.4±0.1 <sup>b</sup>	0.7±0.2 <sup>c</sup>	2.1±0.1 <sup>dC</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>	0.2±0.1 <sup>b</sup>	0.1±0.1 <sup>c</sup>	1.4±0.1 <sup>dA</sup>
SD <sup>2)</sup>	0.0±1.0 <sup>a</sup>	0.6±0.1 <sup>b</sup>	1.2±0.1 <sup>c</sup>	2.9±0.2 <sup>dE</sup>	0.2±0.1 <sup>a</sup>	0.3±0.1 <sup>b</sup>	0.7±0.1 <sup>c</sup>	1.9±0.2 <sup>dB</sup>
SR <sup>3)</sup>	0.2±0.1 <sup>a</sup>	0.6±0.1 <sup>b</sup>	1.0±0.1 <sup>c</sup>	3.0±0.1 <sup>dE</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>	0.6±0.1 <sup>b</sup>	0.8±0.1 <sup>c</sup>	2.4±0.1 <sup>dD</sup>
HD <sup>4)</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.3±0.0 <sup>b</sup>	0.5±0.0 <sup>c</sup>	1.9±0.0 <sup>dB</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>	0.8±0.1 <sup>b</sup>	1.4±0.0 <sup>c</sup>	3.2±0.1 <sup>dE</sup>
HR <sup>5)</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.4±0.1 <sup>b</sup>	0.9±0.1 <sup>c</sup>	2.5±0.1 <sup>dD</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>	0.5±0.0 <sup>b</sup>	0.9±0.0 <sup>c</sup>	2.2±0.1 <sup>dC</sup>
B <sup>6)</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.1±0.0 <sup>b</sup>	0.4±0.2 <sup>c</sup>	1.7±0.1 <sup>dA</sup>	0.1±0.0 <sup>a</sup>	0.8±0.1 <sup>b</sup>	1.3±0.1 <sup>c</sup>	4.3±0.1 <sup>dF</sup>
R <sup>7)</sup>	0.2±0.0 <sup>a</sup>	0.7±0.1 <sup>a</sup>	1.3±0.1 <sup>b</sup>	3.6±0.2 <sup>cF</sup>	0.2±0.1 <sup>a</sup>	1.0±0.1 <sup>b</sup>	1.9±0.1 <sup>c</sup>	5.5±0.1 <sup>dG</sup>
AF <sup>8)</sup>	0.0±0.0 <sup>a</sup>	0.3±0.1 <sup>b</sup>	0.5±0.1 <sup>c</sup>	4.0±0.0 <sup>dG</sup>	0.3±0.0 <sup>a</sup>	1.4±0.2 <sup>b</sup>	2.3±0.1 <sup>c</sup>	6.6±0.3 <sup>dH</sup>

<sup>1)</sup> SP: raw superior potato

<sup>2)</sup> SD: sun-dried superior potato

<sup>3)</sup> SR: roasted superior potato after sun drying

<sup>4)</sup> HD: hot-air dried superior potato

<sup>5)</sup> HR: roasted superior potato after hot-air drying

<sup>6)</sup> B: boiled superior potato

<sup>7)</sup> R: roasted superior potato

<sup>8)</sup> AF: air-fried superior potato

<sup>9)</sup> Values are the mean±SD

<sup>a~d</sup> Values with different letters are significantly different at  $P<0.05$  after Duncan's multiple range test within group

<sup>A~H</sup> Values with different letters are significantly different at  $P<0.05$  after Duncan's multiple range test when compared among samples at a concentration of 50  $\mu\text{g/mL}$

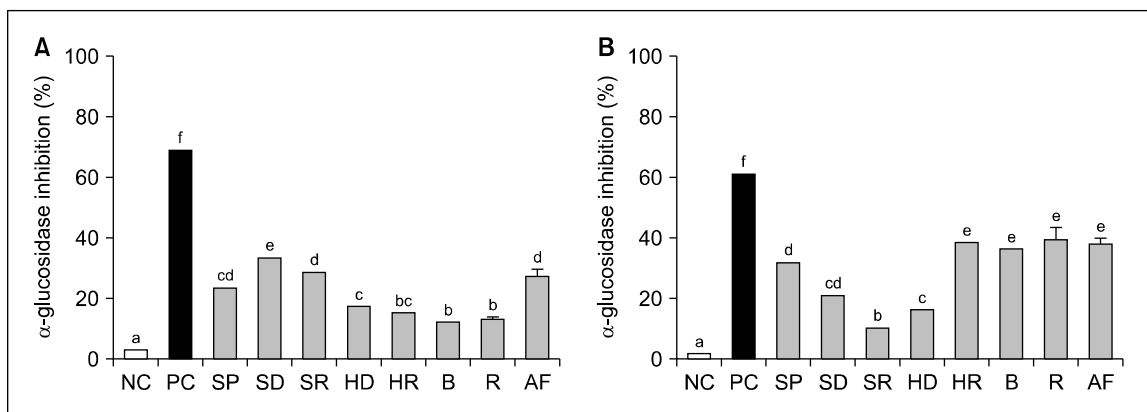
## 2. 산소 라디칼 흡수 능력

ORAC assay는 산화물질에서 유도된 peroxy radical 이 형광 물질과 반응하여 비형광의 물질을 형성하는데, 항산화 활성은 시간에 따른 비형광 물질의 양과 감소율을 평가할 수 있다(Prior 등 2005). ORAC assay 를 이용하여 peroxy radical 에 대한 수미감자 추출물의 peroxy radical 제거 활성을 측정한 결과는 Table 1 에 나타내었다. AAPH를 peroxy radical 개시제로 사용하였을 때 저농도(1  $\mu\text{g/mL}$ )에서는 라디칼 제거 활성의 차이가 없었으나, 수미감자 추출물의 고농도 (50  $\mu\text{g/mL}$ )에서 비교해 보았을 때, AF에서 열수 추출물에서는 4.0 uM TE, 에탄올 추출물에서는 6.6 uM TE 로 가장 높은 산소 라디칼 흡광도를 보였다. 에어프라이를 이용한 조리방법은 주로 튀김과 유사한 방식으로 작용하며, 이는 일반적으로 항산화 성분의 손실을 초래할 수 있다(Miglio 등 2008; Gunathilake 등 2018). 하지만 선행 연구에서는 에어프라이 조리 효과에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구 결과는 에어프라이를 이용한 감자 조리가 산소 라디칼 흡수 능력에 효과적임을 강조하며, 향후 다양한 감자 품종 및 조리 변수에 대한 추가 연구가 필요한 것으로

사료된다.

## 3. 항당뇨 활성

$\alpha$ -glucosidase는 소장 내 상피세포의 brush-border membrane에 존재하는 효소로 다당류나 이당류를 단당류로 가수분해하는 역할을 한다.  $\alpha$ -glucosidase 저해능은 탄수화물 식이 후 혈당의 상승을 억제할 수 있어 항당뇨 활성 측정법으로 널리 이용된다(Gua 등 2006). 본 연구에서 측정한  $\alpha$ -glucosidase 억제 활성은 Fig. 2에 나타내었다. 본 연구 결과는 기존의  $\alpha$ -glucosidase 저해제(acarbose)와 같은 상용 의약품의 저해 활성에는 미치지 못하지만, 열수 추출물에서는 SD가 33.3%로 가장 높았고, 다음으로 SR, AF $\geq$ SP $\geq$ HD $\geq$ HR $\geq$ B, R순으로 나타났다. 에탄올 추출물에서는 R, HR, AF, B가 39.2~36.4%로 가장 높았으며, 다음으로 SP $\geq$ SD $\geq$ HD $>$ SR순으로 나타났다. 돼지감자 부위별 메탄올 추출물을 이용한 연구(Lee & Lee 2016)에서 뿌리 추출물에서는 가장 높은  $\alpha$ -glucosidase 저해능을 보였으며(60.76%), 그 다음 잎(55.67%), 꽃(41.08%) 추출물 순으로  $\alpha$ -glucosidase 저해능을 보였다. 돼지감자는 항당뇨 효능이 우수한 식품으로 이미 알려져



**Figure 2.**  $\alpha$ -glucosidase activity of hot water (A) and ethanol (B) extract from superior potato prepared using various cooking methods. SP: raw superior potato, SD: sun-dried superior potato, SR: roasted superior potato after sun drying, HD: hot-air dried superior potato, HR: roasted superior potato after hot-air drying, B: boiled superior potato, R: roasted superior potato, AF: air-fried superior potato. The bars represent the mean $\pm$ SD. Bars with different superscripts are significantly different at the P<0.05 level by ANOVA and Duncan's multiple range test.

있으나, 본 연구에서 연구된 수미감자의 경우 항당뇨 효능 분석의 선행연구가 없었다. 당뇨의 경우 전분질 식품을 엄격하게 제한해야 하는 질병이므로, 주식을 대체할 수 있는 식품으로 수미감자를 활용하거나 물에 우려서 섭취할 시 혈당강하에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

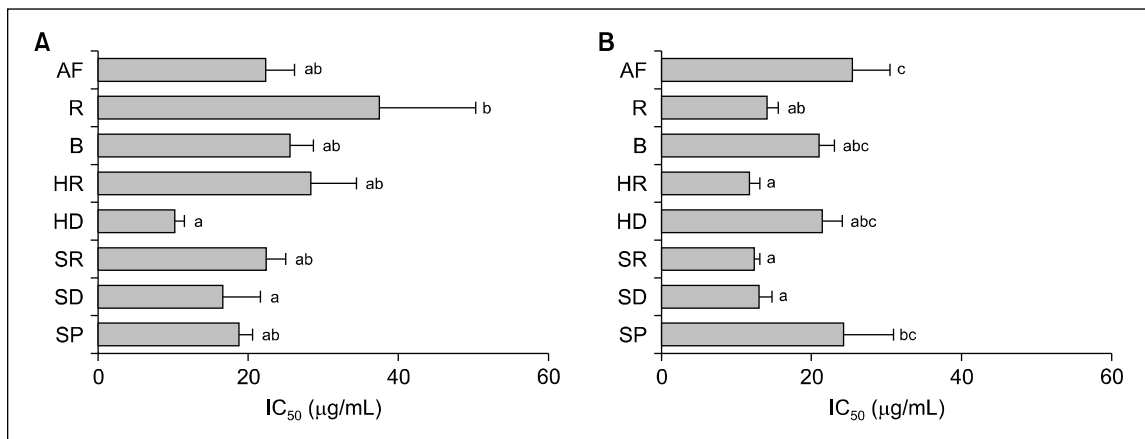
#### 4. 세포 내 항산화 능력

CAC assay는 살아있는 세포 내의 활성산소를 AAPH로 유발하여 시료를 처리하고, 세포 내의 활성 산소종의 양을 형광으로 측정하는 방법으로 DEFH-DA probe를 이용하는 실험방법(Sevgi 등 2015)이며, DCFH-DA는 세포막을 통과할 때 esterase에 의해 DCFH로 전환되어 세포 내 활성 산소종이 있을 때 형광으로 변하는 DCF로 전환된다. 시료의 항산화 활성이 클수록 AAPH로 유도된 퍼옥시 라디칼을 소거하여 측정되는 형광값이 작아진다. HepG2 세포에서 수미감자 추출물의 세포 생존율을 측정한 결과, 최종 농도 25  $\mu\text{g/mL}$ 에서 80% 이상의 생존율을 보였으며 열수 추출물과 에탄올 추출물 모두 농도 의존적인 항산화 활성을 보

였다(data not shown). 또한  $\text{IC}_{50}$  농도를 산출하여 비교한 결과(Fig. 3), 열수 추출물에서는 HD가 가장 낮은  $\text{IC}_{50}$  농도를 보였으며 다양한 조리 방법에 따라서는 유의적인 차이가 없었다. 에탄올 추출물에서는 SD, SR, HR에서 가장 낮은  $\text{IC}_{50}$  농도를 나타내었으며, 열수 추출물과 동일하게 다양한 조리 방법에 따른 차이는 보이지 않았다. 이전 연구에 따르면 조리 후 고구마의 세포 내 항산화 활성은 대부분의 경우 생고구마에 비해 증가하거나 유지되는 경향을 보였다. 이는 조리 과정 중 열처리에 의해 세포벽이 파괴되고, 항산화 성분이 더 쉽게 추출되면서 세포 내 흡수율이 증가했기 때문으로 사료된다(Seo 등 2018).

#### 5. 항유전독성 평가

산화적 스트레스에 의한 DNA 손상 보호능 single-cell gel-electrophoresis assay로 알려진 comet assay는 ROS에 의한 산화적 스트레스 유발 시 세포 내 DNA 손상 정도를 직접적으로 확인할 수 있는 유용한 지표로 사용되고 있다(Singh 등 1988; Prior 등 2005). 항유전독성 평가의 결과는 Fig. 4에 제시하였다.



**Figure 3.** Cellular antioxidant activity (CAC)  $\text{IC}_{50}$  ( $\mu\text{g/mL}$ ) of hot water (A) and ethanol (B) extracts from superior potato prepared using various cooking methods. SP: raw superior potato, SD: sun-dried superior potato, SR: roasted superior potato after sun drying, HD: hot-air dried superior potato, HR: roasted superior potato after hot-air drying, B: boiled superior potato, R: roasted superior potato, AF: air-fried superior potato. The bars represent the mean  $\pm$  SD. Bars with different superscripts are significantly different at the  $P < 0.05$  level by ANOVA and Duncan's multiple range test.

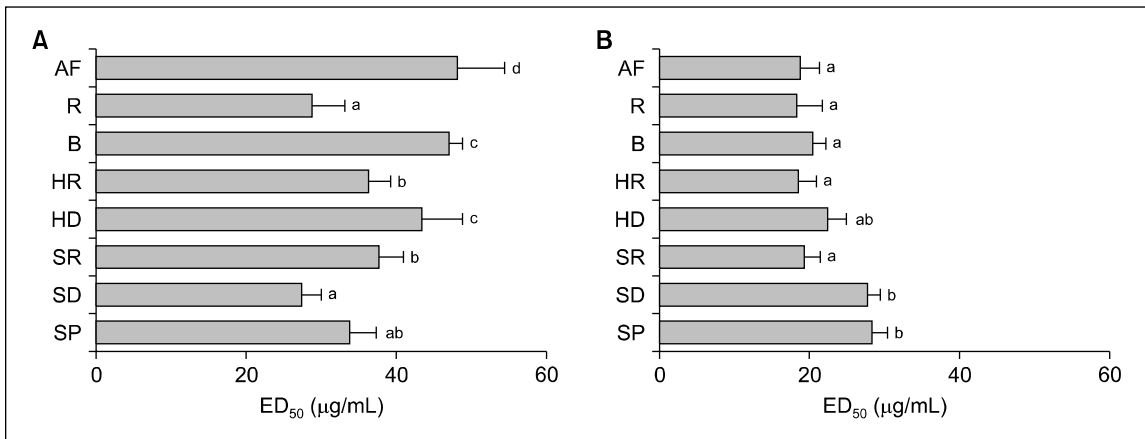
열수 추출물과 에탄올 추출물 모두 농도 의존적인 항산화 활성을 보였으며(data not shown), 전반적으로 열수 추출물보다는 에탄올 추출물에서 DNA 손상 억제 능력이 높았다. 다만 에탄올 추출물에서는 다양한 조리 방법에 따른 항유전독성 효능 차이를 보이지 않았으나, 열수 추출물에서는 에어프라이를 이용한 조리법보다는 삶기, 로스팅 등의 조리 방법을 이용한 감자의 항유전독성 효능이 높게 나타났다. 이전 연구에서 고구마 추출물은 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>로 유도된 산화적 스트레스에 의해 발생한 DNA 손상을 감소시키는 효과를 보였으나, 일반 고구마의 경우 조리 전후의 DNA 손상 보호 효과에 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 열수 추출물과 에탄올 추출물 사이에서 효과 차이도 확인할 수 없었으나(Seo 등 2018), 본 연구에서는 에탄올 추출물에서 높은 항유전독성 효능을 보였다. 또 다른 선행 연구(Kim 등 2012)에서는 건조 방법에 따른 표고버섯의 DNA 손상 억제능에서 건조 표고버섯보다 생 표고버섯에서 높은 항유전독성을 보였으나, 본 연구에서는 열수 추출물의 경우에는 생감자의 항유전독성이 높은 편이었고, 에탄올 추출물에서는 낮은 항유전독성 효능을 보였다.

### 요약 및 결론

본 연구는 수미감자(superior Potato, SP)의 다양한 조리 방법(햇빛 건조: SD, 햇빛 건조 후 로스팅: SR, 열풍건조: HD, 열풍건조 후 로스팅: HR, 삶기: B, 볶기: R, 에어프라이: AF)이 감자의 항산화 활성 및 항당뇨 활성을 비교하였다.

1. 열수 추출물에서 총 폴리페놀 함량(TPC)은 SR 시료가 가장 높았으며, 에탄올 추출물에서는 B 시료가 가장 높은 폴리페놀 함량을 보였다.
2. 산소 라디칼 흡수능(ORAC) 측정 결과, AF 시료가 모든 추출물 농도(50 µg/mL)에서 가장 높은 항산화 활성을 나타냈다.
3. α-glucosidase 저해 활성의 경우, 열수 추출물에서는 SD가 가장 높은 활성을 나타냈으며, 에탄올 추출물에서는 R이 가장 높은 활성을 보였다.
4. 또한, 수미감자는 HepG2 세포에서 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>에 의해 유도된 DNA 손상을 억제하는 효과를 보였다.

본 연구에서는 수미감자 섭취를 위해 이용될 수 있는 다양한 조리 방법을 활용하였으며, 감자가 조리



**Figure 4.** DNA damage inhibition ED<sub>50</sub> (µg/mL) of hot water (A) and ethanol (B) extracts from superior potato prepared using various cooking methods. (A)~(H) Hot water extract, (I)~(P) ethanol extract. SP: raw superior potato, SD: sun-dried superior potato, SR: roasted superior potato after sun drying, HD: hot-air dried superior potato, HR: roasted superior potato after hot-air drying, B: boiled superior potato, R: roasted superior potato, AF: air-fried superior potato. Bars represent mean±SD. Bars with different superscripts are significantly different at the P<0.05 level by ANOVA and Duncan's multiple range test.



과정에서 열과 수분에 노출됨에 따라 항산화 성분이 손실될 수 있음을 고려하였다. 연구 결과를 바탕으로 조리 방법에 따라 수미감자의 항산화 활성, 항당뇨 활성 및 항유전독성 효능에 차이가 있을 수 있다는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 다양한 조리 방법에 따른 수미감자의 생리활성에 따라 상황에 적합한 조리 방법을 찾는 데 기여할 것으로 기대된다. 또한, 본 연구는 다양한 조리 방법에 따른 항산화 및 항당뇨 활성의 변화를 평가하고, 추출물별 결과를 제시함으로써 향후 식품산업에서 수미감자를 활용한 특정 목적에 맞는 최적의 추출 방법 선택과 기능성 식품 개발 및 건강에 유익한 조리법 제안에 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다. 특히, 열수 추출물에서 높은 활성을 보인 결과는 이를 차로 우려서 식음할 수 있는 가능성을 시사하며, 에탄올 추출물에서 높은 활성이 나타난 것은 식품산업에서 에탄올을 용매로 활용할 경우 추출 효율을 극대화할 수 있음을 의미한다. 이러한 연구 결과는 수미감자의 기능성 성분을 활용한 제품 개발 및 응용에 있어 유용한 정보를 제공할 것이다.

다만, 본 연구는 세포 실험 조건이 실제 생리적 환경과 차이가 있을 가능성이 있으며, 세포 수준에서 수행된 기초 실험에 그쳐 인체 적용 가능성에 대한 평가가 이루어지지 않았다는 한계가 있다. 더불어, TP 및 ORAC 실험은 항산화 물질의 총량과 산소 라디칼 흡수능력을 측정하는 방법으로, 항산화 물질이 세포 내에서 어떻게 대사되고 작용하는지에 대한 정보를 충분히 제공하지 못한다. 반면, 세포 실험은 특정 세포 경로를 통한 항산화 및 세포 보호 효과를 평가하지만, 이는 복잡한 생체 내 다중 세포 간 상호작용이나 세포 외부 환경에서의 항산화 반응을 반영하지 못해 생체 내 실제 효능을 예측하는 데 제한적이다. 따라서, 본 연구의 결과를 인체에 일반화하여 적용하기에는 한계가 있으며, 후속 연구에서는 다양한 세포주를 활용한 실험과 최적화된 실험조건 설정, TP 및 ORAC 실험과 세포 실험 간의 차이를 보완할 수 있는 전임상 및 임상 연구를 통해 추가적인 검증이

필요하다. 이를 통해 연구 결과의 생리적 유효성을 높이고, 실제 임상에서의 효과를 검증하는 데 기여할 수 있을 것이다.

## ORCID

백주하: <https://orcid.org/0009-0007-7846-0073>

최미주: <https://orcid.org/0000-0003-4527-2475>

원민혜: <https://orcid.org/0009-0004-5925-060X>

박은주: <https://orcid.org/0000-0002-3462-6090>

## REFERENCES

- Álvarez R, Araya H, Navarro-Lisboa R, Lopez de Dicastillo C (2016): Evaluation of polyphenol content and antioxidant capacity of fruits and vegetables using a modified enzymatic extraction. *Food Technol Biotechnol* 54(4):462-467
- Baron G, Ferrario G, Marinello C, Carini M, Morazzoni P, Aldini G (2021): Effect of extraction solvent and temperature on polyphenol profiles, antioxidant and anti-inflammatory effects of red grape skin by-product. *Molecules* 26(18):5454
- Burlingame B, Mouillé B, Charrondière R (2009): Nutrients, bioactive non-nutrients and anti-nutrients in potatoes. *J Food Compost Anal* 22(6):494-502
- Camire ME, Kubow S, Donnelly DJ (2009): Potatoes and human health. *Crit Rev Food Sci Nutr* 49(10):823-840
- Devaux A, Goffart JP, Kromann P, Andrade-Piedra J, Polar V, Hareau G (2021): The potato of the future: opportunities and challenges in sustainable agri-food systems. *Potato Res* 64(4):681-720
- Ezekiel R, Singh N, Sharma S, Kaur A (2013): Beneficial phytochemicals in potato - a review. *Food Res Int* 50(2):487-496
- Folin O, Denis W (1912): On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem* 12(2):239-243
- Frost KE, Groves RL, Charkowski AO (2013): Integrated control of potato pathogens through seed potato certification and provision of clean seed potatoes. *Plant Dis* 97(10):1268-1280
- Gua J, Jin YS, Han W, Shin TH, Sa JH, Wang MH (2006):

- Studies for component analysis, antioxidative activity and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity from *Equisetum arvense*. J Korean Soc Appl Biol Chem 49(1):77-81
- Gunathilake KDPP, Ranaweera KKDS, Rupasinghe HPV (2018): Effect of different cooking methods on polyphenols, carotenoids and antioxidant activities of selected edible leaves. Antioxidants (Basel) 7(9):117
- Kawakami T, Oohori H, Tajima K (2015): Seed potato production system in Japan, starting from foundation seed of potato. Breed Sci 65(1):17-25
- Kim MJ, Chu WM, Park EJ (2012): Antioxidant and anti-genotoxic effects of shiitake mushrooms affected by different drying methods. J Korean Soc Food Sci Nutr 41(8): 1041-1048
- King JC, Slavin JL (2013): White potatoes, human health, and dietary guidance. Adv Nutr 4(3):393S-401S
- Kratchanova M, Denev P, Ciz M, Lojek A, Mihailov A (2010): Evaluation of antioxidant activity of medicinal plants containing polyphenol compounds. Comparison of two extraction systems. Acta Biochim Pol 57(2):229-234
- Kurihara H, Fukami H, Asami S, Toyoda Y, Nakai M, Shibata H, Yao XS (2004): Effects of oolong tea on plasma antioxidative capacity in mice loaded with restraint stress assessed using the oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay. Biol Pharm Bull 27(7):1093-1098
- Lee CH, Lee YR (2016): Antioxidative and antidiabetic activities of methanol extracts from different parts of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). Korean J Food Nutr 29(1):128-133
- McGill CR, Kurilich AC, Davignon J (2013): The role of potatoes and potato components in cardiometabolic health: a review. Ann Med 45(7):467-473
- Miglio C, Chiavaro E, Visconti A, Fogliano V, Pellegrini N (2008): Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables. J Agric Food Chem 56(1):139-147
- 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(10): 4290-4302
- Rasheed H, Ahmad D, Bao J (2022): Genetic diversity and health properties of polyphenols in potato. Antioxidants (Basel) 11(4):603
- Schieber A, Aranda Saldaña MD (2009): Potato peels: a source of nutritionally and pharmacologically interesting compounds-a review. Food 3:23-29
- Seo BY, Kim JS, Park E (2018): Comparison of phenolic compounds and antioxidant properties of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) according to variety and moist heat cooking. J Korean Soc Food Sci Nutr 47(3):243-252
- Sevgi K, Tepe B, Sarikurkcu C (2015): Antioxidant and DNA damage protection potentials of selected phenolic acids. Food Chem Toxicol 77:12-21
- Singh NP, McCoy MT, Tice RR, Schneider EL (1988): A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. Exp Cell Res 175(1):184-191
- Song W, Derito CM, Liu MK, He X, Dong M, Liu RH (2010): Cellular antioxidant activity of common vegetables. J Agric Food Chem 58(11):6621-6629
- William DJ, Edwards D, Hamernig I, Jian L, James AP, Johnson SK, Tapsell LC (2013): Vegetables containing phytochemicals with potential anti-obesity properties: a review. Food Res Int 52(1):323-333