

고구마 네 가지 품종의 조리방법에 따른 생리활성 변화*

이영민^{1§} · 배지현¹ · 김정봉¹ · 김소영¹ · 정미남² · 박미영¹ · 고정숙¹ · 송진¹ · 김재현¹

농촌진흥청 기능성식품과,¹ 농촌진흥청 바이오에너지작물센터²

Changes in the Physiological Activities of Four Sweet Potato Varieties by Cooking Condition*

Lee, Young Min^{1§} · Bae, Ji Hyun¹ · Kim, Jung Bong¹ · Kim, So Young¹ · Chung, Mi Nam²
Park, Mi Young¹ · Ko, Jeong Sook¹ · Song, Jin¹ · Kim, Jae Hyun¹

¹Functional Food & Nutrition Division, Rural Development Administration, Suwon 441-853, Korea

²Bioenergy Crop Research Center, Rural Development Administration, Muan 534-833, Korea

ABSTRACT

The present study was performed to investigate antioxidant, anticancer, and antimicrobial activities of four Korean sweet potato varieties and to identify the changes in these biological activities under different cooking conditions. Total polyphenol content was 3.8–73.6 mg/g in 80% ethanol extracts of sweet potatoes. The polyphenol content was highest Sinjami variety ($p < 0.05$). Radical scavenging activity against DPPH and ABTS^{•+} was high in Sinjami ($p < 0.05$) and the ethanol extract from Sinjami also showed effective superoxide dismutase (SOD)-like activity, which decreased significantly by steaming and roasting ($p < 0.05$). Ethanol extracts from the four sweet potato varieties did not inhibit cancer cell growth in MCF-7 or HepG2 cells at concentrations of 1, 10, and 100 μ g/mL. Of the investigated sweet potato varieties, only Sinjami exhibited strong antimicrobial activity against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Salmonella typhimurium*. The antimicrobial activity of Sinjami against *E. coli*, *S. aureus*, and *S. typhimurium* decreased following steaming and roasting ($p < 0.05$). These results indicate that the Sinjami Korean sweet potato had higher polyphenol content, radical scavenging activity, SOD-like activity, and antimicrobial activity than those of the other varieties and consuming raw Sinjami might be beneficial for maintenance of biological activities. (Korean J Nutr 2012; 45(1): 12 ~ 19)

KEY WORDS: sweet potato, cooking conditions, radical scavenging activity, antimicrobial activity.

서론

고구마는 원산지가 남미 열대지역으로, 우리나라에는 1763년 일본통신사 조엄(趙顯)에 의해 대마도로부터 처음 도입되었으며 그 이후로 오랫동안 식량자원으로 이용되어 왔다. 1971년에 고구마의 재배면적은 111천 ha를 넘었으나, 그 재배면적이 점차 감소하여 최근에는 약 20천 ha 정도이다.¹⁾ 그러나 1990년부터는 여러 가지 용도에 적합한 고구마 품종이 개발되고 있으며 오늘날 고구마는 간식용, 전분가공용, 생식용 등으로 그

용도가 다양화되고 있는 추세이다.

고구마의 영양성분은 수분을 제외하면 대부분이 탄수화물로써 (무게 당 31% 차지) 고구마는 우리 식생활에서 탄수화물의 주요 공급원일 뿐 아니라, 식이섬유와 칼슘, 철 등의 무기질과 비타민 또한 다량 함유하고 있어 영양학적으로 우수한 식품으로 평가되고 있다.²⁾ 이 외에 고구마는 카로티노이드와 플라보노이드 등의 기능성성분도 가지고 있으며,^{3,4)} 유색고구마와 같이 고구마의 기능성을 향상시킨 새로운 품종이 개발, 생산되면서 영양성과 함께 기능성을 갖춘 건강기능식품으로 주목되고 있다.

고구마의 기능성과 관련해서는 많은 연구가 이루어지고 있어, 항산화성,⁵⁻⁸⁾ 항미생물 활성,⁹⁾ 항돌연변이 효과⁹⁾ 등의 기능성을 지닌 것으로 보고되어 왔다. 고구마가 함유하고 있는 기능성 물질의 분리 및 동정도 함께 이루어져, 유색고구마 색소성분의 분리 동정^{10,11)}과 chlorogenic acid와 caffeic acid를 주요 성분으로 하는 페놀화합물의 항산화활성¹²⁾ 등이 보고되었

접수일: 2011년 10월 31일 / 수정일: 2011년 12월 6일

채택일: 2012년 1월 9일

*This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ006782)", National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

[§]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: ymlee@korea.kr

다. 또한 고구마의 이용성 증대와 부가가치 제고를 위하여 최근 이외의 껍질, 잎, 끝순 등 고구마 부위에 대한 성분 분석 및 생리활성 평가 연구^{13,14)}가 진행되고 있는 추세이다.

한편, 최근 건강한 식생활에 대한 관심이 증가하면서 기능이 확인된 식품에 대한 소비자의 관심과 수요가 증대하고 있으나, 인체가 섭취할 때 그 기능성이 그대로 유지되는지는 의문이다. 본래 식품의 기능성을 유지하거나 강화시킬 수 있는 열처리 조건 또는 가공방법에 대한 연구가 활발히 수행되어져야 하나 조리 또는 가공 후의 생리활성 변화에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 일반고구마인 진홍미와 연황미, 유색고구마인 주황미와 신자미, 네 가지 고구마 품종에 대하여 품종별 항산화활성과 항암 및 항균 활성을 평가하고 찌기와 굽기와 같은 조리방법에 의한 생리활성의 변화를 조사하였다.

연구 방법

시 료

본 연구에서 사용한 네 가지 품종의 고구마는 일반고구마인 연황미와 진홍미, 유색고구마인 주황미 (주황색), 신자미 (자색)로, 농촌진흥청 바이오에너지작물센터에서 재배하여 2009년 10월에 수확하였으며 2010년 3월까지 온도 13℃, 습도 85% 조건에서 저장된 것이었다.

조 리

고구마의 조리는 생 것, 찐 것, 구운 것의 방법으로 처리하였다. 생 것의 경우 200~300 g의 고구마를 수세한 후 껍질을 벗기고 2 cm 정도 두께로 절단하여 냉동보관 하였다. 찐 것의 경우는 200~300 g의 고구마를 수세한 후 고온고압멸균기 (SJ-220A100, Sejong Scientific Co., Bucheon, Korea)를 사용하여 121℃에서 10분 처리하여 식힌 다음 껍질을 벗기고 냉동보관 하였다. 구운 것은 200~300 g의 고구마를 수세한 후 오븐에서 200℃, 50분 처리하고 나서 식은 것을 껍질을 벗겨 냉동보관 하였다.

추출물 제조

냉동보관 된 각 고구마를 동결건조 (PVTFD 10R, Ilsin Lab, Yangju, Korea) 후 분쇄시료 10 g에 증량대비 10배의 80% 에탄올을 가하고 교반추출 (Jeio tech sk-71, Lab companion, Daejeon, Korea)하면서 24시간 동안 2회 반복추출하고, ADVANTEC paper (No. 6)(ADVANTEC Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 감압 여과하였다. 그 후에, 감압농축기 (EYELA N-1000, Rikakikai Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 농축하였으며 동결 건조하여 Phosphate Buffered Saline (Hy-

clone, South Logan, USA)에 녹여 시료로 사용하였다.

총 폴리페놀 함량

총 폴리페놀 함량은 Folin-Denis법¹⁵⁾에 따라 고구마 추출물 10 µL에 Folin reagent 10 µL 및 2% Na₂CO₃ 200 µL을 가하고 혼합한 다음 실온에서 30분간 정치시킨 후 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 tannic acid (Sigma Co., St. Louis, USA)를 사용하여 시료와 동일한 방법으로 분석하여 얻은 검량선 으로부터 총 페놀 함량을 산출하였다. 실험은 3회 반복 수행하여 평균값을 제시하였다.

DPPH 라디칼 소거능

각 추출물의 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) 라디칼 소거능은 Blois 등¹⁶⁾의 방법을 변형하여 실험하였다. 농도별 (1,000, 500 µg/mL) 시료 40 µL에 1.5×10^{-4} M DPPH (Sigma Co.) 용액 160 µL을 가하여 잘 혼합하고, 암소에서 30분간 방치 후 518 nm에서 흡광도를 측정하였다. 결과 값은 시료를 첨가하지 않은 대조군과 비교하여 라디칼의 제거활성으로 나타냈으며 양성대조군으로는 ascorbic acid를 사용하였다. 실험은 3회 반복 수행하여 평균값을 제시하였다.

ABTS 양이온 (ABTS^{•+}) 소거능

2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS)(Sigma Co.)와 과황산칼륨 (potassium persulfate)을 혼합하여 암소에 두면 ABTS 양이온이 생성되는데 추출물의 항산화물질과 반응하여 양이온이 소거됨으로써 특유의 청록색이 탈색되며 이의 흡광도를 측정하여 항산화 능력을 측정할 수 있다.¹⁷⁾ 7.4 mM ABTS 용액과 2.6 mM 과황산칼륨을 혼합하여 암소에서 약 15시간 반응시킨 후 734 nm에서 흡광도가 1.5가 되도록 희석하였다. 희석한 용액 300 µL에 3,200, 1,600 µg/mL로 조제한 시료 20 µL를 첨가하여 잘 혼합하고 실온에 30분간 방치한 다음 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 결과 값은 시료를 첨가하지 않은 대조군과 비교하여 라디칼의 제거활성으로 나타냈으며 양성대조군으로는 ascorbic acid를 사용하였다. 실험은 3회 반복 수행하여 평균값을 제시하였다.

SOD 유사활성

Superoxide dismutase (SOD) 유사활성은 중성이나 알칼리 상태에서 pyrogallol이 superoxide에 의해 자동산화 되면서 갈색물질이 생성되는 원리를 이용하여 pyrogallol의 자동산화를 억제시키는 효과를 측정하였다.^{18,19)} 10 mg/mL로 조제한 시료 20 µL에 pH 8.5로 보정한 tris-HCl buffer (50 mM tris + 10 mM EDTA, pH 8.5) 300 µL와 7.2 mM pyrogallol 20 µL를 첨가하여 25℃에서 10분간 반응 후, 1 N HCl 10 µL를 가

하여 반응을 정지시켰다. 반응액 중 산화된 pyrogallol의 양은 420 nm에서 흡광도의 변화를 측정하여 대조군과 비교하여 저해활성으로 나타내었다. 양성대조군으로는 ascorbic acid를 사용하였으며 실험은 3회 반복 수행하여 평균값으로 제시하였다.

세포배양

본 실험에서 사용된 세포는 사람 유방암 세포인 MCF-7 (Korean Cell Line Bank, Seoul, Korea), 간암 세포인 HepG2 (Korean Cell Line Bank)이었다. 실험에 사용한 배지는 10% fetal bovine serum (Invitrogen, Carlsbad, USA)과 penicillin-streptomycin solution (100 units/mL penicillin과 100 µg/mL streptomycin)(Hyclone)이 포함된 RPMI 1640 이었고, MCF-7과 HepG2는 37°C, 5% CO₂에서 배양되었다.

항암 활성

MCF-7 세포는 2×10^4 /mL으로, HepG2 세포는 1×10^4 /mL 으로 24 well에 1 mL 씩 분주하여 24시간 경과 후 고구마 에탄올 추출물 (농도는 100, 10, 1 µg/mL)을 처리하였다. 72시간이 경과 된 후 5 mg/mL thiazolyl blue tetrazolium bromide (Sigma Co.)를 각 well에 100 µL씩 넣어 4시간 반응 (37°C, 5% CO₂)시킨 후, well 바닥에 생성된 formazan이 같이 나오지 않도록 조심스럽게 배지를 제거 하고 DMSO 1 mL을 넣어 용해시킨 후 570 nm에서 흡광도를 측정하였다. 실험은 3회 반복하여 수행하였으며 대조군 (PBS) 대비 세포 생존율로 나타내었다.

항균 활성

항균 활성 실험에 사용한 세균은 Gram 음성세균 2종, *Esch-*

erichia coli [Korean Collection for Type Culture (KCTC) 1682, Daejeon, Korea]와 *Salmonella typhimurium* (KCTC 2515), Gram 양성세균 1종 *Staphylococcus aureus* (KCTC 3881)으로 총 3종 이었으며, 배지는 Brain Heart Infusion (BHI) broth (BD, Sparks, USA)를 사용하였다. 항균 활성 측정을 위해 각각의 균주는 broth 배지에 접종하고 37°C에서 18시간 전 배양하여 사용하였다. 전 배양 시킨 균주를 600 nm에서 흡광도가 0.5가 되도록 희석하고 이것을 배지에 1% 접종하였으며, 고구마 에탄올 추출물은 최종 농도 1 mg/mL로 처리하였다. 균주 생육 저해 곡선은 37°C에서 11시간 동안 배양 하면서 cell density meter (Ultrospec 10, Biochrom Ltd., UK)로 측정함으로 얻어졌다.

통계처리

실험 결과는 3회 반복 측정 후 평균 \pm 표준편차로 나타내었고, 처리간의 차이는 ANOVA를 실시한 후 사후검정으로 Duncan's multiple range test에 의하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검증하였다.

결 과

추출수율 및 총 폴리페놀 함량

고구마 4품종의 추출수율과 총 폴리페놀 함량을 Table 1에 제시하였다. 연황미의 수율은 15.3~50.0%이었고, 진홍미는 14.7~50.3%, 주황미는 30.9~56.2%이었으며, 신자미는 17.2~51.2%로 나타났다. 품종에 상관없이 추출수율은 생 것 보다 찌기와 굵기에 의해 약 2~3배 증가하였다. 총 폴리페놀 함량의 경우, 신자미 생 것이 73.6 mg/g으로 연황미 (3.8 mg/g)와

Table 1. Cooking conditions of sweet potato and yields, polyphenol content of their ethanol (80%) extracts by cooking conditions

Sweet potato	Treatment	Extraction yield (%)	Polyphenol (mg/g)
Yeonhwangmi	Raw	15.3	^{B2)} 3.8 \pm 0.3 ^{1) NS3)}
	Steamed ⁴⁾	49.0	4.0 \pm 1.3
	Roasted ⁵⁾	50.0	4.3 \pm 0.6
Jinhongmi	Raw	14.7	^B 7.4 \pm 0.5 ^b
	Steamed	39.6	9.5 \pm 1.5 ^a
	Roasted	50.3	4.5 \pm 1.1 ^c
Juhwangmi	Raw	30.9	^B 7.9 \pm 2.1 ^{NS}
	Steamed	51.9	7.8 \pm 2.6
	Roasted	56.2	5.0 \pm 2.3
Sinjami	Raw	17.2	^A 73.6 \pm 15.5 ^a
	Steamed	41.1	41.0 \pm 11.8 ^b
	Roasted	51.2	38.6 \pm 3.0 ^b

1) Data was expressed as Mean \pm SD 2) Values with different capital letters within the same column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test 3) Values with different small letters within a column of the same variety of sweet potato are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test. NS: not significantly different at $p < 0.05$ 4) 121 °C , 10 min 5) 200 °C , 50 min

Table 2. Radical scavenging activity of ethanol extracts from sweet potato

Scientific name		Scavenging activity of DPPH radical (%)		Scavenging activity of ABTS ^{·+} radical (%)	
		20 µg/mL		20 µg/mL	
L-Ascorbic acid		96.7 ± 0.0 ¹⁾		100.0 ± 0.0	
		200 µg/mL	100 µg/mL	200 µg/mL	100 µg/mL
Yeonhwangmi	Raw	^{D2)} 5.2 ± 3.5 ^{NS3)}	^C 3.7 ± 3.6 ^{NS}	^D 8.4 ± 3.0 ^{NS}	^C 7.4 ± 5.3 ^{NS}
	Steamed	7.8 ± 1.7	3.7 ± 2.6	10.8 ± 4.5	10.1 ± 1.6
	Roasted	7.4 ± 4.6	3.8 ± 0.9	13.1 ± 5.2	11.5 ± 1.2
Jinhongmi	Raw	^C 10.9 ± 1.1 ^b	^C 4.4 ± 1.0 ^b	^B 18.8 ± 3.0 ^a	^B 13.7 ± 3.3 ^a
	Steamed	17.8 ± 0.3 ^a	8.1 ± 0.6 ^a	22.6 ± 1.4 ^a	14.8 ± 1.4 ^a
	Roasted	8.8 ± 0.9 ^c	5.3 ± 1.2 ^b	12.3 ± 5.5 ^b	6.3 ± 4.9 ^b
Juhwangmi	Raw	^B 19.8 ± 1.6 ^{NS}	^B 8.1 ± 0.5 ^c	^C 14.7 ± 3.8 ^{NS}	^{BC} 9.1 ± 4.7 ^b
	Steamed	22.6 ± 0.80	11.3 ± 0.6 ^a	17.4 ± 4.7	14.1 ± 1.1 ^a
	Roasted	18.9 ± 2.90	9.6 ± 1.0 ^b	12.7 ± 2.1	9.5 ± 1.3 ^b
Sinjami	Raw	^A 89.2 ± 0.4 ^a	^A 84.9 ± 0.2 ^a	^A 99.7 ± 0.0 ^a	^A 73.1 ± 1.0 ^a
	Steamed	87.7 ± 0.3 ^b	50.5 ± 1.2 ^b	84.9 ± 0.8 ^b	49.6 ± 1.6 ^b
	Roasted	84.2 ± 0.5 ^c	44.2 ± 1.3 ^c	59.6 ± 1.2 ^c	31.3 ± 3.2 ^c

1) Data was expressed as Mean ± SD 2) Values with different capital letters within the same column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test 3) Values with different small letters within a column of the same variety of sweet potato are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test. NS: not significantly different at $p < 0.05$

진홍미 (7.4 mg/g), 그리고 주황미 (7.9 mg/g) 보다 높은 함량을 보였다. 조리유형별로는 신자미의 폴리페놀 함량이 생 것에서 가장 높았고, 찐 것이 41.0 mg/g, 구운 것이 38.6 mg/g으로 감소하여 굵기와 찌기 등의 조리에 의한 폴리페놀 함량의 감소를 보였다. 반면, 진홍미는 생 것보다 찐 것 (9.5 mg/g)이 높은 폴리페놀 함량을 보였고, 구운 것 (4.5 mg/g)에서 그 함량이 감소하였다.

DPPH 및 ABTS^{·+} 라디칼 소거활성

고구마 각 추출물의 DPPH 및 ABTS^{·+} 라디칼 소거능을 200 µg/mL와 100 µg/mL의 농도로 측정된 결과를 Table 2에 나타내었다. DPPH 라디칼 소거활성은 신자미가 조사된 고구마 네 가지 품종 중 가장 우수하였고 그 다음은 주황미, 진홍미, 연황미의 순으로 평가되었다. 신자미의 경우 찌기와 굵기에 의해서 DPPH 라디칼 소거능이 감소하였고, 주황미는 찌기와 굵기에 의해서 증가하였으며, 진홍미는 찌기에 의해서는 증가한 반면, 굵기에 의해서 감소하였다.

ABTS^{·+} 라디칼 소거능의 경우도 마찬가지로 신자미가 가장 우수하였고, 진홍미, 주황미, 연황미의 순이었다. 조리방법에 의해서는 신자미가 찌기와 굵기에 의해서 라디칼 소거활성이 감소하였고, 주황미가 찌기에 의해 증가하였으며, 진홍미는 찌기에 의해서는 증가하였으나, 굵기에 의해서 감소하였다.

SOD 유사활성

고구마 조리유형별 추출물의 SOD 유사활성을 측정하였을 때, 신자미를 제외한 3종의 고구마에서는 활성이 나타나지 않았고 (데이터 제시하지 않음), 신자미의 조리유형별 SOD 유사

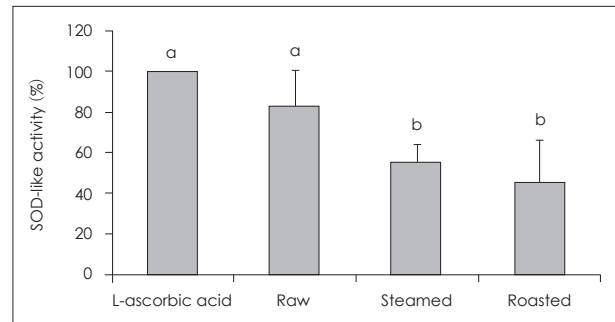


Fig. 1. SOD-like activity of ethanol extracts from sweet potato, Shinzami. The SOD-like activity of sweet potato extracts and L-ascorbic acid was determined at 10 mg/mL. Data was expressed as Mean ± SD. Values with different alphabet are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

활성은 Fig. 1에 나타내었다. 양성대조군으로 사용된 L-Ascorbic acid의 경우 농도 10 mg/mL에서 99.6%의 SOD 유사활성을 나타냈고, 신자미 생 것이 L-Ascorbic acid와 동일농도 10 mg/mL에서 82.5%으로 거의 비슷한 활성을 갖는 것으로 보였다. 그러나 신자미 찐 것의 경우 55.4%, 구운 것이 45.1%로 SOD 유사활성이 생 것에 비해 유의적으로 감소하였다.

암세포 성장 저해능

품종별 고구마의 암세포 성장 저해능을 MTT assay로 조사하였다. 유방암세포인 MCF-7에 고구마 에탄올 추출물을 처리하였을 때 세포의 성장을 저해하지 못하였고, 품종간에 또는 조리방법간에 유의적 차이를 보이지 않았으며, 간암 세포인 HepG2의 성장에도 고구마 추출물이 영향을 미치지 못하였다 (데이터 제시하지 않음).

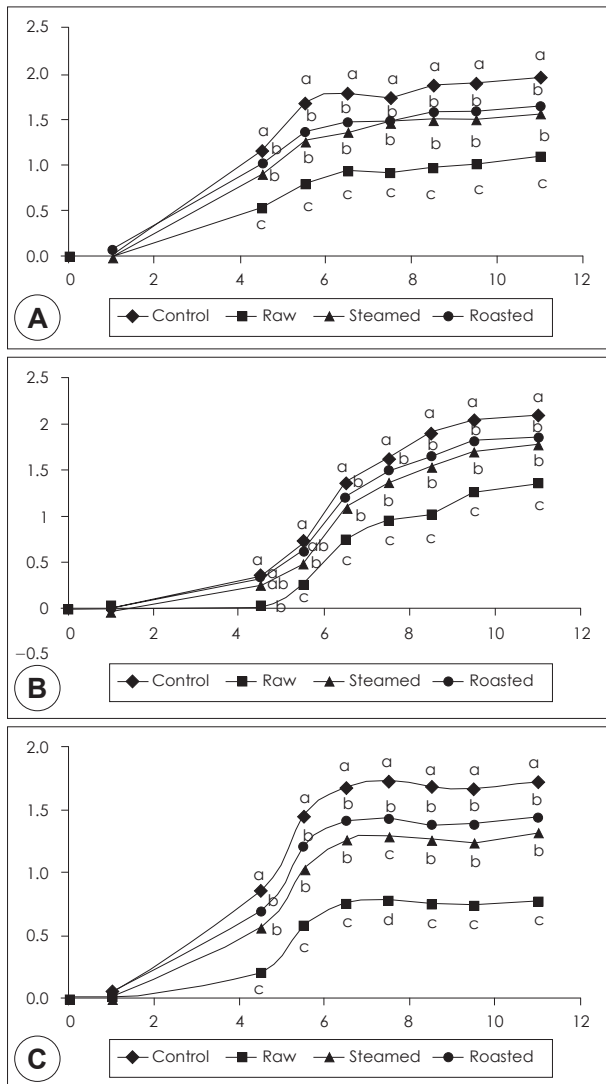


Fig. 2. Effects of ethanol extracts from sweet potato, Shinzami on the growth of (A) *Escherichia coli*, (B) *Staphylococcus aureus*, and (C) *Salmonella typhimurium*. Values with different alphabet within the same time are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

항균 활성

고구마 4 품종의 병원균 3종에 대한 항균 활성도를 측정한 결과 (Fig. 2) 연황미, 진홍미, 주황미는 *Escherichia coli* (*E. coli*), *Staphylococcus aureus* (*St. aureus*), *Salmonella typhimurium* (*S. typhimurium*)에 대하여 생육을 저해하지 않았으나 (데이터 제시하지 않음), 신자미는 생육을 크게 저해하는 것으로 나타났다. *E. coli*의 경우, 11시간 배양 후에 신자미 생 것이 44%, 찢은 것은 20%, 구운 것은 17% 항균 활성을 갖는 것으로 나타났다. *St. aureus*에 대해서는 신자미 생 것이 병원균 생육을 35%로 가장 높게 저해하였고, 찢은 것과 구운 것이 각각 15%, 11% 저해하였다. 또한 *S. typhimurium*에 대

해서도 신자미 생 것이 55%로 생육을 가장 높게 저해하였고 찢은 것이 24%, 구운 것은 16% 저해하여, 가공처리별로 생 것에서 항균 활성이 가장 높았다.

고 찰

고구마는식이섬유와 무기질, 비타민을 다량 함유하고 있어 영양학적으로 우수할 뿐만 아니라 카로티노이드와 플라보노이드 등의 기능성성분도 가지고 있어 최근에는 건강기능식품으로 새롭게 관심 받고 있다. 고구마의 항산화성, 항미생물 활성, 유색고구마로부터 색소성분의 분리 동정 등이 보고되어 왔으며 괴근 이외의 껍질, 잎, 끝순 등 고구마 부위에 대한 이용성 제고를 위한 연구도 진행되고 있는 추세이다. 그러나 고구마의 기능이 일반적으로 사용되는 찌기, 굽기 등의 조리방법에 의하여 어떻게 변화하는지에 대한 연구가 거의 없어, 본 연구에서는 일반고구마인 연황미와 진홍미, 유색고구마인 주황미와 신자미 네 가지 품종에 대하여 항산화활성과 항암활성, 항균활성을 평가하고 찌기와 굽기에 의한 이들 생리활성의 변화를 조사하였다.

고구마 네 가지 품종을 조리방법별로 처리하고 동결건조시킨 후에, 80% 에탄올로 추출하였을 때 추출수율은 비교적 높게 나타났으며 4품종 모두 공통적으로 추출수율이 찌기에 의해서는 1.7~3.2배 증가하였고 굽기에 의해서는 1.8~3.4배 증가하였다. 이는 찌거나 굽기의 과정 동안 세포 구조의 손상 또는 생체고분자물질의 부분적 가수분해로 인한 것,⁸⁾ 조리과정 중의 환원당의 증가에 의한 것^{20,21)}으로 여겨진다.

고구마의 품종별 항산화성을 비교하기 위하여 먼저 항산화물질로 잘 알려져 있는 폴리페놀의 함량을 측정하였다. 그 결과, 신자미 생 것이 73.6 mg/g으로 평가되었고 이 값은 연황미 (3.8 mg/g)와 진홍미 (7.4 mg/g), 그리고 주황미 (7.9 mg/g)보다 월등히 높은 함량이었다. Kwak 등⁷⁾이 자색고구마 추출물의 총 페놀화합물 함량을 44.3 mg/g으로 보고한 것과 Park 등⁹⁾과 Song 등⁶⁾의 연구에서 주황색고구마와 일반고구마에 비해 자색고구마의 총 페놀함량이 높게 나온 것과 같은 경향의 결과이다. Lee 등¹²⁾은 고구마 울미와 목포18에 대해 페놀화합물의 정성·정량 분석을 수행하여 두 품종 모두 속 부위보다 껍질 부위에 chlorogenic acid와 caffeic acid의 함량이 높았고, 식용유지에 대한 항산화능은 caffeic acid가 chlorogenic acid보다 높게 나타났다고 보고하였다. 조리유형별 폴리페놀의 함량은, 연황미의 경우 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났으나 진홍미 생 것의 폴리페놀 함량은 찌기에 의해서 증가하였고, 굽기에 의해서 감소하였다. 신자미의 폴리페놀 함량은 생 것에서 가장 높았으나, 그 다음 찢은 것 (41.0 mg/g)과 구

운 것 (38.6 mg/g) 순으로 감소하여 찌기와 굵기에 의해 각각 44%, 48% 감소하는 것으로 나타났다. 고구마 추출물의 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능에서도 자색고구마인 신자미의 라디칼 소거능이 다른 품종의 고구마에 비하여 높은 것으로 나타났다. 이 결과는 Song⁶⁾의 연구 결과에서 마찬가지로 자색고구마의 DPPH 라디칼 소거능이 일반 고구마와 주황색고구마에 비하여 높은 결과를 보고한 것과 일치한다. 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거능, ABTS 양이온 소거능 사이에는 유의적인 양의 상관관계가 존재하여,^{22,23)} 본 연구에서도 자색고구마가 폴리페놀 함량도 가장 높았고 DPPH와 ABTS 양이온 소거능도 가장 우수하였다. 자색고구마의 경우 라디칼 소거능이 찌기와 굵기에 의해서 감소하였으나, 이에 반해, 진홍미와 주황미는 찌기에 의해서 항산화능이 증가하는 것으로 나타났다.

고구마의 품종별, 조리유형별로 항산화활성을 측정하기 위해서 마지막으로 SOD 유사 활성을 측정하였다. 따라서 SOD 유사활성은 중성이나 알칼리 조건 하에서 superoxide에 의해 pyrogallol이 자동산화 되면서 갈색 물질을 생성하는 원리를 이용하여 자동산화를 억제하는 정도로 활성을 측정하게 된다. 본 연구에서 고구마 추출물의 SOD 유사 활성을 측정한 결과, 고구마 4 품종 중 신자미를 제외한 3종의 고구마에서는 활성이 나타나지 않았으나, 신자미는 추출물 농도 10 mg/mL에서 82.5%의 유사활성을 보여, 양성대조군으로 사용된 L-Ascorbic acid와 거의 유사한 수준의 활성을 보였다. 그러나 신자미 찌 것의 경우 55.4%, 구운 것이 45.1%로 SOD 유사활성이 생 것에 비해 유의적으로 감소하였으며, 이는 총 폴리페놀 함량과 라디칼 소거능이 신자미에서 찌기와 굵기와 같은 열처리에 의하여 크게 감소한 것과 일치하는 경향이였다. 시료 내 총 폴리페놀 함량과 라디칼 소거능, SOD 유사 활성간의 유의적인 양의 상관관계가 존재하는 것으로 보고된 바 있다.^{24,25)}

신자미의 주요 폴리페놀은 안토시아닌으로써 주로 acylated 형태로 존재하는 것으로 알려져 있다. 본 연구팀에서는 신자미의 조리유형별 안토시아닌 함량을 분석하여, 굵기 > 찌기 순으로 열처리에 의하여 총 안토시아닌 함량이 감소하는 것을 확인한 바 있다.²⁶⁾ 즉 acylated 페놀산과 당은 군 고구마보다 찌 고구마에서 더 분해되었고, cyanidin 3-sophoroside-5-glucoside와 peonidin 3-sophoroside-5-glucoside의 함량이 굵기에 의해서 증가하였으며, mono-acylated cyanidin 3- (6"-feruloyl sophoroside)-5-glucoside와 peonidin 3- (6"-feruloyl sophoroside)-5-glucoside 또한 다소 증가한 것으로 나타났다. 따라서 이들 화합물은 acylated 안토시아닌보다 열안정성이 높으며 구운 형태에서 더 안정적인

형태로 존재하는 것으로 사료되었다. 그러나 신자미의 라디칼 소거능은 찌기보다 굵기에 의해 더 감소하여 안토시아닌 이외의 폴리페놀이 항산화능에 기여한 것으로 보인다.²⁷⁾

신자미와는 달리, 진홍미나 주황미는 찌기 처리에 의하여 폴리페놀 함량 및 라디칼 소거능이 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 신자미에서 열 처리에 의하여 감소하는 것으로 나타난 안토시아닌 이외에 열 처리 후, 이용성이 증가하는 카로티노이드 등이 라디칼 소거능이 소폭 증가하는 것에 관여한 것으로 생각된다.^{28,29)}

Phytochemicals, 특히 폴리페놀은 자유라디칼 소거능을 가지고 이것은 암 등의 만성질환의 위험을 감소시키는 것으로 알려져 있다.³⁰⁻³²⁾ 따라서 본 연구에서 유방암세포인 MCF-7과 간암 세포인 HepG2에 고구마 에탄올 추출물을 처리하여 MTT assay를 수행하였으나 고구마는 세포의 성장을 유의적으로 저해하지 못하였고, 품종 간에 또는 조리방법 간에 차이를 보이지 않았다. Park 등³³⁾이 위암세포 AZ-521을 사용하여 고구마 메탄올 추출물이 200 ug/mL 농도에서 암세포 성장 저해능을 보인 것으로 보고하였으나, 고구마의 항암 활성을 조사한 연구는 거의 없다. 항산화능과 항암능에 관련해서는 감잎 추출물의 플라보노이드와 비타민 A, 비타민 E 등의 항산화 비타민 함량이 높을수록 위암 세포주 SNU16에 대한 세포독성 효과가 큰 것을 관찰한 연구³⁴⁾가 있기도 하나, 선험초 분획에 대해 항산화능과 암세포 성장 저해활성을 조사하여, 에틸 아세테이트 분획은 전자공여능은 우수하나 암세포의 성장 저해활성이 없는 것을 보고한 연구³⁵⁾도 있다.

고구마의 품종별, 조리유형별 생리활성을 구명하고자 본 연구에서는 마지막으로 고구마 4 품종의 병원균 3종에 대한 항균 활성도를 측정하였다. 그 결과, 연홍미, 진홍미, 주황미는 *E. coli*, *St. aureus*, *S. typhimurium*에 대하여 생육을 저해하지 않았으나, 신자미는 각각 병원균에 대해 생육을 44%, 35%, 55% 저해하는 것으로 나타났다. 그러나, 찌기에 의해서는 병원균 생육 저해 활성이 15~24%, 굵기에 의해서는 활성이 11~17%로 나타나 습열 및 건열 처리에 의하여 신자미의 항균 활성이 절반 수준 이상으로 감소하는 것이 관찰되었다. 본 연구와 비슷하게 Lee 등⁵⁾의 연구에서도 일반 고구마와 주황색고구마, 그리고 자색 고구마를 비교 해 보았을 때, 특히 자색고구마가 *E. coli*, *St. aureus*, *S. typhimurium* 등의 미생물에 대해 항균 활성이 있음이 확인되어 본 연구 결과를 뒷받침 하고 있다. 현재 탄닌, 페놀산, 플라보놀 등의 폴리페놀이 항균 활성을 지니는 것으로 알려져 있으며,³⁶⁾ 항균물질로써 안토시아닌이 새롭게 조명되면서³⁷⁾ 찌기와 굵기에 의한 열처리로 인하여 안토시아닌을 포함한 폴리페놀 함량이 감소한 것은 신자미 찌 것과 구운 것에서 항균능이 감소한 결과를 뒷받

침 해 주고 있다. 자색고구마로부터 항균 활성이 있는 유효성분의 분리 및 동정, 열처리에 의한 유효성분의 변화 구명을 위한 추가적 연구가 수행되어야 할 것이다.

결론적으로, 본 연구에서는 고구마 네 가지 품종에 대해서 항산화, 항암, 항균 활성을 비교하였을 때 황색고구마인 주황미나 일반고구마 연황미, 진홍미에 비해서 진한 자색을 띄는 자색고구마 신자미가 우수한 항산화능과 항균능을 보임을 관찰하였다. 그리고 이러한 신자미의 생리활성은 찌기에 의한 습열처리, 굽기에 의한 건열처리에 의해서 감소하는 것을 관찰한 바, 신자미의 생리활성을 유지하기 위해서는 생 것을 우유와 섞어 마시거나 샐러드로 활용하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다. 그러나 식품의 열처리에 의한 식품의 기능성의 변화를 명확히 구명하기 위해서는 유효 성분의 분리 및 동정 뿐만 아니라 관련된 메커니즘의 연구가 수행되는 것이 중요하다고 사료된다.

요 약

최근에 고구마는 영양성 뿐만 아니라 기능성을 함께 갖춘 건강기능식품으로 새롭게 관심 받고 있으나, 고구마의 기능성이 일반적으로 사용되는 찌기, 굽기 등의 조리방법에 의하여 어떻게 변화하는지에 대한 연구가 없다. 따라서 본 연구에서는 일반고구마인 연황미와 진홍미, 유색고구마인 주황미와 신자미 네 가지 품종에 대하여 항산화활성과 항암활성, 항균활성을 평가하고 찌기와 굽기에 의한 생리활성의 변화를 조사하였다. 총 폴리페놀 함량은 신자미 생 것이 73.6 mg/g으로 가장 높았고, 연황미 (3.8 mg/g)와 진홍미 (7.4 mg/g), 그리고 주황미 (7.9 mg/g)보다 높은 함량을 보였다. 조리유형별로는 신자미의 폴리페놀 함량이 생 것에서 가장 높았고, 그 다음 찐 것 (41.0 mg/g)과 구운 것 (38.6 mg/g) 순으로 감소하여 굽기와 찌기 등의 조리법에 의한 폴리페놀 함량의 감소를 보였다. 신자미는 DPPH 라디칼과 ABTS 양이온 소거능에서도 우수한 활성을 보였으며 신자미의 경우 라디칼 소거능이 찌기와 굽기에 의해서 감소하였으나, 이에 반해, 진홍미와 주황미는 찌기에 의해서 항산화능이 증가하는 것으로 나타났다. 다른 품종과는 달리, 신자미는 SOD 유사활성이 82.5%로 높은 항산화성을 보였으나, 찐 것의 경우 55.4%, 구운 것이 45.1%로 SOD 유사활성이 생 것에 비해 감소하였다. 고구마 에탄올 추출물을 유방암 세포인 MCF-7과 간암 세포인 HepG2에 처리하였을 때 세포의 성장을 저해하지 못하였고, 품종간에 또는 조리방법간에 유의적 차이를 보이지 않았다. 항균 활성도 측정에서 *E. coli*, *St. aureus*, *S. typhimurium* 3가지 미생물에 대해 연황미, 진홍미, 주황미는 항균활성을 보이지 않았으나,

신자미는 생육을 각각 44%, 35%, 55% 저해시켰으며 찌기와 굽기에 의해서 항균 활성이 11~24% 수준으로 감소하였다. 결론적으로, 주황색고구마인 주황미나 일반고구마 연황미, 진홍미에 비해서 진한 자색을 띄는 자색고구마 신자미는 항산화능과 항균능이 우수하였고, 이러한 신자미의 생리활성은 찌기에 의한 습열처리, 굽기에 의한 건열처리에 의해서 감소하였기에, 신자미의 생리활성을 유지하기 위해서는 생 것을 우유와 섞어 마시거나 샐러드로 활용하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

■ 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ006782)의 지원에 의해 이루어진 것이며, 그 지원에 감사드립니다.

Literature cited

- 1) 2010 agricultural area statistics. Daejeon: Statistics Korea; 2011
- 2) National Rural Resources Development Institute. Food composition table, 7th revision. Suwon: Rural Development Administration; 2005
- 3) National Academy of Agricultural Science. Tables of food functional composition, 1st edition. Suwon: Rural Development Administration; 2009
- 4) Ahn YO, Kim SH, Lee HS, Lee JS, Ma D, Kwak SS. Contents of low molecular weight antioxidants in the leaves of different sweet potato cultivars at harvest. *Korean J Plant Biotechnol* 2009; 36: 214-218
- 5) Lee HH, Kang SG, Rhim JW. Characteristics of antioxidative and antimicrobial activities of various cultivars of sweet potato. *Korean J Food Sci Technol* 1999; 31(4): 1090-1095
- 6) Song J, Chung MN, Kim JT, Chi HY, Son JR. Quality characteristics and antioxidative activities in various cultivars of sweet potato. *Korean J Crop Sci* 2005; 50(Suppl): 141-146
- 7) Kwak JH, Choi GN, Park JH, Kim JH, Jeong HR, Jeong CH, Heo HJ. Antioxidant and neuronal cell protective effect of purple sweet potato extract. *J Agric Life Sci* 2010; 44(2): 57-66
- 8) Huang YC, Chang YH, Shao YY. Effects of genotype and treatment on the antioxidant activity of sweet potato in Taiwan. *Food Chem* 2006; 98(3): 529-538
- 9) Park JS, Bae JO, Choi GH, Chung BW, Choi DS. Antimutagenicity of Korean sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2011; 40(1): 37-46
- 10) Goda Y, Shimizu T, Kato Y, Nakamura M, Maitani T, Yamada T, Terahara N, Yamaguchi M. Two acylated anthocyanins from purple sweet potato. *Phytochemistry* 1997; 44(1): 183-186
- 11) Lee LS, Kim SJ, Rhim JW. Analysis of anthocyanin pigments from purple-fleshed sweet potato (Jami). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2000; 29(4): 555-560
- 12) Lee GH, Kwon BK, Yim SY, Oh MJ. Phenolic compounds in sweet potatoes and their antioxidative activity. *Korean J Post-harvest Sci Technol* 2000; 7(3): 331-336
- 13) Lee JS, Ahn YS, Kim HS, Chung MN, Boo HO. Proximate composition and minerals, phenolic, anthocyanins pigment characteristics in the parts of sweetpotato. *J Korean Soc Int Agric* 2007; 19(3): 196-204

- 14) Lee JS, Park YK, Ahn YS, Kim HS, Chung MN, Jeong BC, Bang JK. Antioxidative and biological activities of extracts of sweetpotato tips. *Korean J Crop Sci* 2007; 52(4): 411-420
- 15) Folin O, Denis W. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem* 1912; 12(2): 239-243
- 16) Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 1958; 181(4617): 1198-1200
- 17) Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 1999; 26(9-10): 1231-1237
- 18) Marklund S, Marklund G. Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. *Eur J Biochem* 1974; 47(3): 469-474
- 19) Han DS, Kim SJ. SOD-like compounds and development of functional food. *Bull Food Technol* 1994; 7(4): 41-49
- 20) Shen MC, Sterling C. Changes in starch and other carbohydrates in baking Ipomoea batatas. *Starch* 1981; 33(8): 261-268
- 21) Suh HJ, Chung SH, Choi YM, Bae SH, Kim YS. Changes in sugar content of sweet potato by different cooking methods. *Korean J Soc Food Sci* 1998; 14(2): 182-187
- 22) Kim SM, Jung YJ, Pan CH, Um BH. Antioxidant activity of methanol extracts from the genus Lespedeza. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2010; 39(5): 769-775
- 23) Ku KM, Kim SK, Kang YH. Antioxidant activity and functional components of corn silk (*Zea mays* L.). *Korean J Plant Resour* 2009; 22(4): 323-329
- 24) Lee YM, Bae JH, Jung HY, Kim JH, Park DS. Antioxidant activity in water and methanol extracts from Korean edible wild plants. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2011; 40(1): 29-36
- 25) Kim EY, Baik IH, Kim JH, Kim SR, Rhyu MR. Screening of the antioxidant activity of some medicinal plants. *Korean J Food Sci Technol* 2004; 36(2): 333-338
- 26) Kim HW, Kim JB, Cho SM, Chung MN, Lee YM, Chu SM, Che JH, Kim SN, Kim SY, Cho YS, Kim JH, Park HJ, Lee DJ. Anthocyanin changes in the Korean purple-fleshed sweet potato, Shinzami, as affected by steaming and baking. *Food Chem* 2012; 130(4): 966-972
- 27) Akond A.S., Khandaker L, Berthold J, Gates L, Peters K, Delong H, Hossain K. Anthocyanin, total polyphenols and antioxidant activity of common bean. *Am J Food Technol* 2011; 6(5): 385-394
- 28) Dewanto V, Wu X, Adom KK, Liu RH. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 2002; 50(10): 3010-3014
- 29) Korean Society of Food Science and Technology. Quality characteristics for processing of sweet potatoes with different cultivars (P06-015). Proceedings of the 77th annual meeting of Korean Society of Food Science and Technology; 2010 Jun 16-18. Incheon, Korea
- 30) Wahle KW, Brown I, Rotondo D, Heys SD. Plant phenolics in the prevention and treatment of cancer. *Adv Exp Med Biol* 2011; 698: 36-51
- 31) Matés JM, Segura JA, Alonso FJ, Márquez J. Anticancer antioxidant regulatory functions of phytochemicals. *Curr Med Chem* 2011; 18(15): 2315-2338
- 32) Shu L, Cheung KL, Khor TO, Chen C, Kong AN. Phytochemicals: cancer chemoprevention and suppression of tumor onset and metastasis. *Cancer Metastasis Rev* 2010; 29(3): 483-502
- 33) Park KY, Lee KI, Rhee SH. Inhibitory effect of green-yellow vegetables on the mutagenicity in Salmonella assay system and on the growth of AZ-521 human gastric cancer cells. *J Korean Soc Food Nutr* 1992; 21(2): 149-153
- 34) Kim HJ, Kim MK. Anticancer effect of persimmon leaf extracts on Korean gastric cancer cell. *Korean J Nutr* 2003; 36(2): 133-146
- 35) Min KJ, Song JW, Cha CG. The antioxidative and antitumor activity of extracts of Agrimonia pilosa. *J Food Hyg Saf* 2008; 23(2): 149-156
- 36) Daglia M. Polyphenols as antimicrobial agents. *Curr Opin Biotechnol*. Forthcoming 2011
- 37) Cisowska A, Wojnicz D, Hendrich AB. Anthocyanins as antimicrobial agents of natural plant origin. *Nat Prod Commun* 2011; 6(1): 149-156