

증숙 공정에 의한 마의 이화학적 특성 및 항산화 활성

강문경 · 김진숙 · 김기창 · 최송이 · 김경미[†]

농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부

Evaluation of Physicochemical Properties and Enhancement of Antioxidant Activities of *Dioscorea batatas* by Stepwise Steaming Process

Moon-Kyung Kang, Jin-Sook Kim, Gi-Chang Kim, Song-Yi Choi and Kyung-Mi Kim[†]

Dept. of Agro-Food Resources, National Institute of Agricultural Sciences,
Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

ABSTRACT

This study investigated the physicochemical properties of *Dioscorea batatas* for improvement of biological activities during a three-step steaming process, steaming 120°C for 30 min and hot air drying at 60°C for 8 hrs. Samples were extracted with 70% ethanol and analyzed for free sugars, and organic acids were analyzed by HPLC. The DPPH & ABTS radical scavenging activities, crude saponin, water binding capacity, oil absorption, and α -glucosidase activity were measured. The major free sugars in all samples were fructose, maltose, and sucrose, and the free sugar contents increased to 157~235% after the three-step steaming process compared to the control. Organic acid contents of samples treated by steaming increased to greater than 55.8 mg/100g. The ABTS radical scavenging activity significantly increased with repeated steaming process, especially after the three-step process. As the time of steaming process increased, DPPH radical scavenging activity increased from 26.99% fresh *Dioscorea batatas* to 80.46~97.79% after the three-step process. Crude saponin content increased rapidly as steaming time increased, but decreased after the three-step process steaming process. The water-binding capacities of the samples treated by steaming process were higher than that of the control, whereas oil absorption decreased as steaming time increased. From the results, steaming process could be suggested as beneficial for controlling fat intake. Compared to acarbose, a known anti-diabetic drug, used as a positive control, α -glucosidase inhibitory activity of samples treated by two-step steaming was among the samples. The results suggest that *Dioscorea batatas* treated by steaming process has antioxidative and anti-diabetic activities and can be used as a natural health product.

Key words : *Dioscorea batatas*, steaming process, antioxidant activities

서 론

마(*Dioscorea* spp.)는 한국, 중국, 타이완, 일본 등지의 산지에서 자생하며, 그중 국내산 마는 약 70% 정도가 경상북도 안동 등 북부지역을 중심으로 생산되고 있는데, 이는 안동지역의 기후와 토양이 적합하고, 준평지 지역에서 잘 자라는 약용식물이기 때문이다(An HJ & Chung KM 2014). 한방에서는 마를 산약이라 하고 맛은 달고 성질은 평하며, 비장(脾臟)이 허약하여 나는 설사(泄瀉), 이질(痢疾), 노점(癆漸)으로 인한 해수(咳嗽), 유정(遺精), 대하증(帶下症), 소변빈삭(小便頻數)의 치료에 사용되고 민간에서는 자양강장 및 피부미용에 이용되고 있다(Kim DS *et al* 2013).

마는 세계적으로 장마, 단마, 부채마, 단풍마 등 10속 650여종이 알려져 있으며(Kum EJ *et al* 2006; McAnuff MA *et al* 2005), 덩이뿌리의 모양에 따라 참마(*Dioscorea japonica*), 장마(*Dioscorea batatas*), 단마(*Dioscorea polystachya* Turcz) 등으로 나눈다. 마는 amylose, cholin, saponin, mucin, tannin, allantoin, chellidonic acid, sitostrol, diosgenin 등을 함유하고 있으며, 특히 mucin은 면역기능 강화, 신경통, 뇌기능 활성화 등에 효과가 있다고 알려져 있다(Jang JR *et al* 2010; Lee HS *et al* 2009). 마는 식용으로 그대로 먹거나 분말, 음료 등 다양한 용도로 이용되고 있으며, 노화 방지, 혈당강화, 항균, 해독작용, 면역 조절 작용 등 건강증진 효능이 널리 알려지면서 마에 대한 관심이 높아지고 있다. 현재까지 마의 생리활성 효과에 대한 연구는 혈액의 콜레스테롤 저하(Kwon CS *et al* 1999; Chen HC *et al* 2003), 면역 증강(Shin SW *et al* 2004),

[†] Corresponding author : Kyung-Mi Kim, Tel : +82-63-238-3556, Fax : +82-63-238-3842 E-mail : kimkm@korea.kr

대사성 질환인 고혈당 억제(Kwon EG *et al* 2001)등으로 지속적으로 진행되고 있다.

최근 소비자들은 식품을 이용한 혈당조절, 비만 및 장내환경 개선 등의 관심이 높아지면서 단순히 영양만을 고려하는 1차적 기능의 식품 소비보다는 새로운 가공기술을 접목한 건강지향형 식품을 구입하는 것으로 식품소비 트렌드가 바뀌고 있다. 그로 인해 초고압, 증숙, 열처리 공정 등의 새로운 가공기술에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 증숙 공정은 증기를 이용해 구성성분을 변화시켜 새로운 화합물을 만들어 내거나 유용성분 용출을 극대화하는 공정으로 알려져 있다. 일반적으로 열처리 공정은 조직성분을 연소시키며 활성성분이 파괴되어 수율 및 생리활성을 함께 감소하게 하는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 직접적 열처리가 아닌 증기를 이용한 간접적 열처리로 유용성분의 용출을 증진시킬 수 있는 증숙 공정이 이용되고 있다(Song CH *et al* 2012). 이로 인해 증숙 공정에 의한 더덕, 마늘, 인삼 ginsenosides(Rh1, Rg2, Rg3) 등의 유효 성분 및 효능의 향상, 열처리 공정에 의한 더덕 및 인삼 성분의 안정성, 생리활성 등 가공공정에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다(Ahn JH *et al* 2012). 그러나 마늘 이용한 식품가공개발 수준은 건조 및 분말화, 추출 등 단순가공에 그치고 있다. 이렇듯 마와 관련된 연구 및 기술개발은 침지 등의 단순 갈변방지, 점질물의 가열건조에 의한 분말화, 저장기술 및 포장방법 등에 대한 연구로 치중되어 왔으며, 가공 및 제품화를 통한 기능성 식품 소재로서의 활용기술을 개발하여 소비자의 관심 및 수요를 충족시킬 수 있는 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 마늘 증숙, 건조처리 하여 생리활성을 증진시킴에 따라 활용가치를 높이고 기능성 소재의 개발을 위한 기초 자료를 확보하고자 하였다. 이를 위하여 증숙, 건조처리한 마 추출물의 이화학적 특성과 항산화성을 비교 분석하여 변화에 대해 관찰하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 재료의 처리방법

마(*Dioscorea batatas*)는 경상북도 안동지역에서 2014년도에 생산된 장마를 구입하여 사용하였으며, Hong HD 등(2007)의 방법을 일부 변형하여 실험하였다. 마늘 수세한 후 박피하여 0.7cm 간격으로 썰고, 초음파 분쇄(ultrasonic, UC-20, JEIO TECH. CO. Ltd., Daejeon, Korea)로 5분 처리한 후 고압 반응술(WACS-1100, 100L, DAIHAN Scientific, Wonju, Korea)에서 121℃, 30분간 증자를 시킨 다음 열풍건조기(Drying oven, HB-502LP, HANBAEK CO. Ltd., Bucheon, Korea)로 60℃, 8시간 건조하였다. 다시 고압 반응술에서 증숙을 거치

는 방법으로 2회 및 3회 증자와 건조를 반복한 후 최종 함수를 8.8%인 건조마를 수집하고 100mesh로 분쇄하여 냉동고(GC-124 GHFP, LG, Changwon, Korea)에 보존하면서 시료로 사용하였다.

2. 유리당 함량 측정

유리당 함량은 Cho IK 등(2009) 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 건조된 시료 1 g에 증류수 50 mL을 가하여 초음파(ultrasonic)로 30분 추출한 후 Whatman No. 1 여과지(Whatman, Maidstone, UK)로 감압 여과하여 50 mL로 정용하였다. 추출물은 0.20 µm nylon syringe filter(Whatman, Clifton, NJ, USA)로 여과하여 Agilent Technologies 1200series HPLC system(Palo Alto, CA, USA)로 분석하였다. HPLC 분석조건으로 column은 Asahipak NH2P-5-4E(5 µm, 4.6×250 mm, Shodex, Tokyo, Japan)를 사용하였고, 검출기는 Evaporative light scattering detector(ELSD, Agilent Technologies, Santa Clara, USA)를 사용하였다. 이동상 용매는 70% acetonitrile(70:30, %(v/v), Fisher co., USA)를 1.2 mL/min 속도로 흘려주었고, 10 µL을 주입하여 분석하였다(Hwang *et al* 2011). 표준물질은 fructose, glucose 및 sucrose를 구입(Sigma-Aldrich Co. Ltd., St. Louis, MO, USA)하여 사용하였다.

3. 유기산 함량 측정

유기산 함량은 Kim YS & Song GS(2002)방법을 일부 변형하여 측정하였다. 분말 1 g을 증류수 50 mL에 넣고 추출하여 4℃, 15,000 rpm에서 5분간 원심분리(CR21G, Hitachi Koki Co., Japan)하여 얻은 상등액은 Whatman No. 1 여과지로 여과하고, 50 mL로 정용하였다. 정용한 sample을 0.2 µm nylon syringe filter로 여과한 다음 HPLC(Palo Alto)로 분석하였다. 유기산 분석을 위한 oxalic acid, citric acid, malic acid, succinic acid, lactic acid의 표준품은 Sigma사(Sigma-Aldrich)에서 구입하여 사용하였다. Column은 Amine X HPx-87H Ion Exclusion column(300×7.8 mm, Bio-RAD, Hercules, USA), 용매는 0.008 N H₂SO₄, flowrate는 0.6 mL/min이었고, 검출기는 UV detector(Waters Co., Milford, MA, USA)로 210 nm에서 측정되었다.

4. 조사포닌 함량 측정

조사포닌 함량은 인삼 조사포닌의 분리방법(Park SJ *et al* 2009)으로 많이 사용되는 고온 메탄올 추출과 n-부탄올 분획에 의한 방법에 따라 마 분말 10g을 취하여 70% 메탄올 90 mL로 65℃에서 3회 반복 추출하였다. 추출액은 55℃에서 감압농축기(DE/R-205V, Buchi, Swiss)로 농축하여 메탄올을 제거한 후, 물을 가하여 50 mL로 정용하였다. n-부탄올 50 mL와 함께 분획깔때기에 취하여 세차게 흔들어 혼합한 후

정치하여 유기용매 층과 물 층을 분리하였다. 물 층은 다시 50 mL의 n-부탄올로 2회 추출하였다. 3회에 걸쳐 추출한 n-부탄올 층을 합쳐 농축플라스크에 회수하여 감압 농축(HB-502L, Hanbaek)하였다. 이후 105°C에서 4시간 건조하고, 데시케이터에서 30분간 방냉한 후 다음 식에 따라 조사포닌 함량을 계산하였다.

$$\text{조사포닌 함량(mg/g)} = \frac{\text{건조 후 수기의 무게(mg)} - \text{수기의 무게(mg)}}{\text{시료(g)}}$$

5. 총 폴리페놀 함량 측정

총 폴리페놀 함량은 Folin-Denis 방법(Folin & Denis 1915)의 방법에 따라 Folin-Ciocalteu reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석하였다. 각각의 마 추출물(0.4 g/mL) 200 μ L에 2% Na_2CO_3 용액 2 mL을 첨가하여 2분간 방치한 후 1N Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich) 200 μ L를 가하여 30분간 암소에서 반응시켰다. 이후 반응액을 750 nm에서 UV spectrophotometer(UV 2550, SHIMADZU, Japan)를 이용하여 흡광도를 측정하였다. 총 페놀 함량은 1 g에 대한 mg galic acid equivalents(GAE, Sigma-Aldrich)로 표준 검량곡선을 작성하여 나타내었다.

6. 총 플라보노이드 함량 측정

플라보노이드 함량(Moreno MI *et al* 2000)은 각각의 마 추출물(0.4 g/mL) 250 μ L에 70% 에탄올 용액 1 mL과 5% NaNO_2 75 μ L를 첨가하여 5분간 방치한 후 10% $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 150 μ L를 가하여 6분 방치하였다. 이후 1M NaOH 500 μ L를 첨가하여 11분 동안 반응시켰다. 이후 반응액을 510 nm 흡광도를 측정하였다. 이때, 표준물질로 rutin hydrate(Sigma-Aldrich)을 사용하여 시료와 동일한 방법으로 분석하였으며, 얻은 검량선으로부터 총 플라보노이드 함량을 환산하여 mg RHE/g로 나타내었다.

7. DPPH Radical 소거능 평가

추출물의 전자공여능(electron donating abilities, EDA)은 각각의 추출물에 대한 DPPH(1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl)의 전자공여 효과로 각 시료의 환원력을 측정하였다(Blois MS 1958). 각각의 마 추출물(0.4 g/mL) 900 μ L와 0.3 mM DPPH 용액(dissolved in 99% EtOH) 1,800 μ L를 가한 뒤 잘 혼합하여 암실에서 30분간 반응을 유도하였다. 얻어진 반응액은 517 nm에서 흡광도를 측정하여 radical scavenging activity(%)로 나타내었다.

DPPH radical 소거능(%) =

$$\left(1 - \frac{\text{시료 처리구의 흡광도}}{\text{시료 무첨가구의 흡광도}}\right) \times 100$$

8. ABTS Radical 소거능 평가

시료 추출물에 대한 ABTS radical 소거능은 Re R 등(1999)의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 2,2-azino-bis(3-ethyl benzthiazoline-6-sulfonic acid)(Sigma-Aldrich)를 100 mM PBS (pH 7.4)에 녹인 7 mM의 ABTS와 2.5 mM potassium persulfate를 혼합한 후 빛을 차단시키면서 실온에서 24시간 반응시켜 라디칼을 생성시켰다. 마 추출물(0.4 g/mL) 50 μ L와 ABTS solution 950 μ L를 넣어 37°C에서 10분간 반응 시켜 735 nm에서 측정하였다. ABTS는 시료 처리구와 무처리구의 흡광도 차이를 백분율로 나타내었다.

ABTS radical 소거능(%) =

$$\left(1 - \frac{\text{시료 처리구의 흡광도}}{\text{시료 무첨가구의 흡광도}}\right) \times 100$$

9. 물 결합력 측정

물 결합력은 Medcalf F & Gilles KA(1965)을 변형하여 원심분리관에 마 분말 0.5 g과 증류수 20 mL을 가한 후 교반기를 이용하여 실온에서 1시간동안 분산시켰다. 분산액을 15,000 rpm에서 30분간 원심분리(Hitachi)한 다음 물을 제거하고 무게를 측정하여 계산하였다.

$$\text{물 결합력(\%)} = \frac{\text{침전물 무게(g)} - \text{시료 무게(g)}}{\text{시료 무게}} \times 100$$

10. Oil 흡수력 측정

Oil 흡수력은 Lin MJ 등(1974)의 방법에 의하여 측정하였다. 마 분말 0.5 g과 식용유 5 mL를 원심분리기에 넣고 교반기를 이용하여 30분 동안 분산시킨 다음 10,000 rpm에서 25분간 원심분리 후 기름을 제거하고 무게를 측정하여 물 결합력과 같은 방법에 의해 계산하였다.

$$\text{Oil 흡수력(\%)} = \frac{\text{침전물 무게(g)} - \text{시료 무게(g)}}{\text{시료 무게}} \times 100$$

11. α -Glucosidase 저해 활성 평가

α -Glucosidase 저해 활성(Choe M *et al* 2008)은 마 추출물(0.1 g/ml) 50 μ L를 0.3 U/mL α -glucosidase 50 μ L와 0.2 M phosphate buffer(pH7.0) 50 μ L와 잘 혼합하여 37°C에서 15분간 배양하였다. 다음에 3 mM pNPG(p-nitrophenyl α -D-glucopyranoside, Sigma-Aldrich) 100 μ L를 첨가하여 37°C에서 10분

간 반응시킨 후 0.1M Na₂CO₃ 750 µL로 FH 반응을 정지시켜 405 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 저해활성은 α-glucosidase inhibitory activity(%)에 의하여 산출하였다. 비교를 위해 positive control로 acarbose(Sigma-Aldrich)를 0.1 g/mL 농도로 희석하여 사용하였다.

α-Glucosidase 저해활성(%)=

$$\left(1 - \frac{\text{시료 처리구의 흡광도}}{\text{시료 무침가구의 흡광도}}\right) \times 100$$

12. 통계처리

모든 실험은 3회 반복하여 실시하였으며 실험으로부터 얻은 결과는 Statistical Package for the Social Sciences 12.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 평균±표준편차로 나타내었고, 시료 간의 유의성 검증은 Duncan's multiple range test에 의해 $p < 0.05$ 수준에서 유의적 차이를 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 유리당 함량

각 시료들의 유리당 함량을 분석한 결과 Table 1과 같다. 증숙 및 건조처리 시간 변화로 각 유리당 함량이 증가하였다. 마의 증숙 및 건조처리 시간 변화를 달리하여 제조한 시료들에서 control군보다 fructose는 72.35 mg/g, 88.00 mg/g, 140.40 mg/g로 glucose는 76.00 mg/g, 86.50 mg/g, 94.55 mg/g, sucrose는 41.80 mg/g, 40.60 mg/g, 44.85 mg/g로 증가하는 경향을 나타냈다. 증숙 마의 유리당 함량이 control에 비해 높은 것은 증숙 과정 중 마에 함유되어 있던 다당류가 효소의 작용에 의해 저분화되어 단당류 및 올리고당이 생성되었기 때문이라 판단되며, 흑도라지의 유리당을 분석한 Lee SJ 등(2013)의 결과와 비슷한 경향을 나타냈다.

2. 유기산 함량

각 시료들의 유기산 조성 및 그 함량을 분석한 결과 Table 2와 같다. 증숙 마의 유기산으로는 oxalic acid, citric acid,

malic acid, succinic acid, fumaric acid가 검출되었으며, 증숙 과정 중 일부 발효에 의해 생성되는 lactic acid나 acetic acid는 검출되지 않았다. 이중 호박산이라고 불리는 succinic acid는 식물계에 널리 존재하며 호박의 건류에 의해 얻을 수 있는 산으로 알려져 있는데, 검출된 다른 유기산에 비해 succinic acid 함량이 월등히 증가되는 경향을 나타냈다. 대체적으로 증숙 횟수를 달리할 경우 control군에 비해 전체적으로 2~5 배 함량이 증가하였고, 증숙 2회와 증숙 3회에서 높은 유기산 함량을 나타내었다. 이러한 유기산 함량의 증가는 열처리로 인하여 고온에서 이당류인 sucrose가 단당류인 fructose와 glucose로 분해되고 분해된 fructose 및 glucose가 지속적인 열분해로 인하여 HMF, furfural 및 5-methyl furfural 등과 유기산으로 분해되어 유기산 함량이 증가한 것으로 판단된다 (Aida TM *et al* 2007).

3. 조사포닌 함량

사포닌은 도라지, 인삼 등에 많이 함유되어 항암작용, 항염증작용, 용혈작용 등의 효능을 갖는다고 알려져 있다(Park HJ *et al* 1998). 증숙 및 건조처리 시간 변화에 따른 마의 조사포닌 측정결과 Fig. 1과 같다. 증숙 1회 마와 증숙 2회 마의 조사포닌 함량은 각각 426 mg/100g, 2473.9 mg/100g으로 증숙에 의해 그 함량이 5배 이상 증가하였음을 알 수 있었다. 증숙 마가 생마보다 높은 조사포닌 함량을 보인 것은 증숙에 의해 세포벽과 분자 구조가 파괴됨에 따라 조직이 연화되어 사포닌의 추출 수율이 증가하여 나타난 결과로 판단되며, 도라지를 증숙 가공한 Lee SJ 등(2013)의 연구에서도 흑도라지가 생도라지에 비해 조사포닌 함량이 증가한다고 발표한 바 있다. 조사포닌의 증가는 높은 온도에서 증숙 과정이 반복됨에 따라 증기에 의해 사포닌이 용출된 것으로 보인다.

4. 총 폴리페놀성 화합물 및 플라보노이드 함량

증숙 공정이 마의 총 폴리페놀성 화합물 및 플라보노이드 함량 변화에 미치는 영향을 살펴본 결과 Table 3과 같다. Control의 폴리페놀 화합물 함량이 132.23 mg/g인 반면 증숙

Table 1. Free sugar contents of the steamed *Dioscorea batatas*

(mg/g)

Ultrasonics wave (time)	Steaming	Fructose	Glucose	Sucrose	Sum
5 min	Control	29.10±0.71 ^{d1)}	52.50±1.98 ^d	39.40±0.28 ^d	121.00
	1 time	72.35±2.47 ^c	76.00±6.08 ^c	41.80±0.02 ^b	190.15
	2 times	88.00±0.42 ^b	86.50±0.01 ^b	40.60±0.14 ^c	215.10
	3 times	140.40±2.83 ^a	99.60±1.98 ^a	44.85±0.07 ^a	284.95

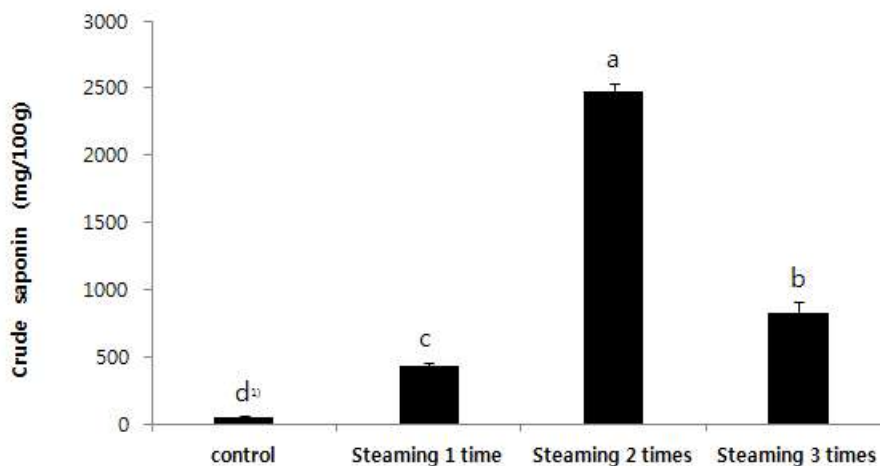
¹⁾ Values with different superscripts (^{a~d}) within the same row are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 2. Organic acid contents of the steamed *Dioscorea batatas*

(mg/g)

Ultrasonics wave (time)	Steaming	Oxalic	Citric	Malic	Succinic	Fumaric	Sum
	Control	10.79±0.04 ^{d1)}	5.41±0.03 ^d	11.59±0.21 ^d	24.05±0.18 ^d	4.05±0.01 ^d	55.89
5 min	1 time	34.28±0.01 ^c	24.23±0.06 ^b	28.23±0.01 ^c	70.47±0.08 ^b	10.18±0.02 ^c	167.40
	2 times	36.09±0.15 ^a	34.67±0.06 ^a	40.85±0.09 ^b	125.98±0.13 ^a	14.43±0.01 ^a	252.01
	3 times	34.87±0.03 ^b	21.85±0.16 ^c	49.98±0.09 ^a	68.64±0.03 ^c	11.21±0.07 ^b	186.55

¹⁾ Values with different superscripts (^{a~d}) within the same row are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

**Fig. 1. Crude saponin contents of the steamed *Dioscorea batatas*.**

¹⁾ Values with different superscripts (a~d) within the same row are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

횃수를 달리한 마에서는 155 mg/g 이상의 높은 폴리페놀성 화합물 함량을 보였다. 이러한 결과로부터 총 폴리페놀성 화합물 함량은 증숙에 의해 영향을 받음을 알 수 있었다. Song CH 등(2012)은 추출조건에 관계없이 증숙 공정에 따라 약 3 배 정도의 페놀함량 증가를 보고하고 있다. 또한 Hong HD

등(2007)의 연구결과도 증숙 횃수의 증가에 따라 인삼에서 총 폴리페놀성 화합물이 증가했다고 보고했다. 총 폴리페놀성 화합물의 함량변화와 유사하게 증숙 3회에서 높은 플라보노이드 함량(923 mg/g)을 보였다. 이는 증숙 공정을 통해 플라보노이드계 화합물이 용출되었을 것으로 사료된다. 이전 연구결과를 살펴볼 때 증숙을 통해 결합성 페놀성 화합물이 유리형으로 바뀌어 용출이 용이해지거나 인삼의 경우는 특정 페놀성 물질이 증가하여 항산화 활성이 증진된다고 보고되었다(Song CH *et al* 2012). 일반적으로 약용식물에서는 플라보노이드 함량보다 폴리페놀성 화합물이 많이 함유되어 있으나, 본 결과는 증숙 공정에 의한 마의 폴리페놀성 화합물 및 플라보노이드 함량 모두 유의적으로 증가됨을 확인할 수 있었다.

Table 3. Total polyphenol and total flavonoid contents of the steamed *Dioscorea batatas*

(mg/g)

Ultrasonics wave (time)	Steaming	Total polyphenol (mg GAE/g)	Total flavonoid (mg RHE/g)
	Control	132.23±1.66 ^{d1)}	101.75±4.47 ^d
5 min	1 time	155.48±1.70 ^c	299.00±10.58 ^c
	2 times	376.34±2.04 ^b	423.84±7.13 ^b
	3 times	803.76±10.37 ^a	923.79±7.01 ^a
	<i>F</i> -value	9,904.56*** ²⁾	2,062.64***

¹⁾ Values with different superscripts (^{a~d}) within the same row are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

²⁾ *** $p<0.001$.

5. DPPH & ABTS Radical Scavenging Activity

DPPH를 이용한 소거활성은 항산화물질과 반응하여 음이온 라디칼이 소거되면서 보라색에서 노란색으로 탈색되는 원리로 항산화활성을 측정한다(Lee JM *et al* 2007). ABTS 라디칼 소거활성 또한 DPPH를 이용한 방법과 함께 항산화활성

을 측정하는데 많이 이용된다. 총 폴리페놀성 화합물과 플라보노이드 함량을 바탕으로 증숙 공정을 반복하여 DPPH & ABTS radical scavenging activity를 확인하였다(Table 4). 그 결과, control에 비하여 DPPH 및 ABTS radical scavenging activity가 증가하였으며, 증숙 공정을 3회 반복한 시료가 97.79%로 가장 높았다. 이는 증숙 횟수가 증가함에 따라 마에 존재하는 활성성분들의 추출수율을 향상시키고, 증숙에 의해 증가된 폴리페놀성 화합물과 플라보노이드가 항산화력을 증가시켰을 것으로 사료된다. 또한 증숙 공정 중에 생성된 갈변물질이 자유라디칼을 소거시켜 항산화효능을 향상시켰다고 보고된바 있다(Song CH *et al* 2012).

6. 물 결합력 및 Oil 흡수력

Table 4. DPPH & ABTS radical scavenging activity of the steamed *Dioscorea batatas*

Ultrasonics wave(time)	Steaming	DPPH radical scavenging activity (%)	ABTS radical scavenging activity (%)
	Control	26.99±6.02 ^{c1)}	6.89±4.05 ^c
5 min	1 time	88.47±0.73 ^{ab}	20.01±2.53 ^b
	2 times	80.46±3.37 ^b	15.99±3.75 ^b
	3 times	97.79±0.40 ^a	94.40±0.40 ^a
	F-value	166.80*** ²⁾	351.68***

¹⁾ Values with different superscripts (a~c) within the same row are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

²⁾ *** $p < 0.001$.

물 결합력은 전분입자의 표면에 흡착되거나 내부로 침투되는 물의 양을 측정한 것이며, 마의 가공처리에 따라 물 결합력을 측정한 결과 증숙, 건조과정이 반복될수록 물 결합력이 저하되는 것을 알 수 있었다. 일반적으로 물 결합력은 가공시 수침시간의 증가, 입도가 작을수록, 수침과정에서 전분 표면과 내부에 결합된 지방의 유실이 클수록 높아지는 것으로 알려져 있다(Kim K *et al* 1993). 증숙과 건조과정 반복을 통해 마 전분의 구조나 구성의 변화를 주어 결합력이 약해진 것에 기인하는 것으로 생각된다. 또한 Oil 흡수력도 물결합력과 마찬가지로 증숙, 건조 처리 시 감소하는 경향을 보였는데, 이는 증숙한 마가루를 튀김이나 부침가루의 원료로 사용할 경우 제품의 지방흡수율을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

7. α -Glucosidase 효소활성 저해

장내 α -glucosidase는 소장 상피세포의 미세용모막에 존재하는 효소로서, 소장에서 음식물 중 전분을 포도당과 같은 당으로 분해하여 흡수시킨다. α -Glucosidase 저해제는 이당류의 분해효소를 가역적으로 억제하여 탄수화물의 흡수를 지연시키는 역할을 하며, 소장 전체에 포도당이 흡수되어 식후 혈당 상승을 완만하게 한다(Hong JH *et al* 2008; Lee JN *et al* 2014). 본 연구에서는 증숙 공정을 달리한 마로부터 α -glucosidase 효소활성 저해를 측정하여 탄수화물의 포도당 분해 억제효과를 확인하였으며, 결과는 Fig. 3과 같다. Control보다 증숙 1, 2회까지는 α -glucosidase 효소활성 저해력이 증가하였으나 증숙 3회 처리 시 다시 감소하는 경향을 보였다. 증숙 1회, 3회 마는 α -glucosidase inhibitor 대조구로 사용되는 acarbose(77.59%)보다 낮은 활성을 보였으나 증숙 2회 마(69%)에서 다소 높

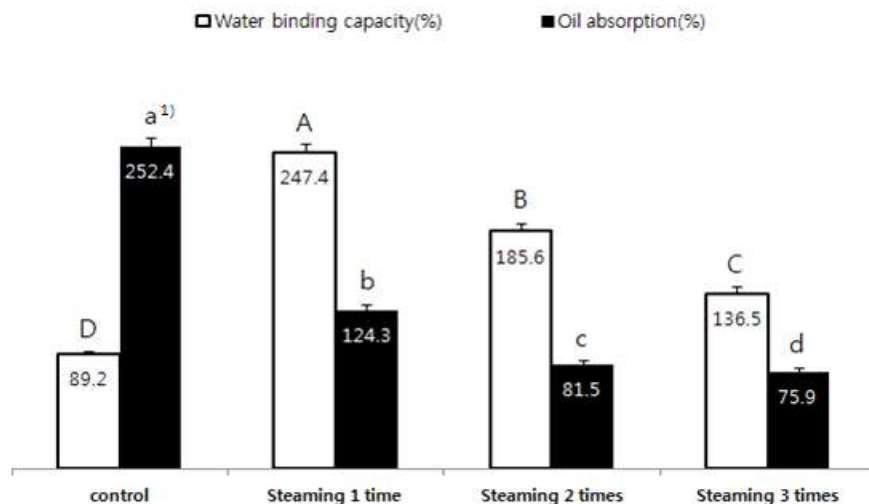


Fig. 2. Water binding capacity, oil absorption of the steamed *Dioscorea batatas*.

¹⁾ Values with different superscripts (A~D, a~d) within the same row are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

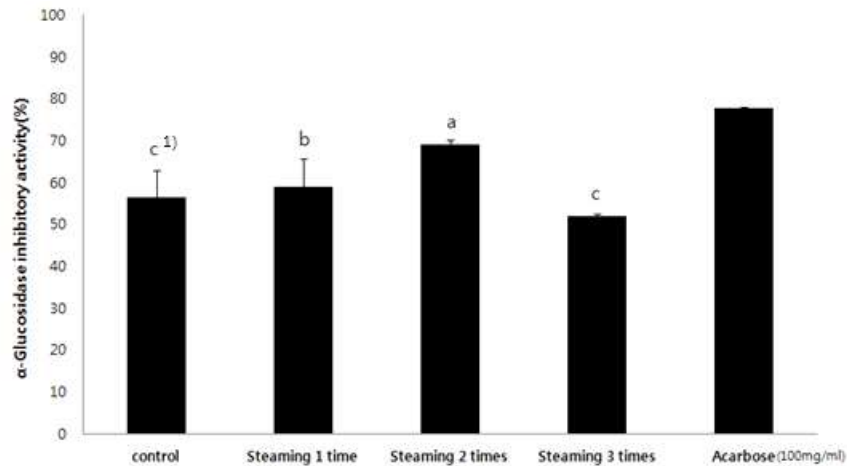


Fig. 3. α-Glucosidase inhibitory activity of the steamed *Dioscorea batatas*.

¹⁾ Values with different superscripts (a~c) within the same row are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

은 저해활성을 보여 유사한 경향을 보였다. 일반적으로 폴리페놀과 사포닌계 화합물이 α-glucosidase 효소활성 저해에 관여하는데 이는 증숙이나 발효 등을 통해 활성저해 물질이 생성되기 때문이라 보고된바 있다(McDougall GJ *et al* 2005). α-Glucosidase inhibitor 대조구로 사용된 acarbose는 뛰어난 혈당강화효과를 보이지만 장기간 복용할 경우 복부팽만감, 설사 등 소화기계 부작용이 따르고, 환자가 염증성 장질환이나 간 기능장애가 있을 경우 주의를 요한다(Braunwald E *et al* 2011; Jeong IK *et al* 2002; Tsujimoto T *et al* 2008). 따라서 증숙 처리에 따른 마의 α-glucosidase의 뛰어난 저해활성을 미루어 볼 때, 식품 소재인 마의 식후 혈당조절제로서의 이용 가능성도 기대된다.

결 론

본 연구에서는 증숙 공정에 의한 마(*Dioscorea batatas*)의 이화학적 특성과 생리활성의 변화에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 마를 증숙하지 않은 건조물과 증숙 공정을 달리한 건조물을 비교하기 위하여 유기산, 유리당 함량, 조사포닌 함량, 항산화능, 물결합력, 오일 흡수력, α-glucosidase 효소활성 저해능을 측정하였다. 유리당 총 함량은 control(121 mg/g)에 비해 증숙 건조물(190~284 mg/g)이 1~2배 증가하였으며, 유기산 함량 또한 control(55 mg/g)보다 증숙 건조물(167~252 mg/g)이 2~4배 증가하였다. 조사포닌 함량은 control(49 mg/100g)과 증숙 건조물(426~2473.9 mg/100g) 함량이 큰 차이를 나타내었다. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 증숙 3회 건조물이 803.76±10.37 mg GAE/g, 923.79±7.01 mg RHE/g으로 가장 높았고, DPPH와 ABTS 라디칼 소거능 역시 증숙 3회 건조물이 각각 97.79±0.40%, 94.40±0.40%로 가장 높았

다. α-glucosidase 효소활성 저해능은 acarbose보다는 다소 낮았으나, 증숙 2회 건조물에서 비슷한 경향을 나타내었다. 이상과 같이 증숙 처리한 마는 생마에 비해 높은 조사포닌 함량 및 유용성분 추출 용이성으로 식품소재로의 활용이 증가될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청(과제번호: PJ00940901)의 지원을 받아 수행하였으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- An HJ, Chung KM (2014) Analysis of index components in medicinal crops of Andong area cultivated at different altitude. *Korean J Medicinal Crop Sci* 22: 91-97.
- Ahn JH, Jung LS, Yoon WB, Park SJ, Park DS (2012) Evaluation of physicochemical properties and biological activities of steamed and fermented *deodeok*(*Codonopsis lanceolata*). *Korean J Food Sci Technol* 44: 135-139.
- Aida TM, Tajima K, Watanabe M, Saito Y, Kuroda K, Nonaka T, Hattori H, Smith Jr RL, Arai K (2007) Reaction of D-fructose in water at temperature up to 400 and pressures up to 100 MPa. *J Supercrit Fluid* 42: 110-119.
- Blois MS (1958) Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature* 26: 1199-1201.
- Braunwald E, Fauci AS, Karper DL, House SL, Longo DL, Jameson JL (2011) Harrison's Principles of Internal Medicine. 15th ed McGraw-Hill, New York, USA 2109-2137.

- Chen HC, Wang CT, Chang TW (2003) Effects of Taiwanese yam(*Dioscorea japonica* Thunb var. *pseudo japonica* Yamamoto) on upper gut function and lipid metabolism in Balb/c mice. *Nutr* 19: 646-651.
- Cho IK, Jin SW, Kim YD (2009) Analysis of components in the parts of *Opuntia ficus indica* from Shinan Korea. *Korean J Food Preserv* 16: 742-746.
- Choe M, Kim DJ, Lee HJ, You JK, Seo DJ, Lee JH (2008) A study on the glucose regulating enzymes and antioxidant activities of water extract from medicinal herbs. *Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 542-547.
- Folin AD, Denis W (1915) A colorimetric method for the determination of phenols(and phenolderivatives) in urine. *J Biological Chemistry* 22: 305-308.
- Hong HD, Kim YC, Rho J, Kim KT, Lee YC (2007) Changes on physicochemical peoperties of *Panax ginseng* C.A. Meyer during repeated steaming process. *J Ginseng Res* 31: 222-229.
- Hong JH, Kim HJ, Choi YH, Lee IS (2008) Physiological activities of dried persimmon, fresh persimmon and persimmon leaves. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 957-964.
- Hwang IG, Yang JW, Kim JY, Yoo SM, Kim GC, Kim JS (2011) Quality characteristics of saccharified rice gruel prepared with different cereal koji. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 1617-1622.
- Jang JR, Hwang SY, Lim SY (2010) Effects of extracts from dried yam on antioxidant and growth of human cancer cell lines. *J Life Science* 20: 1365-1372.
- Jeong IK, Chung JH, Min YK, Lee M S Lee MK, Kim KW, Joong YE, Park JY, Hong SK, Lee KU (2002) Comparative study about the effects of acarbose and voglibose in type 2 diabetic patients. *Diabetes & Metab J* 26: 134-145.
- Kim DS, Jeon BK, Lim NY, Mun YJ, Lee YE, Woo WH (2013) Ethanol extract of *Dioscorea batatas* stimulates procollagen production and reduces UVB-induced MMPs activity in skin. *Korean J Oriental Physiology & Pathology* 27: 183-188.
- Kim K, Lee YH, Kang KJ, Kim SK (1993) Effects of steeping on physicochemical properties of waxy rice. *Korean J Food Sci Technol* 25: 534-540.
- Kim YS, Song GS (2002) Characteristics of kiwifruit-added traditional *Kochujang*. *Korean J Food Sci Technol* 34: 1091-1097.
- Kum EJ, Park SJ, Lee BH, Kim JS, Son KH, Sohn HY (2006) Antifungal activity of phenanthrene derivatives from aerial bulbils of *Dioscorea batatas* Decne. *J Life Sci* 16: 647-652.
- Kwon CS, Son IS, Shim JH, Kwun IS, Chung KM (1999) Effects of yam on lowering cholesterol level and its mechanism. *J Korean Nutr Soc* 32: 637-643.
- Kwon EG, Choe EM, Gu SJ (2001) Effects of mucilage from yam (*Dioscorea batatas* Decne) on blood glucose and lipid composition in alloxan-induced diabetic mice. *Korean J Food Sci Technol* 33: 795-801.
- Lee HS, Kwon KH, Kim BS, Kim JH (2009) Quality characteristics of instant *Nuroong-gi* to which *Dioscorea japonica* powder was added. *Korean J Food Preservation* 16: 680-685.
- Lee SJ, Shin SR, Yoon KY (2013) Physicochemical properties of black *doraji* (*Platycodon grandiflorum*). *Korean J Food Sci Technol* 45: 422-427.
- Lee JM, Chang PS, Lee JH (2007) Comparison of oxidative stability for the thermally-oxidized vegetable oils using a DPPH method. *Korean J Food Sci Technol* 39: 133-137.
- Lee JN, Kim HE, Kim YS (2014) Anti-diabetic and anti-oxidative effects of *Opuntia humifusa* cladodes. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43: 661-667.
- Lin MJ, Humbert ES, Sosulski FW (1974) Certain functional properties of sunflower meal products. *J Food Scr* 39: 368-370.
- McAnuff MA, Omoruyi FO, Sotelo-López A, Asemota HN (2005) Proximate analysis and some antinutritional factor constituents in selected varieties of Jamaican yams (*Dioscorea* and *Rajana* spp.). *Plant Foods for Human Nutrition* 60: 93-98.
- McDougall GJ, Shpiro F, Dobson P, Smith P, Blake A, Stewart D. 2005. Different polyphenolic components of soft fruits inhibit α -amylase and α -glucosidase. *J Agr Food Chem* 53: 2760-2766.
- Medcalf F, Gilles KA (1965) Wheat starches I comparison of physicochemiacal properties. *Cereal Chem* 42: 558-568.
- Moreno MI, 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.
- Park SJ, Seong DH, Park DS, Kim SS, Gou JG, Ahn JH, Yoon WB, Lee HY (2009) Chemical compositions of fermented *Codonopsis lanceolata*. *J Kor Soc Food Sci Nutri*

- 38: 396-400.
- Park HJ, Kim WB, Yoo KO, Jung WT (1998) Chemical analysis on biologically active substances among habitats of *Allium victorialis* for a high income crop. *Korean J Plant Res* 11: 51-60.
- 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.
- Shin SW, Lee YS, Park JH, Kwon YK (2004) Comparison of immunomodulatory effects of water-extracted ginseng radix, *Pilose Asia-bell*, *Astragali Radix*, *Atractylodes Rhizoma alba* and *Dioscoreae Rhizoma*. *Korean J Oriental Physiology & Pathology* 18: 1140-1146.
- Song CH, Seo YC, Choi WY, Lee CG, Kim DU, Chung JY, Chung HC, Park DS, Choong JM, Lee HY (2012) Enhancement of antioxidative activity of *Codonopsis lanceolata* by stepwise steaming process. *Korean J Medicinal Crop Sci* 20: 238-244.
- Tsujimoto T, Shioyama E, Moriya K, Kawaratani H, Shirai Y, Toyohara M, Mitoro A, Yamao J, Fujii H, Fukui H (2008) Pneumatosis cystoides intestinalis following alpha-glucosidase inhibitor treatment: A case report and review of the literature. *World J Gastroenterol* 14: 6087-6092.

Date Received	Nov. 9, 2015
Date Revised	Dec. 15, 2015
Date Accepted	Dec. 15, 2015