

열처리가 천마의 Gastrodin과 Gastrodigenin 및 라디칼 소거능에 미치는 영향

하지수 · 황경아* · †황인국**

농촌진흥청 국립농업과학원 기능성식품과 연구원, *농촌진흥청 국립농업과학원 기능성식품과 농업연구관,
**농촌진흥청 국립농업과학원 기능성식품과 농업연구사

Influence of Heat Treatment on Gastrodin, Gastrodigenin, and Free Radical Scavenging Activity of *Gastrodia elata* Blume

Jisu Ha, Kyung-A Hwang* and †In Guk Hwang**

Researcher, Dept. of Agrofood Resources, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

*Senior Researcher, Dept. of Agrofood Resources, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

**Researcher, Dept. of Agrofood Resources, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

Abstract

This study evaluated the effects of heat treatment on gastrodin and gastrodigenin content, and antioxidant activities, in *Gastrodia elata* Blume. Gastrodin and gastrodigenin content was analyzed post-method validation, and antioxidant activity evaluation, including assessing total polyphenol content, DPPH, and ABTS radical scavenging activities, was done. The validation of the analysis method demonstrated excellent linearity. The limits of quantification of gastrodin and gastrodigenin were 2.89 and 3.47 µg/mL, respectively. Moreover, the results of intra- and inter-day precision analysis demonstrated relative standard deviation values, within 5%. The recovery rates for gastrodin and gastrodigenin were 97.22~98.85 and 97.99~99.91%, respectively, indicating good accuracy. Under different heat treatment conditions, gastrodin and gastrodigenin content significantly increased ($p<0.05$), ranging from 91.15 to 310.27 and 559.66 to 830.02 mg/100 g DW, respectively. Additionally, the total polyphenol content exhibited a significant ($p<0.05$) increasing trend, ranging from 1,444 to 1,798 mg/100 g DW, as the temperature and time of heat treatment increased. The DPPH and ABTS radical scavenging abilities demonstrated an increasing trend at 120°C during heat treatment. These research findings are expected to enhance our understanding of the changes in gastrodin and gastrodigenin content, and antioxidant effects in *Gastrodia elata* Blume during heat treatment.

Key words: *Gastrodia elata* Blume, heat treatment, gastrodin, gastrodigenin

서 론

천마는(*Gastrodia elata* Blume) 한국, 중국, 일본 등에 자생하는 다년생 난과 식물이다. 천마는 엽록소가 없는 단자엽식물로서 독립적인 생육이 불가능하여, 담자균류인 뽕나무버섯류(*Armillaria* spp.)와 공생하여 양분과 수분을 공급받아 생육한다(Chu 등 2012). 2020년 기준 국내 천마 생산

량은 488 M/T이며, 주산지역은 전북으로 전국 생산량의 약 68.6%을 차지하고 있으며, 그다음으로 경북(20.4%), 경남(4.5%) 순이다.

식품원료 뿐 아니라 건강기능식품 기능성 원료, 생약으로도 활용되는 천마에는 gastrodin, gastrodigenin(4-hydroxybenzyl alcohol), vanillyl alcohol, benzaldehydes, β-sitosterol 등과 같은 다양한 생리활성 성분을 함유하고 있고(Kim 등 2014),

† Corresponding author: In Guk Hwang, Researcher, Dept. of Agrofood Resources, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea. Tel: +82-63-238-3671, Fax: +82-63-238-3843, E-mail: ighwang79@korea.kr

치매, 두통, 스트레스 해소, 천식, 이뇨, 성기능장애 등의 개선 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Kim 등 2018). 최근 연구에서는 신경세포 보호(Kwon 등 2022), 항비만(Kim 등 2022), 항산화(Kim 등 2014; Doh 등 2015), 수면유도(Lee 등 2013) 등의 효능 평가에 관한 연구가 진행되었다.

식품의 열처리 가공방법은 식품의 저장성 연장, 품질 유지 및 향상 등의 장점도 있지만, 열에 민감한 영양성분, 생리활성 물질의 파괴와 과도한 열처리에 의한 발생하는 유해물질 등으로 인해 적절한 열처리 조건에서의 가공처리가 중요하다. 무(Lee 등 2009), 더덕, 도라지(Hwang 등 2011a), 야콘(Hwang 등 2013), 참빗살나무 잎(Park 등 2019) 등의 농산물에 열처리 가공처리 시 항산화 성분과 항산화 효과가 증가한다는 연구가 보고되어 있으며, Hwang 등(2007)은 열처리 마늘로부터 새롭게 생성되는 항산화 물질로 thiacremonone 성분을 분리·동정한 바 있다.

천마는 생천마나 건천마, 환, 차, 추출액 등으로 가공되어 유통되고 있다. 특히, 천마를 활용한 음료, 농축액, 차류 등의 다양한 가공제품 개발을 위해 추출물 제조는 필수이거나 가장 일반적으로 사용되는 천마 열수추출물 제조에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 추출물 제조 업체에서 적용 가능한 열처리 온도와 시간 조건에서 천마의 대표 기능성 물질인 gastrodin과 gastrodigenin 함량과 항산화 효과 변화를 평가하여 추출물 제조의 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료 및 시약

본 실험에 사용된 천마는 2022년 10월 전라북도 무주군 소재 농가로부터 구매하여 사용하였다. 천마 시료는 구입 즉시 세척 후 세절하여 60°C에서 24 h 열풍건조하였다. 건조된 천마는 분쇄하여 30 mesh체를 통과시켜 균질화한 다음 -20°C에서 보관하면서 시료로 사용하였다. Gastrodin, gastrodigenin, Folin-Ciocalteu reagent, gallic acid, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH), 2,2-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)(ABTS), potassium persulfat 은 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)에서 구입하였고, 그 밖의 시약은 analytical 및 HPLC 등급을 사용하였다.

2. 열처리 방법

열처리 조건은 천마 시료 2.00 g에 증류수 50 mL를 가한 다음 100±2°C, 110±2°C 및 120±2°C에서 각각 30, 60, 120 min 열처리하였다. 각각의 조건으로 열처리한 다음 원심분리(1,750×g, 15 min) 후 상등액에 증류수를 첨가하여 최종

50 mL로 정용하여 gastrodin과 gastrodigenin 분석, 총 폴리페놀 함량 및 라디칼 소거능 평가용 시료로 사용하였다. 대조군은 실온에서 진탕추출(200 rpm, 2 h)한 다음 원심분리(1,750×g, 15 min) 후 상등액을 최종 50 mL로 정용하여 실험용 시료로 사용하였다. 모든 실험은 3회 반복하였다.

3. Gastrodin과 gastrodigenin 분석

Gastrodin과 gastrodigenin 함량분석은 Kang 등(2017)의 방법을 변형하여 UPLC로 분석하였다. 즉, 시료 2.00 g에 50% methanol 25 mL를 가하고 30 min간 초음파 추출한 다음 원심분리(1,750×g, 10 min)하여 상등액을 회수하였으며, 위 과정을 2회 반복하여 회수한 상등액을 최종 50 mL로 정용하였다. 추출물은 0.2 µm nylon syringe filter로 여과하여 UPLC 분석용 시료로 사용하였다. UPLC는 Waters ACQUITY™ Ultra Performance LC를 사용하였다. Column은 CORTECS® C18 column(2.1×150 mm, 2.7 µm, Waters)을 사용하였고, column 온도는 30°C였다. 이동상은 A용매(0.1% formic acid in water)와 B용매(0.1% formic acid in acetonitrile)를 gradient 조건으로 흘려주었고, 초기 2% B용매에서 8 min까지 20% B용매, 12 min까지 90% B용매, 16 min까지 90% B용매로 유지하고, 19 min까지 2% B용매, 25 min까지 2% B용매로 설정하여 분석하였다. 유속은 0.3 mL/min으로 하였고, 시료 1 µL를 주입하여 UV detector를 사용하여 220 nm에서 분석하였다.

4. Gastrodin과 gastrodigenin 분석법 검증

천마의 gastrodin과 gastrodigenin에 대한 분석법 검증은 Lee 등(2018)의 연구를 참고로 특이성(specificity), 직선성(linearity), 검출한계(limit of detection, LOD), 정량한계(limit of quantitation, LOQ), 정밀성(precision) 및 정확성(accuracy) 평가를 통해 검증하였다. 특이성은 gastrodin과 gastrodigenin 표준용액과 천마 추출물을 UPLC로 분석하여 크로마토그램상의 머무름 시간(retention time)과 UV spectrum을 비교하여 확인하였다. 직선성은 gastrodin과 gastrodigenin 표준용액을 1.5~200.0 µg/mL의 농도 범위로 제조하여 UPLC로 6회(1회/1일) 반복 분석하여 표준용액의 피크 면적과 농도를 변수로 작성한 검량선의 상관계수(R²)값을 이용하여 직선성을 확인하였다. 또한 gastrodin과 gastrodigenin에 대한 검출한계는 $3.3 \times \sigma / s$ (σ : 반응의 표준편차, s : 표준검량선의 기울기), 정량한계는 $10 \times \sigma / s$ 식을 이용하여 계산하였다. 정밀성은 일내시험(intra-day test)과 일간시험(inter-day test)으로 나누어 평가하였다. 일내시험은 하루 동안 6회의 추출 및 분석을 반복 측정된 결과이며, 일간시험은 6일 동안 하루에 3회의 추출 및 분석을 반복하여 얻은 결과의 상대표준편차(relative standard deviation, RSD)를 측정하여 평가하였다.

정확성은 회수율(recovery) 시험을 통해 확인하였고, gastrodin과 gastrodigenin 표준용액은 0.5, 1.0 및 2.0 mg/mL의 농도로 준비하여 사용하였다. 각각의 gastrodin과 gastrodigenin 표준용액 1 mL를 추출 전 시료에 첨가하고, 추출 과정에 따라 추출한 뒤 UPLC 분석을 통해 얻은 각각의 농도의 비를 이용하여 회수율을 계산하였다.

5. 총 폴리페놀 함량 분석

총 폴리페놀 분석은 Folin-Denis의 방법을 이용하여 측정하였다(Hwang 등 2019). 시료 100 μ L에 2% sodium carbonate 용액 2 mL를 첨가한 후 3 min간 상온에서 반응시켰다. 그 후 50% Folin-Ciocalteu's phenol reagent 100 μ L를 혼합하고 30 min간 반응시킨 후 UV spectrophotometer(SpectraMax M3 microplate reader, Molecular Devices LLC, San Jose, CA, USA)를 사용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 gallic acid를 사용하여 표준 검량선을 작성한 후 폴리페놀 함량을 구하였다.

6. 라디칼 소거능 측정

DPPH(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 라디칼 소거능은 Hwang 등(2019)의 방법에 따라 측정하였다. 100% 메탄올에 DPPH를 용해 후 2 h 방치하였고 그 후 흡광도 값이 1.0에 가깝도록 희석하여 실험에 사용하였다. 추출물 50 μ L와 DPPH 용액 1 mL를 넣고 혼합한 후 암실에서 30 min간 반응시켰다. 이 반응액을 UV spectrophotometer를 사용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. ABTS[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate)] 라디칼 소거능은 Hwang 등(2019)의 방법에 따라 측정하였다. 7 mM ABTS와 2.4 mM potassium persulfate 용액을 혼합하여 24 h동안 암실에서 반응시켜 ABTS 라디칼을 형성하였고 그 후 흡광도 값이

1.0이 되도록 희석한 후 실험에 사용하였다. 추출물 50 μ L와 희석한 ABTS 용액 1 mL를 혼합하여 암실에서 30 min간 반응시킨 후 735 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 L-ascorbic acid(AA)를 첨가하였고, 총 항산화력은 AEAC(L-ascorbic acid equivalent antioxidant capacity, mg AA eq/100 g)로 나타내었다.

7. 통계처리

모든 실험은 3회 반복 실시하였으며, 통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0, SPSS Inc., Chicag, IL, USA)을 이용하였다. 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고, 처리 간의 차이 유무를 one-way ANOVA(analysis of variation)로 분석한 뒤 다중검정범위(Duncan's multiple range test)를 사용하여 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. Gastrodin과 gastrodigenin 분석법 검증

천마의 gastrodin과 gastrodigenin 분석법의 유효성을 검증하기 위해 특이성, 직선성, 검출한계, 정량한계, 정밀성 및 정확성을 평가하였다. 표준용액과 천마 추출물에서 gastrodin과 gastrodigenin의 머무름시간은 각각 2.46분과 3.53분으로 일치하였고 근접 피크의 간섭없이 단일 피크로 검출되었으며, UV spectrum λ max가 동일함을 확인함으로써 특이성을 검증하였다(date not shown). Gastrodin과 gastrodigenin의 검량선을 작성한 결과 각각 $y=7,246.2x+2,385.9$ 와 $y=11,360x+3,791.3$ 로 나타났고 상관계수(correlation coefficient, R^2)값은 모두 1.0000로 우수한 직선성을 보였다(Table 1). Gastrodin과 gastrodigenin 검량선의 기울기와 y절편을 이용하여 검출

Table 1. Validation parameters of the developed UPLC analysis for gastrodin and gastrodigenin

	Gastrodin	Gastrodigenin
Regression equation	$y=7,246.2x+2,385.9$	$y=11,360x+3,791.3$
Correlation coefficient (R^2)	1.0000	1.0000
LOD ¹⁾ (μ g/mL)	0.95	1.14
LOQ ²⁾ (μ g/mL)	2.89	3.47
Intra-day (n=6)	Mean \pm S.D. (mg/100 g, DW)	57.07 \pm 0.91
	RSD ³⁾ (%)	1.60
Inter-day (n=6)	Mean \pm SD (mg/100 g, DW)	55.30 \pm 1.32
	RSD (%)	2.38

¹⁾ Limit of detection.

²⁾ Limit of quantification.

³⁾ Relative standard deviation.

한계와 정량한계를 계산한 결과는 검출한계는 0.95, 1.24 $\mu\text{g/mL}$, 정량한계는 2.89, 3.47 $\mu\text{g/mL}$ 로 나타났다(Table 1). 정밀성을 확인한 결과 gastrodin과 gastrodigenin의 일내분석 결과는 각각 55.21~57.61, 410.46~428.85 mg/100 g DW를 나타내었으며 상대표준편차(RSD) 값이 5% 이내의 우수한 정밀성을 나타냈다(Table 1). 정확성 검증을 위해 gastrodin 표준용액 0.5, 1.0 및 2.0 mg, gastrodigenin 표준용액 2, 4 및 8 mg을 시료에 첨가한 후 분석한 결과 회수율은 각각 97.22~98.85% 및 97.99~99.65% 범위였으며, RSD는 5% 이하로 양호한 정확성을 나타냈다(Table 2).

2. 열처리에 따른 gastrodin과 gastrodigenin 함량 변화

천마의 대표 기능성분으로는 gastrodin과 gastrodigenin 성분으로 알려져 있으며, 두 성분은 천마 생약의 품질관리 성분으로도 설정되어 있다. Gastrodin은 항산화 활성, 기억력 향상, 항염증, 혈압강하 등의 효능, gastrodigenin은 강력한 항산화 효과가 있음이 보고되었다(Park & Kang 2020). 열처리 온도와 시간에 따른 천마의 gastrodin과 gastrodigenin

함량 변화를 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 무처리 천마의 gastrodin과 gastrodigenin 함량 각각 56.17 및 500.78 mg/100 g DW으로 분석되었다. 열처리 온도와 시간이 증가할수록 gastrodin 함량은 91.15~310.27 mg/100 g DW으로 유의적으로($p<0.05$) 증가하는 경향을 보였다. 또한, gastrodigenin 함량도 열처리 조건에 따라 559.66~830.02 mg/100 g DW으로 유의적으로($p<0.05$) 증가하였다. Choi & Jang(2021)은 gastrodin과 gastrodin의 aglycon인 gastrodigenin은 열처리와 효소처리에 의해 변환되며, 0, 30, 60 및 90°C의 온도에서 추출물 제조 시 gastrodin 함량은 추출 온도가 높을수록 증가하였고, gastrodigenin 함량은 30과 60°C의 특정 온도에서 증가하는 것으로 보고하였다. Choi 등(2011)은 천마 절단 및 증자처리 유무와 건조방법(동결, 열풍, 원적외선 건조)에 따라 gastrodin과 gastrodigenin 함량 차이는 큰 것으로 보고하였다. 특히, 절단 천마를 증자처리 후 열풍 및 원적외선 건조하였을 때 gastrodin 함량은 증가하고 gastrodigenin 함량은 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에서의 gastrodin 함량 현상은 열처리에 의한 parishin 등과 같은 성분의 가수분해

Table 2. Recovery of gastrodin and gastrodigenin for the validation of analytical method

Compound	Original ($\mu\text{g/g}$, DW)	Spiked amount (μg)	Recovery rate (%)	RSD ¹⁾ (%)
Gastrodin	572.51±14.68	500	97.43±3.48	3.57
		1,000	97.22±2.40	2.47
		2,000	98.85±2.27	2.29
Gastrodigenin	4,293.33±117.23	2,000	99.65±2.05	2.06
		4,000	99.91±3.24	3.24
		8,000	97.99±2.43	2.48

¹⁾ Relative standard deviation.

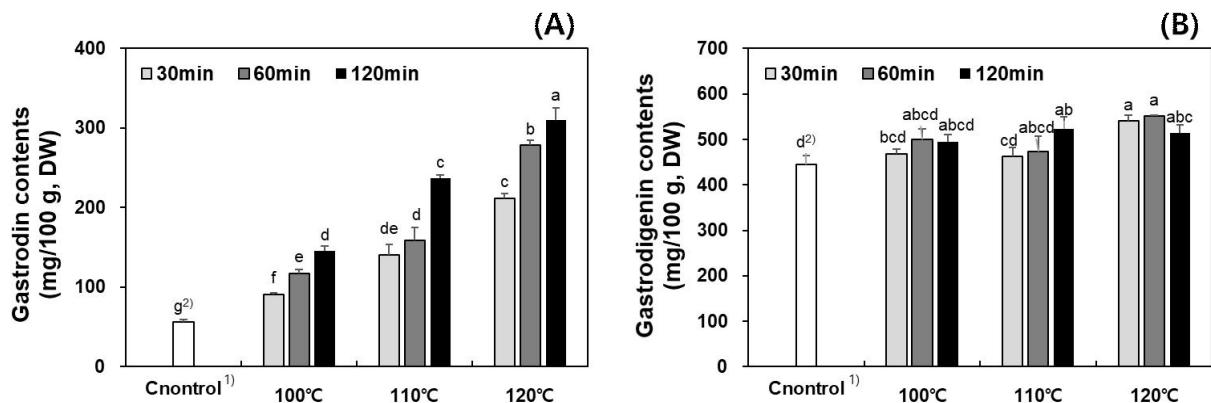


Fig. 1. Effect of heat treatment on the gastrodin (A) and gastrodigenin (B) contents in *Gastrodia elata* Blume. ¹⁾ Raw material. ²⁾ The different letters in the same bar are significantly different ($p<0.05$).

로 인한 것으로 생각되며, gastrodigenin 함량 증가 요인도 gastrodin에 결합된 당이 열처리에 의한 분해인 것으로 추정된다. 추후 parishin, parishin 유도체, gastrodigenin 표준품을 이용한 열분해 특성 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3. 열처리에 따른 총 폴리페놀 함량 및 항산화 활성 변화

열처리에 따른 천마의 총 폴리페놀 함량을 분석한 결과는 Fig. 2와 같다. 무처리 천마의 총 폴리페놀 함량은 1,364 mg/100 g DW이었고, 열처리 온도와 시간이 증가할수록 총 폴리페놀 함량은 1,444~1,798 mg/100 g DW 범위로 유의적으로($p<0.05$) 증가하는 경향을 보였다. 이는 열처리에 의한 결합형 페놀성분의 유리형으로의 전환, 고분자 페놀성분의 저분자 페놀성분으로의 분해와 추출 효율의 향상으로 인한 결과로 생각된다(Lee 등 2009; Hwang 등 2013). Hwang 등 (2011b)의 연구에 의하면 열처리한 더덕과 도라지의 총 폴리페놀 함량은 무처리구(0.60 및 0.59 mg GA eq/g)에 비해 각각 0.92~6.31 및 0.99~7.34 mg GA eq/g 범위로 증가하였다고 보고하였고, 표고버섯(Choi 등 2006), 야콘(Hwang 등 2013), 과채류(Kim 등 2008) 등 농산물도 열처리에 따라 총 폴리페놀 함량이 증가한다고 보고하여 본 연구 결과와 유사한 경향을 나타냈다.

열처리에 따른 천마의 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능을 측정된 결과는 Fig. 3과 같이 나타났다. 100°C에서 천마를 열처리 시 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능은 무처리구에 비해 유의적으로($p<0.05$) 감소하였고, 110°C 열처리 시에는 유사하였으며, 120°C에서는 증가하는 경향을 나타냈다. 100°C의 온도에서 열처리 시 항산화 활성이 감소한 것은 열처리에 의해 생성되는 항산화 성분에 비해 비타민 C와 같은 열에 민감한 항산화 성분의 파괴량이 상대적으로 많아 나타난 것으로 생각된다. 한편 120°C의 높은 온도에서 항산화 활성

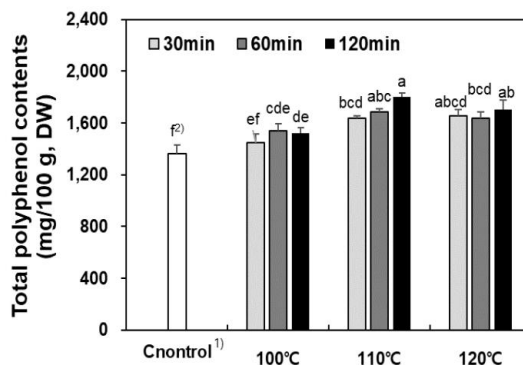


Fig. 2. Effect of heat treatment on the total polyphenol contents in *Gastrodia elata* Blume. ¹⁾ Raw material. ²⁾ The different letters in the same bar are significantly different ($p<0.05$).

이 증가하는 이유는 열처리에 의한 페놀성분의 증가뿐만 아니라 항산화 활성을 나타내는 것으로 보고된 갈변반응 물질이 생성되었기 때문인 것으로 생각된다(Jeong 등 2004; Hwang 등 2011b).

요약 및 결론

본 연구는 열처리에 따른 천마의 gastrodin과 gastrodigenin 및 항산화 활성 변화를 살펴보기 위하여 100~120°C에서 30~120 min간 열처리하였다. Gastrodin과 gastrodigenin 함량 분석은 분석법 검증을 실시한 다음 분석을 진행하였다. 항산화 활성 평가는 총 폴리페놀 함량과 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능을 살펴보았다. 분석법 검증을 통해 gastrodin과 gastrodigenin의 피크가 근접 피크의 간섭없이 단일 피크로 분리되어 우수한 직선성을 보였다. 검출한계는 각각

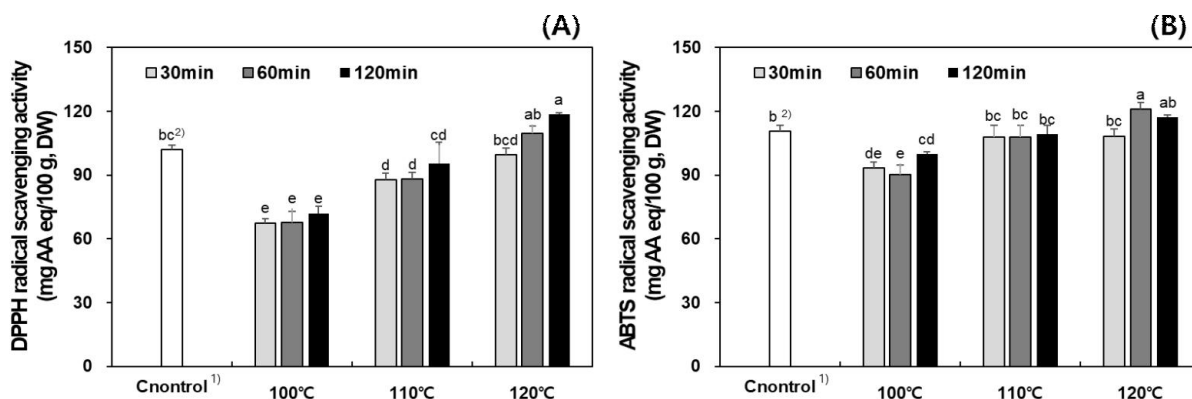


Fig. 3. Effect of heat treatment on the DPPH (A) and ABTS radical scavenging activity in *Gastrodia elata* Blume. ¹⁾ Raw material. ²⁾ The different letters in the same bar are significantly different ($p<0.05$).

0.95, 0.14 $\mu\text{g/mL}$, 정량한계는 각각 2.8, 3.47 $\mu\text{g/mL}$ 로 나타났다. 또한 일내 및 일간 정밀성 분석 결과 상대표준편차 값이 5% 이내, gastrodin과 gastrodigenin의 회수율은 각각 97.22~98.85% 및 97.99~99.91% 범위로 양호한 정확성을 나타내었다. 열처리 조건에 따라 gastrodin과 gastrodigenin 함량은 각각 91.15~310.27 및 559.66~830.02 mg/100 g DW으로 유의적으로($p<0.05$) 증가하였다. 총 폴리페놀 함량은 열처리 온도와 시간이 증가할수록 1,444~1,798 mg/100 g DW으로 유의적으로($p<0.05$) 증가하는 경향을 나타냈고, DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능은 120°C에서 열처리 시 증가하는 경향을 보였다. 본 연구 결과는 천마의 gastrodin, gastrodigenin 함량과 항산화 효과가 증가된 열수추출물 제조 및 소재화를 위한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2023년도 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호:RS-2022-RD009980)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

References

- Choi J, Jang G. 2021. Development of processing technologies for convenience foods using *Angelica gigas* Nakai and *Gastrodia elata* Blume. p.38. *Rural Development Administration*. Report No. TRKO20210010069
- Choi SR, Jang I, Kim CS, You DH, Kim JY, Kim YG, Ahn YS, Kim JM, Kim YS, Seo KW. 2011. Changes of components and quality in *Gastrodiae* Rhizoma by different dry methods. *Korean J Med Crop Sci* 19:354-361
- Choi Y, Lee SM, Chun J, Lee HB, Lee J. 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chem* 99:381-387
- Chu HN, Kim JS, Kim KO, Jeong JK. 2012. Effect of functional components. antioxidant activity and sensory characteristics of *Gastrodiae rhizoma* by different drying condition. *Korean J Herbol* 27:139-145
- Doh ES, Yoo JH, Kil KJ. 2015. Antioxidant activity and component change of steaming-drying and fermented *Gastrodiae rhizoma*. *Korean J Herbol* 30:11-18
- Hwang BS, Kwon SH, Kim JY, Kim GC, Hwang IG. 2019. Antioxidant activity of deodeok (*Codonopsis lanceolata*) sprout. *Korean J Food Nutr* 32:630-635
- Hwang CR, Oh SH, Kim HY, Lee SH, Hwang IG, Shin YS, Lee JS, Jeong HS. 2011a. Chemical composition and antioxidant activity of deoduk (*Codonopsis lanceolata*) and doragi (*Platycodon grandiflorum*) according to temperature. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40:798-803
- Hwang IG, Kim HY, Park BR, Han HM, Yoo SM. 2013. Effect of heat treatment on the antioxidant properties of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Korean J Food Nutr* 26:857-864
- Hwang IG, Kim HY, Woo KS, Lee J, Jeong HS. 2011b. Biological activities of Maillard reaction products (MRPs) in a sugar - amino acid model system. *Food Chem* 126:221-227
- Hwang IG, Woo KS, Kim DJ, Hong JT, Hwang BY, Lee YR, Jeong HS. 2007. Isolation and identification of an antioxidant substance from heated garlic (*Allium sativum* L.). *Food Sci Biotechnol* 16:963-966
- Jeong SM, Kim SY, Kim DR, Jo SC, Nam KC, Ahn DU, Lee SC. 2004. Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels. *J Agric Food Chem* 52:3389-3393
- Kang KB, Jun JB, Yoo G, Kwon E, Yun JW, Kang BC, Kim SH, Sung SH, Jang YP, Yang H. 2017. Simultaneous determination of gastrodin and gastrodigenin in *Gastrodia elata* by HPLC-UV. *Korean J Pharmacogn* 48:232-236
- Kim CS, Kim HJ, Seo SY, Kim HJ, Lee WH. 2018. Effect of immature rhizome productivity according to harvest times-based treatment method for seed production of *Gastrodia elata*. *Korean J Plant Resour* 31:372-377
- Kim HY, Woo KS, Hwang IG, Lee YR, Jeong HS. 2008. Effects of heat treatments on the antioxidant activities of fruits and vegetables. *Korean J Food Sci Technol* 40:166-170
- Kim MH, Kim JG, Choi JH. 2014. Antioxidant activity and changes in major functional components of fermented *Gastrodia elata* Blume. *Korean J Food Nutr* 27:684-691
- Kim YS, Kim HR, Park EH, Song YE, Kim CS, Ha WB, Woo HJ, Han YH, Lee JH. 2022. Anti-obesity effects of *Gastrodia elata* extracts on high fat diet-induced obese mice. *J Korean Med Rehabil* 32:1-8
- Kwon KB, Kim HR, Kim YS, Park EH, Choi HB, Ryu DG. 2022. Neuroprotective and anti-oxidant effects of

- Gastrodiae rhizoma* extracts against hydrogen peroxide-induced cytotoxicity in SH-SY5Y cells. *J Physiol Pathol Korean Med* 36:209-212
- Lee KH, Rhee KH, Kim BS, Choi YH, Kim CH. 2013. Sleep inducing effect of *Gastrodia elata* fermented with lactic acid bacteria. *Korean J Pharmacogn* 44:281-285
- Lee SH, Hwang IG, Lee YR, Joung EM, Jeong HS, Lee HB. 2009. Physicochemical characteristics and antioxidant activity of heated radish (*Raphanus sativus* L.) extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38:490-495
- Lee SH, Jeong YS, Song J, Hwang KA, Cho SM, Hwang IG. 2018. Changes in γ -aminobutyric acid of bitter melon (*Momordica charantia* L.) with different cultivation regions, harvest time and maturation stages, with method validation. *Korean J Food Nutr* 31:408-415
- Park GH, Kim MY, Lee YJ, Shin CS, Lee J, Jeong HS. 2019. Antioxidant components and activities of *Euonymus sieboldiana* leaves according to harvesting time and heating methods. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 48:551-556
- Park JP, Kang SA. 2020. Antioxidant effect and blood pressure control ability of *Lactobacillus* fermented *Gastrodia elata* Bl. in hypertension model rats (SHR). *Korean J Food Nutr* 33:493-504
-
- Received 10 October, 2023
Revised 08 November, 2023
Accepted 15 November, 2023