



전통 경옥고 방식으로 제조한 지황, 인삼, 도라지, 백복령 및 사삼 진액(Quantum Energy)의 숙성에 따른 품질특성 변화

김윤정¹ · 박사무엘² · 성지혜² · 나임정³ · 이도상³ · 박준흠⁴ · 김주희⁴ · 김영화^{1,5,*}

¹경성대학교 식품생명공학과, ²안동대학교 식품생명공학과, ³(주)에터미오트 R&D 센터,

⁴(주)옥천당 중앙연구소, ⁵경성대학교 식품생명과학연구소

Changes in the Quality Characteristics of Extracts (Quantum Energy) from *Rehmannia Glutinosa*, Ginseng, Balloonflower, *Poria cocos*, and *Adenophora stricta* Prepared Using Traditional *Kyungokgo* Methods During Aging

Yoonjeong Kim¹, Samuel Park², Jeehye Sung², Imjoung La³, Dosang Lee³, JoonHeum Park⁴, Joohee Kim⁴, Younghwa Kim^{1,*}

¹Department of Food Science and Biotechnology, Kyungsoong University, Busan 48434, Korea

²Department of Food Science and Biotechnology, Andong National University, Andong 36729, Korea

³Atomy R&D Center, Gongju 32511, Korea

⁴Central Research Center, Okchundang Inc., 142, Yuram-ro, Dong-gu, Daegu 41059, Korea

⁵Food & Life Science Research Institute, Kyungsoong University, Busan 48434, Korea

Abstract

This study evaluated the changes in the quality characteristics of extracts (Quantum Energy) from *Rehmannia glutinosa*, ginseng, balloonflower, *Poria cocos*, and *Adenophora stricta*. The extracts were prepared through a six-day aging process, during which the pH decreased with a longer aging period while the viscosity and °Brix values were increased. The color difference (ΔE) of the extracts ranged from 0.27 to 0.49 for all samples, indicating minimal color change with aging. The free sugar content was highest for fructose and glucose, while lactose was not detected. Furthermore, the total free sugar content ranged from 24.518 to 27.646 g/100 g, generally decreasing with the aging time. Benzo[a]pyrene in the extracts ranged from 0.040 to 0.074 $\mu\text{g}/\text{kg}$, which is below the limit of quantification. In addition, all extracts were free of total aerobic bacteria, *Escherichia coli*, and coliforms, confirming that the aging method used in this study was microbiologically safe.

Key Words : Extract, aging, quality characteristic, free sugar, benzo[a]pyrene

1. 서론

미디어의 발달과 의식수준의 향상으로 우리나라 국민의 건강에 대한 관심은 지속적으로 증가하고 있으며, 생활습관 및 식생활을 통한 건강관리의 중요성이 강조되고 있다(Lee & Jang 2020). 뿐만 아니라, 불규칙한 식사, 운동부족, 영양섭취 불균형 등과 같은 선진국 형태의 생활패턴으로 인하여 대사성 질환의 발병이 점차 증가하고 있어 식품을 활용한 건강 증진이 대두되고 있다(Basu et al. 2023). 우리나라 국민들의 소득수준 향상과 식생활의 다양화로 인해 식품에 대한 개념은 영양학적인 것을 넘어서, 기능적인 측면을 중요시 하는 방향으로 변화하고 있다. 이런 요구에 부합하여 식품 산

업분야에서는 건강기능식품을 비롯한 건강식품의 개발이 활발히 진행되고 있으며, 관련 시장은 지속적으로 성장하고 있다(KHFFA 2022).

경옥고는 생지황, 백복령, 인삼, 봉밀을 장시간 중탕 가열하여 숙성시킨 고(膏) 형태의 제품으로, 동의보감 및 방약합편과 같은 전통 한의서에 처방과 제법이 기재된 보혈강장제이다(Whang et al. 1994). 동의보감, 의학입문, 홍씨집험방 등의 전통 의서에 따르면 경옥고는 인삼 및 백복령 분말과 생지황 즙을 일정 비율로 배합한 후 봉밀을 혼합하여 항아리에 넣고 3일간 중탕한 뒤 24시간 동안 냉침하여 식힌 후, 다시 24시간을 중탕하여 고형으로 제조한다(Kim 2011). 경옥고는 여러 약재들을 배합하여 5-6일간 중탕과 냉침을 받

*Corresponding author: Younghwa Kim, Department of Food Science and Biotechnology, Kyungsoong University, Busan 48434, Republic of Korea
Tel: +82-51-663-4652 Fax: +82-51-663-4709 E-mail: younghwakim@ks.ac.kr

복시켜 숙성시킴으로써 소화가 용이해지고, 여러 연구에서 경육고는 항피로, 항염증, 항산화, 고지혈증 완화, 조골세포 증식효과 등 여러가지 생리활성을 나타내는 것으로 보고하였다(Lee et al. 2008b; Kim et al. 2011; Lee et al. 2013; Kim & Song 2014; Kim et al. 2016b).

지황(*Rehmannia glutinosa*)은 다년생 식물로서 현삼과(Scrophulariaceae)에 속하며, 중국, 베트남, 우리나라 등에서 자생한다. 지황의 뿌리는 혈당 저하, 면역 강화 및 항산화 작용이 우수한 것으로 알려져 있다(You et al. 2011). 지황은 그 상태에 따라 신선한 지황 뿌리를 생지황이라 하며, 생지황을 건조한 것을 건지황, 생지황을 한약 사인이 함유된 술에 담갔다가 찌서 말린 것을 9차례 반복하여 제품화한 것을 숙지황이라고 한다. 지황의 기능성 성분은 catalpol, verbascoside 등이 있으며, 특히 catalpol은 생지황의 지표성분으로 알려져 있다(You et al. 2011). 인삼(*Panax ginseng*)은 예로부터 한국을 중심으로 동북아시아에서 주요 약재 중 하나로 사용되어 왔다(Wee et al. 2012). 인삼은 다량의 사포닌 성분을 함유하고 있으며 심혈관 질환 예방, 신경 기능 조절, 면역기능 강화, 항산화 작용 등의 다양한 효능을 나타내는 것으로 보고되어 있다(Kim et al. 2008; Kim et al. 2016a). 도라지(*Platycodon grandiflorum*)는 초롱꽃과의 다년생 초본으로(Kim 2001), 그 뿌리는 당질과 섬유소가 풍부하고 칼슘, 칼륨, 마그네슘 등 무기질이 다량 함유된 식품으로 우리나라에서는 약용과 식용으로 널리 사용되고 있다(Ahn et al. 2005). 한의학에서는 3년근 이상의 도라지를 길경이라는 약재로 사용하며(Kim 2001; Kim et al. 2007), 이는 거담, 진해, 편도선염, 감기, 기침, 천식, 폐결핵에 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Moon et al. 2003). 백복령은 복령(*Poria cocos* Wolf)의 내부 백색 부분을 뜻하며, 복령이란 잔나비겉상과(Polyporaceae)의 소나무 뿌리에서 자생하는 버섯이다(Kim et al. 2005). 백복령에 함유된 탄수화물의 75-85%를 차지하는 복령당(pachyman)이 복령다당(pachtmaran)으로 변하면서 항암 효과를 나타낸다고 하며(Lee et al. 2008a), 그 외 pachymic acid, tumulosic acid, 3 β -hydroxylanosta-7,9 (11), 24-trien-21-oic acid 등의 성분들이 함유되어 있다(Kim et al. 2005). 또한, 항산화, 면역강화, 항암 등의 효과가 있는 것으로 보고되어 있다(Wu et al. 2004; Gapter et al. 2005; Kim et al. 2005; Huang & Zhang 2011; Feng et al. 2013). 사삼은 초롱꽃과에 속하는 1년생 초본으로 전국에 골고루 분포하며, 한방에서 거담, 진해, 건위, 강장제 등의 약제로 이용하며, 민간약으로도 기관지염이나 기침, 대하증, 복통 등에 쓰인다(Jang et al. 2015). 사삼으로부터 보고된 성분으로는 cycloartenyl acetate, lupenone, β -sitosterol, taraxerone, octacosanoic, praeruptorin 등이 있으며, 이러한 성분들은 항염증 및 면역 조절 효과도 나타내는 것으로 보고되었다(Akihisa et al. 1996; Akihisa et al. 2000; Ovesna et al. 2004).

최근 국내에서 건강 유지를 위한 간편 기능성 식품이 개발되어 시판되고 있으며, 섭취 시 편리함과 휴대성을 갖춘 스틱형 제품이 출시되고 있는 추세이다. 특히 우리나라는 한방요법이나 민간요법을 통해 생약 추출물을 활용하여 건강을 유지하는 경우가 많으며, 식품 원료로 등록된 생약 추출물의 인체 기능적 효능에 대한 관심이 증대되고 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 효능을 지닌 지황, 인삼, 도라지, 백복령 및 사삼을 주 원료로 하여 제조된 스틱형 진액의 숙성 기간에 따른 이화학적 및 미생물학적 품질 특성 변화를 알아보고자 하였다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 시료 및 시약

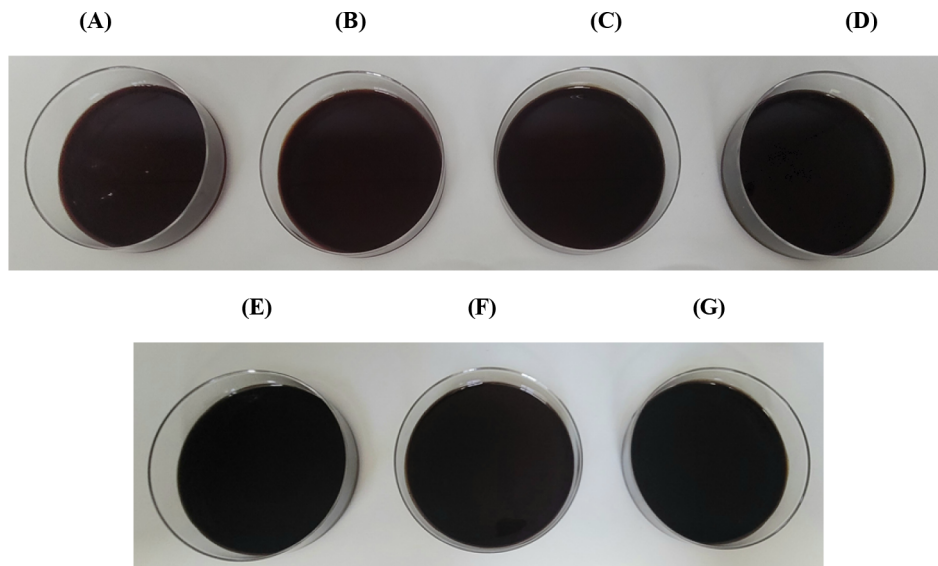
본 연구에 사용된 진액 스틱(Quantum Energy)은 2024년 옥천당(주)(Daegu, Korea)에서 제공받아 -20°C 에 보관하여 실험에 사용하였다. 실험에 사용된 시약은 Sigma-Aldrich사(St. Louis, MO, USA)로부터 구입하였고, high performance liquid chromatography (HPLC) 분석에는 HPLC급 시약을 사용하였으며, 그 밖의 시약은 특급을 사용하였다.

2. 진액 스틱(Quantum Energy)의 제조 및 숙성

본 연구에 사용된 진액에는 생지황(*Rehmannia glutinosa*)즙(Sunil Corp., Gunwi, Korea), 인삼 분말(Cheongjeonginsam Co., Ltd., Geumsan, Korea), 백복령(*Poria cocos*) 분말(The Goun Co., Ltd., Gimje, Korea) 및 봉밀이 32:3:6:20 비율로 배합되어 있으며, 진피 추출물(Wonkwang, Yeongcheon, Korea), 도라지 농축액(Haechansol food Co., Asan, Korea), 사삼 분말(The Goun Co., Ltd., Gimje, Korea), 황기 분말(The Goun Co., Ltd., Gimje, Korea), 복합황금추출물(BST Co., Ltd., Ansan, Korea), 산사 농축액(Wonkwang, Yeongcheon, Korea)이 부원료로 첨가되어 있다. 진액은 3.7톤의 시료를 칭량하여 버퍼 탱크(Samjinplant Co., Yangpyeong, Korea)에서 0-6일간 중탕과정을 통해 숙성하였으며, 숙성 6일차의 진액은 스틱 형태로 포장하였다. 숙성 1-3일에는 $83\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 중탕하였으며, 24시간 후인 숙성 4일차에는 $20\pm 10^{\circ}\text{C}$ 의 저온에서 24시간 동안 냉각하였다. 이후 숙성 5일차에는 $83\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 2차 중탕을 진행하였다. 24시간 이후인 숙성 6일차에는 $95\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에서 5분간 중탕한 후 스틱으로 포장하였다. 본 연구에서는 숙성 일자별 농축액을 각각 수집하여 실험을 진행하였으며, 숙성 6일 후에는 포장된 진액 스틱을 이용하였다. 완성된 농축액은 <Figure 1>과 같다.

3. 수분함량 측정

숙성 기간에 따른 시료의 수분함량은 식품공전의 일반성 분시험법에 따라 상압가열건조법으로 진행하였다(MFDS 2022a). 정제해사를 취한 칭량접시에 시료 2 g을 달아 105°C



<Figure 1> Appearances of the extract (Quantum Energy) during aging periods. A: day 0, B: day 1, C: day 2, D: day 3, E: day 4, F: day 5, G: day 6.

건조기에서 건조한 후 데시케이터 중에서 30분간 식힌 후 질량을 측정하였으며, 항량이 될 때까지 같은 조작을 반복하였다. 수분함량의 계산은 다음의 식을 사용하였다.

$$\text{수분함량(\%)} = \frac{b-c}{b-a} \times 100$$

- a: 칭량접시의 중량(g)
- b: 칭량접시와 검체의 중량(g)
- c: 건조 후 항량이 되었을 때의 중량(g)

4. 당도, 점도 및 pH 측정

시료의 당도는 시료 1 g에 증류수 10 mL를 가하여 균질화한 후, 굴절당도계(ATAGO, Tokyo, Japan)를 이용하여 5회 반복하여 측정하였으며, °Brix로 표시하였다.

점도 측정을 위해 균질화한 시료 250 g을 비커에 취해 항온순환수조(Stereo-Vis, Hwashin Instrument Co., Ltd., Seoul, Korea)에 넣은 후 시료의 온도를 25°C에 도달하게 한 후 점도계(VT-06, RION Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 점도를 측정하였다. 시료를 취한 후 spindle No. 3를 장착하여 회전수 62.5 rpm으로 설정하여 측정하였으며, 5회 반복 측정하여 dPa·s로 나타내었다.

시료의 pH는 시료 1 g에 증류수 10 mL를 혼합한 후 균질화하여 pH meter (Ohaus ST3100, OHAUS Corp., Parsippany, NJ, USA)를 사용하여 3회 반복 측정하였다.

5. 색도 측정

시료의 색도는 색차계(Chromameter CR-300, Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하여 표준 백색판(L=92.0, a=0.3137, b=0.3194)으로 보정한 후 명도(L*), 적색도(a*), 황색도(b*)를

측정하였다. 색 차이를 나타내는 ΔE값은 아래의 식으로 계산하였으며, 5회 반복하여 측정한 평균값으로 나타내었다.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

6. 유리당 분석

유리당 분석은 시료 5 g을 conical tube에 달아 증류수 25 mL를 가하여 vortexing한 후 acetonitrile로 50 mL로 정용하여 초음파 추출기를 이용하여 30분간 추출하였다. 추출액을 원심분리하여 상등액을 취해 0.45 μm nylon filter를 이용하여 여과한 후 HPLC 분석에 이용하였다. HPLC (Waters, Milford, MA, USA) 분석에 사용된 컬럼은 Shodex Asahipak NH2P-50 (4.6 mm×250 mm, 5 μm, Tokyo, Japan)이며, 75% acetonitrile를 이동상으로 사용하여 30분간 등용리 용매 조건으로 분석하였다. 검출기는 Waters 2414 refractive index (RI) detector (Waters, Milford, MA, USA)를 사용하였으며, 유속은 1 mL/min, 주입량은 10 μL, 컬럼 오븐 온도는 40°C에서 분석하였다. 표준물질로 fructose, glucose, sucrose, lactose 및 maltose를 사용하여 표준곡선을 작성하여 시료의 당 함량을 산출하였다.

7. 벤조피렌 분석

벤조피렌 분석은 식품공전(MFDS 2022b)의 시험방법에 따라 실시하였다. 둥근바닥 플라스크에 시료 10 g을 달아 1 M 수산화칼륨에탄올 용액 100 mL와 내부표준물질인 3-methylcholanthrene 1 mL를 첨가하여 환류냉각장치에서 80°C, 3시간 동안 추출한 후 hexan 50 mL를 환류냉각관을 통해 넣어준다. 추출액 100 mL에 에탄올:hexan(1:1, v/v) 용액 50 mL와 물을 첨가하여 혼합한 후 정치하여 hexan층을 분리

하였다. 남은 물층에 다시 핵산 50 mL를 첨가하여 핵산층을 분리하는 조작을 3회 반복하였다. 분리된 핵산층을 무수황산 나트륨 15 g을 넣은 여과지로 탈수·여과한 후 40°C 이하의 수욕상에서 감압하여 2 mL로 농축하였다. 핵산에 용해된 벤조피렌 분리를 위해 Sep-pak 카트리지(Sep-pak florisil cartridge, Waters, Milford, MA, USA)를 디클로로메탄 10 mL와 핵산 20 mL로 conditioning하였다. 이후 카트리지 위에 농축액을 넣고 핵산 10 mL와 핵산:디클로로메탄(3:1) 20 mL를 첨가하여 용출시킨 후 용출액을 40°C 이하의 수욕상에서 질소가스를 사용하여 농축 및 건조시켰다. 이후 잔류물을 acetonitrile에 녹여 0.45 µm로 여과하여 HPLC 분석에 사용하였다.

벤조피렌은 HPLC (Shiseido, Tokyo, Japan)를 이용하여 분석하였다. 컬럼은 Supelcosil™ LC-PAH (4.6 mm×250 mm, 5 µm, Supelco, Bellefonte, PA, USA)를 사용하여 컬럼 오븐 온도 40°C에서 1 mL/min의 유속으로 분석하였으며, 이동상은 80% acetonitrile 용액을 사용하여 등용리 용매 조건으로 실시하였다. 벤조피렌의 검출은 형광검출기를 사용하여 여기파장 294 nm, 방출파장 404 nm로 설정하여 분석하였다.

8. 일반세균 수 및 대장균군 실험

시료의 미생물 검사는 식품공전(MFDS 2022c)에 따라 다음과 같이 진행하였다. 시료 1 g에 0.85% 멸균생리식염수 9 mL를 가하여 균질화한 다음 0.85% 멸균생리식염수를 이용하여 단계별로 희석하여 시료를 준비하였다. 단계별로 희석한 희석액 1 mL를 일반세균은 plate count agar에 도말한 후 48시간 동안 36°C에서 배양한 후 생성된 집락을 계수하여 확인하였고, 검출된 미생물 수는 시료 1 mL당 log colony forming unit (log CFU/mL)으로 나타내었다. 대장균군은 단계별 희석액 1 mL를 대장균군 건조필름배지(3M™ Petrifilm coliform count plate, 3M company, St. Paul, MN, USA)에 접종하여 36°C에서 24시간 동안 배양한 후 집락을 계수하여 log CFU/mL로 나타내었다.

9. 통계분석

모든 분석은 3회 이상 반복하였으며, 그 결과는 평균값±표준편차로 표시하였다. 통계 분석은 SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하였으며, one-way ANOVA로 분석하여 다중비교분석법인 Duncan's multiple range test를 실시하여 p<0.05 수준에서 유의성을 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 전통 경옥고 숙성 방식에 따른 진액 스틱(Quantum Energy)의 점도, pH, 당도 및 색도 변화

숙성 시간에 따른 진액 스틱의 pH, 점도 및 당도의 변화는 <Table 1>과 같다. 점도는 숙성 전에 1.52 dPa·s로 나타났으며, 숙성 후에 증가하여 6일차에서 3.84 dPa·s로 숙성 전에 비해 약 2.5배 증가하였다. 진액 스틱의 pH는 숙성 전 추출물에서 5.01로 가장 높았고, 숙성 시간이 길어질수록 감소하여 숙성 6일차 추출물에서는 4.02로 낮게 나타났다. 진액 스틱의 숙성 시간에 따른 수분함량은 4일차 추출물에서 52.620%로 높았으나, 6일차 추출물에서는 49.923%로 유의적으로 낮게 나타났다. 숙성 시간에 따른 진액 스틱의 당도는 숙성 전에는 51.68°Brix로 나타났으며, 6일차 추출물에서 51.94°Brix로 가장 높게 나타났다. 식품은 pH, 수분활성도, 온도, 상대 습도, 미생물 등 다양한 요인에 의해 품질 변화를 야기할 수 있는데, 그 중 pH는 병원성 미생물의 대사과정에 영향을 미치는 인자로서 일반적으로 낮은 pH에서는 병원성 미생물의 생육이 억제되어 식품의 저장 안정성을 높일 수 있는 것으로 알려져 있다(Awulachew 2021). 또한 당 함량은 식품의 저장 안정성에 영향을 미칠 수 있는데, Yun et al. (2007)의 연구에서는 사과의 당 함량이 높을수록 저장 기간이 길어졌으며, 저장 기간은 저장 온도에 따라 차이가 있는 것으로 보고하였다. 또한 높은 당 농도는 *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* 등 식품에서 발생할 수 있는 병원성 미생물의 성장을 억제할 수 있는 것으로 알려져 있다(Mizzi et al. 2020). 따라서 진액 스틱의

<Table 1> Viscosity, pH, moisture and sugar contents during aging of extracts (Quantum Energy)

Aging procedure		Viscosity (dPa·s)	pH	Moisture content (%)	Sugar content (°Brix)
Aging method	Day				
-	0	1.52±0.04 ¹⁾²⁾	5.01±0.03 ^a	51.888±0.260 ^b	51.68±0.13 ^{bc}
1 st Double boiled	1	1.94±0.05 ^e	4.88±0.04 ^b	51.508±0.301 ^b	51.65±0.06 ^c
	2	2.10±0.00 ^{de}	4.55±0.02 ^c	49.868±0.091 ^c	51.74±0.11 ^{bc}
	3	2.30±0.00 ^{cd}	4.35±0.02 ^d	49.619±0.474 ^c	51.64±0.05 ^c
Low-temperature aging	4	2.42±0.04 ^{bc}	4.37±0.03 ^d	52.620±0.307 ^a	51.66±0.05 ^{bc}
2 nd Double boiled	5	2.63±0.16 ^b	4.23±0.02 ^e	51.799±0.361 ^b	51.79±0.13 ^b
Final product	6	3.84±0.41 ^a	4.02±0.02 ^f	49.923±0.435 ^c	51.94±0.09 ^a

¹⁾All values are mean±standard deviation (n=5).

²⁾Values with different superscripts in the same column indicate significant difference by Duncan's multiple range test (p<0.05).

<Table 2> Changes of color during aging of extracts (Quantum Energy)

Aging procedure		L*	a*	b*	ΔE
Aging method	Day				
-	0	42.10±0.04 ^{b1)2)}	1.45±0.02 ^b	-0.49±0.02 ^a	-
1 st Double boiled	1	42.25±0.01 ^a	1.33±0.04 ^c	-0.68±0.03 ^b	0.27±0.02 ^c
	2	42.22±0.02 ^a	1.54±0.05 ^a	-0.84±0.02 ^d	0.38±0.03 ^b
	3	42.21±0.09 ^a	1.41±0.01 ^b	-0.81±0.06 ^{cd}	0.34±0.04 ^b
Low-temperature aging	4	42.19±0.08 ^a	1.20±0.03 ^c	-0.71±0.02 ^b	0.35±0.04 ^b
2 nd Double boiled	5	42.06±0.06 ^b	1.27±0.04 ^d	-0.70±0.01 ^b	0.29±0.04 ^c
Final product	6	42.22±0.11 ^a	1.09±0.02 ^f	-0.77±0.03 ^c	0.49±0.03 ^a

¹⁾All values are mean±standard deviation (n=5).

²⁾Values with different superscripts in the same column indicate significant difference by Duncan’s multiple range test (p<0.05).

<Table 3> Contents of free sugar during aging of extracts (Quantum Energy)

(unit: g/100 g)

Aging procedure		Fructose	Glucose	Sucrose	Lactose	Maltose	Total free sugar
Aging method	Day						
-	0	11.206±0.084 ^{b1)2)}	11.513±0.411 ^b	2.013±0.005 ^a	ND ³⁾	1.692±0.092 ^a	26.425±0.592 ^{ab}
1 st Double boiled	1	11.529±0.581 ^{ab}	12.302±0.307 ^a	1.998±0.114 ^a	ND	1.817±0.061 ^a	27.646±0.940 ^a
	2	11.259±0.141 ^b	10.667±0.038 ^c	1.214±0.011 ^b	ND	1.777±0.033 ^a	24.917±0.223 ^c
	3	11.443±0.017 ^{ab}	10.578±0.014 ^c	0.826±0.004 ^c	ND	1.671±0.076 ^a	24.518±0.076 ^c
Low-temperature aging	4	11.744±0.458 ^{ab}	10.485±0.456 ^c	0.895±0.009 ^c	ND	1.744±0.053 ^a	24.868±0.976 ^c
2 nd Double boiled	5	12.025±0.018 ^a	11.065±0.072 ^{bc}	0.596±0.031 ^d	ND	1.773±0.085 ^a	25.459±0.206 ^{bc}
Final product	6	11.665±0.157 ^{ab}	10.647±0.197 ^c	0.563±0.046 ^d	ND	1.676±0.054 ^a	24.551±0.454 ^c

¹⁾All values are mean±standard deviation.

²⁾Values with different superscripts in the same column indicate significant difference by Duncan’s multiple range test (p<0.05).

³⁾ND: not detected.

숙성 과정 후 pH의 감소와 당 함량의 증가는 진액 스틱의 저장 안정성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

숙성 방식에 따른 진액 스틱의 색도 측정 결과는 <Table 2>와 같다. 밝기를 나타내는 명도(L*)는 숙성 전에 42.10으로 높았고, 전반적으로 숙성 후에는 증가하는 경향을 보였으나, 숙성 시간에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 적색도(a*)는 숙성 전에는 1.45로 나타났으나, 숙성 6일차에서는 1.09로 감소하였다. 황색도(b*)는 숙성 전에는 -0.49로 나타났으며, 숙성 후에는 -0.68- -0.84 범위로 감소하였다. 색도 차이를 나타내는 ΔE값은 숙성 0일차의 명도, 적색도 및 황색도의 값과 비교하여 산출하였으며, 숙성 6일차에서 0.49로 가장 높게 나타났다. ΔE값은 두 샘플 간의 감지할 수 없는 색상 차이를 나타내는 것으로, 0.5-1.5는 약간의 차이, 1.5-3.0은 눈에 띄는 차이, 3.0-6.0은 현저한 차이, 6.0-12.0은 매우 현저한 차이, 12.0 이상에서는 다른 음영의 색을 나타낸다(Zhou et al. 2017; Kim & Lim 2018). 본 연구에서는 숙성 시간에 따른 명도, 적색도 및 황색도의 값 변화는 있었으나, 모든 시료에서 색차값이 0.27-0.49로 나타나 0.5 이하의 결과를 얻었기 때문에, 숙성 과정이 색도에 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

2. 전통 경옥고 숙성 방식에 따른 진액 스틱(Quantum Energy)의 유리당 함량 변화

숙성 방식에 따른 진액 스틱의 유리당 함량 변화는 <Table 3>에 나타내었다. 숙성 시간에 따른 진액 스틱의 유리당은 fructose, glucose, sucrose 및 maltose가 검출되었으며, fructose 및 glucose의 함량이 가장 높았고, lactose는 검출되지 않았다. 총 유리당 함량은 숙성 전에 26.425 g/100 g으로 나타났으며, 숙성 1일차 시료에서는 27.646 g/100 g으로 숙성 전과 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 숙성 2-6일차의 총 유리당 함량은 24.518-25.459 g/100 g 범위로 나타났으며, 전반적으로 숙성 시간에 따라 총 유리당의 함량이 감소하는 것으로 나타났다. Fructose는 11.206-12.025 g/100 g 범위로 나타났으며, 숙성 시간에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았다. Glucose의 함량은 숙성 전에 11.513 g/100 g으로 나타났으며, 숙성 1일차에 12.302 g/100 g으로 증가하였다. 그러나 숙성이 진행됨에 따라 숙성 2-6일차에는 glucose의 함량이 10.485-11.065 g/100 g 범위로 숙성 1일차에 비하여 감소하는 경향으로 나타났다. 또한, sucrose의 함량은 숙성 전과 숙성 1일차에 각각 2.013, 1.998 g/100 g으로 유의미한 차이를 나타내지 않았으나, 숙성 2일 이후에는 숙성이 지속될수록 그 함량

이 감소하는 경향을 보였고, 숙성 6일차에 0.563 g/100 g으로 가장 낮은 함량을 나타내었다. Maltose의 함량은 숙성기간에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 유리당은 직접적인 에너지원으로 활용될 수 있으며, 식품의 단맛을 제공하는 중요한 영양소이다. 유리당은 인삼에 약 40% 가까이 함유되어 있으며, 도라지에는 약 10%가 함유된 것으로 알려져 있다 (Cho et al. 2014; Koh et al. 2021). Choi et al. (1996)에 의하면 대추 농축액에 함유된 sucrose는 가열에 의해 분해되어 그 함량이 감소한다고 하였고, 포도당과 과당은 증가한다고 보고하였다. Hwang et al. (2011)의 연구에서도 열처리 온도에 따라 도라지에 함유된 sucrose의 함량이 줄어드는 것을 보고하였고, 130°C 이상의 고온에서는 sucrose가 검출되지 않는다고 하였다. 이는 본 연구에서 수행한 진액 숙성방식이 1일차, 3일차, 5일차에 80°C 이상의 온도에서 지속적으로 가열하는 과정을 포함하여, 숙성 6일 차에 sucrose 및 총 유리당 함량은 숙성 전과 비교하여 감소한 것으로 사료된다.

3. 전통 경옥고 숙성 방식에 따른 진액 스틱(Quantum Energy)의 벤조피렌 함량 변화

벤조피렌은 탄소 및 수소 원자가 두 개 이상의 벤젠 고리로 결합되어 있는 다환방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) 그룹에 속하는 화합물로, 다섯 번째 벤젠 고리의 결합 위치에 따라 benzo[a]pyrene, benzo[e]pyrene 등으로 구분된다(Bukowska et al. 2022). 이 중 benzo[a]pyrene은 화석 연료, 목재, 산업 폐기물 등 유기 물질이 불완전 연소하는 과정에서 생성되는 것으로 알려져 있다(Liu et al. 2009). 뿐만 아니라, 식품을 굽기, 튀기기, 볶기 등 고온에서 가공하는 과정에서 불완전 연소되어 benzo[a]pyrene이 생성될 수 있는 것으로 알려져 있다(Kazerouni et al. 2001). 벤조피렌은 내분비계 장애 물질로 체내 잔류기간이 길고, 독성이 강하기 때문에 JECFA (The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)에서는 벤조피렌을 유해물질 목록에 포함하였으며, 국제암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 벤조피렌을 1군 발암물질로 분류하고 있다(JECFA 2005; IARC 2006). 본 연구의 진액 스틱의 숙성 과정은 80-95°C의 고온에서 이루어지므로, 숙성 과정에서 생성될 수 있는 벤조피렌의 함량을 측정하고자 하였다. 진액 스틱의 숙성 방식에 따른 벤조피렌의 함량 변화는 <Table 4>에 나타내었다. 숙성 과정에 따른 진액 스틱의 벤조피렌 함량은 0.040-0.074 µg/kg 범위로 나타났다. 그러나 본 연구에서 이용된 벤조피렌 분석법의 정량한계는 0.9 µg/kg으로, 모든 진액 스틱의 벤조피렌 함량은 정량한계 이하로 나타났다. 식품의약품안전처에서는 식품종류에 따라 벤조피렌 허용기준치를 다르게 제시하고 있으며, 그 중 숙지황 및 건지황의 벤조피렌 허용기준치가 5.0 µg/kg 이하일 경

<Table 4> Contents of benzo[a]pyrene during aging of extracts (Quantum Energy)

Aging procedure		Benzo[a]pyrene (µg/kg)
Aging method	Day	
-	0	0.074±0.011 ^a
1 st Double boiled	1	0.055±0.008 ^{ab}
	2	0.058±0.019 ^{ab}
	3	0.048±0.007 ^b
Low-temperature aging	4	0.047±0.002 ^b
2 nd Double boiled	5	0.040±0.005 ^b
Final product	6	0.042±0.005 ^b

¹)ND: not detected.

우 불검출로 판정하는 것으로 제시되어 있다(MFDS 2022d). 따라서 본 연구에서 사용된 숙성 방식에 따른 진액 스틱의 벤조피렌 함량은 식품의약품안전처에서 제시하는 벤조피렌 허용기준치에 비해 매우 낮은 함량을 나타내었기에 경옥고 진액 스틱의 숙성 과정은 안전성이 확보된 것으로 판단된다.

4. 전통 경옥고 숙성 방식에 따른 진액 스틱(Quantum Energy)의 일반세균수 및 대장균군 검사

전통 경옥고 진액 스틱의 숙성 방법에 따른 미생물 안전성을 조사하기 위해 일반세균수, 대장균 및 대장균군을 분석하여 <Table 5>에 나타내었다. 미생물 수는 숙성을 완료하는 6일의 숙성 기간 동안 모든 시료에서 일반세균수, 대장균 및 대장균군이 불검출되었다. 일반적으로 당도가 높고 pH가 낮은 농축액은 미생물 생육에 적합하지 않은 것으로 알려져 있다(Jang et al. 2006). 본 연구에서는 생지황, 인삼, 도라지, 백복령 및 사삼을 이용하여 농축 진액을 제조하였으며, 당도는 약 51°Brix였고, pH는 5.01에서 4.02로 낮아져 미생물 생육이 이뤄지지 않은 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 전통 경옥고 숙성 방식에 따른 숙성 2-4일 및 숙성 5일차의 80°C 이상의 고온 가열은 충분한 살균 효과를 나타낸 것으로 판단되며, 숙성 6일차에는 진액의 스틱 포장 전에 95°C 이상에서 5분간 살균공정을 진행하였기 때문에 미생물의 생육이 이뤄지지 않은 것으로 판단된다. *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* 등의 병원성 미생물은 식품의 오염을 나타내는 지표 미생물로, 일반적으로 알칼리성에 비해 pH 3-4 수준의 산성인 환경에서 성장률이 낮은 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 진액 스틱의 pH는 4.02-5.01 범위의 산성을 나타내어 대장균군 및 세균의 증식이 제한된 것으로 판단된다 (Kim & Ndegwa 2018). 따라서 본 연구에서는 진액을 스틱 형태로 제조하여 연구하였기에, 장기간 보관에 의한 미생물의 오염 가능성은 더욱 낮아질 것으로 판단되며, 본 연구 결과는 진액 스틱의 미생물학적 안전성을 확인해주었다.

<Table 5> Total aerobic bacteria, *E.coli.* and coliform bacteria during aging of extracts (Quantum Energy)

Aging procedure		Total aerobic bacteria (Log CFU/mL)	<i>E. coli.</i> (Log CFU/mL)	Coliform bacteria (Log CFU/mL)
Aging method	Day	ND ¹⁾	ND	ND
-	0			
	1	ND	ND	ND
1 st Double boiled	2	ND	ND	ND
	3	ND	ND	ND
Low-temperature aging	4	ND	ND	ND
2 nd Double boiled	5	ND	ND	ND
Final product	6	ND	ND	ND

¹⁾ND: not detected.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 전통 경옥고 숙성 방식에 따른 진액 스틱의 품질특성과 벤조피렌의 함량 변화를 평가하였다. 진액 스틱은 생지황, 인삼, 도라지, 백복령 및 사삼을 주원료로 사용하여 6일간의 숙성 과정을 통해 제조되었다. 진액 스틱의 pH는 숙성 기간이 길어질수록 감소하여 6일차 진액에 pH가 4.02로 나타났으며, 수분함량은 6일차에서 49.923%로 숙성 전에 비해 낮게 나타났다. 반면 숙성 기간이 길어질수록 진액 스틱의 점도 및 당도는 증가하였다. 점도는 숙성 전에는 1.52 dPa·s이었으나 숙성 6일차에는 3.84 dPa·s으로 증가하였으며, 당도는 숙성 전에는 51.68°Brix로 나타났으며, 숙성 6일차에는 51.94°Brix로 나타났다. 숙성 과정에서의 명도(L*)는 숙성 후에 증가하였으나 숙성 기간에 따른 유의적 차이는 나타나지 않았고, 적색도(a*) 및 황색도(b*)는 숙성 후에 감소하였다. 색차(ΔE)는 모든 시료에서 0.27-0.49 범위로 나타나 숙성 과정에 따른 색 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 진액 스틱의 유리당 중 fructose 및 glucose의 함량이 가장 높게 나타났으며, lactose는 검출되지 않았다. 뿐만 아니라, 총 유리당 함량은 24.518-27.646 g/100 g 범위로 나타났다. 진액 스틱의 벤조피렌은 0.040-0.074 µg/kg 범위로 나타났으나 정량한계 이하로 검출되었고, 모든 진액 스틱에서 일 반세균수, 대장균 및 대장균군이 불검출되었다. 본 연구를 통해 전통 경옥고 방식으로 숙성한 지황, 인삼, 도라지, 백복령 및 사삼 진액 스틱의 이화학적 특성을 알아보았으며, 진액 스틱이 간편한 건강식품으로 활용되기 위한 기초 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

저자 정보

김윤정(경성대학교 식품생명공학과, 박사과정 대학원생, 0000-0002-1328-5354)

박사무엘(안동대학교 식품생명공학과, 박사과정 대학원생, 0000-0002-6571-5280)

성지혜(안동대학교 식품생명공학과, 교수, 0000-0002-7998-

3016)

나임정((주)에터미오롯 연구소장, 0000-0003-3222-6349)

이도상((주)에터미오롯 연구개발실 실장, 0000-0001-9592-3315)

박준흠((주)옥천당 중앙연구소 책임연구원, 0000-0002-3765-1611)

김주희((주)옥천당 중앙연구소 책임연구원, 0009-0000-2826-8226)

김영화(경성대학교 식품생명공학과, 교수, 0000-0003-4186-887X)

감사의 글

이 논문은 (주)옥천당의 지원에 의해 수행된 과제이며, 부산광역시 및 (재)부산테크노파크의 BB21plus 사업으로 지원된 연구로 이에 감사드립니다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

Ahn KS, Noh EJ, Zhao HL, Jung SH, Kang SS, Kim YS. 2005. Inhibition of inducible nitric oxide synthase and cyclooxygenase II by *Platycodon grandiflorum* saponins via suppression of nuclear factor-κB activation in RAW 264.7 cells. *Life Sci.*, 76(20):2315-2328

Akihisa T, Yasukawa K, Oinuma H, Kasahara Y, Yamanouchi S, Takido M, Kumaki K, Tamura T. 1996. Triterpene alcohols from the flowers of compositae and their anti-inflammatory effects. *Phytochem.*, 43(6):1255-1260

Akihisa T, Yasukawa K, Yamaura M, Ukiya M, Kimura Y, Shimizu N, Arai K. 2000. Triterpene alcohol and sterol

- ferulates from rice bran and their anti-inflammatory effects. *J. Agric. Food Chem.*, 48(6):2313-2319
- Awulachew TM. 2021. Understanding to the shelf-life and product stability of foods. *J. Food Technol. Preserv.*, 5(8):1-5
- Basu T, Selman A, Reddy AP, Reddy PH. 2023. Current status of obesity: Protective role of catechins. *Antioxidants.*, 12(2):474
- Bukowska B, Mokra, K, Michałowicz J. 2022. Benzo[a]pyrene—Environmental occurrence, human exposure, and mechanisms of toxicity. *Int. J. Mol. Sci.*, 23(11): 6348
- Cho CW, Kim YC, Rhee YK, Lee YC, Kim KT, Hong HD. 2014. Chemical composition characteristics of Korean straight ginseng products. *J. Ethn. Foods*, 1(1):24-28
- Choi KS, Im MH, Choi JD. 1996. Utilization of jujube fruits Part III. Soluble sugars, pectins and mineral content of several types of jujube tea. *J. Resour. Develop.*, 15: 7-13
- Feng YL, Lei P, Tian T, Yin L, Chen DQ, Chen H, Mei Q, Zhao YY, Lin RC. 2013. Diuretic activity of some fractions of the epidermis of *Poria cocos*. *J. Ethnopharmacol.*, 150(3): 1114-1118
- Gapter L, Wang Z, Glinski J, Ng KY. 2005. Induction of apoptosis in prostate cancer cells by pachymic acid from *Poria cocos*. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 332(4): 1153-1161
- Huang Q, Zhang L. 2011. Preparation, chain conformation and anti-tumor activities of water-soluble phosphated (1→3)- α -D-glucan from *Poria cocos* mycelia. *Carbohydr. Polym.*, 83(3):1363-1369
- Hwang CR, Oh SH, Kim HY, Lee SH, Hwang IG, Shin YS, Lee JS, Jeong HS. 2011. Chemical composition and antioxidant activity of *Deoduk* (*Codonopsis lanceolata*) and *Doragi* (*Platycodon grandiflorum*) according to temperature. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 40(6):98-803
- International Agency for Research on Cancer (IARC). 2006. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risk of the chemicals to humans, Vol. 1-95. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer.
- Jang HH, Kim MJ, Cho SY, Kim JB, Lee SH, Lee YM. 2015. Anti-inflammatory and anti-allergic effects of *Adenophora triphylla* var. japonica extract. *J. East Asian Soc. Dietary Life*, 25(5):813-821
- Jang SY, Yoon KY, Jeong YJ. 2006. Effect of quality properties of pomegranate concentrate by sterilization conditions during storage. *Korean J. Food Preserv.*, 13(4):445-449
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). 2005. Food Contaminants. Sixty-fourth meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives.
- Kazerouni N, Sinha R, Hsu CH, Greenberg A, Rothman N. 2001. Analysis of 200 food items for benzo[a]pyrene and estimation of its intake in an epidemiologic study. *Food Chem. Toxicol.*, 39(5):423-436
- Kim C, Ndegwa E. 2018. Influence of pH and temperature on growth characteristics of leading foodborne pathogens in a laboratory medium and select food beverages. *Austin Food Sci.*, 3(1):1031
- Kim DG, Kim MB, Kim H, Park JH, Lim JP, Hong SH. 2005. Herb medicinal pharmacognosy. Shinlilsangsa, Korea, pp 185-186
- Kim DS, Lim SB. 2018. Composition of phenolic compounds and antioxidant activities of subcritical water extracts of onion skin. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 47(4):403-413
- Kim E, Jin Y, Kim KT, Lim TG, Jang M, Cho CW, Rhee YK, Hong HD. 2016a. Effect of high temperature and high pressure on physicochemical properties and antioxidant activity of Korean red ginseng. *Korean J. Food Nutr.*, 29(3):438-447
- Kim EK, Lee JH, Cho SH, Sen GN, Jin LG, Myung CS, Oh HJ, Kim DH, Yun JD, Roh SS, Park YJ, Seo YB, Song GY. 2008. Preparation of black ginseng by new methods and its antitumor activity. *Kor. J. Herbol.*, 23(1):85-89
- Kim HC. 2001. Herbal medicine pharmacology. Jipmoondang, Korea, pp 350
- Kim HK, Choi JS, Yoo DS, Choi YH, You GH, Hong KS, Ryu SY. 2007. HPLC analysis of saponins in *Platycodi Radix*. *Korean J. Pharmacogn.*, 38(2):192-196
- Kim JB, Song HN. 2014. Effects of Kyeongok-go and its two added precriptions on hyperlipidemic rats induced by high-fat diet. *Korean J. Ori. Physiol. Pathol.*, 28(4):371-378
- Kim MD. 2011. The literature study on the efficacy and manufacturing process of Gyeongoggo. *J. Korean Med. Class.*, 24(2):51-64
- Kim JH, Lee JH, Oh JM, Kim YK. 2011. Inhibitory effects on bone resorption and osteoblast proliferation of Kyungok-go. *Herb. Formul. Sci.*, 19(2):61-71
- Kim YA, Jin SW, Kim SM, Lee GH, Kim SJ, Lee WL, Na M, Jeong HG. 2016b. Anti-fatigue effect of Kyung-ok-Ko. *Korean J. Pharmacogn.*, 47(3):258-263
- Koh YW, Yun KW, Kim KJ, Jin SW, Im SB, Ha NI, Jeong HG, Kim SJ, Kim BS, Choi YJ, Song DH, Seo KS. 2021. Beneficial constituents and physiological activity of fermented *Codonopsis lanceolata* and *Platycodon grandiflorum* by *Lentinula edodes* mycelium. *J. Mushroom*, 19(4):300-309
- Lee JY, Jang DJ. 2020. Analysis on habit of dietary life for effective health-promotion. *J. Korea Contents Assoc.*, 20(8):327-337
- Lee KH, Park JE, Jang MS. 2008a. Quality characteristics of *jeolpyun* containing *baekbokryung* (White *Poria cocos* Wolf) powder based on water content. *Korean J. Food Cook. Sci.*, 24(3):282-293
- Lee KS, Kim GH, Kim HH, Seong BJ, Kim SI, Han SH, Kang EJ, Yoo YC. 2013. Qualities and anti-inflammatory activity of Kyungokgos sold in local markets. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 42(3):335-341
- Lee SY, Shin YJ, Park JH, Kim SM, Park CS. 2008b. An analysis of the Gyungokgo's ingredients and a comparison

- study on anti-oxidation effects according to the kinds of extract. *Kor. J. Herbol.*, 23(2):123-136
- Liu Y, Chen L, Huang QH, Li WY, Tang YJ, Zhao JF. 2009. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments of the Huangpu River, Shanghai, China. *Sci. Total Environ.*, 407(8):2931-2938
- Mizzi L, Maniscalco D, Gaspari S, Chatzitzika C, Gatt R, Valdramidis VP. 2020. Assessing the individual microbial inhibitory capacity of different sugars against pathogens commonly found in food systems. *Lett. Appl. Microbiol.*, 71(3):251-258
- Moon SG, Jeong SH, Choi CM. 2003. Classification of the edible plants on the market in Busan. *Korean J. Life Sci.*, 13:764-774
- Ovesna Z, Vachalkova A, Horvathova K, Tothova D. 2004. Taraxasterol and beta-sitosterol: new naturally compounds with chemoprotective/chemopreventive effects. *Neoplasma*, 51(6):407-414
- Wee JJ, Park KM, Chung AS. 2012. Biological activities of ginseng and its application to human health. *Herbal medicine: Biomolecular and clinical aspects*. 2nd edition. CRC Press/Taylor & Francis, USA, pp 157-200
- Whang WK, Oh IS, Lee SH, Choi SB, Kim IK. 1994. The physiological activities of Kyung Ok-Ko(II)-Effects on the hyperglycemia, hypertension, anti-fatigue and decrease of body weight. *Korea J. Pharmacogn.*, 25(1):51-58
- Wu SJ, Ng LT, Lin CC. 2004. Antioxidant activities of some common ingredients of traditional chinese medicine, *Angelica sinensis*, *Lycium barbarum* and *Poria cocos*. *Phytother. Res.*, 18(12):1008-1012
- You BR, Kim HR, Kim HJ, Lee JY, Lee SY, Song MR, Park JY, Kim MR. 2011. Catalpol content and antioxidant activities in various cultivars of *Rehmannia glutinosa*. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 40(4):481-485
- Yun HJ, Lim SY, Hur JM, Jeong JW, Yang SH, Kim DH. 2007. Changes of functional compounds in, and texture characteristics of, apples, during post-irradiation storage at different temperatures. *Korean J. Food Preserv.*, 14(3): 239-246
- Zhou R, Cai W, Xu B. 2017. Phytochemical profiles of black and yellow soybeans as affected by roasting. *Int. J. Food Prop.*, 20(12):3179-3190
- KHFFA. 2022. Health functional food market statistics at a glance. Available from https://www.khff.or.kr/user/info/InfoBoardUserView.do?_menuNo=374&boardSeqno=10039&postsSeqno=116360, [accessed 2023.12.01]
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). 2022a. Food code. Available from: https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=11003, [accessed 2024.04.24]
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). 2022b. Food code. Available from: https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=12069, [accessed 2024.04.24]
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). 2022c. Food code. Available from: https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=362, [accessed 2024.05.28]
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). 2022d. Food code. Available from: https://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=12, [accessed 2024.05.28]

Received July 11, 2024; revised August 1, 2024; accepted August 6, 2024