과열증기 조리에 따른 버섯의 기능성 성분 함량 및 잔존율에 미치는 영향

김다경¹ · 김민주² · 강민정² · 김영화¹

¹경성대학교 식품생명공학과

²(주)휴롬 바이오식품연구소

The Effects on Contents and True Retentions of Bioactive Compounds in Cooked Mushrooms by Superheated Steam

Dagyeong Kim¹, Minju Kim², Min-Jung Kang², and Younghwa Kim¹

¹School of Food Biotechnology & Nutrition, Kyung Sung University

²Bio-Food Research Center, Hurom Co., Ltd.

ABSTRACT This study sought to investigate the effect of superheated steam on the contents and the true retention of bioactive compounds in mushrooms. The results showed that the true retention of water-soluble vitamins B1 (thiamin), B2 (riboflavin), B3 (niacin), and C (ascorbic acid) were higher in mushrooms after superheated steaming as compared to the conventional steaming method. The content of total polyphenols and flavonoids in the cooked mushrooms except for *Hypsizygus tessellatus* increased with both superheated steaming and conventional steaming methods as compared to uncooked mushrooms. Also, the true retention of total polyphenols and flavonoids in superheated steamed mushrooms was higher than the conventional method. In general, the contents and the true retention of ergothioneine and glucan were higher in mushrooms with superheated steaming compared to the conventional steaming method. The free radical scavenging activity of the superheated steamed samples except for *Pleurotus eryngii* increased compared to that of the conventional steamed samples. These results suggest that superheated steaming causes positive changes in the nutritional and functional components of mushrooms compared to conventional steaming.

Key words: mushroom, superheated steam, bioactive compound, true retention

서 론

버섯은 진균류의 자실체로 진균류 가운데서도 대부분이 일부 자낭균류 및 단자균류에 속하는 고등균류이다. 전 세계적으로 약 15,000종의 버섯이 집계되어 있으며 국내의 자생하는 버섯류는 약 1,500종으로 그중 식용 가능한 버섯은 350여 종으로 알려져 있다. 우리나라에서 식용 버섯 중 생산량이 가장 많은 품목은 느타리버섯이며, 다음으로 팽이, 양송이 및 표고버섯 순이었다(RDA, 2018; Korea Forest Service, 2019). 국내 버섯 재배량은 2018년 기준 13만톤에 달하며, 2019년 기준 15만톤으로 꾸준히 이용되고 있다(RDA, 2018; Korea Forest Service, 2019). 버섯은 예로부터 식용 및 약용으로 이용되어 왔고 최근 버섯의 효능에 대한 관심이 높아지면서 그 소비량이 증가하고 있는 상황이

다(RDA, 2018). 버섯은 독특한 향, 맛, 조직감을 보유하고 있어 풍미가 뛰어나며, 난소화성 탄수화물로 구성되어 칼로리가 낮아 저칼로리 식품 및 자연식품으로도 각광받고 있다. 또한 버섯은 당류, 단백질, 무기질, 비타민 및 지방 등 다양한 영양소가 함유되어 있으며, 생리활성 물질을 함유하고 있어 영양학적으로 우수한 식품으로 평가되고 있을 뿐만 아니라 항산화제 역할을 하는 것으로 밝혀진 페놀 화합물을 포함한 다양한 2차 대사산물이 포함되어 있다고 하였다(Mau 등, 2002). 버섯은 콜레스테롤 감소, 항염증, 항바이러스, 항산화, 항고혈압 등에 도움이 되는 것뿐만 아니라 비타민 D₂의 전구체인 ergosterol이 풍부하며, 항종양 활성을 지닌 다당류인 β -1,3-D-glucan을 함유하고 있는 것으로 알려져 있다(Krakowska 등, 2020; Wasser, 2002).

버섯은 생으로 섭취하기보다는 주로 삶기, 찌기, 볶기, 굽

Received 22 April 2021; Revised 6 May 2021; Accepted 21 May 2021

Corresponding author: Younghwa Kim, Department of Food Science and Biotechnology, Kyung Sung University, 309, Suyeong-ro, Nam-gu, Busan 48434, Korea, E-mail: younghwakim@ks.ac.kr

Author information: Dagyeong Kim (Graduate student), Younghwa Kim (Professor)

Copyright © 2021 by The Korean Society of Food Science and Nutrition. All rights Reserved.

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

기 등의 방법으로 조리하여 섭취되며, 버섯의 조직은 대부분 수분으로 이루어져 있어 수분 손실에 의해 영양성분 및 기능성 성분의 잔존율이 달라질 수 있다고 알려져 있다(Park 등, 2017). 잔존율(True Retention, TR%)은 조리된 식품 중의 영양소 보존율을 나타내기 위하여 조리 전후의 식품 무게 및 영양소 함량 변화를 고려한 값을 말한다(de-Sa와 Rodriguez-Amaya, 2004). 미국 농무성(USDA)에서는 조리 및 가공에 따른 영양성분 함량 변화를 잔존율로 나타내고 있다(USDA, 2007). 식품의 조리는 식품 매트릭스의 변화로 다양한 생리활성 물질의 생체 이용률을 높이고 영양 품질을 향상시킬 수 있다고 알려져 있다(Pellegrini 등, 2010). 이처럼 열처리에 의해 다양한 채소에서 β -carotene의 생체 이용률이 증가하는 것으로 보고된 바 있으며, 고온 및 고압으로 가공한 배에서 폴리페놀 화합물의 함량 및 항산화 활성이 높아진다고 하였다(Nicoli 등, 1999; Hwang 등, 2006).

과열증기(superheated steam)는 포화증기를 100°C 이상의 고온으로 가열하여 생성되는 과열증기를 이용한 식품의 가공 및 조리 방법으로 식품의 건조, 살균, 조리 등 다양한 목적으로 이용되며, 과열증기 가공 시 무산소 상태가 되어 산화에 의한 식품의 변질을 억제할 수 있다고 알려져 있다(Park 등, 2016). 이와 같은 특징으로 과열증기를 이용한 조리는 식품 고유의 맛, 향미, 외관 등의 변화와 영양소의 파괴를 최소화하는 것뿐만 아니라 미생물 제어에도 효과적인 것으로 알려져 있다(Seo 등, 2014). 뿐만 아니라 고압의 과열증기를 이용한 가공 및 조리는 최근 식품 분야에서 주목받고 있는 가공 기술로 가열 및 조리시간을 단축시켜 식품의 물성 및 기능성을 향상시키며, 세포막 및 세포벽에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Kim 등, 2008; Park 등, 2014). 본 연구에서는 과열증기 조리에 의한 버섯의 영양성분 및 기능성 성분의 변화에 대한 기초자료를 제공하고자 연구를 수행하였으며, 이를 위해 국내에서 다소비 되는 버섯 6종을 선정하여 과열증기 조리에 따른 수용성 비타민 및 생리활성 물질의 함량 변화, 각 성분의 잔존율을 알아보았다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에 사용한 ascorbic acid, tris(2-carboxyethyl) phosphine hydrochloride(TCEP), thiamine hydrochloride, 2,2',2'',2'''-(ethane-1,2-diyl)dinitrilo)tetraacetic acid(EDTA), riboflavin, riboflavin-5'-adenosine diphosphate(FAD), riboflavin-5'-phosphate(FMN), nicotinic acid, nicotinamide, ergothioneine, 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)(ABTS), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH), gallic acid, catechin, Folin-Ciocalteu's reagent 및 aluminium(III) chloride hexahydrate 등은 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다. β -Glucan 분석에 사용된

mushroom and yeast beta-glucan assay procedure kit은 Megazyme(Bray, Ireland)에서 구입하였다. HPLC(Hitachi 5000 Chromaster, Hitachi Ltd., Tokyo, Japan)의 이동상으로 사용된 메탄올과 증류수는 J.T Baker Co.(Phillipsburg, NJ, USA)로부터 구입하여 사용하였으며, 기타 추출용액 및 시약은 특급 시약 혹은 이와 동등한 것을 사용하였다.

조리 방법

본 실험에서 사용된 시료는 양송이버섯, 팽이버섯, 만가닥버섯, 표고버섯, 새송이버섯, 느타리버섯으로 부산광역시 남구 지역 마트에서 구매하여 시료로 사용하였다. 구입한 버섯은 구입 즉시 비가식 부위를 제거한 뒤 손질하여 일반찜(steaming) 및 과열증기 조리법으로 조리되었다. 먼저, 양송이버섯(*Agaricus bisporus*)은 4등분으로 절단하였고, 표고버섯(*Lentinula edodes*)은 0.5 cm 두께로, 새송이버섯(*Pleurotus eryngii*)은 1 cm 두께로 절단하여 사용하였다. 만가닥버섯(*Hypsizygus tessellatus*), 느타리버섯(*Pleurotus ostreatus*) 및 팽이버섯(*Flammulina velutipes*)은 손으로 찢어 손질하였다. 일반찜은 증류수를 가열하여 끓인 뒤 10분간 조리하였다. 과열증기 조리(superheated-steaming)는 120°C 고압의 과열증기를 이용하여 조리하는 과열찜기(SC-P01FMG, Hurom, Gimhae, Korea)를 사용하여 찜 모드에서 10분간 조리하였다. 조리가 된 시료는 냉각 후 균질화시킨 뒤 소분하여 -70°C에 보관하며 실험에 사용되었다.

조리수율 및 수분함량

버섯의 조리수율(cooking yield)은 조리 전후 시료의 중량을 측정하여 조리수율을 구하였다. 수분함량은 AOAC (2000) 분석 방법에 따라 105°C에서 상압가열건조법으로 분석하였다.

$$\text{Moisture (\%)} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100$$

W₁: 칭량접시의 중량(g)

W₂: 시료 + 칭량접시의 중량(g)

W₃: W₂를 건조하여 항량이 되었을 때의 중량(g)

비타민 B₁ 및 비타민 B₃ 함량 분석

버섯에 함유된 비타민 B₁ 및 비타민 B₃는 Kim 등(2014)의 방법으로 동시 추출, 동시 분석하여 진행하였다. 시료 약 1 g을 취하여 5 mM sodium 1-hexanesulfonate 용액 50 mL를 첨가한 뒤 초음파 추출기(SD350H, Sungdong Ultrasonic Co., Seoul, Korea)로 40°C에서 30분간 추출하였다. 이 추출액을 10분간 15,000 rpm으로 원심분리한 후 상등액을 0.45 μ m syringe filter(PVDF, Whatman Inc., Maidstone, UK)로 여과하여 HPLC(Hitachi 5000 Chromaster, Hitachi Ltd.)로 분석하였다. HPLC 분석 시 컬럼 온도는

40°C로 설정하였고, 컬럼은 YMC-Pack ODS-AM(250×4.6 mm, 5 µm, YMC, Kyoto, Japan)을 사용하였다. 비타민 B₁ 및 B₃의 검출은 270 nm에서 측정하였다. 분석에 사용된 이동상은 5 mM sodium 1-hexanesulfonate(triethylamine 0.2 mL+ acetic acid 7.5 mL/L)(A용매)와 100% 메탄올(B용매)을 gradient elution 방식으로 진행하였으며, 0 분 100% A용매, 20분 100% A용매, 20분 50% A용매, 35 분 50% A용매, 45분 100% A용매, 55분 100% A용매로 조절하였고 유속은 0.8 mL/min이었다.

비타민 B₂ 함량 분석

비타민 B₂의 추출 방법은 Kim 등(2014)의 방법과 식품공전의 비타민 분석법(MFDS, 2018)을 이용하여 분석하였다. 먼저 시료 1 g을 칭량하여 증류수 50 mL를 첨가한 후 shaking water bath(HB-205SW, Hanbaek Scientific Co., Bucheon, Korea)를 이용하여 75°C에서 30분간 환류 추출하였다. 이 추출액을 10분간 15,000 rpm으로 원심분리한 뒤 상등액을 0.45 µm syringe filter로 여과하여 분석에 사용하였다. 비타민 B₂의 경우 형광검출기를 사용하였으며, 형광검출기의 여기파장(excitation) 445 nm 및 방출파장(emission) 530 nm에서 진행하였다. 분석에 사용된 컬럼은 YMC-Pack Pro RS C₁₈(250 mm×4.6 mm, 5 µm, YMC)이었으며 컬럼 온도는 40°C로 설정하였다. 이동상은 10 mM NaH₂PO₄(pH 5.5)와 메탄올을 75:25(v/v) 비율로 하여 사용하였으며, 유속은 0.65 mL/min으로 등용매 용리 조건으로 분석하였다.

비타민 C 함량 분석

비타민 C 추출은 시료 2 g에 100 mM EDTA, metaphosphoric acid 및 TCEP를 혼합한 추출용매 12 mL를 가하고 2-octanol을 1~2방울 첨가한 뒤 1분간 균질화하였다. 균질화한 시료는 3,000 rpm으로 원심분리한 후 상등액을 취한 뒤 남은 고형분에 추출용매 10 mL를 가하여 5분간 초음파 추출기로 재추출하였다. 추출액을 원심분리하여 상등액을 50 mL로 정용하여 0.45 µm syringe filter를 이용하여 여과한 뒤 HPLC 분석에 사용하였다. HPLC 분석 시 이동상은 0.05% formic acid를 사용하였으며, 유속은 0.7 mL/min으로 등용매 용리 조건으로 분석하였다. 컬럼 온도는 40°C로 설정하였으며, 분석 컬럼은 Mightysil RP-18 GP Aqueous 250-4.6(250×4.6 mm, 5 µm, Kanto Chemicals, Tokyo, Japan)을 사용하였다.

총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 분석

조리된 버섯을 동결건조한 후 각각의 버섯 분말 1 g에 100% 메탄올 20 mL를 가해 homogenizer(Ultra-Turrax® T18, IKA, Staufen, Germany)를 사용하여 4,000 rpm으로 5분 동안 균질화한 뒤 초음파 추출기로 35°C에서 1시간 동안 추출하였다. 추출액은 Whatman No. 2 filter paper

(Whatman International, Kent, UK)를 이용하여 여과한 뒤 총 폴리페놀 및 플라보노이드 분석에 사용되었다. 버섯의 조리 따른 총 폴리페놀 함량은 Folin과 Denis(1912)의 방법을 일부 변형하여 분석하였다. 각각의 시료 추출물 50 µL에 2% Na₂CO₃ 1 mL를 첨가한 뒤 50% Folin-Ciocalteu's reagent를 100 µL 가하여 실온에서 5분간 방치하였다. 반응물은 ELISA reader(Thermo Scientific Ltd., Lafayette, CO, USA)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 폴리페놀 함량은 gallic acid를 이용한 표준곡선을 사용하여 mg of gallic acid equivalent(GAE)/100 g sample로 나타내었다. 총 플라보노이드 함량은 시료 추출물 250 µL에 증류수 1,250 µL를 가한 뒤 5% NaNO₂를 넣고 교반하여 5분간 암소에서 방치하였다. 10% AlCl₃·6H₂O 150 µL를 넣고 5분간 암소에 방치한 뒤 1 M NaOH 1 mL를 첨가하여 교반한 후 ELISA reader(Thermo Scientific Ltd.)를 이용하여 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. Catechin을 표준물질로 사용하여 표준곡선을 작성한 후 시료의 총 플라보노이드 함량을 구하였으며, mg of catechin equivalent(CE)/100 g sample로 나타내었다.

Ergothioneine 함량 분석

버섯의 조리 따른 ergothioneine 함량 분석을 위해 동결건조된 분말 시료 0.5 g에 증류수 20 mL를 가하여 100°C로 설정한 shaking water bath에서 100 rpm으로 진탕하며 30분 동안 환류 추출하였다. 이를 방랭한 후 10,000 rpm에서 원심분리하고 0.45 µm syringe filter로 여과하여 분석에 사용하였다. 이동상은 3% acetonitrile이 함유된 50 mM sodium phosphate(pH 7.3)를 사용하였고, 유속은 1.0 mL/min의 등용매 용매 조건으로 분석을 진행하였다. 컬럼 온도는 40°C이며, 컬럼은 YMC-Pack Pro RS C₁₈(250 mm×4.6 mm, 5 µm)을 사용하였다.

β-Glucan 함량 분석

시료의 조리 따른 β-glucan 함량은 mushroom and yeast beta-glucan assay procedure kit을 이용하여 함량을 측정하였다. 시료 90 mg을 칭량한 후 12 M 황산 2 mL를 넣고 3차 증류수 10 mL를 가하여 100°C 수욕상에서 2시간 동안 교반하였다. 이후 10 M KOH 6 mL를 넣고 200 mM sodium acetate를 가하여 100 mL로 정용한 뒤 원심분리하였다. 상등액 0.1 mL를 얻어 exo-1,3-β-glucanase와 β-glucosidase를 혼합한 용액 0.1 mL를 첨가하여 40°C 수욕상에서 60분간 반응시켰다. 반응액에 glucose oxidase/peroxidase mixture 3 mL를 넣고 40°C 수욕상에서 20분간 반응시킨 뒤 510 nm에서 흡광도를 측정하여 total glucan 함량을 구하였다.

α-Glucan 함량 분석을 위해 시료 100 mg을 칭량하여 2 M KOH 2 mL를 가한 후 20분간 교반하였다. 이후 1.2 M sodium acetate 8 mL를 넣고 amyloglucosidase와 in-

vertase 혼합 용액을 0.2 mL 첨가하여 40°C 수욕상에서 30분간 교반한 후 원심분리하여 상등액을 얻었다. 얻은 상등액 0.1 mL에 200 mM sodium acetate 0.1 mL와 glucose oxidase/oxidase(GOPOD) 시약 3 mL를 첨가한 후 40°C 수욕상에서 20분간 반응시켰다. 이 반응액 200 µL를 510 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질인 glucose 용액을 GOPOD 시약과 반응시킨 후 흡광도를 측정하여 total glucan과 α-glucan 함량을 계산하였으며, β-glucan 함량은 측정된 total glucan 함량에서 α-glucan 함량을 빼 준 값으로 계산하였다.

ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능 측정

조리된 버섯을 동결건조한 후 각각의 버섯 분말 1 g에 100% 메탄올 20 mL를 첨가한 뒤 4,000 rpm으로 5분 동안 homogenizer를 사용하여 균질화한 후 초음파 추출기로 35°C에서 1시간 동안 추출하였다. 추출액은 Whatman No. 2 filter paper로 여과하여 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능 측정을 위해 사용되었다. ABTS 라디칼 소거능 측정은 potassium persulfate와 반응하여 생성된 라디칼이 항산화 물질에 의해 제거되어 탈색되는 반응을 이용한 방법으로 Re 등(1999)의 방법을 참고하여 측정하였다. 7.4 mM ABTS 용액을 potassium persulfate로 2.4 mM이 되도록 용해한 다음 암실에서 12시간 동안 반응시켰다. 시료 추출물 50 µL에 희석된 ABTS 용액을 1 mL 가하여 암소에서 약 30분간 방치한 뒤 735 nm에서 흡광도를 측정하였다. 반응물은 ELISA reader기를 이용하여 735 nm에서 흡광도를 측정하여 흡광도 값이 1 부근이 되도록 하여 실험에 사용하였다. DPPH 라디칼 소거능 측정은 Blois(1985)의 방법을 일부 변형하여 진행하였다. 시료 추출액 50 µL에 DPPH 1 mL를 섞은 후 30분간 암소에서 방치한 다음 520 nm에서 흡광도를 측정하였다. ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능의 표준물질로 gallic acid를 사용하였으며, gallic acid를 이용한 표준곡선을 사용하여 mg of gallic acid equivalent(GAE)/100 g sample로 나타내었다.

잔존율(true retention, TR%)

각 실험 결과에 대한 잔존율은 Murphy 등(1975)에 따라 조리 전후의 중량을 고려하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{True retention (\%)} = \frac{Nc \times Gc}{Nr \times Gr} \times 100$$

Nc: nutrient content/g of cooked food.

Gc: g of cooked food.

Nr: nutrient content/g of raw food.

Gr: g of raw food.

통계분석

본 연구의 결과값은 2회 이상 반복 실험하여 실시한 결과이며 평균±표준편차로 표시하였다. SAS ver. 9.4(SAS In-

stitute, Cary, NC, USA) 프로그램을 사용하여 one-way ANOVA를 실시하였고, Duncan's multiple range test로 $P < 0.05$ 수준에서 각 시료 간에 통계적인 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

과열증기 조리에 의한 버섯의 조리수율 및 수분함량

버섯의 조리에 따른 조리수율 및 수분함량은 Table 1에 나타내었다. 조리수율은 일반찜 및 과열증기 조리에 따라 감소하였으며 조리 방법 및 시료에 따라 다르게 나타났다. 버섯의 조리수율은 일반찜 조리 시 61.200~89.100%, 과열증기로 조리하였을 때는 65.697~81.362% 범위로 나타났으며, 느타리버섯이 다른 버섯 종류에 비해 중량 감소량이 많은 것으로 나타났다. 버섯의 수분함량은 일반찜 및 과열증기 조리에 따라 각각 85.133~89.349%와 84.022~94.186%로 나타났으며, 잔존율은 일반찜 및 과열증기 조리 시 각각 59.943~80.666%와 64.407~81.320%로 나타났다. 표고버섯과 새송이버섯을 제외한 버섯의 수분 잔존율은 과열증기 조리법에서 일반찜 조리법에 비해 유의적으로 높은 값을 나타내었다. Lee 등(2019)에 의하면 양송이버섯, 새송이버섯 및 느타리버섯의 수분함량은 89.5~93.1%로 측정되었고, 본 연구에서 사용된 버섯 시료들은 모두 이전 연구 결과와 유사한 수준의 수분함량을 나타내었다.

과열증기 조리에 의한 버섯의 수용성 비타민 함량 및 잔존율 변화

버섯 6종의 일반찜 및 과열증기 조리에 따른 수용성 비타민(비타민 B₁, 비타민 B₂, 비타민 B₃, 비타민 C)의 함량 및 잔존율은 Table 2에 나타내었다. 버섯 생것의 비타민 B₁ 함량은 팽이버섯에서 0.361 mg/100 g으로 가장 많았고, 다음으로 표고버섯, 만가닥버섯 순이었다. 표고버섯을 제외한 모든 버섯에서 비타민 B₁의 잔존율은 과열증기 조리 시 일반찜 조리법에 비해 약 2~33%로 높은 잔존율을 유지하였으며, 특히 양송이버섯의 과열증기 조리는 일반찜 조리법에 비해 최대 39.225% 높은 잔존율을 보였다. 대부분 버섯의 비타민 B₂ 함량은 과열증기 조리에서 일반찜 조리보다 높게 나타났고, 모든 버섯의 비타민 B₂ 잔존율은 과열증기 시 일반찜보다 높은 수준을 유지하였다. 특히 팽이버섯을 과열증기로 조리하였을 때 일반찜보다 약 15% 높은 비타민 B₂ 잔존율을 보였다. 비타민 B₃ 함량의 경우 과열증기 조리를 진행하였을 시 일반찜에 비해 비타민 B₃ 함량의 손실이 적게 나타났을 뿐만 아니라, 잔존율도 대부분 과열증기로 조리한 버섯이 일반찜 조리법에 비해 약 2~24%가량 유의적으로 높은 값을 나타냈다. 따라서 본 연구에서는 과열증기 조리가 일반찜에 비해 버섯의 비타민 B₁, B₂ 및 B₃ 잔존율이 높게 유지되는 것으로 확인되었다. 비타민 C의 경우 팽이버섯, 표고버섯 및 느타리버섯에서만 검출된 것을 확인할 수 있었다. 비타민

Table 1. The cooking yields and moisture contents of mushrooms

Samples	Cooking methods	Cooking yields (%)	Moisture (%)	
			g/100 g CW ¹⁾	True retention (%)
<i>Agaricus bisporus</i>	Raw	100.000	92.035±0.034 ^{a2)}	100.000±0.123 ^a
	Steaming	89.100	88.958±0.182 ^c	77.556±0.159 ^c
	Superheated-steaming	81.109	89.472±0.208 ^b	78.850±0.184 ^b
<i>Flammulina velutipes</i>	Raw	100.000	89.890±0.169 ^a	100.000±0.188 ^a
	Steaming	74.343	88.255±0.167 ^b	65.652±0.124 ^c
	Superheated-steaming	81.362	89.844±0.168 ^a	81.320±0.152 ^b
<i>Hypsizygus tessellatus</i>	Raw	100.000	92.194±0.279 ^b	100.000±0.303 ^a
	Steaming	71.587	89.349±0.051 ^c	62.349±0.036 ^c
	Superheated-steaming	79.005	94.186±0.563 ^a	80.712±0.483 ^b
<i>Lentinula edodes</i>	Raw	100.000	89.757±1.589 ^a	100.000±1.770 ^a
	Steaming	75.666	85.133±0.263 ^b	76.112±0.235 ^b
	Superheated-steaming	69.670	84.022±1.847 ^b	65.219±1.433 ^c
<i>Pleurotus eryngii</i>	Raw	100.000	89.434±0.082 ^a	100.000±0.092 ^a
	Steaming	71.335	88.481±0.001 ^{ab}	80.666±0.001 ^b
	Superheated-steaming	77.949	87.001±0.808 ^b	75.828±0.704 ^c
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Raw	100.000	92.348±0.199 ^a	100.000±0.216 ^a
	Steaming	61.200	88.737±0.037 ^b	59.943±0.025 ^c
	Superheated-steaming	65.697	90.534±1.027 ^{ab}	64.407±0.731 ^b

¹⁾CW: cooked weight.²⁾All values are expressed as the mean±SD of triplicate determinations. Means with different superscripts within a column of each same sample are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

C가 검출된 모든 버섯에서 일반찜보다 과열증기 조리 시 비타민 C 함량이 높게 나타나 과열증기 조리법에서 비타민 C 손실이 적은 것으로 나타났다. 비타민 C 잔존율은 모든 버섯에서 과열증기 조리가 높은 잔존율을 보였으며, 특히 팽이버섯은 과열증기 조리가 일반찜에 비해 비타민 C의 잔존율이 약 17% 높았다. 수용성 비타민의 손실은 일반적으로 조리시간이 길거나 가열 온도가 높을수록 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Kondjoyan 등, 2018). 또한 물을 이용하여 조리하는 과정에서 수용성 비타민과 같은 일부 필수 영양소의 침출로 인해 손실을 초래할 수 있다고 보고되었다(EI-Adawy, 2002). 그러나 고압을 이용한 열처리는 기존의 열처리에 비해 열에 의한 손상이 최소화되고, 풍미 및 질감 유지 등의 장점이 있다고 알려져 있다(Al-Khuseibi 등, 2005). Kim 등(2017)은 고압 처리한 쌀은 고압 처리하지 않은 쌀에 비해 일정 압력까지 비타민 E의 함량이 증가한 것으로 보고하였다. 본 연구 결과에서도 대부분 버섯의 수용성 비타민 함량 및 잔존율은 과열증기 조리에서 일반찜에 비해 더 높게 나타났으며, 이를 통해 과열증기 조리에 의한 영양성분 변화의 기초 정보를 확인할 수 있었다.

과열증기 조리에 의한 버섯의 기능성 성분 함량 및 잔존율 변화

일반찜 및 과열증기로 조리한 버섯의 총 폴리페놀, 플라보노이드 및 ergothioneine 함량과 잔존율의 변화를 분석하였다(Table 3). 표고버섯 생것의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 각각 8.416 mg of GAE/100 g과 0.993 mg of

CE/100 g으로 분석한 버섯 중 높은 함량을 나타내었다. 양송이버섯의 총 폴리페놀 함량은 과열증기로 조리하였을 때 생것에 비해 약 119%까지 증가하였고, 총 폴리페놀의 잔존율은 177.520%로 가장 높게 나타났다. 페놀 화합물은 식물체에 널리 분포되어 있는 2차 대사산물의 하나로 화학적으로 페놀 구조를 가진 방향족 화합물을 말하며 여러 하위 그룹을 포함한다(Tsao, 2010). 폴리페놀은 강력한 항산화 작용을 하며 과도한 활성산소종(ROS)에 의한 산화적 손상 예방에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Wu 등, 2019). 찜은 조리 시 조리용수와 직접 접촉하지 않아 조리용수의 침출이 최소화되고 동시에 열에 의한 화합물의 분해가 최소화되며, 식품 매트릭스가 연화되어 식품의 소화성, 추출성 및 필수 영양소의 생체 이용률을 향상시킨다고 알려져 있다(Palermo 등, 2014). Mazzeo 등(2011)은 콜리플라워를 찜으로 조리하였을 때 페놀 화합물의 함량이 약 17% 증가하는 것으로 보고하였다. 특히 Wang 등(2012)은 과열증기로 조리한 고구마에서 총 폴리페놀 함량 및 플라보노이드 함량이 각각 4.5배, 1.9배가량 증가하였다고 하였으며, Choi 등(2006)은 식물의 세포벽에 공유 결합된 불용성 세포벽이 열처리에 의해 유리되어 페놀 화합물의 함량이 증가할 뿐만 아니라 항산화 활성이 높아진다고 보고한 바 있다. 이와 같은 이유로 과열증기 조리의 경우 일반찜보다 높은 잔존율이 나타난 것으로 생각되며, 가열 조리에 따른 식품 매트릭스의 연화 현상에 의해 일부 버섯의 총 폴리페놀 및 플라보노이드의 함량이 증가한 것으로 생각된다.

버섯 생것의 ergothioneine의 함량은 새송이버섯에서

Table 2. The contents of soluble vitamins in mushrooms

Samples	Cooking methods	Vitamin B ₁ (thiamin)			Vitamin B ₂ (riboflavin) ¹⁾			Vitamin B ₃ (niacin) ²⁾			Vitamin C (ascorbic acid)		
		mg/100 g CW ³⁾	True retention (%)	mg/100 g CW	mg/100 g CW	True retention (%)	mg/100 g CW	mg/100 g CW	True retention (%)	mg/100 g CW	mg/100 g CW	True retention (%)	mg/100 g CW
<i>Agaricus bisporus</i>	Raw	0.157±0.001 ^{ad)}	100.000±0.608 ^a	0.495±0.011 ^c	100.000±2.28 ^a	100.000±0.989 ^a	11.085±0.110 ^a	ND ⁵⁾	100.000±0.989 ^a	ND ⁵⁾	ND	ND	ND
	Steaming	0.017±0.002 ^c	8.536±0.793 ^c	0.532±0.006 ^b	86.300±1.019 ^c	86.300±1.019 ^c	2.723±0.103 ^c	ND	19.709±0.743 ^c	ND	ND	ND	ND
	Superheated-steaming	0.093±0.008 ^b	47.761±4.380 ^b	0.590±0.019 ^a	96.683±3.151 ^b	96.683±3.151 ^b	3.393±0.087 ^b	ND	24.826±0.637 ^b	ND	ND	ND	ND
<i>Flammulina velutipes</i>	Raw	0.361±0.005 ^a	100.000±1.250 ^a	0.190±0.001 ^a	100.000±0.339 ^a	100.000±0.339 ^a	4.878±0.111 ^b	0.367±0.016 ^a	100.000±2.278 ^a	0.367±0.016 ^a	100.000±4.247 ^a	100.000±4.247 ^a	100.000±4.247 ^a
	Steaming	0.245±0.004 ^b	45.304±0.782 ^c	0.195±0.001 ^a	68.585±0.462 ^c	68.585±0.462 ^c	5.347±0.244 ^{ab}	0.258±0.003 ^b	73.304±3.351 ^c	0.258±0.003 ^b	47.085±0.623 ^c	47.085±0.623 ^c	47.085±0.623 ^c
	Superheated-steaming	0.338±0.018 ^a	76.276±4.139 ^b	0.197±0.006 ^a	84.341±2.653 ^b	84.341±2.653 ^b	5.507±0.003 ^a	0.288±0.010 ^b	91.857±0.043 ^b	0.288±0.010 ^b	63.843±2.134 ^b	63.843±2.134 ^b	63.843±2.134 ^b
<i>Hypsizygus tessellatus</i>	Raw	0.284±0.003 ^a	100.000±1.178 ^a	0.211±0.004 ^a	100.000±1.893 ^a	100.000±1.893 ^a	8.300±0.310 ^a	ND	100.000±3.738 ^a	ND	ND	ND	ND
	Steaming	0.172±0.002 ^c	38.965±0.406 ^c	0.185±0.002 ^b	56.314±0.520 ^c	56.314±0.520 ^c	2.759±0.006 ^c	ND	21.383±0.043 ^c	ND	ND	ND	ND
	Superheated-steaming	0.248±0.001 ^b	69.099±0.212 ^b	0.180±0.002 ^b	67.418±0.925 ^b	67.418±0.925 ^b	4.737±0.042 ^b	ND	45.088±0.399 ^b	ND	ND	ND	ND
<i>Lentinula edodes</i>	Raw	0.292±0.020 ^a	100.000±6.819 ^a	0.194±0.000 ^a	100.000±0.102 ^a	100.000±0.102 ^a	1.137±0.010 ^a	1.144±0.079 ^a	100.000±0.907 ^a	1.144±0.079 ^a	100.000±6.875 ^a	100.000±6.875 ^a	100.000±6.875 ^a
	Steaming	0.128±0.001 ^c	35.233±0.406 ^b	0.154±0.006 ^b	63.815±2.572 ^c	63.815±2.572 ^c	0.715±0.036 ^b	0.812±0.001 ^b	50.461±2.541 ^b	0.812±0.001 ^b	56.945±0.105 ^b	56.945±0.105 ^b	56.945±0.105 ^b
	Superheated-steaming	0.156±0.006 ^b	37.180±1.394 ^b	0.192±0.001 ^a	68.955±0.376 ^b	68.955±0.376 ^b	0.778±0.016 ^b	0.989±0.033 ^a	47.653±0.999 ^b	0.989±0.033 ^a	60.188±1.994 ^b	60.188±1.994 ^b	60.188±1.994 ^b
<i>Pleurotus eryngii</i>	Raw	0.026±0.001 ^a	100.000±2.100 ^a	0.203±0.000 ^b	100.000±0.022 ^a	100.000±0.022 ^a	0.648±0.008 ^b	ND	100.000±1.27 ^b	ND	ND	ND	ND
	Steaming	0.007±0.001 ^c	22.735±3.045 ^c	0.203±0.005 ^b	81.411±1.824 ^b	81.411±1.824 ^b	0.907±0.033 ^a	ND	114.061±4.15 ^a	ND	ND	ND	ND
	Superheated-steaming	0.019±0.000 ^b	56.467±0.412 ^b	0.252±0.007 ^a	96.650±2.780 ^a	96.650±2.780 ^a	0.966±0.069 ^a	ND	116.223±8.269 ^a	ND	ND	ND	ND
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Raw	0.220±0.003 ^a	100.000±1.168 ^a	0.230±0.020 ^b	100.000±8.768 ^a	100.000±8.768 ^a	6.948±0.057 ^a	0.619±0.066 ^a	100.000±0.815 ^a	0.619±0.066 ^a	100.000±10.731 ^a	100.000±10.731 ^a	100.000±10.731 ^a
	Steaming	0.092±0.006 ^c	26.151±1.579 ^c	0.278±0.006 ^a	78.101±1.505 ^b	78.101±1.505 ^b	0.862±0.022 ^c	0.417±0.018 ^b	7.740±0.193 ^c	0.417±0.018 ^b	42.002±1.767 ^c	42.002±1.767 ^c	42.002±1.767 ^c
	Superheated-steaming	0.191±0.001 ^b	57.187±0.200 ^b	0.280±0.010 ^a	77.277±2.644 ^b	77.277±2.644 ^b	1.371±0.099 ^b	0.543±0.023 ^{ab}	12.960±0.931 ^b	0.543±0.023 ^{ab}	57.641±2.464 ^b	57.641±2.464 ^b	57.641±2.464 ^b

¹⁾Vitamin B₂ = {(FAD × 0.4537) + (FMN × 0.7869) + riboflavin}.²⁾Vitamin B₃ = nicotinic acid + nicotinamide.³⁾CW: cooked weight.⁴⁾All values are expressed as the mean±SD of triplicate determinations. Means with different superscripts within a column of each same sample are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.⁵⁾ND: not detected.

Table 3. The contents of functional compound contents in mushrooms

Samples	Cooking methods	Total polyphenol		Flavonoid		Ergothioneine	
		mg of GAE ¹⁾ / 100 g CW ²⁾	True retention (%)	mg of CE ³⁾ / 100 g CW	True retention (%)	mg/100 g CW	True retention (%)
<i>Agaricus bisporus</i>	Raw	5.539±0.210 ^{c,d)}	100.000±3.795 ^c	0.710±0.008 ^b	100.000±1.083 ^b	2.963±0.020 ^c	100.000±0.665 ^c
	Steaming	10.112±0.905 ^b	146.486±13.111 ^b	0.928±0.105 ^a	104.836±11.886 ^{ab}	6.167±0.037 ^b	167.027±0.994 ^b
	Superheated-steaming	12.123±0.911 ^a	177.520±13.335 ^a	1.025±0.009 ^a	117.005±1.054 ^a	7.595±0.034 ^a	207.943±0.931 ^a
<i>Flammulina velutipes</i>	Raw	6.558±0.436 ^b	100.000±6.647 ^a	0.898±0.010 ^b	100.000±1.063 ^a	12.250±0.168 ^b	100.000±1.369 ^a
	Steaming	5.765±0.335 ^c	58.782±3.415 ^b	0.972±0.056 ^b	72.360±4.178 ^b	8.005±0.084 ^c	43.693±0.457 ^c
	Superheated-steaming	7.344±0.368 ^a	91.108±4.564 ^a	1.144±0.034 ^a	103.684±3.068 ^a	14.393±0.260 ^a	95.592±1.729 ^b
<i>Hypsizygus tessellatus</i>	Raw	5.221±0.096 ^a	100.000±1.834 ^a	0.774±0.009 ^a	100.000±1.179 ^a	1.007±0.047 ^a	100.000±4.689 ^a
	Steaming	2.233±0.100 ^c	28.223±0.231 ^c	0.423±0.010 ^b	35.211±0.854 ^c	0.398±0.001 ^c	25.414±0.041 ^c
	Superheated-steaming	4.890±0.130 ^b	73.985±1.970 ^b	0.784±0.006 ^a	80.115±0.633 ^b	0.829±0.001 ^b	64.994±0.114 ^b
<i>Lentinula edodes</i>	Raw	8.416±0.300 ^b	100.000±3.561 ^a	0.993±0.027 ^c	100.000±2.740 ^a	4.478±0.056 ^b	100.000±1.248 ^a
	Steaming	10.644±0.131 ^a	101.489±1.248 ^a	1.362±0.009 ^b	110.024±0.752 ^a	4.568±0.044 ^b	81.857±0.792 ^b
	Superheated-steaming	11.422±0.370 ^a	94.556±3.062 ^a	1.425±0.000 ^a	99.985±0.000 ^b	4.872±0.028 ^a	75.809±0.428 ^c
<i>Pleurotus eryngii</i>	Raw	7.527±0.344 ^a	100.000±4.569 ^a	1.049±0.088 ^a	100.000±8.407 ^a	12.361±0.083 ^c	100.000±0.668 ^a
	Steaming	5.037±0.235 ^b	54.565±2.544 ^b	1.162±0.061 ^a	90.324±4.731 ^a	12.828±0.134 ^b	84.615±0.881 ^c
	Superheated-steaming	5.129±0.318 ^b	53.113±3.298 ^b	1.111±0.028 ^a	82.578±2.049 ^b	14.624±0.110 ^a	92.222±0.693 ^b
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Raw	6.812±0.475 ^a	100.000±6.971 ^a	0.778±0.048 ^b	100.000±6.123 ^a	12.149±0.015 ^b	100.000±0.122 ^a
	Steaming	5.242±0.176 ^b	48.006±1.607 ^c	0.791±0.044 ^b	63.395±3.508 ^b	13.114±0.654 ^b	67.336±3.358 ^b
	Superheated-steaming	7.095±0.620 ^a	68.428±5.983 ^b	1.089±0.019 ^a	91.929±1.631 ^a	17.062±0.095 ^a	92.264±0.514 ^a

1)GAE: gallic acid equivalent.

2)CW: cooked weight.

3)CE: catechin equivalent.

4)All values are expressed as the mean±SD of triplicate determinations. Means with different superscripts within a column of each same sample are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

12.361 mg/100 g으로 가장 높은 함량을 나타내었으며, 다음으로 팽이버섯과 느타리버섯에서 높게 나타났다. 모든 버섯 시료에서 과열증기 조리 시 일반찜 조리보다 ergothioneine 함량이 유의적으로 높았으며, ergothioneine의 잔존율도 대부분의 과열증기로 조리하였을 때 일반찜 조리법에 비해 유의적으로 높은 잔존율을 보였다. 특히 팽이버섯을 과열증기 조리하였을 때 ergothioneine의 잔존율이 일반찜보다 약 52% 높게 유지되었다. Ergothioneine은 주로 균류에서 생합성되는 천연 아미노산으로 인체의 혈액, 신장, 뇌, 골수 등에서도 발견되었으며, 인체는 이를 생합성하지 못하므로 동물성 식품과 버섯 등을 통해 섭취해야 한다(Grundemann 등, 2005). Ergothioneine은 수용성 성분으로 열에 대해 안정한 것으로 알려져 있으나 조리용수로 침출되어 ergothioneine 함량의 감소가 나타날 수 있다고 하였다(Deiana 등, 2004). 버섯의 조직은 대부분이 수분으로 이루어져 있어 조리법에 의한 수분손실에 의해 영양성분 및 기능성 성분들의 잔존율에 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서도 양송이를 제외한 대부분의 버섯의 ergothioneine 잔존율은 과열증기 및 일반찜 조리 시 감소하였다. 또한, 표고버섯을 제외한 나머지 버섯의 경우 모두 과열증기 조리가 일반찜보다 더 높은 ergothioneine 잔존율을 유지하는 것으로 나타났다.

일반찜과 과열증기 조리법에 따른 β -glucan 함량을 분석한 결과는 Table 4에 나타내었다. 조리 전 버섯의 β -glucan 함량은 표고버섯에서 5.436 mg/100 g으로 가장 높게 나타났다. 대부분의 버섯에서 일반찜과 과열증기 조리 간의 β -glucan 함량 및 잔존율의 차이가 크지 않은 것으로 나타났으나 팽이버섯과 새송이버섯의 경우 과열증기 조리가 일반찜에 비해 유의적으로 높은 잔존율을 보였다. β -Glucan은 total glucan 함량에서 α -glucan 함량을 뺀 값으로, β -glucan은 셀룰로스를 제외한 β -결합으로 연결된 모든 다당류를 일컫는다(Park과 Kim, 2012). Chandalia 등(2000)은 β -glucan과 같은 수용성 섬유질은 심혈관 질환을 예방하는 효과가 있다고 보고하였다. Ueno 등(2019)에 따르면 보리 가루에 10분간 고압 처리를 하였을 때 β -glucan의 함량은 압력과 상관없이 유지되었다고 하였으며, Jensen 등(1996)은 β -glucan이 열에 안정하여 조리법에 의한 손실이 적다고 하였다. 이와 같은 이유로 본 연구 결과에서 알아본 식용 버섯의 경우에도 일반찜과 과열증기 조리법에 따른 β -glucan의 함량 차이가 크지 않은 것으로 생각된다.

ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능

국내 다소비 버섯의 일반찜과 과열증기 조리법에 대한 ABTS와 DPPH 라디칼 소거능 측정 결과는 Table 5에 나타내었다. ABTS 소거활성은 양송이버섯과 표고버섯 생것에서 4.233 mg of GAE/100 g 및 7.155 mg of GAE/100 g으로 다른 버섯에 비해 높게 나타났으며, DPPH 소거활성 역시 양송이버섯과 표고버섯이 3.101 mg of GAE/100 g 및 2.704 mg of GAE/100 g으로 다른 버섯에 비해 높은 소거

활성을 보였다. 또한 ABTS 소거활성에서 표고버섯 과열증기의 경우 생것에 비해 약 49% 증가하였다. 대부분의 버섯에서 과열증기 조리 시 일반찜보다 ABTS 및 DPPH 소거활성이 유의적으로 높았으며, ABTS 소거활성에서 과열증기 조리는 일반찜에 비해 약 7~64% 높은 소거활성을 나타내었다. 특히 만가닥버섯의 과열증기 조리는 일반찜보다 약 71% 높은 DPPH 소거활성을 나타냈다. 항산화 물질은 지질과산화 연쇄반응에 관여하는 자유라디칼에 전자를 공여하여 인체 내 활성산소에 대해 세포 손상을 방지하는 역할을 하며, 산화 스트레스에 의해 유발되는 만성 질환 예방에 중요한 역할을 한다(Cho 등, 2012; Poljsak과 Milisav, 2014). 버섯의 대표적인 페놀 화합물은 gallic acid, protocatechuic acid 및 chlorogenic acid 등으로 이러한 페놀 화합물은 활성산소 형성을 억제하는 항산화 물질로 알려져 있어 항산화 활성과 관련이 있다고 알려져 있다(Sezgin 등, 2020; Poljsak과 Milisav, 2014). 그뿐만 아니라, 식품을 가열하여 조리하게 되면 항산화 화합물의 용출이 용이해지거나 새로운 항산화 물질이 형성되어 항산화능이 높아진다고 보고되어 있다(Miglio 등, 2008). 고압을 이용한 과열증기 조리는 결합형 페놀 화합물을 유리형으로 전환해 항산화능을 향상시킨다고 알려져 있으며, 고온 및 고압 처리한 배에서 폴리페놀의 함량이 증가하였으며 항산화 활성도 높아진다고 보고되어 있다(Gong 등, 2012; Hwang 등, 2006). 또 다른 연구에서도 시금치를 찌므로 조리하였을 때 생것보다 더 높은 항산화 활성을 나타내었다고 하였다(Turkmen 등, 2005). 본 연구 결과에서도 과열증기 조리 시 일반찜보다 높은 라디칼 소거능을 나타낸 뿐만 아니라 일부 버섯의 경우 생것보다도 높은 라디칼 소거능을 나타내었다.

요 약

본 연구에서는 국내 다소비 버섯 6종(양송이버섯, 팽이버섯, 만가닥버섯, 표고버섯, 새송이버섯, 느타리버섯)의 일반찜 및 과열증기 조리법에 따른 수분함량, 수용성 비타민, 기능성 성분의 함량 변화를 알아보고 이에 대한 영양소 잔존율을 비교하였다. 버섯의 조리수율은 중량이 감소함에 따라 조리된 모든 버섯에서 감소를 나타내었다. 버섯 6종의 수용성 비타민(비타민 B₁, 비타민 B₂, 비타민 B₃, 비타민 C)의 잔존율은 대부분 일반찜보다 과열증기 조리에서 높은 수준을 나타냈다. 과열증기 조리를 실시한 대부분의 버섯은 일반찜에 비해 유의적으로 높은 총 폴리페놀 및 플라보노이드 잔존율을 나타내었고, ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능도 과열증기 조리 시 일반찜에 비해 높게 나타났다. 본 연구를 통해 일반찜과 과열증기 조리법에 의한 국내 다소비 버섯 6종에 대한 수용성 비타민 및 기능성 성분 함량과 잔존율에 대한 변화를 알 수 있었으며, 과열증기 조리법에 의한 식품 중 영양성분 및 기능성 성분의 잔존율에 대한 긍정적인 효과를 알 수 있었다.

Table 4. The contents of glucan contents in mushrooms

Samples	Cooking methods	α -Glucan		β -Glucan		Total glucan	
		mg/100 g CW ¹⁾	True retention (%)	g/100 g CW	True retention (%)	g/100 g CW	True retention (%)
<i>Agaricus bisporus</i>	Raw	0.368±0.013 ^{b2)}	100.000±3.576 ^a	2.375±0.001 ^b	100.000±0.031 ^a	2.743±0.014 ^b	100.000±0.507 ^a
	Steaming	0.410±0.009 ^a	89.331±1.920 ^b	3.291±0.106 ^a	111.164±3.574 ^a	3.700±0.115 ^a	108.235±3.352 ^a
	Superheated-steaming	0.390±0.005 ^{ab}	85.839±1.044 ^b	3.256±0.346 ^a	111.188±11.815 ^a	3.646±0.351 ^a	107.786±10.370 ^a
<i>Flammulina velutipes</i>	Raw	0.254±0.006 ^b	100.000±2.417 ^a	4.618±0.295 ^a	100.000±6.387 ^a	4.872±0.301 ^a	100.000±6.180 ^a
	Steaming	0.353±0.002 ^a	92.933±0.496 ^{ab}	5.150±0.214 ^a	74.572±3.095 ^c	5.503±0.216 ^a	75.529±2.960 ^c
	Superheated-steaming	0.268±0.015 ^b	85.869±4.858 ^b	4.805±0.179 ^a	84.643±3.149 ^b	5.072±0.194 ^a	84.707±3.238 ^b
<i>Hypsizygus tessellatus</i>	Raw	0.284±0.010 ^b	100.000±3.580 ^a	2.675±0.016 ^b	100.000±0.604 ^a	2.959±0.026 ^b	100.000±0.889 ^a
	Steaming	0.327±0.005 ^a	74.140±1.081 ^b	4.183±0.197 ^a	100.608±4.749 ^a	4.511±0.202 ^a	98.066±4.396 ^a
	Superheated-steaming	0.195±0.003 ^c	54.324±0.746 ^c	2.172±0.067 ^c	64.160±1.975 ^b	2.368±0.070 ^c	63.216±1.857 ^b
<i>Lentinula edodes</i>	Raw	0.430±0.010 ^b	100.000±2.384 ^a	5.436±0.216 ^b	100.000±3.974 ^a	5.866±0.226 ^b	100.000±3.857 ^a
	Steaming	0.522±0.000 ^a	97.476±0.000 ^a	7.944±0.338 ^a	117.273±4.984 ^a	8.467±0.338 ^a	115.822±4.619 ^a
	Superheated-steaming	0.574±0.028 ^a	92.921±4.503 ^a	8.711±0.649 ^a	111.64±8.318 ^a	9.284±0.677 ^a	110.268±8.038 ^a
<i>Pleurotus eryngii</i>	Raw	0.555±0.023 ^b	100.000±4.213 ^b	4.398±0.154 ^b	100.000±3.490 ^{ab}	4.953±0.177 ^b	100.000±3.571 ^a
	Steaming	0.735±0.018 ^a	108.018±2.680 ^a	4.842±0.180 ^b	89.757±3.335 ^b	5.577±0.198 ^{ab}	91.803±3.262 ^a
	Superheated-steaming	0.458±0.020 ^c	64.386±2.759 ^c	5.835±0.293 ^a	103.415±5.200 ^a	6.293±0.313 ^a	99.043±4.927 ^a
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Raw	0.298±0.011 ^c	100.000±3.733 ^a	3.834±0.235 ^b	100.000±6.140 ^a	4.132±0.224 ^c	100.000±5.427 ^a
	Steaming	0.465±0.017 ^a	97.136±3.615 ^a	4.967±0.060 ^a	80.819±0.981 ^b	5.431±0.078 ^a	81.997±1.171 ^c
	Superheated-steaming	0.388±0.003 ^b	85.501±0.672 ^b	4.298±0.176 ^b	73.653±3.017 ^b	4.686±0.179 ^b	74.509±2.848 ^b

¹⁾CW: cooked weight.²⁾All values are expressed as the mean±SD of triplicate determinations. Means with different superscripts within a column of each same sample are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 5. The radical scavenging capacity of mushrooms

Samples	Cooking methods	ABTS (mg of GAE ¹⁾ /100 g CW ²⁾)	DPPH (mg of GAE/100 g CW)
<i>Agaricus bisporus</i>	Raw	4.233±0.200 ^{c3)}	3.101±0.325 ^c
	Steaming	6.902±0.241 ^b	5.927±0.132 ^b
	Superheated-steaming	7.431±0.304 ^a	6.559±0.058 ^a
<i>Flammulina velutipes</i>	Raw	2.763±0.220 ^b	2.501±0.209 ^a
	Steaming	1.399±0.046 ^c	2.031±0.396 ^a
	Superheated-steaming	3.903±0.102 ^a	2.877±0.315 ^a
<i>Hypsizygus tessellatus</i>	Raw	3.519±0.184 ^a	0.520±0.000 ^a
	Steaming	1.639±0.078 ^b	0.152±0.000 ^c
	Superheated-steaming	3.205±0.166 ^a	0.514±0.000 ^b
<i>Lentinula edodes</i>	Raw	7.155±0.132 ^c	2.704±0.051 ^b
	Steaming	8.355±0.058 ^b	4.325±0.305 ^a
	Superheated-steaming	10.990±0.592 ^a	4.511±0.012 ^a
<i>Pleurotus eryngii</i>	Raw	3.638±0.414 ^a	2.682±0.426 ^a
	Steaming	2.211±0.215 ^b	1.479±0.475 ^a
	Superheated-steaming	2.487±0.042 ^b	2.226±0.783 ^a
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Raw	4.024±0.323 ^a	2.578±0.048 ^a
	Steaming	3.973±0.498 ^a	1.983±0.185 ^b
	Superheated-steaming	4.983±0.426 ^a	2.779±0.060 ^a

¹⁾GAE: gallic acid equivalent.

²⁾CW: cooked weight.

³⁾All values are expressed as the mean±SD of triplicate determinations. Means with different superscripts within a column of each same sample are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test.

감사의 글

본 연구는 (주)휴롬 바이오식품연구소의 지원으로 수행되었으며, 부산광역시 및 (재)부산인재평생교육진흥원의 BB21 플러스 사업에 의하여 지원되었고 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Al-Khuseibi MK, Sablani SS, Perera CO. Comparison of water blanching and high hydrostatic pressure effects on drying kinetics and quality of potato. *Drying Technol.* 2005. 23:2449-2461.
- AOAC. Official methods of analysis. 17th ed. Association of Official Analytical, Gaithersburg, DC, USA. 2000.
- Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature.* 1985. 181:1199-1200.
- Chandalia M, Garg A, Lutjohann D, Von Bergmann K, Grundy SM, Brinkley LJ. Beneficial effects of high dietary fiber intake in patients with type 2 diabetes mellitus. *N Engl J Med.* 2000. 342:1392-1398.
- Cho M, Lee DJ, You S. Radical scavenging activity of ethanol extracts and solvent partitioned fractions from various red seaweeds. *Ocean Polar Res.* 2012. 34:445-451.
- Choi Y, Lee SM, Chun J, Lee HB, Lee J. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chem.* 2006. 99:381-387.
- Deiana M, Rosa A, Casu V, Piga R, Dessì MA, Aruoma OI. L-Ergothioneine modulates oxidative damage in the kidney and liver of rats in vivo: studies upon the profile of polyunsaturated fatty acids. *Clin Nutr.* 2004. 23:183-193.
- de-Sa MC, Rodriguez-Amaya DB. Optimization of HPLC quantification of carotenoids in cooked green vegetables Comparison of analytical and calculated data. *J Food Compos Anal.* 2004. 17:37-51.
- El-Adawy TA. Nutritional composition and antinutritional factors of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) undergoing different cooking methods and germination. *Plant Foods Hum Nutr.* 2002. 57:83-97.
- Folin O, Denis W. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem.* 1912. 12:239-243.
- Gong L, Huang L, Zhang Y. Effect of steam explosion treatment on barley bran phenolic compounds and antioxidant capacity. *J Food Sci Agric Chem.* 2012. 29:7177-7184.
- Grundemann D, Harlfinger S, Golz S, Geerts A, Lazar A, Berkels R, et al. Discovery of the ergothioneine transporter. *Proc Natl Acad Sci.* 2005. 102:5256-5261.
- Hwang IG, Woo KS, Kim TM, Kim DJ, Yang MH, Jeong HS. Change of physicochemical characteristics of Korean pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) juice with heat treatment conditions. *Korean J Food Sci Technol.* 2006. 38:342-347.
- Jensen LG, Olsen O, Kops O, Wolf N, Thomsen KK, Von-Wettstein D. Transgenic barley expressing a protein engineered, thermostable (1,3-1,4)- β -glucanase during germination. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1996. 93:3487-3491.
- Kim GP, Lee J, Ahn KG, Hwang YS, Choi Y, Chun J, et al. Differential responses of B vitamins in black soybean seeds. *Food Chem.* 2014. 153:101-108.
- Kim MY, Lee SH, Jang GY, Li M, Lee YR, Lee J, et al. Changes of phenolic-acids and vitamin E profiles on germinated rough rice (*Oryza sativa* L.) treated by high hydrostatic pressure. *Food Chem.* 2017. 217:106-111.
- Kim OS, Lee DH, Chun WP. Eco-friendly drying technology using superheated steam. *Korean Chem Eng Res.* 2008. 46: 258-273.
- Kondjoyan A, Portanguen S, Duchène C, Mirade PS, Gandemer

- G. Predicting the loss of vitamins B3 (niacin) and B6 (pyridoxamine) in beef during cooking. *J Food Eng.* 2018. 238: 44-53.
- Korea Forest Service. 2019 Forest product survey. 2019 [cited 2021 Feb 11]. Available from: https://www.forest.go.kr/kfsweb/kfi/kfs/cms/cmsView.do?mn=NKFS_03_01_01_01&cmsId=FC_001349
- Krakowska A, Zięba P, Włodarczyk A, Kała K, Sułkowska-Ziaja K, Bernaś E, et al. Selected edible medicinal mushrooms from *Pleurotus* genus as an answer for human civilization diseases. *Food Chem.* 2020. 327:127084. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127084>
- Lee K, Lee H, Choi Y, Kim Y, Jeong HS, Lee J. Effect of different cooking methods on the true retention of vitamins, minerals, and bioactive compounds in shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*). *Food Sci Technol Res.* 2019. 25:115-122.
- Mau JL, Lin HC, Song SF. Antioxidant properties of several specialty mushrooms. *Food Res Int.* 2002. 35:519-526.
- Mazzeo T, N'Dri D, Chiavaro E, Visconti A, Fogliano V, Pellegrini N. Effect of two cooking procedures on phytochemical compounds, total antioxidant capacity and colour of selected frozen vegetables. *Food Chem.* 2011. 128:627-633.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2018 Korea Food Code. 2018 [cited 2021 Feb 08]. Available from: <https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/safefoodlife/food/foodRvLv/foodRvLv.do>
- Miglio C, Chiavaro E, Visconti A, Fogliano V, Pellegrini N. Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables. *J Agric Food Chem.* 2008. 56:139-147.
- Murphy EW, Criner PE, Gray BC. Comparisons of methods for calculating retentions of nutrients in cooked foods. *J Agric Food Chem.* 1975. 23:1153-1157.
- Nicoli MC, Anese M, Parpinel M. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends Food Sci & Technol.* 1999. 10:94-100.
- Palermo M, Pellegrini N, Fogliano V. The effect of cooking on the phytochemical content of vegetables. *J Sci Food Agric.* 2014. 94:1057-1070.
- Park CY, Lee K, Kim A, So S, Rahman MS, Choi SG. Physicochemical and microbial quality characteristics of garlic (*Allium sativum* L.) by superheated steam treatment. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2016. 45:1438-1446.
- Park SJ, Choi YB, Ko JR, Kim YE. Enhancement of antioxidant activities of blueberry (*Vaccinium ashei*) by using high-pressure extraction process. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2014. 43:471-476.
- Park SJ, Park SH, Chung H, Lee J, Hyun T, Chun J. Effects of different cooking methods on folate retention in selected mushrooms. *Korean J Food Preserv.* 2017. 24:1103-1112.
- Park SO, Kim JM. Functional food for immune regulation-beta-glucan. *Food Sci Ind.* 2012. 45:39-47.
- Pellegrini N, Chiavaro E, Gardana C, Mazzeo T, Contino D, Gallo M, et al. Effect of different cooking methods on color, phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and frozen brassica vegetables. *J Agric Food Chem.* 2010. 58:4310-4321.
- Poljsak B, Milisav I. Oxidized forms of dietary antioxidants: friends or foes?. *Trends Food Sci & Technol.* 2014. 39:156-166.
- RDA (Rural Development Administration). Mushroom Statistics. 2018 [cited 2021 Feb 11]. Available from: https://www.nihhs.go.kr/farmer/statistics/statistics.do?t_cd=0206
- 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. 26:1231-1237.
- Seo SH, Kim EM, Kim YB, Cho EK. Quality improvement of *Galbijim* using superheated steam and high hydrostatic pressure. *J Korean Soc Food Sci Nutr.* 2014. 43:1423-1430.
- Sezgin S, Dalar A, Uzun Y. Determination of antioxidant activities and chemical composition of sequential fractions of five edible mushrooms from Turkey. *J Food Sci Technol.* 2020. 57:1866-1876.
- Tsao R. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients.* 2010. 2:1231-1246.
- Turkmen N, Sari F, Velioglu YS. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chem.* 2005. 93:713-718.
- Ueno S, Sasao S, Liu H, Hayashi M, Shigematsu T, Kaneko Y. Effects of high hydrostatic pressure on β -glucan content, swelling power, starch damage, and pasting properties of high- β -glucan barley flour. *High Press Res.* 2019. 39:509-524.
- USDA (United States Department of Agriculture). USDA Table of Nutrient Retention Factors Release 6. 2007 [cited 2021 Feb 11]. Available from: <http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/80400525/Data/retn/retn06.pdf>
- Wang TC, Chen BY, Shen YP, Wong JJ, Yang CC, Lin TC. Influences of superheated steaming and roasting on the quality and antioxidant activity of cooked sweet potatoes. *Int J Food Sci Technol.* 2012. 47:1720-1727.
- Wasser SP. Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2002. 60:258-274.
- Wu X, Zhao Y, Haytowitz DB, Chen P, Pehrsson PR. Effect of domestic cooking on flavonoids in broccoli and calculation of retention factors. *Heliyon.* 2019. 5:e01310. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01310.