

흰색과 갈색 팽이버섯(*Flammulina velutipes*)의 영양성분 및 용매별 추출물의 항산화 활성

홍형석 · 강내경 · 이종현 · 최용민* · †남진식**

수원여자대학교 식품분석연구센터 연구원, *국립농업과학원 농식품자원부 농업연구사, **수원여자대학교 식품영양과 부교수

Nutritional Components and Antioxidant Activities of Solvent Extracts from White and Brown *Flammulina velutipes*

Hyung-Seok Hong, Nae-Kyoung Kang, Jong-Hun Lee, Youngmin Choi* and †Jin-Sik Nam**

Researcher, Food Analysis Research Center, Suwon Women's University, Hwasung 18333, Korea

*Associate Researcher, Dept. of Agro-Food Resources, NAS, RDA, Wanju 55365, Korea

**Associate Professor, Dept. of Food and Nutrition, Suwon Women's University, Hwasung 18333, Korea

Abstract

This study was conducted to determine the proximate compositions, nutritional components, and antioxidant effects of white and brown enoki mushrooms (*Flammulina velutipes*). The crude protein and carbohydrate contents were higher in the brown than white mushrooms, whereas the moisture, crude ash, crude lipid, and dietary fiber levels were lower. The mineral contents of the white mushroom was higher than levels obtained in the brown mushroom for the detected components (Ca, Cu, K, Mn, Na, and P). The amount of vitamin B₃ in the brown mushroom was 1.51 mg/100 g, which was 4.5 times higher than that in the white mushroom. The major fatty acids detected were palmitic acid, linoleic acid, and α -linolenic acid. The total polyphenol and flavonoid contents were highest in 70% ethanol extracts of the white and brown mushrooms, respectively. For the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity, a 70% methanol extract of the white enoki mushrooms showed an activity of 76.4% ($p < 0.05$). For the ferric-reducing antioxidant power (FRAP) activity, a 70% methanol extract of the brown enoki mushrooms showed the highest value. Further, the total flavonoid contents were significantly correlated with the DPPH and FRAP activities.

Key words: *Flammulina velutipes*, enoki mushrooms, nutritional components, antioxidant activity

서 론

최근 과학의 발달이 점진적으로 고도화됨에 따라 현대인들의 건강에 관한 관심 증대로 계층에 상관없이 ‘건강한 식단’이란 관심사에 많은 시간과 노력을 투자하기 시작했다. 과거 식품을 그저 영양에 관한 1차원적 기능으로만 여겨왔던 경향에서 벗어나 최근 식품의 생리활성물질 섭취를 통한 질병예방과 건강 향상에 도움을 주는 생체조절기능으로써 3차 기능에 주목하고 있다(Park 등 2004). 천연물을 원료로 하는 식품의 기능성 소재 개발에 연구가 집중되고 있는 최근에

다양한 종류의 버섯을 포함한 기능 소재로써 질병예방 및 억제 등 여러 가지 기능적인 효과가 확인되고 있다(Chung HJ 2014). 버섯은 독특한 향미와 맛이 좋고 기호성이 높으며 아미노산, 탄수화물, 식이섬유, 비타민 등의 영양성이 풍부하고 반면에 칼로리, 나트륨, 지방과 콜레스테롤은 적다. 또한 무기질의 좋은 급원이 되며 항암 작용, 당뇨병, 심혈관 질환, 콜레스테롤 등 약리효과를 가지며 항산화 물질이 풍부하게 포함된 것으로 알려져 있다(Mattila 등 2000; Kalaras 등 2017).

팽이버섯(*Flammulina velutipes*)은 계통 분류학적으로 담자균류(Basidiomycetes) 주름버섯목(Agaricales) 송이과(Tricholomataceae)

† Corresponding author: Jin-Sik Nam, Associate Professor, Dept. of Food and Nutrition, Suwon Women's University, Hwasung 18333, Korea. Tel: +82-31-290-8962, Fax: +82-31-290-8959, E-mail: jsnam@swc.ac.kr

로 분류되는 버섯으로 나무를 썩게 하는 식물 부패균이다 (Oh & Lee 2010). 버섯 자실체는 4-12°C의 저온, 11-4월 사이의 추운 겨울에 주로 발생하므로 Winter mushroom 또는 Golden mushroom이라고 불린다(Jhune 등 2012). 맛과 향이 좋아 식재료로서 우수한 가치가 있을 뿐만 아니라 영양적, 기능적으로도 우수하다. 특히 항암효과, 면역증진효과, 혈압감소효과 등이 알려져 있으며, 피부미용과 노화방지 효과도 연구 보고되어 있다(Gasowaka-Bajger & Wojtasek 2008; Jedinak & Sliva 2008; Shomori 등 2009). 또한 trehalose, manitol과 같은 당류와 당 알코올류 등이 포함되어 있다(Kim 등 2002). 일본에서 백색 품종이 개발된 이래 현재까지 흰색 팽이버섯은 내수시장 점유율이 높을 뿐만 아니라 수출이 가장 많이 이루어지기에 로열티 절감을 위해서는 국제 경쟁력이 있는 국산 품종 육성과 육성된 품종을 농가에 확대 보급하는 방안이 모색되고 있는 실정이다(Kim 등 2018). 갈색 팽이버섯은 우리나라에서 자생하는 야생 팽이버섯 균주를 이용한 고유 품종으로 '갈피', '금향' 등이 육성되었으나, 국내 보급은 미미한 실정이다(Kong 등 2008; Kim 등 2015). 갈색 팽이버섯은 흰색 팽이버섯과 달리 고온 적응성이 있으며 충북농업기술원에서는 2012년부터 느타리 농가에 접목하여 시범재배를 실시하였다(Agricultural Research and Extension Services 2014). 하지만 수량이 떨어지거나 갓에 얼룩이 발생하는 등 단점이 드러나, 갈색 팽이버섯의 장점은 살리고 단점은 보완된 고온성 품종 육성의 필요성이 대두되었다.

본 연구에서는 흰색 팽이버섯과 갈색 팽이버섯의 영양성분을 분석하고 비교 평가하여 영양학적 특성을 제공하고자 한다. 또한 메탄올, 에탄올, 아세톤 3가지 용매를 사용하여 흰색 팽이버섯과 갈색 팽이버섯의 항산화능을 조사하여 비교하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 시약

본 연구에 이용한 팽이버섯 2종류(갈색, 흰색)는 전라남도 함평에서 재배된 것으로 구매하였다. 팽이버섯은 2022년 5월에 수확된 것을 구매하였으며, 시료는 산패 방지를 위해 밀봉하여 초저온냉동 보관하였다. 영양성분을 분석하기 위해 구입한 버섯은 분쇄기(Blixer, Robot Coupe USA, Inc., Jackson, MS, USA)로 분쇄한 다음 분석에 사용하였다. 실험에 사용한 지방산 표준품, Folin-Ciocalteu's reagent, gallic acid, quercetin, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH)는 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, MO, USA)에서 구매하였으며, 무기질 표준시약은 AccuStandard(New Haven, CT, USA)에서 구매하였으며, 비타민 B₂, B₃, B₆, 및 C 지방산 분석용 표준시약은 Sigma-

Aldrich Co.(St. Louis, MO, USA)로부터 구매하였다. 이외에 필요한 시약들은 모두 특급시약(Samchun Co., Pyeongtaek, Korea)을 사용하였다.

2. 일반성분 및 식이섬유 함량 측정

팽이버섯의 일반성분은 AOAC법(AOAC International 2005)에 따라 실험하였다. 수분 함량은 건조기(OF-22, Jeio Tech, Daejeon, Korea)를 사용한 105°C 상압가열건조법, 조회분 함량은 550°C 회화로(JSMF-140T, JSR Inc. Lab, North Ringwood, Australia)를 이용한 직접회화법, 조지방 함량은 조지방 추출장치(Soxtec 1043, Foss Tecator AB)를 이용한 Soxhlet 추출법, 조단백질(질소계수: 6.25)은 자동질소증류장치(2300 Kjeltac Analyzer Unit, Foss Tecator AB, Hoganas, Sweden)를 이용한 Kjeldahl 분해법으로 측정하였다. 탄수화물과 식이섬유 분석은 AOAC법(AOAC International 2016)에 따라 실험하였다. 탄수화물 함량은 시료 전체 함량을 100%로 하고 수분, 조회분, 조지방 및 조단백질의 함량(%)을 제외하여 얻은 값으로 계산하였다. 식이섬유 함량은 식이섬유 추출 장치(Fibertec™ System, 1023 Filtration Module, Foss Tecator Co., Hillerod, Denmark)를 사용한 효소 중량법으로 분석하였고, 수용성 식이섬유와 불용성 식이섬유의 함량을 더하여 총 식이섬유를 계산하였다.

3. 무기질 함량 측정

무기질 함량에 대한 분석은 AOAC법(2016)에 따라 실험하였다. 시료 약 0.5 g을 취하여 산 분해용액(HNO₃/H₂O₂, 9:1)을 10 mL 첨가하고 microwave digestion system(Ethos TC Digestion Labstation 5000, Milestone Inc., Monroe, CT, USA)을 사용하여 산 분해 반응을 30분 동안 실시하였다. 산 분해된 분해용액은 여과지(Whatman No. 5A, Whatman International Ltd., Maidstone, UK)에 여과시킨 후 ICP-OES(Perkin Elmer Co., Shelton, CT, USA)를 이용하여 분석하였다. 분석 조건은 Rf power 1.4 kW, gas flow는 plasma: 10, auxiliary: 0.2, nebulizer: 0.92 L/min으로 설정하였다. 측정 파장은 Ca(317.926 nm), Cu(327.393 nm), Fe(238.204 nm), K(766.490 nm), Mg(279.553 nm), Mn(257.610 nm), Na(589.592 nm), P(213.617), Zn(206.200 nm), Se(196.026 nm)이었다. 분석 조건은 reflected power 1,400 W, nebulizer gas flow rate 0.92 L/min, auxiliary gas flow rate 1.5 L/min, lens voltage 9.6 V, plasma flow 18 L/min, dwelling time 100 m/sec와 같으며 질량값 78로 시험 분석하였다.

4. 비타민 B군 함량 측정

비타민 B군 함량은 Martin-Junior 등(2008)의 방법에 준하여 분석하였다. 시료 1 g를 20 mL의 75 mM ammonium formate(pH 7.0)로 1시간 동안 추출한 후 3,000 rpm에서 15분

간 동안 원심분리(Supra-21K, Hanil, Incheon, Korea) 하였다. 원심분리 후 상등액을 0.45 μm membrane filter(Millipore, Bedford, MA, USA)로 여과한 다음 HPLC-MS/MS(Agilent 1200 series, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)에 주입하여 분석하였다. 분석용 column은 Luna C₁₈ column(2.0×150 mm, Nishi-ku, Osaka, Japan)을 이용하였고, 298 nm로 설정한 UV detector(Agilent Technologies)로 검출하였다. Mobile phase는 증류수에 녹인 5 mM ammonium formate(solvent A)와 methanol에 녹인 5 mM ammonium formate(solvent B)를 gradient system으로 이용하였으며, 0분(10% B), 0-8분(45% B), 8-15분(10% B)으로 조정하여 0.3 mL/min으로 유지하였다. 질량분석기(API4000, AB SCIEX, Foster City, CA, USA)의 조건으로 온도는 450°C, 커튼 가스는 20 psi, gas 1은 50 psi, gas 2는 50 psi, 이온소스 에너지는 5.5 kV, 이온소스의 충돌 에너지는 5 eV로 하여 분석하였다.

5. 비타민 C 함량 측정

비타민 C 분석은 식품공전(Ministry of Food and Drug Safety 2022)과 Phillips 등(2010)의 방법을 참고하여 분석하였다. 시료 1 g를 칭량하여 5% meta-phosphoric acid 용액 30 mL을 첨가하여 40분간 추출한 후 50 mL로 정용하여 0.45 μm membrane filter(Millipore)로 여과한 후 HPLC(Agilent Technologies)에 20 μL 를 주입하여 분석하였다. 분석 조건으로 mobile phase는 0.05 M의 KH₂PO₄와 acetonitrile의 혼합용액(99:1, v/v), column은 Shiseido Capcell Pak C₁₈ column(4.6×250 mm, Shiseido, Tokyo, Japan), 유속은 0.9 mL/min이었으며 254 nm에서 검출하였다.

6. 지방산 조성 및 함량 측정

지방산 조성 및 함량은 AOCS법(2019)에 따라 실험하였다. 지방을 먼저 추출한 다음 gas chromatography(GC, Agilent 6890N/5975 MSD series, Avondale, PA, USA)를 이용하여 분석하였다. 먼저 지방을 추출하기 위해서 일정량의 시료를 마조니아관에 넣어 에탄올에 녹인 pyrogallol 2 mL를 첨가하고 내부표준용액으로 이소옥탄에 녹인 1 mg/mL의 triundecanoin (C11:0) 2 mL를 첨가하여 추출하였다. 8.3 M 염산용액 10 mL를 첨가한 다음 마조니아관의 마개를 밀봉하여 80°C의 항온 수조에서 40분간 분해하였다. 실온에 냉각시킨 후 25 mL의 에테르를 첨가하여 5분간 진탕하고, 25 mL의 석유에테르를 첨가하여 5분간 다시 혼합하였다. 상층액이 분리되도록 1시간 이상 방치한 후 상층액을 여과지로 여과하여 질소농축기(TurboVap, Caliper Life Sciences, Hopkinton, MA, USA)를 이용하여 용매를 증발시켰다. 이를 3 mL의 클로로포름과 3 mL의 에테르로 녹여 15 mL의 시험관으로 옮겨 농축하였다. 농

축된 지방에 7% BF₃-methanol 용액 2 mL와 톨루엔 1 mL를 첨가하여 마개로 밀봉한 후 100°C에서 45분간 가열하였다. 실온에서 냉각한 후 5 mL의 증류수와 1 mL의 이소옥탄, 1 g의 황산나트륨을 첨가하여 진탕하고 정치한 다음 분리된 상층액을 여과하여 시험용액으로 하였다. 지방산 조성은 SPTM 2560 column(100 m×0.25 mm, Supelco Inc., Bellefonte, PA, USA)을 이용하여 분석하였으며, 검출기는 flame ionization detector(FID, 285°C), 주입구 온도는 225°C, 이동상 기체는 질소(0.75 mL/min)를 이용하였다. 초기 온도는 170°C에서 15분간 유지하고, 180°C까지 1°C/min으로 상승시킨 후 15분간 유지, 245°C까지 3°C/min의 속도로 상승시켜 13분간 유지하였다.

7. 추출물의 제조 및 수율 측정

팽이버섯의 항산화 활성을 측정하기 위해 70% 메탄올, 70% 에탄올, 70% 아세톤을 이용하여 추출하였다. 추출 용매로는 극성이 다른 에탄올과 아세톤을 우선적으로 선택하였으며(Lee 등 2018), Park 등(2019)에 의하면 흑생땅콩의 총 폴리페놀 함량과 상안땅콩의 DPPH 라디칼 소거능 분석 결과는 모두 70% 아세톤 추출물에서 가장 높은 함량을 보였다. Nguyen 등(2013)에 연구에 의하면 팽이이버섯과 같은 주름버섯목인 맛버섯 연구에서 열수 추출물보다 메탄올 추출물이 우수하단 보고가 있어 메탄올을 선택하였다. 또한 Choi 등(2021)은 팽이버섯 에탄올 추출물의 FRAP 활성 측정 결과로 70% 에탄올 추출물에서 가장 높은 활성을 나타내었다고 보고 하였다. 시료 5 g에 각각의 추출용매 200 mL를 가하여 환류냉각기를 이용하여 각각 60°C에서 6시간 동안 진탕하여 추출한 후, 상등액을 분리하기 위해 여과지(Whatman No. 1, Whatman International Ltd., Maidstone, UK)로 여과하였다. 여과액중의 용매를 완전히 제거하기 위해 Rotary evaporator로 감압농축(Buchi)한 다음 Deep freezer 내에서 24시간 동안 1차 동결을 하였다. 그 다음, Freeze drier 내에서 -50°C, 48시간 동안 동결건조(FD-5512, Ilshin Lab. Co., Ltd., Yangju, Korea)하여 수율과 항산화 활성을 측정하였다. 수율은 동결건조한 시료 무게를 측정하고 원시료의 무게로 나눈 후 100%로 환산하여 계산하였다.

8. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 측정

추출물의 총 폴리페놀 함량은 Singleton 등의 방법(1999)에 준하여 측정하였다. 시료 25 μL 에 Folin-Ciocalteu's reagent(50 μL)와 20% Na₂CO₃(150 μL)를 가하여 15분 동안 정치시킨 후, ELISA plate reader(VersaMax, Molecular Devices, Sunnyvale, CA, USA)로 725 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 gallic acid를 이용해 검량선을 작성한 후 추출물의 총 폴리페놀 함량을 1 g당 mg gallic acid equivalent(mg GAE/g)로 나타

내었다. 총 플라보노이드 함량은 Zhishen 등(1999)의 방법을 변형하여 사용하였다. 일정 농도로 녹인 추출물 20 μ L에 diethylene glycol 200 μ L와 1 N NaOH 용액 20 μ L를 첨가한 다음 40°C에서 1시간 동안 진탕항온수조(BS-21, JEIO Tech., Seoul, Korea)에서 반응시켰다. 반응이 끝난 시료를 420 nm에서 흡광도(Molecular Devices)를 측정하였으며, 표준물질인 quercetin으로 표준곡선을 작성하여 추출물 1 g에 대한 mg quercetin equivalent(mg QE/g)으로 나타내었다.

9. DPPH(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical 소거 활성 측정

항산화 활성은 DPPH(Sigma)를 이용하여 시료의 라디칼 소거효과를 측정하는 방법을 활용하였다. DPPH 라디칼 소거능은 Blois(1958)의 방법에 준하여 측정하였다. 0.2 mM DPPH 메탄올 용액에 시료를 각각의 농도로 메탄올에 희석하여 혼합하고, 암실에서 30분간 반응시킨 후, 517 nm에서 ELISA plate reader(Molecular Devices)로 흡광도를 측정하였다. 활성 비교를 위한 표준물질은 0.5 mM ascorbic acid를 사용하였다. DPPH radical 소거율은 다음의 식에 따라 계산하였다.

$$\text{Electron donating ability(\%)} = 1 - \left(\frac{A_{\text{experiment}} - A_{\text{blank}}}{A_{\text{control}}} \right) \times 100$$

10. FRAP(ferric reducing antioxidant power)에 의한 항산화능 활성 측정

Benzie & Strain(1999)의 방법을 응용하여 FRAP assay를 통해 팽이버섯의 항산화능을 측정하였다. 측정원리는 낮은 pH에서 환원제에 의해 ferric ion이 ferrous로의 전환 과정을 통하여 시료의 항산화능을 측정하는 것이다. Acetate buffer(pH 3.6, 300mM) : 10 mM의 TPTZ(2,4,6-tripyridyl-s-triazine) : 20 mM FeCl₃ · 6H₂O를 10:1:1의 비율로 만들고, 이 혼합물의 198 μ L을 96well에 첨가 후 원산지별, 시료별 팽이버섯 추출물을

2 μ L 첨가하여 10분간 37°C에서 incubation 후 593 nm에서 ELISA plate reader(Molecular Devices)로 흡광도를 측정하였다. FRAP는 Trolox 표준 곡선에서 계산되었으며 Trolox equivalent (TE, mg/g)로 표기하였다.

11. 통계분석

실험 결과는 3회 이상 반복하여 측정하여 얻은 결과를 평균과 표준편차로 나타내었으며, 통계분석을 위해 SPSS 프로그램(Ver.10.0, SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 사용하였다. 통계분석은 일반성분과 무기질, 지방산은 독립표본 *t*-test로 $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$ 수준에서 유의성을 검정하였다. 항산화 활성은 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, Duncan's multiple range test로 $p < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다. 상호관련성을 파악하기 위하여 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)를 구하였으며 항산화 성분과 활성 간의 상관관계를 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 팽이버섯의 일반성분과 식이섬유

흰색 팽이버섯과 갈색 팽이버섯의 일반성분은 Table 1에 나타내었다. 팽이버섯 모두 수분 함량이 80% 이상으로 대부분을 차지하였으며, 조단백질은 흰색 팽이버섯과 갈색 팽이버섯이 각각 2.38%와 2.48%로 갈색 팽이버섯이 유의적으로 높은 함량을 보였다($p < 0.05$). 흰색 팽이버섯의 탄수화물(7.38%)이 갈색 팽이버섯보다 유의적으로 다소 높게 함유되어 있었으며($p < 0.01$), 조회분(0.80%) 또한 갈색 팽이버섯보다 유의적으로 높게 함유되어 있었다($p < 0.001$). 특히 식이섬유의 함량은 흰색 팽이버섯(4.25%)이 갈색 팽이버섯(3.98%)보다 높게 측정되어 $p < 0.05$ 수준에서 유의한 차이를 나타내었다. Jhune 등(2011)의 보고에 따르면 팽이버섯은 100 g 당 탄수화물, 단백질, 식이섬유가 각각 6.1 g, 1.4 g, 2.9 g으로 본

Table 1. Proximate composition and dietary fiber of different cultivars of enoki mushroom

		White enoki mushroom	Brown enoki mushroom	<i>t</i> -value
Proximate composition (%)	Moisture	89.24±0.02 ¹⁾	89.06±0.02	9.432**
	Crude ash	0.80±0.01	0.67±0.02	11.371***
	Crude protein	2.38±0.01	2.48±0.04	-4.668*
	Crude lipid	0.19±0.07	0.17±0.01	0.570
	Carbohydrate	7.38±0.04	7.62±0.04	-7.400**
	Dietary fiber	4.25±0.04	3.98±0.11	3.230*

¹⁾ Results are presented as mean±S.D. (n=3).

²⁾ Significant differences are indicated as: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

실험에서 측정된 값과 유사한 값을 나타낸 것으로 확인되었다. 식이섬유는 체내의 노폐물들을 흡착하여 배출시키고 오랜 시간동안 포만감을 유지하게 해주며 장내세균의 균형을 맞추어 주기 때문에 면역체계와 에너지 대사에 영향을 준다고 보고되고 있다(Palafox-Carlos 등 2011). 특히 식품 중에 포함된 섬유소는 인체 내에서 소화, 흡수되지 않기 때문에 영양성분으로 이용되지는 못하지만 지방흡수 저해, 콜레스테롤 저하작용, 비만, 당뇨, 변비 등에 좋은 영향을 미치는 것으로 연구 보고되면서 관심이 증가하고 있다(Kang 등 2001). 따라서 팽이버섯의 섭취는 식이섬유를 보충하는 데 도움이 될 것으로 생각된다.

2. 팽이버섯의 무기질 함량

팽이버섯의 무기질 함량 분석을 진행한 결과는 Table 2에 나타냈으며, 색깔에 따라 유의적인 차이를 보였다. 총 10종(Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Se, Zn)의 성분을 분석하였으며, 모든 팽이버섯에서 가장 많은 함량을 나타낸 성분은 칼륨으로 흰색 팽이버섯과 갈색 팽이버섯이 각각 4,132.40, 3,389.65 mg/kg을 함유하고 있어 흰색 팽이버섯의 함량이 유의적으로 높았다($p<0.001$). 칼륨과 함께 주요한 무기질로는 인과 마그네슘인 것으로 확인되었으며, 흰색 팽이버섯의 인과 마그네슘의 함량은 각각 860.27 mg/kg와 127.58 mg/kg이며, 갈색 팽이버섯의 인과 마그네슘의 함량은 각각 819.84 mg/kg와 156.73 mg/kg을 함유하고 있어 흰색 팽이버섯의 인의 함량이 높으나 마그네슘의 함량은 갈색 팽이버섯이 높았다. 철의 함량은 흰색 팽이버섯보다 갈색 팽이버섯이 유의적으로 높았다($p<0.01$). 셀레늄의 함량 또한 0.14 mg/kg으로 갈색 팽이버섯이 높았으나 유의적인 차이는 없었다. 망간의 함

량은 0.52 mg/kg으로 흰색 팽이버섯이 갈색 팽이버섯보다 유의적으로 높았다($P<0.05$). 칼륨은 신체의 전해질 균형과 골격근의 수축 및 이완에 관여하고 특히 혈압조절에 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Terker 등 2015). 인은 75%가 뼈에 있고 각 조직에 광범위하게 존재하고 있으며 마그네슘은 근육 및 신경 기능과 혈압 유지에 필요하다(Gröber 등 2015). 무기질은 신진대사와 성장에 필요한 미량영양소이며 섭취가 부족할 시 결핍증이 나타난다(Kim 등 2014). 인의 하루 평균 권장섭취량은 남녀 모두 700 mg이다(The Korean Nutrition of Society 2015). 흰색과 갈색 팽이버섯에서 칼륨이 높은 수치를 나타낸 것으로 보아, 칼슘이 많이 함유되어 있는 다른 식재료들과 함께 팽이버섯을 섭취한다면 현대인들에게 필요한 무기질 흡수가 충분히 가능할 것으로 판단된다.

3. 팽이버섯 비타민 함량

팽이버섯의 비타민 분석을 진행한 결과는 Table 3에 나타내었다. 모든 팽이버섯에서 β -carotene은 검출되지 않았으며 비타민 B₂, B₃, B₆ 및 C를 확인하였다. 비타민 B₂, B₃의 함량은 갈색 팽이버섯이 각각 0.18 mg/100 g, 1.51 mg/100 g으로 흰색 팽이버섯보다 높았으며, 특히 비타민 B₃의 함량은 흰색 팽이버섯보다 갈색 팽이버섯이 4.5배 높은 함량을 보여 유의적 차이를 보였다($p<0.001$). B₆와 C는 흰색 팽이버섯이 각각 0.28 mg/100 g, 2.34 mg/100 g으로 갈색 팽이버섯보다 유의적으로 높은 함량을 나타냈다($p<0.001$). 농촌진흥청에서 발간한 2019년 국가표준 식품성분표에 따르면 팽이버섯에서는 β -carotene이 검출되지 않았고 비타민 B₁, B₂ 및 B₃는 각각 0.097, 0.262, 1.84 mg/100 g을 포함하는 것을 확인하였으며, 비타민 C 함량이 검출되지 않아 본 연구와 차이가 있었다.

Table 2. Mineral content of different cultivars of enoki mushroom

	White enoki mushroom	Brown enoki mushroom	t-value
Ca	8.18±0.76 ¹⁾	3.39±0.93	6.910**
Cu	0.93±0.01	0.65±0.01	33.560***
Fe	11.49±0.13	13.30±0.38	-7.740**
K	4,132.40±46.99	3,389.65±6.42	27.129***
Mg	127.58±1.86	156.73±0.86	-24.628***
Mn	0.52±0.01	0.50±0.01	3.265*
Na	22.59±0.18	18.07±0.64	11.787***
P	860.27±6.96	819.84±3.04	9.230**
Zn	5.09±0.08	6.44±0.19	-11.172***
Se	0.12±0.03	0.14±0.05	-0.577

¹⁾ Results are presented as mean±S.D. (n=3).

²⁾ Significant differences are indicated as: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

Table 3. Vitamin contents of different cultivars of enoki mushroom

	White enoki mushroom	Brown enoki mushroom	t-value
B ₂ (µg/100 g)	0.16±0.02	0.18±0.01	-1.555
B ₃ (mg/100 g)	0.34±0.01	1.51±0.01	-295.289***
B ₆ (mg/100 g)	0.28±0.01	0.15±0.01	47.391***
C (mg/100 g)	2.34±0.01	1.09±0.01	85.468***

¹⁾ Results are presented as mean±S.D. (n=3).

²⁾ Significant differences are indicated as: ****p*<0.001.

이는 비타민이 빛, 산소, 가열 등 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는 불안정한 성분으로 미량 함유된 영양소의 함량이 변화하였을 가능성이 있으며, 버섯류는 타 작물에 비하여 조직이 연하고, 다양한 효소의 활성이 높아 색상 및 조직이 변화하기 쉬운 특성을 지니고 있기 때문에 비타민의 함량에 영향을 준 것이라 생각된다(Jhune 등 2011).

4. 팽이버섯의 지방산 함량

흰색 팽이버섯 및 갈색 팽이버섯의 지방산 함량 및 조성은 Table 4에 나타내었다. 국내산 팽이버섯에서 총 11가지의 지방산이 검출되었고, 카프릭산(capric acid, C10:0), 팔미트산(palmitic acid, C16:0), 올레산(oleic acid, C18:1), 리놀레산(linoleic acid, C18:2)을 제외한 모든 지방산은 유의적인 차이를 나타내었다. 흰색과 갈색 팽이버섯의 주요한 지방산으로는 포화지방산인 팔미트산(palmitic acid, C16:0)이 전체 포화

지방산의 70% 이상을 차지하였으며, 불포화지방산인 리놀레산(linoleic acid, C18:2)과 알파 리놀렌산(linolenic acid, C18:3)이 전체 불포화지방산의 89% 이상을 차지하였다. 흰색 팽이버섯의 알파 리놀렌산 함량은 40.23 mg%로 갈색 팽이버섯(32.90 mg%)보다 유의적으로 높았다(*p*<0.001). 포화지방산 중에서는 가장 높은 함량인 팔미트산의 경우, 갈색 팽이버섯(24.00 mg%)이 흰색 팽이버섯(23.60 mg%)보다 높은 함량이 측정되었으나 유의적인 차이는 없었다. 총 포화지방산의 함량은 갈색 팽이버섯(35.23 mg%)이 흰색 팽이버섯(33.50 mg%)보다 높았으나 유의적 차이는 없었으며, 총 불포화지방산의 함량은 흰색 팽이버섯(129.23 mg%)이 갈색 팽이버섯보다 유의적으로 높았다(*p*<0.01). 현재 재배되는 버섯류 중 올레산, 팔미트산 및 리놀레산이 높은 함량을 나타내는 것으로 알려져 있다(Sande 등 2019). Saini 등(2021)은 팽이버섯을 포함한 15개의 버섯류의 지방산을 분석한 결과로 리놀레산이 가장

Table 4. Fatty acid contents of different cultivars of enoki mushroom

	White enoki mushroom	Brown enoki mushroom	t-value	
	Capric acid (C10:0)	0.53±0.06 ¹⁾	0.63±0.15	-1.061
	Lauric acid (C12:0)	3.77±0.25	4.83±0.32	-4.525*
	Myristic acid (C14:0)	1.97±0.12	1.67±0.06	4.025*
	Pentadecanoic acid (C15:0)	0.87±0.06	1.07±0.06	-4.243*
Fatty acid compositions (mg/100 g)	Palmitic acid (C16:0)	23.60±1.14	24.00±0.26	-0.594
	Palmitoleic acid (C16:1)	1.67±0.12	1.17±0.06	6.708**
	Stearic acid (C18:0)	2.77±0.12	3.03±0.06	-3.578*
	Oleic acid (C18:1)	10.03±0.49	10.50±0.26	-1.444
	Linoleic acid (C18:2)	75.97±0.91	76.80±0.66	-1.289
	Linolenic acid (C18:3)	40.23±0.85	32.90±0.26	14.260***
	Nervonic acid (C24:1)	1.33±0.06	0.97±0.06	7.778**
	Total saturated fatty acid (TSF)	33.50±1.15	35.23±0.49	-2.393
Total unsaturated fatty acid (TUF)	129.23±1.38	122.33±1.17	6.612**	
Total fatty acid	162.73±1.69	157.57±1.65	4.731	

¹⁾ Results are presented as mean±S.D. (n=3).

²⁾ Significant differences are indicated as: **p*<0.05, ***p*<0.01, ****p*<0.001.

높은 함량을 나타내었으며, 팽이버섯 총 지방산의 49.9%를 차지하였고 포화지방산 또한 팔미트산이 가장 높은 함량인 161.9 mg%를 나타내어 본 연구 결과와 유사하였으나, 함량에서는 다소 차이가 있었다. 버섯의 지방산 조성 및 함량의 차이는 재배지와 품종뿐만 아니라 기후와 재배지 등 환경적인 영향 등 여러 요인에 의해 달라질 수 있는 것으로 생각된다. 버섯에 함유되어 있는 지방산의 약 75%는 다중 불포화지방산이므로 버섯 섭취는 건강한 식단 확대에 도움이 될 것으로 생각된다.

5. 수율, 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

용매에 따른 두 품종의 팽이버섯 추출물의 항산화 활성을 비교하기 위하여 70% 메탄올과 70% 에탄올, 70% 아세톤을 이용하여 추출하였으며, 결과는 Table 5에 나타내었다. 전체 팽이버섯의 수율은 32.24~41.10%의 범위로 나타났으며, 흰색 팽이버섯의 경우 70% 메탄올, 70% 에탄올, 70% 아세톤 순으로 높게 수율이 나타났으며, 갈색 팽이버섯은 70% 에탄올, 70% 메탄올, 70% 아세톤 순으로 수율이 높음을 확인하였다. 갈색 팽이버섯의 70% 에탄올 추출물이 41.10%로 모든 추출물 중에서 가장 높은 수율을 나타냈으며 흰색 팽이버섯 70% 에탄올 추출물(41.01%)과 통계적으로 유의적인 차이는 없었다($p>0.05$). 갈색 팽이버섯 70% 아세톤 추출물(32.24%)이 가장 낮았으나 흰색 팽이버섯 70% 아세톤 추출물(32.61%)과 유의적인 차이는 없었다($p>0.05$). 따라서 70% 에탄올은 팽이버섯을 추출하는데 효과적인 것으로 보인다. 페놀성 화합물은 천연 항산화제 중 대표적인 화합물로서 식물계에 널리 분포되어 있는 2차 대사산물의 하나로 플라보노이드, 탄닌, 안토시아닌, 페놀산 및 카테킨 등이 해당한다(Choi 등 2010). 특히 버섯은 catechin, quercetin, rutin 및 naringin 등을 함유하고 있다. 이들은 금속이온과의 킬레이트 결합으로 유해산소를 없애주고 염증을 막아주는 기능 등 천연 항산화제의 역할을

가진다(Maxwell SRJ 1995). 추출 용매에 따른 흰색 팽이버섯과 갈색 팽이버섯의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 측정된 결과는 Table 5에 나타내었다. 전체 팽이버섯의 총 폴리페놀 함량은 9.37~13.88 mg GAE/g의 범위로 나타났으며 흰색 팽이버섯 70% 에탄올 추출물이 13.88 mg GAE/g으로 가장 높은 함량을 나타내었으나 용매에 따른 흰색 팽이버섯 추출물 사이에는 통계적으로 유의적인 차이는 없었다($p>0.05$). 갈색 팽이버섯 70% 에탄올 추출물이 9.37 mg GAE/g으로 가장 낮았으나 용매에 따른 갈색 팽이버섯 추출물 사이의 총 폴리페놀 함량 또한 통계적으로 유의적인 차이는 없었다($p>0.05$). 전체 팽이버섯의 총 플라보노이드 함량을 측정된 결과, 전체 0.74~2.86 mg QE/g으로 총 폴리페놀 함량에 비해 낮은 범위였다. 갈색 팽이버섯 70% 에탄올 추출물이 2.86 mg QE/g로 다른 추출물에 비해 높은 함량을 나타내었으며, 갈색 팽이버섯 70% 아세톤 추출물과 유의적인 차이는 없었다($p>0.05$). 흰색 팽이버섯 70% 메탄올 추출물이 0.74 mg QE/g으로 가장 낮은 함량을 나타내었다. Ryu 등(2018)의 연구에서 팽이버섯의 플라보노이드 함량은 20.50 μ g/g으로 측정되어 본 연구보다 높은 값을 나타내어 차이가 있었다. Middleton & Kandaswami(1992)은 플라보노이드계 물질이 화학구조에 따라 물과 에탄올에 대한 용해도가 달라진다고 보고하였는데 플라보노이드 함량의 차이는 각 버섯마다 플라보노이드계 물질의 화학구조에 의한 결과로 사료된다. Non flavonoids의 함량이 flavonoids 함량보다 높으며 페놀 화합물의 추출은 물과 에탄올의 극성 정도에 따라 종류마다 다르다고 보고된 바 있다(Cho 등 2005; Kim MY 2007). 따라서 본 연구에서 버섯의 플라보노이드 함량이 총 폴리페놀 함량보다 낮은 경향을 나타내는 것은 버섯의 non flavonoids 함량과 추출 조건과 추출 용매에 따라 용출되는 성분의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

Table 5. Extraction of enoki mushroom with 70% methanol, 70% ethanol, and 70% acetone: yield, total phenolic content (TPC), and total flavonoid content (TFC) of extracts

Sample	Yield (%) ¹⁾	TPC (mg GAE/g)	TFC (mg QE/g)
White enoki mushroom	70% methanol	41.01±1.37 ^{2a}	12.44±0.95 ^a
	70% ethanol	39.34±1.71 ^a	13.88±0.69 ^b
	70% acetone	32.61±2.87 ^b	13.44±0.66 ^a
Brown enoki mushroom	70% methanol	35.61±1.37 ^b	9.68±0.41 ^b
	70% ethanol	41.10±0.72 ^a	9.37±0.26 ^b
	70% acetone	32.24±2.02 ^b	9.43±0.90 ^b

¹⁾ The extraction yield was calculated as % yield=(Weight of sample extracts/Initial weight of sample)×100.

²⁾ Results are presented as mean±S.D. (n=3).

^{a-c}Means with different letters in the same column are significantly different at $p<0.05$.

6. DPPH 라디칼 소거능 활성

생체 내에서 지질 또는 단백질 등과 결합하여 산화를 일으키기 쉬운 자유라디칼 중에서 DPPH 라디칼은 보라색으로 반응성이 매우 안정되어 있기 때문에 기존의 천연 혹은 합성 항산화 물질 분석에 이용되고 있다(Halliwell 등 1992). 본 연구에서 추출 용매에 따른 팽이버섯의 DPPH 라디칼 소거능으로 측정된 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 대조구로 사용된 ascorbic acid를 100%로 환산하였을 때 70% 에탄올, 70% 메탄올, 70% 아세톤 추출물의 DPPH 라디칼 소거능은 흰색 팽이버섯은 각각 68.1%, 76.4%, 68.3%였으며 갈색 팽이버섯은 각각 66.2%, 73.6%, 72.5%였다. 팽이버섯 추출물은 천연 항산화제인 ascorbic acid보다 낮은 소거능을 나타내었다. Ryu 등(2018)의 연구에 따르면 팽이버섯 열수 추출물 또한 ascorbic acid보다 매우 낮은 소거능을 나타냈다고 보고하였다. Kim 등(2001)의 연구에 따르면 팽이버섯 DPPH에 의한 전자공여능을 측정된 결과 팽이버섯 열수추출물보다는 에탄올 추출물이 전자공여능이 우수하다고 보고하였다. 흰색 팽이버섯 경우 70% 메탄올에서 가장 높은 DPPH 소거 활성이 나타났고, 70% 아세톤 추출물이 70% 에탄올 추출물보다 높은 DPPH 라디칼 소거능을 나타내었지만 유의적인 차이는 없었다($p>0.05$). Oh 등(2010)의 연구에 따르면 68종의 식물체를 이용하여 얻은 수용성 추출물을 대상으로 FeSO_4 와 H_2O_2 에 의해 기인된 뇌의 산화적 손상을 방지하는 효과를 실험하였다. 결과로서 버섯류 80%, 엽채류 65%, 근채류 25%, 과채류 11%로 나타났으며 버섯류가 가장 높은 산화 억제 효능을 보였고, 버섯류에서는 팽이버섯, 양송이버섯, 표고버섯 순으로 높게 나타나, 팽이버섯이 버섯류 중에서 산화 방지 효과가 가장 높았다고 보고하였다(Kim & Han 2005).

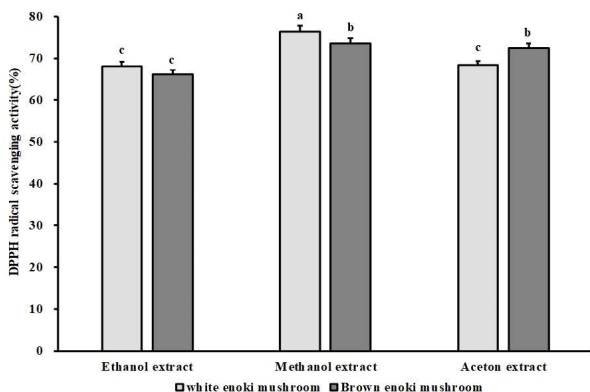


Fig. 1. DPPH radical scavenging activity of enoki mushroom extracts. Error bars represent standard deviation (n=3). The superscript letter (^{a-c}) represents significant differences among the samples at $p<0.05$.

7. FRAP 항산화능 활성

FRAP은 Fe를 환원시키는 원리를 이용한 방법으로 낮은 pH에서 환원제에 의해 ferric tripyridyltriazine(Fe^{3+} -TPTZ) 복합체가 ferrous tripyridyltriazine(Fe^{2+} -TPTZ)로 환원되는 것을 이용하여 측정된다(Kim 등 2011). 전체 팽이버섯 용매별 추출물의 FRAP은 Fig. 2에 나타내었다. 본 연구의 결과로 갈색 팽이버섯에서는 70% 메탄올 추출물이 0.568 mg/g extract로 가장 높은 환원력을 보였고 흰색 팽이버섯에서는 에탄올 추출물이 0.510 mg/g extract로 높은 환원력을 확인하였다. 흰색 팽이버섯의 70% 아세톤 추출물, 갈색 팽이버섯의 70% 에탄올 추출물과 70% 아세톤 추출물은 유의적 차이가 없었다($p>0.05$). Choi 등(2021)은 팽이버섯 에탄올 추출물의 FRAP 활성을 측정 결과, 70% 에탄올 추출물에서 0.310의 흡광도를 나타내었으며 추출 용매의 에탄올 함량이 증가할수록 감소하는 경향이 있다고 보고하였다. 그러나 Kang HW(2012)의 연구에 의하면 팽이버섯을 95% 에탄올 추출물로 추출한 결과 0.486 ± 0.05 mM FeSO_4 eq./mg extract로 에탄올 추출물 농도가 높음에도 높은 환원력을 확인하였다. 이는 에탄올 추출 시 추출 용매에 따른 추출 배수의 차이와 관련이 있는 것으로 사료된다. 본 연구의 결과로 팽이버섯 메탄올 및 에탄올 추출물이 높은 효과를 확인하였으며 항산화제로써 가능성을 제시하였다.

8. 항산화 성분과 활성 간의 상관관계

팽이버섯 추출물의 항산화 성분과 항산화 활성간의 상관관계를 분석하여 그 결과를 상관계수(r)로 나타내었다(Table 6). DPPH 라디칼 소거능은 총 플라보노이드 함량과의 r값이 0.733으로 가장 높은 음의 상관관계($p<0.01$)를 나타내었다.

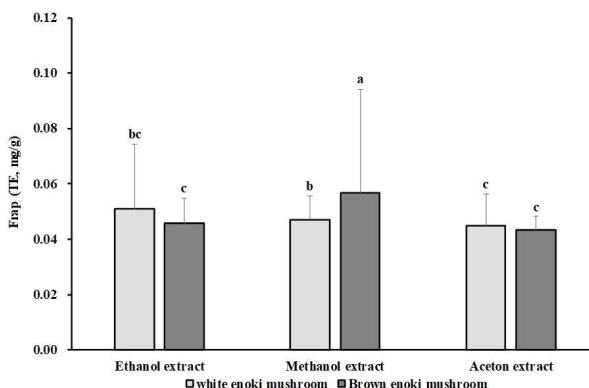


Fig. 2. Ferric reducing antioxidant power of enoki mushroom extracts. Error bars represent standard deviation (n=3). Different letters (^{a-c}) represent significant differences among the samples at $p<0.05$.

Table 6. Pearson's correlation coefficients (r) among TPC, TFC, and antioxidant activities of various extracts from enoki mushroom extracts

	TPC ¹⁾	TFC	DPPH	FRAP
TPC	1	-0.184	-0.113	-0.031
TFC		1	-0.733**	-0.463*
DPPH			1	0.141
FRAP				1

¹⁾ TPC: total phenolic contents, TFC: total flavonoid contents, DPPH: DPPH radical scavenging activity, FRAP: ferric reducing antioxidant power assay.

²⁾ Significant at * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

FRAP 활성은 총 플라보노이드 함량($r = -0.463$)과 상관관계를 나타냈으며($p < 0.05$), 총 폴리페놀은 총 플라보노이드, DPPH 및 FRAP 활성 간의 상관성은 없는 것으로 나타났다. 본 연구 결과로 팽이버섯 추출물 경우에 총 플라보노이드 성분의 DPPH, FRAP 활성 및 산화, 환원 작용에 의한 것으로 생각된다. 또한 추출물에 포함된 다른 활성 성분들과 상호 작용에 의해 항산화 활성이 달라진 것으로 생각되어 추후 연구가 필요할 것으로 판단된다.

요약 및 결론

본 연구에서는 흰색 팽이버섯과 갈색 팽이버섯의 영양성분과 항산화 활성을 분석하여 종류에 따른 차이를 비교하고 평가하였다. 흰색 팽이버섯과 갈색 팽이버섯 모두 수분 함량이 일반성분들 중 대부분을 차지하였으며, 조단백질, 탄수화물 함량은 갈색 팽이버섯이 높았고 조지방, 조지방, 식이섬유는 흰색 팽이버섯이 높게 나타났다. 무기질 성분 중 철, 마그네슘을 제외한 칼륨, 칼슘, 인, 망간 및 나트륨은 모두 흰색 팽이버섯이 높은 함량을 나타냈다. 비타민 B₂ 함량은 갈색 팽이버섯이 0.18 mg/100 g으로 흰색 팽이버섯보다 높았으며, 특히 비타민 B₃의 함량은 갈색 팽이버섯이 1.51 mg/100 g으로 흰색 팽이버섯보다 4.5배 높은 함량을 보여 유의적 차이를 보였다($p < 0.001$). 비타민 B₆와 C는 흰색 팽이버섯이 각각 0.28 mg/100 g, 2.34 mg/100 g으로 갈색 팽이버섯보다 유의적으로 높은 함량을 나타냈다($p < 0.001$). 팽이버섯의 주요 지방산은 리놀레산, 팔미트산, 알파 리놀렌산이었으며 흰색 팽이버섯의 총지방산 함량이 갈색 팽이버섯보다 높았다. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 각각 흰색 팽이버섯의 70% 에탄올 추출물(13.88 mg GAE/g), 갈색 팽이버섯의 70% 에탄올 추출물(2.86 mg QE/g)에서 가장 높은 함량을 보였다. DPPH 라디칼 소거능 분석 결과, 흰색 팽이버섯의 70% 메탄올 추출

물은 소거능 값이 76.4%로 가장 높은 활성을 보였다($p < 0.05$). FRAP은 갈색 팽이버섯의 70% 메탄올 추출물이 가장 높은 활성을 나타냈으며, 흰색 팽이버섯의 70% 아세톤 추출물, 갈색 팽이버섯의 70% 에탄올 추출물과 70% 아세톤 추출물은 유의적 차이가 없는 값을 나타냈다($p > 0.05$). 또한 팽이버섯 추출물의 경우 총 플라보노이드 함량은 DPPH와 FRAP 활성과 유의적인 관계가 있는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 팽이버섯의 영양성분의 표준 지표로 사용하기에 적합하며 항산화능 또한 우수하여 추후 분리, 정제를 통하여 유효 물질을 발굴하여 새로운 소재의 기초자료를 제공하는데 도움을 줄 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2022년도 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01339802)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Agricultural Research and Extension Services. 2014. 2013 Research report of research and development in agricultural science and technology. pp.565-575. *Chungcheongbuk-do Agricultural Research and Extension Services*. Report No. 73-6430048-000008-10
- AOAC International. 2005. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists International
- AOAC International. 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International. 20th ed. Association of Official Analytical Chemists International
- AOCS. 2019. Official Methods and Recommended practices of the AOCS. 6th ed. American Oil Chemists' Society
- Benzie IFF, Strain JJ. 1999. Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods Enzymol* 299:15-27
- Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181:1199-1200
- Cho YJ, Kim JH, Yoon SJ, Chun SS, Choi UK. 2005. Studies on the biological activity of *Rosemarinus officinalis* L. *Korean J Food Sci Technol* 37:970-975
- Choi JH, Kim J, Park JD, Sung JM. 2021. Study on antioxidant activities of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) que *Pleurotus eryngii*

- and *Flammulina velutipes* extracts by different solvent. *J Korean Soc Food Cult* 36:622-632
- Choi SJ, Lee YS, Kim JK, Kim JK, Lim SS. 2010. Physiological activities of extract from edible mushrooms. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39:1087-1096
- Chung HJ. 2014. Comparison of total polyphenols, total flavonoids, and biological activities of black chokeberry and blueberry cultivated in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43:1349-1356
- Gašowaka-Bajger B, Wojtasek H. 2008. Indirect oxidation of the antitumor agent procarbazine by tyrosinase—possible application in designing anti-melanoma prodrugs. *Bioorg Med Chem Lett* 18:3296-3300
- Gröber U, Schmidt J, Kisters K. 2015. Magnesium in prevention and therapy. *Nutrients* 7:8199-8226
- Halliwell B, Gutteridge JMC, Cross CE. 1992. Free radicals, antioxidants, and human disease: Where are we now. *J Lab Clin Med* 119:598-620
- Jedinak A, Sliva D. 2008. *Pleurotus ostreatus* inhibits proliferation of human breast and colon cancer cells through p53-dependent as well as p53-independent pathway. *Int J Oncol* 33:1307-1313
- Jhune CS, Yun HS, Leem HT, Kong WS, Lee KH, Sung GH, Cho JH. 2011. Changes of saccharide content in fruitbody composition of *Flammulina velutipes* during storage. *J Mushroom Sci Prod* 9:123-131
- Jhune CS, Yun HS, Leem HT, Kong WS, Lee KH, Lee CJ, Sung GH, Cho JH. 2012. The change on organic acid of fruiting body of winter mushroom (*Flammulina velutipes*) by storage period. *J Mushroom Sci Prod* 10:83-92
- Kalaras MD, Richie JP, Calcagnotto A, Beelman RB. 2017. Mushrooms: A rich source of the antioxidants ergothioneine and glutathione. *Food Chem* 233:429-433
- Kang HW. 2012. Antioxidant and anti-inflammatory effect of extracts from *Flammulina velutipes* (Curtis) Singe. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41:1072-1078
- Kang TS, Kang MS, Sung JM, Kang AS, Shon HR, Lee SY. 2001. Effect of *Pleurotus eryngii* on the blood glucose and cholesterol in diabetic rats. *Korean J Mycol* 29:86-90
- Kim HK, Choi YJ, Kim KH. 2002. Functional activities of microwave-assisted extracts from *Flammulina velutipes*. *Korean J Food Sci Technol* 34:1013-1017
- Kim MG, Kim YS, Kim YS, Lee SB, Ryu KS, Yoon MH, Lee JB. 2014. A study on the content of minerals in fortified food. *J Food Hyg Saf* 29:99-104
- Kim MJ, Chang WB, Choi JS, Lee KW, Joo GN, Kim YG. 2015. Characteristics and breeding of a new brown variety ‘Geumhyang’ with short cultivation period in *Flammulina velutipes*. *J Mushrooms* 13:92-96
- Kim MJ, Lee KW, Chang WB, Jeon JO, Kim IJ. 2018. Characteristics and breeding of ‘Yeoreumhyang1ho’: A new light brown variety of *Flammulina velutipes* adaptable to high temperature. *J Mushrooms* 16:287-292
- Kim MY. 2007. Comparison of free amino acids, mono- and disaccharides, and phenolic compounds concentration, and antioxidant activities on edible and medicinal mushrooms. Master’s Thesis, Konkuk Univ. Seoul. Korea
- Kim SJ, Han DS. 2005. Effect of plants extracts on lipid peroxidation of rat brain tissue induced by reactive oxygen species. *Korean J Food Sci Technol* 37:976-982
- Kim SM, Cho YS, Sung SK. 2001. The antioxidant ability and nitrite scavenging ability of plant extracts. *Korean J Food Sci Technol* 33:626-632
- Kim YS, Lee SJ, Hwang JW, Kim EH, Park PJ, Jeong JH. 2011. Antioxidant activities of extracts from *Ligustrum ovalifolium* H. leaves. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40:1642-1647
- Kong WS, Yoo YB, Jhune CS, Jang WB, Choi JS, Kim KH. 2008. Characterization of a new brown commercial strain “Garlmoe” of *Flammulina velutipes* developed by crossing between wild collected strains. *J Mushroom Sci Prod* 6:115-120
- Lee WH, Han SR, Yu SC, Oh TJ. 2018. Comparison of physiological activities of *Flammulina velutipes* according to solvent extractions. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 47:83-89
- Martins-Júnior HA, Wang AY, Alabourda J, Pires MAF, Vega OB, Lebre DT. 2008. A validated method to quantify folic acid in wheat flour samples using liquid chromatography - Tandem mass spectrometry. *J Braz Chem Soc* 19:971-977
- Mattila P, Suonpää K, Piironen V. 2000. Functional properties of edible mushrooms. *Nutrition* 16:694-696
- Maxwell SRJ. 1995. Prospects for the use of antioxidant therapies. *Drugs* 49:345-361
- Middleton E, Kandaswami C. 1992. Effects of flavonoids on immune and inflammatory cell functions. *Biochem Pharmacol* 43:1167-1179
- Ministry of Food and Drug Safety. 2022. Korea Food Code. pp. 414-415. Ministry of Food and Drug Safety
- Nguyen TK, Shin DB, Lee SM, Im KH, Lee TS, Lee UY. 2013.

- Antioxidant and anti-inflammatory activities of methanol and hot water extracts of *Pholiota nameko* fruiting bodies. *Korean J Mycol* 41:97-103
- Oh SI, Lee MS. 2010. Functional activities of ethanol extracts from *Flammulina velutipes*. *Korean J Food Nutr* 23:15-22
- Palafox-Carlos H, Ayala-Zavala JF, González-Aguilar GA. 2011. The role of dietary fiber in the bioaccessibility and bioavailability of fruit and vegetable antioxidants. *J Food Sci* 76:R6-R15
- Park SH, Hwang HS, Han JH. 2004. Development of drink from composition with medicinal plants and evaluation of its physiological function. *Korean J Nutr* 364-372
- Park SY, Lee JH, Kim BM, Baik SJ, Park BR, Lee SH, Cha BS, Nam JS. 2019. Nutritional components and antioxidant activities of ‘Sangan’ and ‘Heuksaeng’ peanuts (*Arachis hypogaea* L.) grown in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 48:943-952
- Phillips KM, Tarragó-Trani MT, Gebhardt SE, Exler J, Patterson KY, Haytowitz DB, Pehrsson PR, Holden JM. 2010. Stability of vitamin C in frozen raw fruit and vegetable homogenates. *J Food Compos Anal* 23:253-259
- Ryu HS, Kim SH, Jeon MH, Choi HY. 2018. Antioxidant and anticancer effects of water extract from *Pleurotus eryngii*, *Flammulina velutipes*. *Korean J Food Nutr* 31:911-918
- Saini RK, Rauf A, Khalil AA, Ko EY, Keum YS, Anwar S, Alamri A, Rengasamy KRR. 2021. Edible mushrooms show significant differences in sterols and fatty acid compositions. *S Afr J Bot* 141:344-356
- Sande D, Oliveira GP, Fidelis e Moura MA, Martins BA, Lima MTNS, Takahashi JA. 2019. Edible mushrooms as a ubiquitous source of essential fatty acids. *Food Res Int* 125:108524
- Shomori K, Yamamoto M, Arifuku I, Teramachi K, Ito H. 2009. Antitumor effects of a water-soluble extract from maitake (*Grifola frondosa*) on human gastric cancer cell lines. *Oncol Rep* 22:615-620
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventos RM. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzymol* 299:152-178
- Terker AS, Zhang C, McCormick JA, Lazelle RA, Zhang C, Meermeier NP, Siler DA, Park HJ, Fu Y, Cohen DM, Weinstein AM, Wang WH, Yang CL, Ellison DH. 2015. Potassium modulates electrolyte balance and blood pressure through effects on distal cell voltage and chloride. *Cell Metab* 21:39-50
- The Korean Nutrition Society. 2015. Dietary Reference Intakes for Koreans 2015. *Ministry of Health & Welfare*. pp. 222-223. Report No. 11-1352000-001537-14
- Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 64:555-559

Received 23 September, 2022

Revised 30 September, 2022

Accepted 11 October, 2022