

풀버섯 균주별 항산화 활성, 베타글루칸 및 영양성분 함량 분석

안기홍 · 임지훈 · 조재한 · 김옥태 · 한재구*

농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 버섯과

Analysis of antioxidant activities, beta-glucan, and nutritional contents by different strains of *Volvariella volvacea*

Gi-Hong An, Ji-Hoon Im, Jae-Han Cho, Ok-Tae Kim, Jae-Gu Han*

Mushroom Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA, Eumseong 27709, Chungbuk, Korea

ABSTRACT: The hot-water extracts of four strains of *Volvariella volvacea* [Vv (KMCC04386), Vv-Chi (KMCC04382), V9-21 (KMCC04380), and VG-19 (KMCC05115)] were prepared to determine their antioxidant activities, β -glucan content, and nutritional content. Among the four *V. volvacea* strains, Vv strain showed the highest DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) radical scavenging activity (23.7%). The highest total polyphenol and total flavonoid contents (8.17 mg y/g and 3.46 mg QE/g, respectively) were observed in the Vv-Chi strain. The ferric reducing antioxidant power (FRAP) and reducing power were significantly higher in the Vv-Chi strain compared to those in the other *V. volvacea* strains ($p < 0.05$). There were no significant differences in the nitrite scavenging activity among the four different strains ($p < 0.05$). The β -glucan content in the four *V. volvacea* strains ranged from 15.13–16.07%, and the VG-19 strain had the highest β -glucan content (15.73%). The VG-19 strain also had the highest total amino acid (986.8 mg/kg) and essential amino acid (369.3 mg/kg) contents among the four *V. volvacea* strains. The results of this study showed that the Vv-Chi strain exhibited the highest antioxidant activity, while the β -glucan and nutritional contents were higher in the VG-19 strain compared to those in the other strains of *V. volvacea*.

KEYWORDS: Antioxidant activity, Biological activity, Beta-glucan content, Nutritional content, *Volvariella volvacea*

서 론

풀버섯(*Volvariella volvacea*)은 난버섯과(Pluteaceae)에 속하는 식용버섯으로 열대 및 아열대 지역과 같은 고온기 온의 지역에서 가장 광범위하게 재배되고 있는 버섯들 중

하나이며(Chen *et al.*, 2003; Jang *et al.*, 2009), 전 세계적으로 100여 개 이상의 종, 아종 등이 소개되고 있다(Chang and philip, 2004). 이 버섯은 주로 벧짚에서 재배되어 왔기 때문에 벧짚버섯(paddy-straw mushroom or straw mushroom)이라고도 하며, 국내에서는 초고라고도 한다(Lee *et al.*, 2011). 풀버섯의 균사 생장은 32~35°C에서 생장하는 고온성 버섯이며 고온 다습한 조건에서 생장 속도가 매우 빠르며 풀버섯의 인공재배는 썩은 퇴비더미나 벧짚, 폐면, 콘코브, 바나나잎 등을 이용한 재배 사례들이 보고되고 있다(Akinyele and Akinyosoye, 2005; Belewu and Belewu, 2005; Cambel *et al.*, 2007; Chang and philip, 2004).

현재 풀버섯은 세계 많은 나라에서 재배되고 있는 식용 버섯 중의 하나로 한국과 일본에서의 표고, 미국과 유럽에서의 양송이처럼 주로 고온다습한 지역들에서 주로 재배되고 있는 세계 3대 재배버섯으로 알려져 있으나(Chang and philip, 2004), 국내에서는 재배되지 않아 수입 의존도가 매우 높다(Jang *et al.*, 2009). 하지만 이전 국내에서도 농촌진흥청 국립농업과학원에 의하여 벧짚밭

J. Mushrooms 2021 March, 19(1):56-65
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2021.19.1.56>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

Gi-Hong An(Postdoctoral Researcher), Ji-Hoon Im(Researcher), Jae-Han Cho(Researcher), Ok-Tae Kim(Senior Researcher), Jae-Gu Han(Researcher)

*Corresponding author

E-mail : hanjaegu@korea.kr

Tel : +82-43-871-5732, Fax : +82-43-871-5702

Received February 24, 2021

Revised March 23, 2021

Accepted March 25, 2021

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. List and origin of the strains of *Volvariella volvacea* used in this study

Strain	KMCC#	Scientific name	Origin	Collection
Vv	KMCC04386	<i>Volvariella volvacea</i>	China	National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA
Vv-Chi	KMCC04382	<i>Volvariella volvacea</i>	China	Chungbuk Agricultural Research & Extension Services
V9-21	KMCC04380	<i>Volvariella volvacea</i>	China	Civilian
VG-19	KMCC05115	<i>Volvariella volvacea</i>	-	Gyeongngido Agricultural Research & Extension Services

효배지를 이용한 재배 방법이 개발되었으나 다른 식용버섯에 비하여 생산성이 낮고 수확 후 저장 및 운송 중 상품성이 저하되는 문제점 등으로 인하여 풀버섯의 재배 방법에 대한 연구가 지속되지 못하였다(Park *et al.*, 1974).

버섯은 현재 전 세계적으로 연간 생산량 측면에서 5위를 차지하고 있지만(Chang, 1999a), 생물학적 효용성은 다른 주요 재배종들에 비하여 상당히 낮다. 하지만 최근 현대인들의 건강에 대한 관심이 증가하면서 이와 관련된 다양한 천연물 중에서 향산화, 면역증강, 항암활성 등의 약리효과가 높다고 알려진 식·약용 버섯에 대한 관심이 증대되고 있다(Cho *et al.*, 2013; Choi *et al.*, 2010). 그 중에서 풀버섯의 알려진 약리효과는 면역 증강물질인 베타글루칸이 냉알칼리 추출물에서 분리 되었으며, 항종양 활성을 가지고 있어 항암효과가 인정되었으며(Etsu *et al.*, 1992), 유기용매 추출물에서 높은 함량의 페놀성 화합물이 검출되며 높은 향산화능이 있는 것으로 나타났다(Cheung *et al.*, 2003; Fu and Shieh, 2002).

국내 버섯산업은 생산량이 수요와 공급에 비하여 많아지고 수출둔화에 따른 가격하락과 더불어 내수시장이 상당한 수준 충족되어 포화상태에 이르렀다. 그로 인하여

농가수익성은 점차 악화되고 있으며(Chang, 2008b; Lee and Seo, 2005), 더 나아가 일부 품종 편중재배 현상이 점차 심화되고 있다. 이처럼 국내 버섯산업의 불황의 악순환을 극복하기 위해서는 새로운 재배버섯 품종 개발을 통한 재배버섯류의 다양화가 시급하다. 이를 위하여 국립원예특작과학원 버섯과에서는 보유 중인 다양한 버섯 유전자원들을 이용하여 신품종 육종 및 재배방법 개발 등의 연구노력을 기울이고 있으며, 수행되고 있는 여러 연구 중에서 풀버섯 균주들을 이용하여 육종에 필요한 우수 모본을 선별함과 동시에 재배법을 확립하기 위하여 연구를 진행 중에 있다. 이와 더불어 풀버섯 균주별 생리활성 성분분석에 대한 기초적인 데이터를 확보하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 연구에서 사용된 풀버섯(*V. volvacea*) 균주는 총 4종이다. 균주명 Vv는 국립원예특작과학원 소속의 직원을 통하여 중국으로부터 수집하여 국립원예특작과학원 버섯과

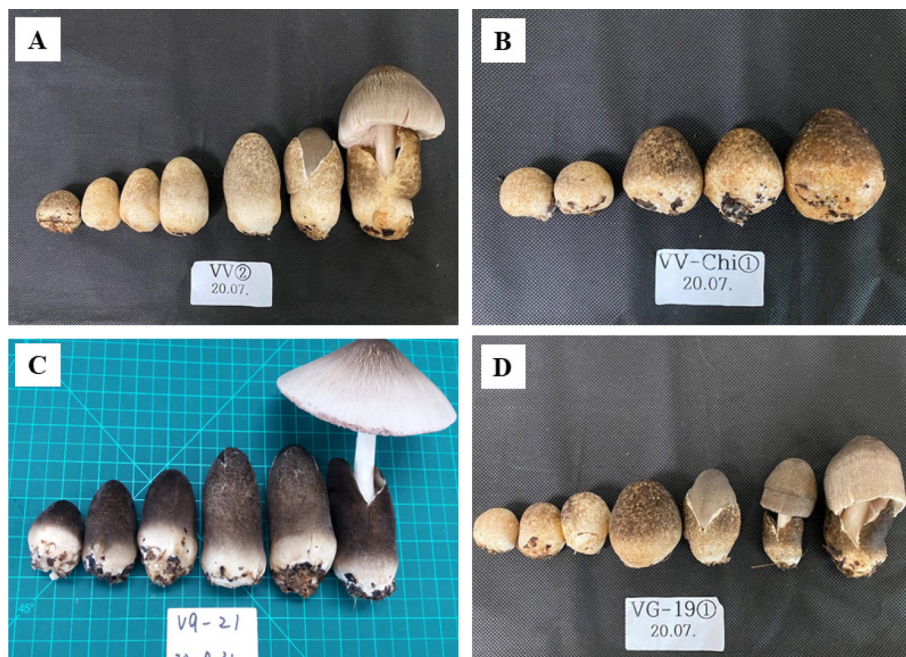


Fig. 1. Fruiting bodies of strains of *Volvariella volvacea* used in this study (A, Vv; B, Vv-Chi; C, V9-21; D, VG-19).

보존균주(KMCC, Korean Mushroom Culture Collection)로 KMCC04386이며, 균주명 Vv-Chi는 국립원예특작과학원 버섯과 보존균주로서 #KMCC04382이며 충북농업기술원을 통하여 중국에서 수집한 균주이고, 균주명 V9-21은 국립원예특작과학원 버섯과 보존균주로 KMCC04380이며 민간인을 통하여 중국에서 수집한 균주이고, VG-19는 경기도농업기술원으로부터 분양받은 균주이며 국립원예특작과학원 버섯과 보존균주로 KMCC05115이다(Table 1, Fig. 1).

추출용매별 분석용 시료 제조

생육이 완료되어 수확한 풀버섯 시료는 60°C 열풍건조기에서 24시간동안 건조하였다. 각 열풍건조 시료 5 g을 시료의 20배(V/W)의 증류수를 100 ml을 가하여 60°C 반응조에서 24시간 정치하여 추출하였다. 모든 버섯추출은 3반복으로 행하였다. 추출액은 원심분리하여 흡입 여과하였으며, 여과액을 회전감압농축기(EYELA, Japan)를 이용하여 농축하였다. 농축된 버섯시료는 최종 1 mg/ml로 희석하여 각 생리활성 성분분석에 이용하였다.

DPPH 라디칼 소거능 측정(DPPH radical-scavenging activity)

DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 라디칼 소거활성은 Blois (1958)의 방법을 변형하여 측정하였다. 항산화 효능에 주로 이용되는 DPPH는 분자 내 라디칼을 함유하고 있어 polyhydroxy 방향족 화합물, 방향족 아민류 등에 의해 환원되며 이때 라디칼이 소거되어 짙은 자색이 탈색되는 정도를 흡광도를 이용하여 측정하였다. 99.9% methanol에 녹인 0.2 mM DPPH solution 0.1 ml에 각 추출물 0.1 ml을 넣고 10초간 혼합하였다. 그리고 빛을 차단한 상태에서 30분간 상온에서 반응시킨 뒤 Multimode microplate reader (Varioskan LUX, ThermoFisher Scientific, Inc. Co. MA, USA)를 이용하여 517 nm의 파장에서 흡광도를 측정하였으며, 첨가구와 비첨가구의 흡광도를 백분율(%)로 나타내었다.

총 폴리페놀 함량 측정(Total polyphenol contents)

총 폴리페놀 함량은 Folin-Denis (1912) 방법에 의하여 측정하였다. 각 버섯 추출물 0.1 ml에 folin-denis reagent 0.02 ml를 가하고 3분간 정치시켰다. 그 후 1% Na₂CO₃ 0.16 ml를 첨가하고 잘 혼합한 뒤에 45분 간 암반응시킨 후 Multimode microplate reader (Varioskan LUX, ThermoFisher Scientific, Inc. Co. MA, USA)를 이용하여 750 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 시료에 포함된 총 폴리페놀 함량은 gallic acid (Sigma-Aldrich)의 표준곡선에 시료의 흡광도 측정값을 대입하여 농도를 결정하였으며 mg GAE/g으로 나타내었다.

총 플라보노이드 함량 측정(Total flavonoid contents)

총 플라보노이드 함량은 Xu and Chang (2007) 방법에 의하여 측정하였다. 각 버섯 추출물 0.25 ml에 증류수 1.25 ml를 첨가한 후 5% sodium nitrite 75 μ l를 혼합하여 반응시켰다. 반응액은 실온에서 6분 동안 반응시킨 후 10% aluminium nitrate 150 μ l를 첨가하고 5분 동안 반응시켰다. 반응액은 1 M NaOH 0.5 ml와 증류수 2.5 ml를 첨가하고 혼합한 뒤 상온에서 10분간 정치한 후 Multimode microplate reader (Varioskan LUX, ThermoFisher Scientific, Inc. Co. MA, USA)를 이용하여 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료에 포함된 총 플라보노이드 함량은 quercetin (Sigma-Aldrich)의 표준곡선에 시료의 흡광도 측정값을 대입하여 농도를 결정하였으며 mg QE/g으로 나타내었다.

철 환원력 항산화능 측정(FRAP, Ferric-reducing antioxidant power)

FRAP (Ferric-reducing antioxidant power) 측정은 Benzie and Stain (1999)의 방법에 준하여 측정하였다. 환원력을 측정하기 위해서 300 mM acetate buffer (pH 3.6), 40 mM HCl에 용해한 10 mM 2,4,6-tripyridyl-S-triazine (TPTZ) 용액, 20 mM FeCl₃·6H₂O를 각각 10:1:1 (v/v/v)의 비율로 혼합한 뒤 37°C 항온수조에서 가온한 것을 FRAP reagent로서 사용하였다. 버섯추출물 200 μ l (1 mg/ml)에 위의 준비된 FRAP reagent 3.0 ml를 혼합한 뒤에 37°C에서 30분간 반응시킨 후 Multimode microplate reader (Varioskan LUX, ThermoFisher Scientific, Inc. Co. MA, USA)를 이용하여 흡광도 593 nm로 측정하였다. 분석한 결과는 absorbance of 593 nm로 표시하였다.

환원력 측정(Reducing power)

환원력 측정은 potassium ferricyanide법을 이용한 Oyaizu (1986)의 방법을 이용하여 측정하였다. 각 버섯 추출물 1.0 ml (1 mg/ml)에 200 mM phosphate buffer (pH 6.6)와 1% potassium ferricyanide 용액을 각각 2.5 ml씩 차례로 첨가하여 교반한 후 50°C에서 20분간 반응시켰다. 반응액은 10% trichloroacetic acid 2.5 ml를 가하여 3,500 rpm에서 10분간 원심분리한 후 상등액 2.5 ml에 증류수 2.5 ml과 ferric chloride 용액 0.5 ml를 첨가하여 혼합한 후 Multimode microplate reader (Varioskan LUX, ThermoFisher Scientific, Inc. Co. MA, USA)를 이용하여 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 분석한 결과는 absorbance of 700 nm로 표시하였다.

아질산염 소거능 측정(Nitrite-scavenging activity)

아질산염 소거능은 Gray와 Dugan (1975)의 방법으로 측정하였다. 1 mM NaNO₂ 0.1 ml에 각 버섯 추출물 0.2 ml를 가하고 여기에 pH 1.2로 조정된 0.1 N HCl 1 ml을 넣고 37°C에서 1시간 작용시켰다. 그 이후 2% acetic acid 5 ml과 30% acetic acid에 1% sulfanilic acid를 녹인 용

액인 Griess A와 30% acetic acid에 1% 1-naphthylamine을 녹인 용액 Griess B를 1:1비율로 혼합한 용액을 0.4 ml 가하여 혼합하였다. 이를 상온에서 15분 간 암반응 시킨 후 Multimode microplate reader (Varioskan LUX, ThermoFisher Scientific, Inc. Co. MA, USA)를 이용하여 흡광도 520 nm로 측정하고 추출액의 첨가 전후에 잔존하는 아질산염량을 구하여 백분율(%)로 표기하였다.

베타글루칸 함량분석(β -glucan contents)

폴버섯 균주별 건조시료에 대한 베타글루칸 함량은 Megazyme Kit (Mushroom and Yeast β -glucan Assay Procedure K-YBGL)을 이용하여 분석하였다. 흡광도 510 nm에서 측정된 토탈글루칸(total glucan)과 알파글루칸(α -glucan) 측정값은 glucose 용액 (1 mg/ml)을 GOPOD 시약과 반응시킨 반응액의 흡광도 값과 함께 www.megazyme.com 홈페이지의 Mega-Calc 함량 계산식을 참고하여 함량(% , w/w)값으로 계산하였다. 최종적으로 베타글루칸은 토탈글루칸 함량에서 알파글루칸 함량을 빼준 값으로 계산하였다.

아미노산 분석 시료조제

각 버섯의 건조시료에 대한 아미노산 분석은 AccQ tag 법을 사용하였다. 전처리하는 염산가수분해법 (Danial and Steven, 1993)을 적용하였다. 건조된 분말시료 0.1 g을 6 N HCl 1 ml와 혼합하여 Fluorescence Waters Pico-Tag Workstation으로 N₂ gas 충전 후 105°C에서 24시간 동안 가수분해하였다. 가수분해 후 원심분리하여 상등액 200 μ l 을 취해서 speed-vacuum (Hanil, KR/AUTOSPIN 4080C)으로 농축한 다음 25 mM HCl 500 μ l에 녹였다. 이 용액을 1 ml 주사기에 취하여 syringe filter (Pall Syringe Filters with PVDF Membrane, 13mm, 0.45 μ m)로 여과한 후 AccQ-Fluor Reagent Kit로 형광유도체화 반응시켰다. 형광유도체 반응은 AccQ fluor reagent : borate buffer : sample (standard) = 2 : 7 : 1로 total volume이 100 μ l가 되게 혼합한 후 55°C에서 9분간 반응시켜서 HPLC 분석시료로 사용하였다.

HPLC에 의한 아미노산 성분 분석

아미노산 성분 분석은 Waters 2795 Separations module, Waters 2475 Fluorescence detector, Empower pro software를 이용하였으며, 분석용 컬럼은 AccQ-Tag For Hydrolysate Amino Acid Analysis column (3.9 \times 150 mm)을 사용하였다. 이동상은 A용매로 10% AccQ-Tag Eluent A, B용매로 60% Acetonitrile를 gradient mode로 적용하였다(Table 2). Injection volume은 5 μ l를 주입하고 UV detector (λ =248 nm, 36°C)를 사용하여 검출하였다.

통계처리

Table 2. HPLC condition for the analysis of amino acids

Time (min)	Flow rate (ml/min)	Mobile phase A (%)	Mobile phase B (%)
0.0	1.0	100.0	0.0
0.5	1.0	98.0	2.0
15.0	1.0	93.0	7.0
19.0	1.0	90.0	10.0
27.0	0.9	67.0	33.0
32.0	0.9	67.0	33.0
33.0	0.9	67.0	33.0
34.0	1.0	0.0	100.0
37.0	1.0	0.0	100.0
38.0	1.0	100.0	0.0
45.0	1.0	100.0	0.0

모든 실험은 3회 이상 반복 수행하였으며, 얻어진 결과는 SPSS statistics 19 프로그램을 이용하여 평균과 표준편차의 값을 산출하였고, Duncan의 다중검증법(DMRT, Duncan's multiple range test)(Duncan, 1955)을 통하여 각 실험 평균치에 대한 통계적 유의성 검증($p < 0.05$)을 수행하였다.

결과 및 고찰

폴버섯 균주별 DPPH 라디칼 소거능

폴버섯 균주 4종의 항산화 효과를 알아보기 위하여 각 균주로부터의 열수추출물 1 mg/ml 농도에서 DPPH 라디칼 소거능을 측정하였다(Fig. 2). 폴버섯 균주 중 Vv의 DPPH 라디칼 소거능은 23.7%로 유의적으로 가장 높은 활성을 보였으며($p < 0.05$), 그 다음으로는 Vv-Chi와 VG-

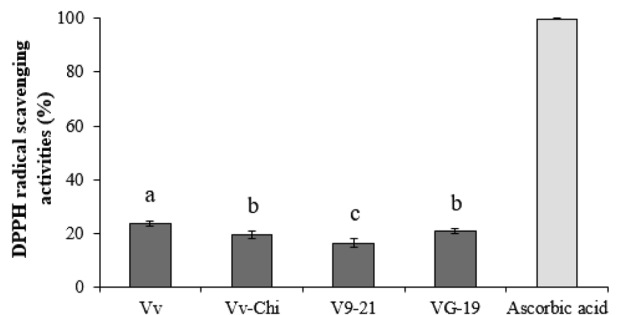


Fig. 2. DPPH radical scavenging activities of hot-water extracts (1 mg/ml concentrations) of different strains of *Volvariella volvacea*. Light gray bar indicates a positive control. The results are obtained from three replications. Bar with different letters indicate significant differences by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

19가 각각 19.2%, 20.8%이었으며, V9-21이 유의적으로 가장 낮은 활성을 보였다($p<0.05$). 비교적 안정한 자유 라디칼로서 항산화 활성이 있는 물질과 만나면 환원되거나 소거되어 짙은 자색이 감소된다. DPPH는 이러한 특성을 이용하여 비교적 간단하게 항산화 능력을 측정하는 방법으로 버섯 역시 항산화 능력이 우수한 것으로 알려져 있다(Gardner and Fridovich, 1991; Sohn *et al.*, 2010). Cheung *et al.* (2003)에 의하면 풀버섯 메탄올 추출물과 열수추출물 1.5 mg/ml 농도에서 DPPH 라디칼 소거능은 각각 17.8%와 20.2% 이었으며 추출물 농도가 증가함에 따라 증가하는 것으로 보고하고 있으며, Boonsong *et al.* (2016)은 풀버섯의 열수추출물 500 $\mu\text{g/ml}$ 농도에서의 DPPH 라디칼 소거능은 약 19%인 것으로 보고하고 있으며, 본 연구결과와 비교하여 비슷한 수준의 DPPH 라디칼 소거능을 보이는 것으로 확인되었다.

풀버섯 균주별 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량

풀버섯 균주 4종의 열수추출물 1 mg/ml 농도에서의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량을 측정한 결과는 Table 3와 같다. 풀버섯 균주 4종의 총 폴리페놀 함량범위는 5.92~8.17 mg GAE/g의 값을 보였으며, 이 중에서 가장 높은 총 폴리페놀 함량을 나타낸 균주는 Vv-Chi와 8.00 mg GAE/g의 Vv균주이었으며, 다음으로는 7.08 mg GAE/g의 VG-19균주이었으며, V9-21균주가 가장 낮은 총 폴리페놀 함량치를 보였다. Cheung *et al.* (2003)은 풀버섯의 메탄올 추출물의 폴리페놀 함량의 경우 15.0 mg GAE/g이었으며, 물 추출물에서는 1.34 mg GAE/g인 것으로 보고하고 있다. 또한 Boonsong *et al.* (2016)은 50% 에탄올 추출물에서 27.89 mg GAE/g이었으며 물 추출물에서는 22.97 mg GAE/g, 디에틸에테르 추출물에서는 1.99 mg GAE/g의 함량치를 보고하고 있어서, 위의 두 연구결과와 물 추출물에 대한 총 폴리페놀 함량을 비교하였을 경우 큰 차이를 보이고 있었다. 국내 주요 식용버섯 중의 하나인 느타리의 총 폴리페놀 함량은 느타리 균주별로 차이는 있으나 대부분의 균주에서 8~10 mg/g인 것으로 보고되고 있어서(Cho *et al.*, 2014), 풀버섯의 총 폴리페놀 함량은 이와 비교할 경우 비슷하거나 다소 높은 것으로 확인되었다.

풀버섯 각 균주의 열수추출물 1 mg/ml 농도에서의 총 플라보노이드 함량범위는 2.53~3.46 mg QE/g이었으며, 균주 Vv와 Vv-Chi가 각각 3.41 mg QE/g, 3.46 mg QE/g으로 다른 균주들에 비하여 높은 함량치를 나타냈다. 페놀성 화합물은 라디칼 소거능과 항산화능을 포함한 여러 생리활성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. Rice-Evans *et al.* (1996)와 Seo *et al.* (2017)에 의하면 총 페놀 화합물의 함량이 높을수록 항산화 활성이 증가되는 것으로 보고되고 있으며, Moreno *et al.* (2006)에 의하면 폴리페놀 함량이 많을수록 DPPH 라디칼 소거능과 같은 항산화 반

Table 3. The total polyphenol and total flavonoid contents of hot-water extracts of different strains of *Volvariella volvacea*

Strain	KMCC#	Total polyphenol contents (mg GAE/g extract) ^a	Total flavonoid contents (mg QE/g extract) ^b
Vv	KMCC04386	8.00±0.25 a	3.41±0.09 a
Vv-Chi	KMCC04382	8.17±0.28 a	3.46±0.10 a
V9-21	KMCC04380	5.92±0.14 c	2.53±0.09 b
VG-19	KMCC05115	7.08±0.14 b	2.56±0.11 b

The results are represented by the mean \pm S.D. of values obtained from three replications (n=3).

Means with different letters indicate significant differences by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

^a GAE, Gallic acid equivalent

^b QE, Quercetin equivalent

응에 더 관여하여 활성이 높다고 하였다. 또한 An *et al.* (2020)에 의하면 야생 버섯류 중에서 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량이 높았던 싸리버섯(*R. botrytis*)은 DPPH 라디칼 소거능, 철 환원 항산화능 및 환원력에서도 높은 항산화 활성을 보이는 것으로 보고하고 있다. 하지만 이와 다른 경향의 결과는 폴리페놀의 hydroxyl기에 에테르 결합으로 존재하는 경우가 많으며 이로 인하여 극성 용매에 대한 용해성이 증가함에 따라 물 추출액 등에서는 폴리페놀 함량치가 낮게 검출되는 이유인 것으로 추측된다(Kwon *et al.*, 2009).

풀버섯 균주별 철 환원 항산화능

풀버섯 균주 4종의 열수추출물 1 mg/ml 농도에서의 철 환원 항산화능(FRAP, ferric-reducing antioxidant power)을 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. 풀버섯 균주 4종의 철 환원 항산화능 범위는 0.113~0.152 이었으며, 그 중에서

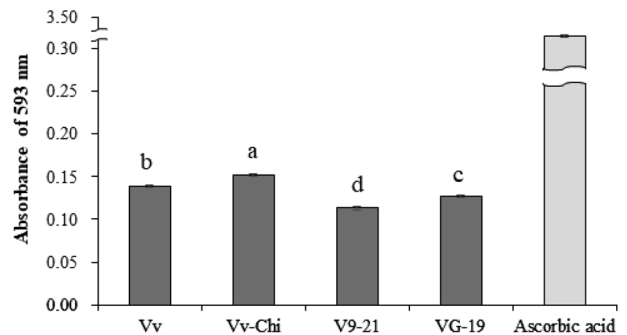


Fig. 3. Ferric reducing antioxidant power (FRAP) of hot-water extracts (1 mg/ml concentrations) of different strains of *Volvariella volvacea*. Light gray bar indicates a positive control. The results are obtained from three replications. Bar with different letters indicate significant differences by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

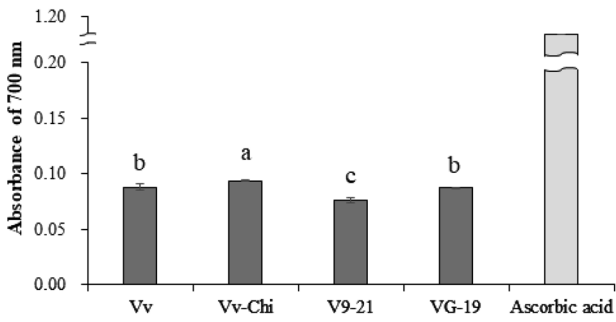


Fig. 4. Reducing power of hot-water extracts (1 mg/ml concentrations) of hot-water extracts (1 mg/ml concentrations) of different strains of *Volvariella volvacea*. Light gray bar indicates a positive control. The results are obtained from three replications. Bar with different letters indicate significant differences by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

Vv-Chi 균주의 철 환원 항산화능이 가장 높은 것으로 나타났으며, 그 다음으로는 Vv, VG-19, V9-21의 순이었다. 철 환원 항산화능(FRAP)은 산성 pH에서 환원제에 의해 ferric tripyridyl-triazine (Fe^{3+} -TPTZ) 복합체가 ferrous tripyridyl-triazine (Fe^{2+} -TPTZ)으로 환원되는 원리를 이용함으로써 시료 중 항산화 물질의 함량에 의존도가 높은 것으로 알려져 있다(Lee *et al.*, 2016). 항산화능의 흡광도 수치는 그 자체가 시료의 항산화능을 나타내며, 높은 항산화 활성을 가질수록 흡광도의 수치가 높게 나타난다(Choi *et al.*, 2016).

폴버섯 균주별 환원력

폴버섯 균주 4종의 열수추출물 1 mg/ml 농도에서의 환원력(reducing power)을 분석한 결과는 Fig. 4와 같다. 폴버섯 균주 4종의 환원력 범위는 0.076~0.094 이었으며, 그 중에서 Vv-Chi 균주의 환원력이 가장 높은 것으로 나타났으며, 그 다음으로는 Vv, VG-19, V9-21의 순이었다. 환원력은 여러 가지 항산화 작용 중 활성산소종 및 유리기에 전자를 공여하는 능력을 말한다(Song *et al.*, 2012). Boonsong *et al.* (2016)은 폴버섯 물 추출물의 환원력은 0.06~0.28이었으며 추출물 농도에 따라 증가하는 것으로 보고하고 있다. 폴버섯 균주 중 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량이 높았던 Vv-Chi는 환원력도 다른 균주에 비하여 높은 것으로 나타났으며, 이와 같은 결과에 대하여 Saha *et al.* (2013)는 추출물의 페놀성 화합물들 중에서 이온함량과 관련이 있으며 이는 플라보노이드 계열의 화합물인 히드록시 및 카보닐 그룹들과 Fe 이온들이 수소결합을 형성하려는 성질이 강하며 이러한 수소결합을 통한 전자제공으로 강력한 환원력을 가진다고 보고하고 있다. 또한 Shimada *et al.* (1992)에 의하면 환원력은 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량에 크게 영향을 받으며 자유라디칼과 반응하여 연쇄반응을 안정화시키고 종결시키

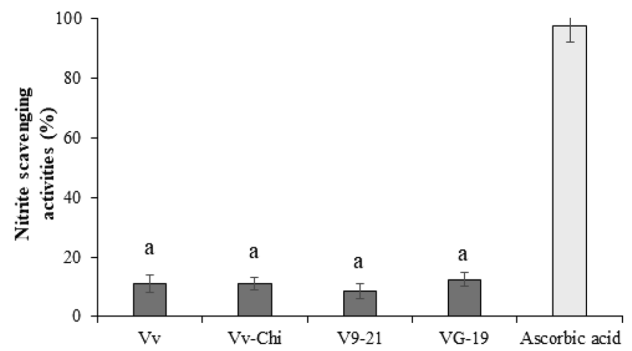


Fig. 5. Nitrite scavenging activities of hot-water extracts (1 mg/ml concentrations) of hot-water extracts (1 mg/ml concentrations) of different strains of *Volvariella volvacea*. Light gray bar indicates a positive control. The results are obtained from three replications. Bar with different letters indicate significant differences by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

기 위해 전자를 보냄으로서 자유 라디칼 사슬을 파괴할 수 있다고 보고하고 있다.

폴버섯 균주별 아질산염 소거능

폴버섯 균주 4종의 열수추출물 1 mg/ml 농도에서의 아질산염 소거능을 측정된 결과는 Fig. 5와 같다. 각 폴버섯 균주의 아질산염 소거활성 범위는 8.6~12.5%이었으며, 균주별로 유의적인 차이는 없었다($p < 0.05$). 그 중에서 VG-19 균주가 다른 균주들에 비하여 다소 높은 경향의 아질산염 소거활성을 보였다. 식품첨가물 등을 통하여 일정 농도 이상의 아질산염을 섭취하게 되면 체내에 헤모글로빈을 산화시켜 메트로헤모글로빈 혈증(methemoglobinemia)과 같은 중독 증상을 유발시킨다(Jung *et al.*, 2000). 또한 2급 및 3급 amine류와 아질산염이 반응하게 되면 발암물질인 nitrosamine가 생성되며 체내에서 diazoalkane ($C_nH_{2n}N_2$)으로 변화하여 핵산이나 단백질 또는 세포내의 성분을 알칼리화시킴으로서 암을 유발시킨다고 알려져 있다(Choi *et al.*, 1989; Choi *et al.*, 2008; Chung *et al.*, 1999). 주요한 식용버섯인 느타리의 경우, 열수추출물에서 가장 높은 33.1%의 아질산염 소거능을 보였으며, 노랑느타리 추출물별 아질산염 소거능을 살펴본 결과, 60% 에탄올추출물에서 가장 높은 소거활성을 나타냈으며, 1 mg/ml 농도처리에서 36.5%의 소거활성을 보였다(Lee *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2015). 약용버섯으로 알려진 노루궁뎅이의 경우 추출물을 1 mg/ml 농도로 처리하였을 경우 55.2%의 아질산염 소거능을 보였으며, 처리농도가 높을수록 아질산염 소거능은 증가하였다(Kim *et al.*, 2013). 본 연구 결과 폴버섯의 균주별 아질산염 소거능은 다른 식용버섯 또는 약용버섯에 비하여 낮은 아질산염 소거능을 나타내는 것으로 확인되었다. Lee *et al.* (2003)에 의하면 버섯류에

Table 4. Total glucan, α -glucan and β -glucan contents of different strains of *Volvariella volvacea*

Strain	KMCC#	Total glucan	α -glucan	β -glucan	
		% (w/w)			
Vv	KMCC04386	22.1±0.31	6.84±0.13	15.23±0.21	c
Vv-Chi	KMCC04382	17.7±0.18	1.60±0.02	16.07±0.17	b
V9-21	KMCC04380	32.7±0.64	16.74±0.37	15.95±0.43	b
VG-19	KMCC05115	22.1±0.01	4.54±0.04	17.53±0.12	a

The results are represented by the mean \pm S.D. of values obtained from three replications (n=3). Means with different letters indicate significant differences by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

함유된 페놀성 물질 및 유기용매 용해물질은 아질산염 소거능에도 크게 작용하는 것으로 보고하고 있으나 본 연구 결과, 아질산염 소거활성은 총 폴리페놀, 총 플라보이드 함량, 철 환원 항산화능 및 환원력과의 상관관계는 보이

지 않는 것으로 판단된다.

풀버섯 균주별 베타글루칸 함량

풀버섯 균주 4종의 건조시료에 대한 베타글루칸 함량을 측정된 결과는 Table 4와 같다. 각 풀버섯 균주의 베타글루칸 함량 범위는 15.23~17.53%이었으며, 균주 VG-19가 가장 함량이 높았으며, 균주 Vv가 가장 낮은 15.23%의 함량치를 보였다. 버섯에 함유되어 있는 주요한 생리활성 물질 중 하나인 베타글루칸은 다당류의 일종으로 인체의 면역시스템에 작용하여 정상적인 세포조직의 면역기능을 활성화 시켜 세포조직의 면역을 향상을 통해 항당뇨, 혈압조절 작용을 한다고 보고되고 있다.(Chandrasekaran *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2015). 식용버섯 중 높은 베타글루칸을 함유하고 있다고 알려진 꽃송이버섯의 베타글루칸 함량은 40% 이상인 것으로 알려져 있으며, 베타글루칸 고함유 느타리계통은 35.5%~40.1%의 함량이 보고되고 있으며, 약용버섯으로 잘 알려진 동충하초 및 영지는 각

Table 5. Total amino acid (TAA) and essential amino acid (EAA) contents of strains of *Volvariella volvacea*

Amino acid ^a	Strains of <i>Volvariella volvacea</i> Content (mg/kg)			
	Vv	Vv-Chi	V9-21	VG-19
Asp	26.7±9.46 (2.9)	27.7±0.29 (3.5)	35.4±2.54 (3.9)	36.3±0.58 (3.7)
Ser	48.7±10.20 (5.2)	48.2±1.27 (6.1)	39.9±2.00 (4.4)	51.6±1.32 (5.2)
Glu	53.7±7.90 (5.8)	58.7±1.11 (7.4)	48.0±3.49 (5.3)	65.4±2.00 (6.6)
Gly	24.9±2.26 (2.7)	26.6±0.60 (3.4)	20.7±4.20 (2.3)	29.9±0.86 (3.0)
His	30.1±4.68 (3.2)	30.6±0.76 (3.9)	22.9±5.15 (2.5)	34.9±1.41 (3.5)
Am	2.9±0.51 (0.3)	5.9±0.35 (0.7)	3.0±1.09 (0.3)	5.4±0.18 (0.5)
Arg	92.8±9.53 (10.0)	72.2±4.91 (9.2)	75.2±1.73 (8.3)	90.7±2.65 (9.2)
Thr	59.9±3.73 (6.4)	55.9±0.81 (7.1)	50.4±9.63 (5.6)	59.9±2.57 (6.1)
Ala	20.4±1.47 (2.2)	24.0±0.57 (3.0)	23.6±4.00 (2.6)	26.0±0.86 (2.6)
Pro	39.5±1.62 (4.2)	41.0±4.88 (5.2)	43.4±1.31 (4.8)	50.8±3.83 (5.1)
Cys	158.7±4.10 (17.1)	39.0±9.93 (4.9)	-	171.0±7.50 (17.3)
Tyr	79.3±3.61 (8.5)	132.5±4.19 (16.8)	267.1±4.66 (29.5)	55.5±2.28 (5.6)
Val	36.5±1.08 (3.9)	30.8±2.73 (3.9)	36.2±6.46 (4.0)	39.6±0.73 (4.0)
Met	26.6±1.31 (2.9)	18.5±1.02 (2.3)	24.5±4.82 (2.7)	26.1±0.99 (2.6)
Lys	9.3±0.26 (1.0)	7.8±0.61 (1.0)	11.6±2.60 (1.3)	12.4±0.37 (1.3)
Ile	39.8±0.86 (4.3)	33.4±2.46 (4.2)	39.8±7.09 (4.4)	43.9±0.61 (4.5)
Leu	57.0±1.98 (6.1)	43.2±3.67 (5.5)	61.4±10.11 (6.8)	67.7±1.73 (6.9)
Phe	123.2±4.09 (13.2)	92.6±7.47 (11.7)	103.5±17.79 (11.4)	119.6±3.17 (12.1)
TTA ^b	930.0 (100)	788.7 (100)	906.6 (100)	986.8 (100)
EAA ^c	352.2 (37.9)	282.3 (35.8)	327.4 (35.8)	369.3 (37.4)

The results are represented by the mean \pm S.D. of values obtained from three replications (n=3)

^a Asp, Aspartic acid; Ser, Serine; Glu, Glutamic acid; Gly, Glycine; His, Histidine; Am, Ammonia; Arg, Arginine; Thr, Threonine; Ala, Alanine; Pro, Proline; Cys, Cystine; Tyr, Tyrosine; Val, Valine; Met, Methionine; Lys, Lysine; Ile, Isoleucine; Leu, Leucine; Phe, Phenylalanine

^b TAA, Total contents of amino acids

^c EAA, Essential amino acids were calculated as the total contents of Thr, Val, Met, Lys, Ile, Leu, and Phe

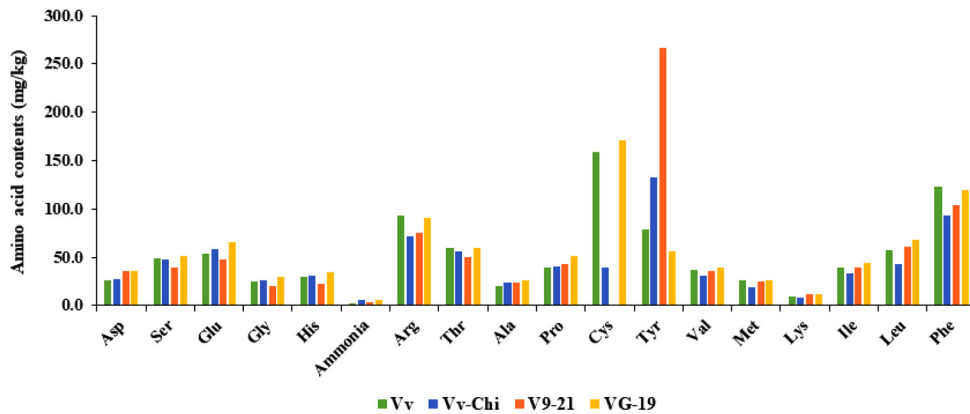


Fig. 6. Amino acid contents of 4 strains of *Volvariella volvacea* (Asp, Aspartic acid; Ser, Serine; Glu, Glutamic acid; Gly, Glycine; His, Histidine; Arg, Arginine; Thr, Threonine; Ala, Alanine; Pro, Proline; Cys, Cystine; Tyr, Tyrosine; Val, Valine; Met, Methionine; Lys, Lysine; Ile, Isoleucine; Leu, Leucine; Phe, Phenylalanine).

각 45.1%, 31.6%의 함량이 보고되고 있다(Kim *et al.*, 2015; Seo *et al.*, 2016). 또한 영지의 경우, 39 균주의 베타글루칸 함량범위는 15~20% 인 것으로 나타났으며 균주별로 함량치의 차이가 있는 것으로 보고되고 있다(Cho *et al.*, 2013). 균주별 베타글루칸 함량의 차이는 베타글루칸과 당성분 사이의 상호작용의 영향으로 추측하며 본 연구에서의 폴버섯의 베타글루칸 함량은 식용버섯 또는 약용버섯에 비하여 낮은 것으로 나타났다.

폴버섯 균주별 아미노산 성분 함량

폴버섯 균주 4종의 건조시료에 대한 아미노산 성분 함량을 분석한 결과, 총 아미노산 함량범위는 788.7~986.8 mg/kg 이었으며, 총 필수아미노산 함량 범위는 282.3~369.3 mg/kg 이었다(Table 5). VG-19 균주의 총 아미노산 및 총 필수아미노산 함량은 다른 균주에 비하여 가장 높았으나, 총 아미노산에 대한 총 필수아미노산 함량비는 Vv 균주가 37.9%로 가장 높게 나타났다. Vv 균주는 아미노산 성분 중 알기닌(Arg)이 92.8 mg/kg, 메티오닌(Met)이 26.6 mg/kg, 페닐알라닌(Phe)이 123.2 mg/kg으로 다른 균주들에 비하여 높게 검출되었고, V9-21 균주의 티로신(Tyr)은 267.1 mg/kg으로 다른 균주에 비하여 월등히 높게 검출된 성분이나, 시스테인(Cys)은 검출되지 않았다. VG-19 균주는 시스테인(Cys)이 171.0 mg/kg으로 다른 균주들에 비하여 월등히 높게 검출되었으며 그 외에도 아스파르트산(Asp), 세린(Ser), 글루탐산(Glu), 알라닌(Ala), 이소류신(Ile), 류신(Leu) 등의 감칠맛, 단맛을 내는 아미노산 성분과 일부 필수아미노산 성분이 다른 균주에 비하여 높게 검출되었다(Fig. 6). 일반적으로 식용버섯의 아미노산 성분은 맛의 특성에 따라 그 분류군이 나뉘지는데, 아스파르트산(Asp)과 글루탐산(Glu)은 감칠맛을 담당하는 성분이며, 알라닌(Ala), 글리신(Gly), 세린(Ser), 트레오닌(Thr) 성분은 단맛을 내는 그룹, 쓴맛을 내는 아미노산 그룹은

알기닌(Arg), 히스티딘(His), 이소류신(Ile), 류신(Leu), 메티오닌(Met), 페닐알라닌(Phe), 발린(Val)이며, 그 외 마지막 그룹으로 라이신(Lys)과 티로신(Tyr)은 무미건조한 맛을 나타내는 그룹이다(Mau *et al.*, 2001; Yang *et al.*, 2001). 이와 같이 아미노산 성분 중에서 감칠맛과 단맛을 담당하는 성분의 함량이 높을 경우 먹기 좋은 맛을 내는 버섯이며(Beluhan and Ranogajec, 2011), 폴버섯의 4종의 균주 중에서 VG-19가 영양성분 및 감칠맛과 단맛이 우수한 균주로 나타났으며 이 균주는 향후 폴버섯 품종개발에 있어서 중요한 재료로 활용도가 높으리라 기대된다.

적 요

폴버섯(*Volvariella volvacea*) 균주 4종의 추출물에 대한 항산화 활성, 아질산염 소거능, 베타글루칸 함량 및 아미노산 성분분석을 통한 영양성분 함량을 분석하였다. 폴버섯 4종의 균주 중 Vv 균주(KMCC04386)의 DPPH 라디칼 소거능(23.7%)이 가장 높았으며, 총 폴리페놀 함량 및 총 플라보노이드 함량은 Vv-Chi 균주(KMCC04382)가 각각 8.17 mg GAE/g, 3.46 mg QE/g으로 가장 높았으며, 철 환원 항산화능(0.152) 및 환원력(0.094) 역시 Vv-Chi 균주에서 가장 높게 나타났다. 아질산염 소거능은 폴버섯 균주 간 유의적 차이는 없었다($p < 0.05$). 베타글루칸 함량은 VG-19 균주(KMCC04380)가 17.53% (w/w)로 가장 높았다. 총 아미노산 및 총 필수아미노산 함량은 VG-19 균주가 각각 986.8 mg/kg과 369.3 mg/kg으로 균주들에 비하여 가장 높게 검출되었다. VG-19 균주의 경우, 시스테인(Cys)이 171.0 mg/kg으로 다른 균주들에 비하여 월등히 높게 검출되었으며 그 외에도 아스파르트산(Asp), 세린(Ser), 글루탐산(Glu), 알라닌(Ala), 이소류신(Ile), 류신(Leu) 등의 감칠맛, 단맛을 내는 아미노산 성분과 일부 필수아미노산 성분이 다른 균주에 비하여 높게 검출되었

다. 본 연구결과, 풀버섯 4종의 균주 중에서 DPPH 라디칼소거능을 제외한 항산화 활성은 Vv-Chi 균주가 가장 높았으며, 베타글루칸 함량 및 영양성분 함량은 VG-19 균주가 높은 것으로 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 2021년 농촌진흥청 국립원예특작과학원 시험연구사업(과제번호 PJ01437001)에 의하여 수행된 결과의 일부이며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Akinyele BJ, Akinyosoye FA. 2005. Effect of *Volvariella volvacea* cultivation on the chemical composition of agriwastes. *Afr J Biotechnol* 4: 979-983.
- An GH, Han JG, Cho JH. 2020. Comparison of the antioxidant activity and nutritional contents of ectomycorrhizal mushroom extracts in Korea. *J Mushrooms* 18: 164-173.
- Belew MA, Belew KY. 2005. Cultivation of mushroom (*Volvariella volvacea*) on banana leaves. *Afr J Biotechnol* 4: 1401-1403.
- Beluhan S, Ranogajec A. 2011. Chemical composition and non-volatile components of Croatian wild edible mushrooms. *Food Chem* 124: 1076-1082.
- Benzie IF, 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 determination by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1191-1200.
- Boonsong S, Klaypradit W, Wilaipun P. 2016. Antioxidant activities of extracts from five edible mushrooms using different extractants. *Agri Nat Resour* 50: 89-97.
- Chambel TL, Marquez DL, Marcelino JP. 1997. Mushroom (*Volvariella volvacea*) production in corn cobs. *Philipp J Crop Sci* 22: 69.
- Chandrasekaran G, Oh DS, Shin HJ. 2011. Properties and potential applications of the culinary-medicinal cauliflower mushrooms, *Sparassis crispa* Wulf.:Fr. (Aphyllphoromycetideae): a review. *Int J Med Mushrooms* 13: 177-183.
- Chang HY. 2008. SWOT analysis for direction of Korean mushroom industry. *J Mushrooms* 6: 63-67.
- Chang ST, Philip GM. 2004. *Mushrooms*. CRC PRESS.
- Chang ST. 1999. World production of cultivated edible and medicinal mushrooms in 1997 with particular emphasis on *Lentinula edodes* (Berk.) Sing. in China. *Int J Med Mushrooms* 1: 291-300.
- Chen S, Ma D, Ge W, Buswell JA. 2003. Induction of laccase activity in the edible straw mushroom, *Volvariella volvacea*. *FEMS Microbiol Lett* 218: 143-148.
- Cheung LM, Cheung PCK, Ooi VEC. 2003. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts. *Food Chem* 81: 249-255.
- Cho JH, Lee JY, Lee MJ, Oh HN, Kang DH, Jhune CS. 2013. Comparative analysis of useful β -glucan and polyphenol in the fruiting bodies of *Ganoderma* spp. *J Mushroom Sci Prod* 11: 164-170.
- Cho JH, Park HS, Han JG, Lee KH, Sung GH, Jhune CS. 2014. Comparative analysis of anti-oxidant effects and polyphenol contents of the fruiting bodies in oyster mushrooms. *J Mushrooms* 12: 211-315.
- Choi DB, Cho KA, Na MS, Choi HS, Kim YO, Lim DH, Cho SJ, Cho H. 2008. Effect of bamboo oil on antioxidative activity and nitrite scavenging activity. *Ind Eng Chem Res* 14: 765-770.
- Choi JS, Park SH, Choi JH. 1989. Nitrite scavenging effect by flavonoids and its structure-effect relationship. *Arch Pharm Res* 12: 26-33.
- Choi SH, Lee SJ, Jo WS, Choi JW, Park SC. 2016. Comparison of ingredients and antioxidant activity of the domestic regional *Wolfiporia extensa*. *Kor J Mycol* 44: 23-30.
- 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 SY, Kim NK, Yoon S. 1999. Nitrite scavenging effect of methanol fraction obtained from green yellow vegetable juices. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 342-347.
- Daniel JS, Steven AC. 1993. Sensitive analysis of cystine/cysteine using 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate (AQC) derivatives. *Tech Prot Chem* 4: 299-306.
- Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F-test. *Biometrics* 11: 1-5.
- Etsu K, Chigusa K, Yoshiaki S, Akira M. 1992. Structures and antitumor activities of polysaccharides isolated from mycelium of *Volvariella volvacea*. *Biosci Biotechnol Biochem* 56: 1308-1309.
- Folin O, Denis W. 1912. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem* 12: 239-243.
- Fu H, Shieh D. 2002. Antioxidant and free radical-scavenging activities of edible mushrooms. *J Food Lipids* 9: 35-46.
- Gardner PR, Fridovich I. 1991. Superoxide sensitivity of *Escherichia coli* 6-phosphogluconate dehydratase. *J Biol Chem* 266: 1478-1783.
- Gray JI, Dugan Jr LR. 1975. Inhibition of N-nitrosamine formation in model food systems. *J Food Sci* 40: 981-984.
- Jang MJ, Lee HB, Kim JH, Lee YH, Ju YC. 2009. The suitable condition for mycelial growth of *Volvariella volvacea* strains and selection of the superior strain. *Kor J Mycol* 37: 173-180.

- Kim DH, Park SR, Debnath T, Abul MD, Pervin M, Lim BO. 2013. Evaluation of the antioxidant activity and anti-inflammatory effect of *Hericium erinaceus* water extracts. *Korean J Med Crop Sci* 21: 112-117.
- Kim SC, Kim HS, Cho YU, Ryu JS, Cho SJ. 2015. Development of strain-specific SCAR marker for selection of *Pleurotus eryngii* strains with higher β -glucan. *J Mushroom Sci Prod* 13: 79-83.
- Kwon YS, Jeon IS, Hwang JH, Lim DM, Kang YS, Chung HJ. 2009. Biological activities of Maca (*Lepidium meyenii*) extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 817-823.
- Lee DS, Kim KH, Yook HS. 2016. Antioxidant activities of different parts of *Sparassis crispa* depending on extraction temperature. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 45: 1617-1622.
- Lee HB, Jang MJ, Lee YH, Ju YC. 2011. Development of medium for *Volvariella volvacea* cultivation using spent oyster mushroom medium. *J Mushroom Sci Pro* 9: 44-47.
- Lee HJ, Do JR, Chung MY, Kim HK. 2014. Antioxidant activities of *Pleurotus cornucopiae* extracts by extraction conditions. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43: 836-841.
- Lee SJ, Moon SH, Kim T, Kim JY, Seo JS, Kim DS, Kim J, Kim YJ, Park YI. 2003. Anticancer and antioxidant activities of *Coriolus versicolor* culture extracts cultivated in the citrus extracts. *J Microbiol Biotech* 31: 362-367.
- Lee YS, Seo GS. 2005. Problems and improvement scheme for mushroom-industry. *J Mushroom Sci Pro* 3: 159-171.
- Mau JL, Chang Ch, Huang CJ, Chen CC. 2004. Antioxidant properties of methanolic extracts from *Grifola frondosa*, *Morchella esculenta* and *Termitomyces albuminosus* mycelia. *Food Chem* 87: 111-118.
- Moreno S, Scheyer T, Romano CS, Yojnov AA. 2006. Antioxidant and antimicrobial activities of rosemary extracts linked to their polyphenol composition. *Free Radic Res* 40: 223-231.
- Oyaizu M. 1986. Studies on products of browning reactions: antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Jpn J Nut* 44: 307-315.
- Park HS, Kim SY, Kim HS, Han JG, Lee KY, Cho JH. 2015. Nutritional contents and physiological activity of *Pleurotus eryngii* by extraction solvents. *J Mushrooms* 13: 282-287.
- Park YH, Chang HG, Jung CS, Kim DS. 1974. Some experiments on the cultivation of straw mushroom, *Volvariella volvacea* (Bull. ex Fr.) Sing. in Korea. *Kor J Mycol* 2: 21-24.
- Rice-Evans CA, Miller NJ, Paganga G. 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radic Biol Med* 20: 933-956.
- Saha AK, Rahman MR, Shahriar M, Saha SK, Azad NA, Das S. 2013. Screening of six ayurvedic medicinal plant extracts for antioxidant and cytotoxic activity. *J. Pharmacogn Phytochem* 2: 181-188.
- Seo SH, Park SE, Moon YS, Lee YM, Na CS, Son HS. 2016. Component analysis and immuno-stimulating activity of *Sparassis crispa* stipe. *Korean J Food Sci Technol* 48: 515-520.
- Seo SY, Park YG, Jang YS, Ka KH. 2017. Antioxidant properties of *Lentinula edodes* after sawdust bag cultivation with different oak substrates. *Kor J Mycol* 45: 121-131.
- Shimada K, Fujikawa K, Yahara K, Nakamura T. 1992. Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *J Agric Food Chem* 40: 945-948.
- Sohn HY, Shin YK, Kim JS. 2010. Anti-proliferative activities of solid-state fermented medicinal herbs using *Phelimus baumii* against human colorectal HCT116 cell. *J Life Sci* 20: 1268-1275.
- Song CH, Seo YC, Choi WY, Lee CG, Kim DU, Chung JY, Chung HC, Park DS, Ma CJ, Lee HY. 2012. Enhancement of antioxidant activity of *Codonopsis lanceolata* by stepwise steaming process. *Korean J Med Crop Sci* 20: 238-244.
- Xu BJ, Chang SK. 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *J Food Sci* 72: 159-166.
- Yang JH, Lin HC, Mau JL. 2001. Non-volatile taste components of several commercial mushrooms. *Food Chem* 72: 465-471.