



## 느타리, 새송이, 팽이버섯의 용매추출에 따른 항산화활성 연구

최진희<sup>1</sup> · 김진성<sup>1</sup> · 박종대<sup>2</sup> · 성정민<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>국립 공주대학교 외식상품학과, <sup>2</sup>한국식품연구원 가공공정연구단

### Study on Antioxidant Activities of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) *Que Pleurotus eryngii* and *Flammulina velutipes* Extracts by Different Solvent

Jin-Hee Choi<sup>1</sup>, Jin-seong Kim<sup>1</sup>, Jong-Dae Park<sup>2</sup>, Jung-Min Sung<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Food Service Management and Nutrition, Kongju National University

<sup>2</sup>Research Group of Food Processing, Korea Food Research Institute

### Abstracts

This study was conducted to find out the optimal solvent extraction method [Distilled water (DW), 70% ethanol, 99% ethanol] of mushrooms, including *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) *Que*, *Pleurotus eryngii* and *Flammulina velutipes* and improve their usability as natural antioxidants. To analyze antioxidant activities in each mushroom, total polyphenol, flavonoid contents, 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) cation radical (ABTS<sup>+</sup>) and fluorescence recovery after photobleaching (FRAP) were measured. All mushrooms showed the highest total polyphenol contents in DW mushroom extract ( $p < 0.001$ ). Total flavonoid contents were the highest in *P. eryngii* and *F. velutipes* DW and 70% ethanol mushroom extracts ( $p < 0.05$ ). All mushrooms showed the highest activities using DPPH and FRAP assays in the DW extraction method ( $p < 0.001$ ). *P. ostreatus* (Jacq.) *Que* and *P. eryngii* showed the highest ABTS<sup>+</sup> radical scavenging activity in the DW extraction method, and *F. velutipes* showed the highest activity in the 70% ethanol extraction method ( $p < 0.001$ ). As a result of comparing IC<sub>50</sub> values of DPPH and ABTS<sup>+</sup> radicals and FRAP EC<sub>50</sub> values, the DW *P. ostreatus* (Jacq.) *Que* extract showed high antioxidant activities ( $p < 0.001$ ). Pearson's correlation between total polyphenol contents and antioxidant activities showed a positive correlation in all mushrooms ( $p < 0.01$ ). Therefore, extraction of the mushrooms with DW can enhance the extraction of effective bioactive substances and antioxidant activity.

**Key Words** : *Pleurotus ostreatus* (jacq.) *que*, *pleurotus eryngii*, *flammulina velutipes*, antioxidant activity, mushrooms

## 1. 서 론

버섯은 전 세계적으로 14,000여 종이 보고되어 있으며 이 중 400여 종이 식용으로 이용되고 있고, 각종 영양소 뿐만 아니라 생리활성 물질이 풍부하여 예로부터 식용 및 약용 식품으로 널리 이용되어왔다(Krik et al. 2001). 버섯은 칼로리, 지방과 콜레스테롤, 나트륨은 적고 필수아미노산, 식이섬유 및 비타민 B군 등이 풍부할 뿐만 아니라 페놀화합물과 ergothioneine같은 항산화 물질을 함유하고 있다고 보고되었다(Kalaras et al. 2017). 버섯에 함유된 대부분의 생리활성 물질은 페놀 화합물로 알려져 있는데, 페놀 성분은 대표적인 항산화성 물질로 식물에만 함유되어 있으며(Michalack 2006) 산화적 손상, 발암, 세포 성능 저하로 인한 노화 등을 유발하는 자유라디칼을 제거 및 저해할 수 있다고 보고된 바 있

다(Willcox et al. 2004; Valko et al. 2006). 우리나라에서 상업적으로 재배되는 버섯은 느타리과 느타리속에 속하는 느타리버섯과 새송이버섯, 그리고 송이목 송이과에 속하는 팽이버섯이 대표적이다(An et al. 2019; Kim et al. 2020).

느타리버섯은 육질이 연하고 영양학적으로 우수한 식품으로 널리 알려져 있으며 고혈압, 당뇨병, 항암, 혈액순환 촉진 등의 생리활성 효과도 알려져 있다(Kim 1998). 또한 항산화능 및 열 안정성(Jung et al. 1996), 혈당 감소 효과(Kang et al. 2001) 등이 보고되었으며 최근에는 면역력 증강 효과(Ryu 2014) 등이 보고되어 다양한 기능을 지닌 기능성 식품으로서 주목을 받고 있다(Choi & Ryu 2015). 새송이버섯은 큰 느타리버섯의 상품명으로 맛과 향이 뛰어나며(Kang et al. 2000), 다른 버섯에 비해 대가 굵고 단단하여 저장기간이 비교적 길다고 알려져 있다(Im et al. 2014). 또한, 에르고스테

\*Corresponding author: Jung-Min Sung, Research Group of Food Processing, Korea Food Research Institute, Wanju 55365, Korea  
Tel: +82-63-219-9114 Fax: +82-63-219-9876 E-mail: jmsung@kfri.re.kr

물(Jang et al. 2011)이나 간암세포를 억제하는 다당류(Kawai et al. 2014), 항염증, 항산화 활성(Lin et al. 2014)과 프로바이오틱스 활성을 돕는(Synytsya et al. 2009) 기능성 물질이 다량 함유되어 건강식품으로 주목을 받고 있다. 팽이버섯은 아시아 지역에서 널리 재배되며 다른 버섯들과 같이 맛과 향이 좋아 식재료로써 가치가 높고 영양·기능적으로도 우수하다고 알려져 있다(Lee 2018). 팽이버섯의 생리활성 효과로 항암, 면역증진, 혈압치료 효과(Shomori et al. 2009) 등이 보고되었고 최근에는 팽이버섯의 비장세포 증식능과 사이토카인 활성을 통해 면역기능 증강의 효과를 보여준 연구도 보고되었다(Kim & Ryu 2018).

버섯은 수확 후에도 호흡과 대사 작용이 왕성하여 중량감소가 빠르고 외관이 수축되며 호흡열로 인한 품온 상승으로 변색되거나, 미생물의 번식 등 품질 저하가 빠르게 일어난다. 따라서 다른 농산물에 비해 저장기간이 짧고 유통 과정 중 부패율이 높다(Lee et al. 2003). 이러한 버섯의 품질 저하를 방지하고 유효성분을 얻어 기능성 식품 소재로 활용하기 위해선 건조 및 추출 방법이 적합하다고 보고되었다(Kim et al. 2012).

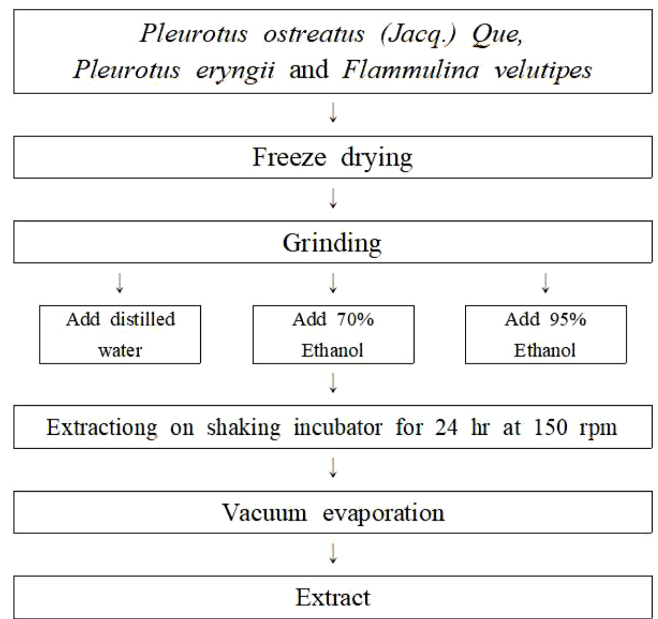
버섯의 유효성분 중 대부분을 차지하는 페놀 화합물은 화학적 구조, 추출 온도 및 시간, 용매의 종류 등에 영향을 받으며 이에 따라 생리활성 효과나 항산화활성이 달라진다(Shahidi & Nacz 1995; Cai et al. 2004). 버섯에 대한 선행연구로는 부위별 새송이버섯 추출물의 항산화 연구(Kim et al. 2006), 느타리버섯 추출물의 항산화 활성(Kim et al. 2016), 느타리버섯 물 추출물(Choi & Ryu 2015), 건조 방법에 따른 느타리버섯과 새송이버섯 열수추출물 연구(Kim et al. 2020), 팽이버섯 추출물의 항산화 및 항염증 연구(Kang 2012), 주요 식용버섯 추출물의 생리활성 연구(Choi et al. 2010) 등이 보고되었으나, 버섯의 종류별로 추출용매조건에 따른 항산화활성에 대한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 생리활성이 뛰어나고 기능성 성분이 다량 함유된 여러 종류의 버섯 중 대표적인 식용버섯인 느타리버섯, 새송이버섯, 팽이버섯을 증류수, 70% ethanol, 95% ethanol로 추출하여 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 등 기능성 성분의 함량과 항산화 활성을 분석하여 최적의 용매추출방법을 연구하고 천연 항산화제로서의 활용 가능성을 향상시키고자 하였다.

## II. 연구 내용 및 방법

### 1. 실험 재료 및 시료액 조제

실험에 사용된 느타리, 새송이, 팽이버섯은 2021년 6월에 충남 예산군 마트에서 구입한 후 세척하여 동결 건조하였다. 건조된 시료를 분쇄하고 40 mesh 표준망체에 내린 뒤 분말화된 버섯을 용매(증류수, 70% ethanol, 99% ethanol)를 10배 가하여, shaking incubator(SI-900R, Jeio Tech, Dae-



<Figure 1> preparation of *Pleurotus ostreatus (Jacq.) Que*, *Pleurotus eryngii* and *Flammulina velutipes* extract

Jeon, Korea)에서 24시간 동안 실온에서 150 rpm으로 추출하였다. 여과한 추출 용매를 감압농축(N-1200A, EYELA Co., Shanghai, China)하여 실험에 사용하였다<Figure 1>.

### 2. Total polyphenols contents 측정

총 폴리페놀 측정법은 Swain & Hills(1959)의 방법에 따라 측정하였다. 추출물 150 µL에 2 N Folin-Ciocalteu's phenol reagent 150 µL와 증류수 2,400 µL를 가한 후, 암소에서 3분 동안 방치한 뒤 NaCO<sub>3</sub> (1 N sodium carbonate) 300 µL를 첨가하여 암소에서 2시간동안 반응시켰다. 흡광도는 725 nm spectrophotometer (DU-800, beckman coulter Inc., Seoul, Korea)로 측정하였으며, gallic acid (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA)를 표준물질로 사용하여 검량선을 산출한 후 g당 mg gallic acid equivalent (mg GAE/g)로 표시하였고, 5회 반복하여 평균값±표준편차로 나타내었다.

### 3. Total flavonoids contents 측정

총 플라보노이드 함량 측정은 Davis 방법에서 반영된 Um & Kim(2007)의 실험방법에 준하여 수행하였다. 시료액 1 mL에 90% diethylene glycol 10 mL와 1 N NaOH 1 mL를 가하였으며, 37°C의 Water bath (SB-1200, EYELA, Si-Heung, Korea)에서 1시간 방치하고 420 nm의 분광광도계에서 흡광도를 측정하였으며, quercetin (Sigma Chemical Co.)을 표준물질로 사용하였다. 시료 g 당 quercetin equivalents (mg QE/g)로 표기하고, 실험은 총 3회 반복하여 평균값과 표준편차로 나타내었다.

4. DPPH 라디칼 소거활성 측정

DPPH 라디칼 소거활성은 Blois(1958)의 방법에 따라 DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical에 대한 소거활성을 측정하여 측정하였다. 시료액 4 mL에 DPPH 용액 ( $1.5 \times 10^{-4}$ ) 1 mL를 가하고 섞은 후 30분간 암소에 방치하였다. 흡광도는 517 nm로 측정하였으며, 소거활성은 다음 식에 따라 계산되었다. 3회 반복하여 평균값±표준편차로 나타내었다.

$$\text{DPPH radical scavenging (\%)} = (1 - (\text{O.D. of sample} / \text{O.D. of control})) \times 100$$

5. ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성 측정

ABTS<sup>+</sup> 소거 활성은 Siddhuraju & Becker(2007)의 방법을 참고하여 측정하였다. ethanol에 7.0 mM로 용해한 ABTS<sup>+</sup> 시약에 2.45 mM 농도의 potassium persulfate을 취하고 24시간 동안 암소에서 방치한 뒤, ABTS<sup>+</sup> Solution으로 사용하였다. 라디칼이 생성된 ABTS<sup>+</sup> 용액을 ethanol로 희석하여 흡광도 734 nm에서  $0.70 \pm 0.02$ 가 되도록 설정한 뒤 실험을 진행하였다. ABTS<sup>+</sup> 소거능은 시료액 100 µL에 ABTS<sup>+</sup> Solution 900 µL를 취한 뒤 1분 간격으로 6분간 흡광도를 측정하여 흡광도 값을 결과에 반영하였으며, 대조군의 흡광도를 시료액 대신 ethanol에 가하여 함께 측정하여 ABTS<sup>+</sup> radical 소거능을 백분율로 나타내어 총 3회 반복 측정하여 평균±표준편차로 나타내었다.

6. 환원력(Reducing Power Activity)

환원력은 Oyaizu(1986)의 방법에 따라 측정하였다. 증류수에 용해한 추출물 2.5 mL에 1% potassium ferricyanide 2.5 mL와 0.2 M sodium phosphate buffer (pH 6.6) 2.5 mL를 각각 혼합하고 혼합물을 50°C water bath에서 20분간 반응

시킨 후, 10% Trichloroacetic acid 2.5 mL를 첨가하여 반응시킨다. 3,000 rpm에서 10분 동안 원심분리(Combi-514R, Hanil, Dae-Jeon, Korea) 후 상등액 5 mL를 증류수 5 mL와 혼합한 다음 0.1% Ferric chloride 1 mL를 첨가하였다. 흡광도는 700 nm로 측정하여 환원력을 나타내었다.

7. 통계 처리

실험의 모든 결과는 통계분석용 프로그램인 SPSS package (Version 25.0, SPSS Institute Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 평균과 표준편차로 나타내었다. p<0.05 수준으로 일원배치분산분석(ANOVA) 검정을 수행한 후, Tukey's multiple range test로 유의성을 검증하였다. 상관분석은 Pearson's 계수로 p<0.05 수준에서 상관도를 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 버섯의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

추출용매에 따른 느타리버섯, 새송이버섯, 팽이버섯의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 <Table 1>에 나타내었다. 느타리버섯의 증류수, 70% ethanol, 95% ethanol 추출물의 총 폴리페놀 함량은 각각 15.74, 3.26, 0.67 mg GAE/g로 새송이버섯은 각각 8.64, 3.88, 1.03 mg GAE/g로 팽이버섯은 각각 10.05, 5.05, 1.12 mg GAE/g로 측정되었으며 세 종류의 버섯 모두 증류수 추출물에서 가장 높은 폴리페놀 함량을 나타내었고 추출용매의 ethanol 함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다(p<0.001). Ryu et al.(2018)은 새송이버섯과 팽이버섯 열수추출물의 폴리페놀 함량이 각각 19.60, 22.08 mg/g로 측정되었다고 보고하여 본 연구 결과보다 더 높은 폴리페놀 함량을 나타내었으며, Kim et al. (2016)은 느타리버섯 추출물 항산화 연구에서 느타리버섯의 물 추출물의 폴리페놀 함량이 9.51 mg/g으로 측정되었다고

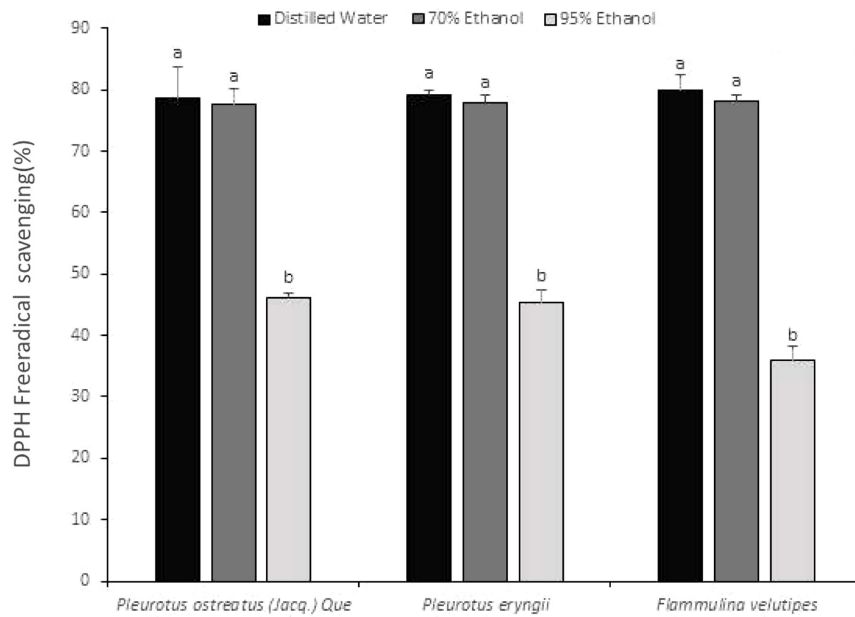
<Table 1> Total polyphenol contents of distilled water and ethanol extracts at 5,000 µg/g and Total flavonoid contents of distilled water and ethanol extracts at 10,000 µg/g in extracts from *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Que, *Pleurotus eryngii* and *Flammulina velutipes*

	Total polyphenol contents (mg GAE/g)			
	Distilled Water	70% Ethanol	95% Ethanol	F-value
<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) Que	15.74±1.07 <sup>1)a2)</sup>	3.26±0.15 <sup>b</sup>	0.67±0.06 <sup>c</sup>	497.141*** <sup>3)</sup>
<i>Pleurotus eryngii</i>	8.64±0.09 <sup>a</sup>	3.88±0.19 <sup>b</sup>	1.03±0.05 <sup>c</sup>	2773.305***
<i>Flammulina velutipes</i>	10.05±0.04 <sup>a</sup>	5.05±0.36 <sup>b</sup>	1.12±0.03 <sup>c</sup>	1396.751***
	Total flavonoid contents (µg QE/g)			
	Distilled Water	70% Ethanol	95% Ethanol	F-value
<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) Que	3.97±1.10 <sup>a</sup>	5.93±1.97 <sup>a</sup>	4.37±3.82 <sup>a</sup>	0.495
<i>Pleurotus eryngii</i>	13.00±2.04 <sup>a</sup>	6.18±1.77 <sup>b</sup>	5.57±1.39 <sup>b</sup>	16.629**
<i>Flammulina velutipes</i>	6.89±2.57 <sup>b</sup>	13.49±2.65 <sup>a</sup>	11.55±0.13 <sup>ab</sup>	7.613*

<sup>1)</sup>Mean±SD

<sup>2)</sup>Different letters within the same row (a-b) differ significantly (p<0.05).

<sup>3)</sup>\*p<0.05 \*\*p<0.01 \*\*\*p<0.001.



<Figure 2> DPPH Free radical scavenging of distilled water and ethanol extracts at 5,000 µg/g from *Pleurotus ostreatus (Jacq.) Que*, *Pleurotus eryngii* and *Flammulina velutipes*. Means with different letters (a-b) within the same activity are significantly different (p<0.05).

보고하여 본 연구보다 낮은 폴리페놀 함량을 나타내었다. 이러한 총 폴리페놀 함량의 차이는 추출온도와 시간에 영향을 받은 것으로 사료되며 Sun et al.(2011)은 고장차 열수추출물 연구에서 폴리페놀의 추출량은 추출온도와 시간에 영향을 받는다고 보고한 바 있다. 한편 Choi et al.(2010)은 주요 식용 버섯 추출물 연구에서 물 추출물은 저분자와 고분자 물질이 동시에 추출되고, 에탄올 추출물의 경우에는 주로 저분자성 물질이 추출되어 추출용매의 차이가 구성 성분의 차이를 나타낸다고 보고했으며, Kim et al.(2016)은 추출용매의 ethanol 함량이 증가할수록 총 페놀 함량이 감소하는 것은 버섯의 총 폴리페놀 성분 중에 수용성 성분이 더 많기 때문이라고 보고한 바 있다. 본 연구에서도 추출용매의 ethanol 함량이 증가함에 따라 총 폴리페놀 함량이 감소한 것은 추출용매의 성질과 버섯의 수용성 폴리페놀 성분 함량 비율에 영향을 받은 것으로 사료된다. Lee et al.(2014)의 추출조건에 따른 노랑느타리 버섯 항산화 연구에서도 추출용매의 ethanol 함량이 증가할수록 총 폴리페놀 함량이 감소해 본 연구와 유사한 경향을 나타내었다.

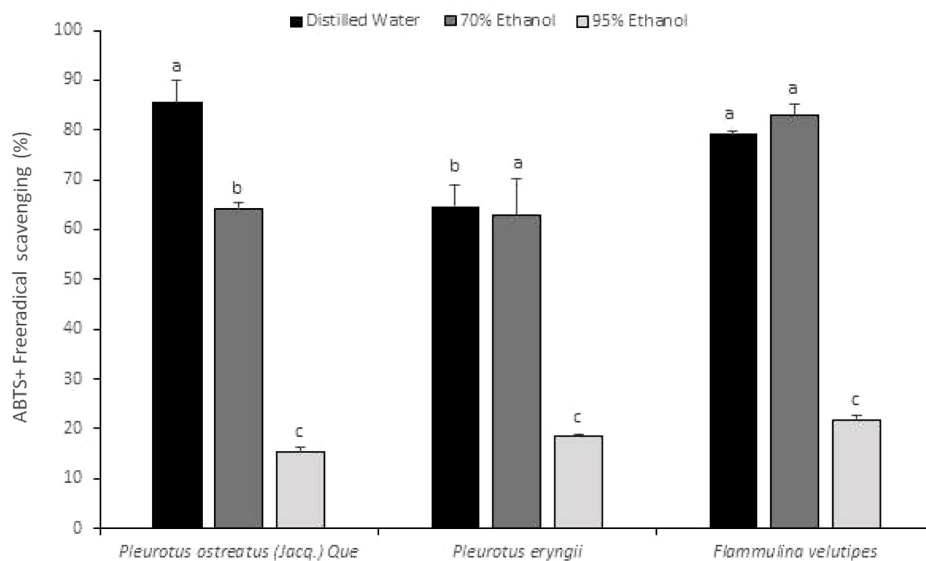
느타리버섯, 팽이버섯, 새송이버섯의 총 플라보노이드 함량은 각각 느타리버섯의 증류수, 70% ethanol, 95% ethanol 추출물의 총 폴리페놀 함량은 각각 3.97, 5.93, 4.37 µg QE/g로 새송이버섯은 각각 13.00, 6.18, 5.57 µg QE/g로 팽이버섯은 각각 6.89, 13.49, 11.55 µg QE/g로 느타리버섯은 70% ethanol 추출물이 가장 높은 플라보노이드 함량을 나타내었지만 추출 용매에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았으며, 새송이버섯은 증류수 추출물이 팽이버섯은 70% ethanol 추출물이 가장 높은 플라보노이드 함량을 나타내었

다(p<0.05). Ryu et al.(2018)의 연구에서 새송이버섯과 팽이버섯의 플라보노이드 함량은 15.21, 20.50 µg/g으로 측정되어 본 연구보다 높은 값을 나타내었으며, 느타리버섯의 경우 Kim et al.(2016)의 연구에서 플라보노이드 함량이 2.83 µg/g으로 측정되어 본 연구보다 낮은 값을 나타내었다. Middleton & Kandaswani(2009)는 플라보노이드계 물질이 화학구조에 따라 물과 ethanol에 대한 용해도가 달라진다고 보고하였는데 본 연구에서 추출용매에 따라 플라보노이드 함량이 다양하게 나타난 것은 각 버섯의 플라보노이드계 물질의 화학구조의 차이에 의한 것으로 사료된다. 한편 버섯류에는 catechin, quercetin, naringin 등의 flavonoid 성분이 함유되어 있으나 단순 페놀류, 페놀산, 페놀성 퀴논 등 non-flavonoids의 함량이 flavonoids함량보다 2배 이상 높으며 (Kim 2007) 페놀 화합물의 추출은 물과 ethanol의 극성에 따라 종류가 달라진다고 보고된 바 있다(Cho et al. 2005). 따라서 본 연구에서 버섯의 플라보노이드 함량이 총 폴리페놀 함량과 다른 경향을 나타내는 것은 버섯의 non-flavonoids 함량과 추출 조건에 따라 용출되는 성분의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

## 2. 버섯의 DPPH 라디칼 소거활성

추출용매에 따른 느타리버섯, 새송이버섯, 팽이버섯의 DPPH 라디칼 소거활성 측정 결과는 <Figure 2>에 나타내었다. DPPH 라디칼 소거활성은 자유 라디칼을 포함하는 보라색 화합물이 항산화능을 지닌 물질과 반응하면 환원되면서 탈색되는 원리를 이용한 방법으로 측정이 쉬워 널리 이용된다(Blois 1958). 느타리버섯, 새송이버섯, 팽이버섯 추출물들





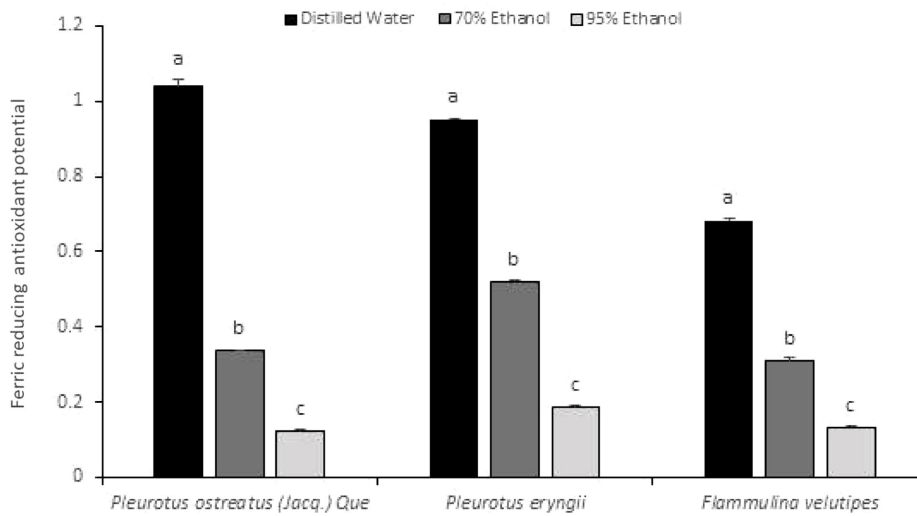
<Figure 3> ABTS<sup>+</sup> Free radical scavenging of distilled water and ethanol extracts at 5000 µg/g from *Pleurotus ostreatus (Jacq.) Que*, *Pleurotus eryngii* and *Flammulina velutipes*. Means with different letters (a-c) within the same activity are significantly different ( $p < 0.05$ ).

의 DPPH 라디칼 소거활성은 5,000 ppm의 농도에서 측정하였다. 느타리버섯의 증류수, 70% ethanol, 95% ethanol 추출물의 DPPH 라디칼 소거활성은 각각 78.72, 77.58, 46.03%로 새송이버섯은 각각 78.00, 77.71, 45.27%로 팽이버섯은 각각 79.80, 78.04, 35.84%로 측정되었으며 세 종류의 버섯 추출물 모두 증류수 추출물의 DPPH 라디칼 소거활성이 가장 높게 측정되었으며 95% ethanol 추출물의 DPPH 라디칼 소거활성이 가장 낮게 측정되었다( $p < 0.001$ ). Gheldof & Engeseth(2002)는 총 페놀화합물 함량과 항산화능은 양의 관계에 있으며 페놀화합물이 항산화능의 주요 성분이라고 보고한 바 있다, 또한 Cheung et al.(2003)도 버섯 추출물의 폴리페놀 함량이 높을 경우 안정적인 DPPH 라디칼 소거활성을 가진다고 보고하였다. 본 연구에서 세 종류의 버섯 모두 증류수 추출물이 가장 높은 DPPH 라디칼 소거활성을 나타낸 것은 총 폴리페놀 함량에 따른 것으로 사료되며 Lee et al.(2014)의 추출조건에 따른 노랑느타리 버섯 항산화 연구와 Kim & Chung(2017)의 새송이버섯 분말 첨가 양갱의 항산화 연구에서도 폴리페놀 함량이 높을수록 DPPH 라디칼 소거활성도 높게 측정되어 본 연구와 유사한 경향을 나타내었다. 또한 Kang(2012)의 팽이버섯 추출물 항산화 연구, Kim et al.(2016)의 느타리버섯 추출물 항산화 연구, Kim et al.(2006)의 새송이버섯 추출물 항산화 연구에서 물 추출물이 ethanol 추출물보다 높은 DPPH 라디칼 소거활성을 보여 본 연구와 유사한 경향을 나타내었으며 버섯의 DPPH 라디칼 소거활성에 영향을 주는 물질이 수용성일 것으로 사료된다(Cho et al. 2008).

### 3. 버섯의 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성

추출용매에 따른 느타리버섯, 새송이버섯, 팽이버섯의

ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성 측정 결과는 <Figure 3>에 나타내었다. ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성은 ABTS<sup>+</sup>와 potassium persulfate가 반응하여 생성되는 radical이 항산화능을 지닌 물질로 인해 소거되는 과정에서 탈색되는 원리를 이용하는 항산화 활성 측정법이다(Re et al. 1999). 느타리버섯, 새송이버섯, 팽이버섯 추출물들의 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성은 5,000 ppm의 농도에서 측정하였다. 느타리버섯의 증류수, 70% ethanol, 95% ethanol 추출물의 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성은 각각 85.65, 64.08, 15.28%로 새송이버섯은 각각 64.65, 62.72, 18.67%로 팽이버섯은 각각 82.84, 79.23, 21.60%로 측정되었으며 느타리버섯과, 새송이버섯은 증류수 추출물에서 가장 높은 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성을 나타내었으며 95% ethanol 추출물에서 가장 낮은 소거활성을 나타내었다( $p < 0.001$ ). 반면 팽이버섯은 70% ethanol 추출물에서 가장 높은 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성을 나타내었으며 그 다음 증류수 추출물, 95% ethanol 추출물 순서로 높은 소거활성을 나타내어 DPPH 라디칼 소거활성과는 다른 경향을 나타내었다( $p < 0.001$ ). Ryu et al.(2018)의 연구에서 새송이버섯과 팽이버섯 열수추출물의 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성은 5.0 mg/mL 농도에서 각각 74.70, 75.03%로 새송이버섯은 본 연구에서 보다 높게 팽이버섯은 본 연구와 유사한 결과를 나타내었으며, Choi & Ryu(2015)의 연구에서는 느타리버섯 물 추출물의 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성이 70.1%로 나타나 본 연구에서 보다 낮게 보고되었다. 느타리버섯의 증류수 추출물은 DPPH 라디칼 소거활성보다는 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성에 더 효과가 있는 것으로 나타났으며 70% ethanol 추출물은 그에 반대되는 결과를 나타내었다. 새송이버섯의 경우는 증류수, 70% ethanol, 95% ethanol 추출물 모두 DPPH 라디칼 소거활성에 더 효과가 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 DPPH



<Figure 4> Ferric reducing antioxidant potential of distilled water and ethanol extracts at 5000 µg/g from *Pleurotus ostreatus (Jacq.) Que*, *Pleurotus eryngii* and *Flammulina velutipes*. Means with different letters (a-c) within the same activity are significantly different (p<0.05).

와 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성이 다른 경향을 보이는 이유는 DPPH는 자유라디칼, ABTS<sup>+</sup>는 양이온 라디칼이라는 점과 각 버섯의 폐놀 물질 종류에 차이가 있어 기질에 결합하는 정도가 달라지기 때문이라고 보고된 바 있다(Wang et al. 1998). 팽이버섯의 경우 ABTS<sup>+</sup>와 DPPH 라디칼 소거활성이 유사한 값을 나타내었는데 이는 팽이버섯의 증류수 및 ethanol 추출물이 자유라디칼과 양이온라디칼을 모두 소거할 수 있는 능력이 있기 때문인 것으로 사료된다(Ryu et al. 2018).

#### 4. 버섯의 환원력

추출용매에 따른 느타리버섯, 새송이버섯, 팽이버섯의 환원력 측정 결과는 <Figure 4>에 나타내었다. 환원력은 비교적 최근 개발된 항산화능 측정 방법으로 낮은 pH에서 항산화제에 의해 Fe<sup>3+</sup>-TPTZ가 Fe<sup>2+</sup>-TPTZ로 환원되는 환원력을 이용해 항산화 활성을 측정한다(Benzie & Stain 1996). 느타리버섯, 새송이버섯, 팽이버섯 추출물들의 환원력은 5,000 ppm의 농도에서 측정하였다. 느타리버섯의 증류수, 70% ethanol, 95% ethanol 추출물의 환원력은 각각 1.042, 0.335, 0.124로 새송이버섯은 각각 0.951, 0.518, 0.186으로 팽이버섯은 각각 0.683, 0.310, 0.132로 측정되었으며 세 종류 버섯 모두 증류수 추출물에서 가장 높은 환원력을 95% ethanol 추출물에서 가장 낮은 환원력을 나타내었다(p<0.001). 환원력 측정 결과는 각 버섯의 추출용매에 따른 총 폴리페놀 함량과 유사한 경향을 나타내었는데, Osawa(1994)는 식물류에 널리 분포하는 페놀 화합물의 항산화능 및 생리활성 효과는 주로 산화, 환원력에 의한 것이라고 보고한 바 있다. Kim et al.(2016)의 느타리버섯 추출물 연구에서도 물 추출물의 총 폴리페놀 함량이 가장 높았으며 추출용매의 ethanol 함량이 증가할수록 감소하였고, 환원력 역시 ethanol 추출물

에 비해 물 추출물이 높은 환원력을 나타내어 본 연구와 유사한 경향을 나타내었다.

#### 5. 버섯의 항산화활성 비교(IC<sub>50</sub>)

버섯종류에 따른 항산화 활성 비교를 위하여 추출용매에 따른 느타리버섯, 새송이버섯, 팽이버섯의 DPPH 및 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성의 IC<sub>50</sub>과 환원력의 EC<sub>50</sub>을 <Table 2>에 나타내었다. 느타리버섯의 DPPH 라디칼 소거활성의 IC<sub>50</sub> 값은 증류수 추출물, 70% Ethanol, 95% Ethanol이 각각 2,496.96, 2,650.75, 5,045.12 µg/mL, 새송이버섯이 2,479.07, 2,610.77, 5,123.60 µg/mL, 팽이버섯이 2,451.25, 2,593.10, 6,573.56 µg/mL으로 측정되었으며 세 종류의 버섯 모두 증류수, 70% ethanol 추출물, 95% ethanol 추출물 순으로 높은 활성을 나타내었다. 또한, 새송이버섯과 팽이버섯의 증류수 추출물이 느타리버섯 증류수 추출물 보다 높은 DPPH 라디칼 소거활성을 나타내었다(p<0.001).

느타리버섯의 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성의 IC<sub>50</sub> 값은 증류수 추출물, 70% Ethanol, 95% Ethanol이 각각 2,412.55, 3,800.72, 15,541.08 µg/mL, 새송이버섯이 3,427.92, 3,594.46, 12,940.84 µg/mL, 팽이버섯이 2,868.52, 2,534.39, 11,229.77 µg/mL으로 측정되었다. 느타리버섯은 DPPH 라디칼 소거활성과 유사하게 증류수, 70% ethanol 추출물, 95% ethanol 추출물 순으로 높은 활성을 나타내었고, 새송이버섯과 팽이버섯은 95% ethanol 추출물에서 낮은 소거활성을 나타냈으며 증류수 추출물과 70% ethanol 추출물 간의 차이는 나타나지 않았다(p<0.001). ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성의 경우 느타리버섯 증류수 추출물과 팽이버섯 증류수 추출물, 70% ethanol 추출물이 가장 높은 활성을 나타내었다.

환원력의 EC<sub>50</sub> 값은 느타리버섯이 2,157.67, 4,888.66, 5,348.91 µg/mL, 새송이버섯이 2,205.67, 4,653.67, 5,178.72

**<Table 2>** DPPH, ABTS<sup>+</sup> IC<sub>50</sub> and FRAP EC<sub>50</sub> value of distilled water and ethanol extracts from *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Que, *Pleurotus eryngii* and *Flammulina velutipes*

		The half maximal inhibitory concentration (IC <sub>50</sub> ) and Half maximal effective concentration (EC <sub>50</sub> )		
		DPPH IC50 (µg/mL)	ABTS <sup>+</sup> IC50 (µg/mL)	FRAR EC50 (µg/mL)
<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) <i>Que</i>	Distilled Water	2496.96±3.68 <sup>1)2)</sup>	2412.55±14.03 <sup>e</sup>	2157.67±5.77 <sup>i</sup>
	70% Ethanol	2650.75±0.37 <sup>d</sup>	3800.72±29.69 <sup>d</sup>	4888.66±10.31 <sup>e</sup>
	95% Ethanol	5045.12±30.27 <sup>c</sup>	15541.08±501.59 <sup>a</sup>	5348.91±10.87 <sup>a</sup>
<i>Pleurotus eryngii</i>	Distilled Water	2479.07±7.87 <sup>f</sup>	3427.92±26.78 <sup>d</sup>	2205.67±2.89 <sup>h</sup>
	70% Ethanol	2610.77±9.62 <sup>de</sup>	3594.46±28.76 <sup>d</sup>	4653.67±15.28 <sup>f</sup>
	95% Ethanol	5123.60±34.45 <sup>b</sup>	12940.84±349.88 <sup>b</sup>	5178.72±10.64 <sup>c</sup>
<i>Flammulina velutipes</i>	Distilled Water	2451.25±38.02 <sup>f</sup>	2868.52±9.25 <sup>e</sup>	4572.67±15.28 <sup>g</sup>
	70% Ethanol	2593.10±3.70 <sup>e</sup>	2534.39±8.96 <sup>e</sup>	4985.42±10.42 <sup>d</sup>
	95% Ethanol	6573.56±8.45 <sup>a</sup>	11229.77±261.23 <sup>c</sup>	5273.15±6.51 <sup>b</sup>
F-value		17686.493 <sup>***3)</sup>	1640.966 <sup>***</sup>	43257.527 <sup>***</sup>

1)Mean±SD

2)Different letters within the same row (a-b) differ significantly (p&lt;0.05).

3)\*p&lt;0.05 \*\*p&lt;0.01 \*\*\*p&lt;0.001.

µg/mL, 팽이버섯이 4,572.67, 4,985.42, 5,273.15 µg/mL으로 측정되었다. 느타리버섯과 새송이버섯은 증류수 추출물이 각각 2,157.67, 2,205 µg/mL로 70% ethanol, 95% ethanol 추출물 보다 높은 활성을 나타내었고 팽이버섯의 경우 유사한 경향을 나타내었으나 추출조건에 따른 값의 차이가 다른 두 시료에 비해 상대적으로 크지 않았다. 또한, 느타리버섯의 증류수 추출물이 가장 높은 환원력을 나타내었으며 그 다음으로 새송이버섯의 증류수 추출물이 높은 활성을 나타내었다(p<0.001).

세 종류의 버섯 모두 증류수 추출물에서 가장 높은 항산화 활성을 나타내었는데 이는 앞서 언급했듯 항산화능의 주요 성분인 총 페놀화합물의 추출 정도에 따른 차이에 기인한 것으로 사료되며 총 페놀화합물 함량과 항산화능은 양의 관계에 있다고 보고된 바 있다(Gheldof & Engeseth 2002). 결과적으로 느타리버섯, 팽이버섯, 새송이버섯을 증류수로 추출 하는 것이 ethanol 추출물보다 총 폴리페놀의 함량을 높일 수 있으며 이에 따라 DPPH 및 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성, 환원력 등의 항산화능을 나타내어 천연 항산화제로 활용 가치가 높을 것으로 사료된다. 또한, 세 종류의 버섯 중 느타리버섯의 증류수 추출물이 DPPH 및 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성과 환원력 등에서 높은 항산화활성을 나타냈다.

## 6. 버섯의 페놀화합물과 항산화활성의 상관관계

추출용매에 따른 느타리버섯, 새송이버섯, 팽이버섯의 총 폴리페놀 함량, 총 플라보노이드 함량, DPPH 라디칼 소거활성, ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성, 환원력 간의 상관관계는 <Table 3>에 나타내었다. 느타리버섯의 총 폴리페놀 함량과 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성, 환원력간의 상관관계는 각각

$r=0.835$ ,  $r=0.994$  (p<0.01)로 양의 상관성을 보였으며, DPPH 라디칼 소거활성과 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성, 환원력 간의 상관관계도  $r=0.691-0.936$  (p<0.01)으로 양의 상관성을 나타내었다. ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성과 환원력 간의 상관성은  $r=0.863$  (p<0.01)으로 양의 상관성을 나타내었으며, 총 플라보노이드 함량과 총 폴리페놀 함량, DPPH 및 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성, 환원력 간의 상관관계는  $r=-0.076-0.135$ 로 상관성이 없는 것으로 나타났다.

새송이버섯의 총 폴리페놀 함량과 플라보노이드, DPPH 및 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성, 환원력 간의 상관성은  $r=0.792-0.997$  (p<0.01)로 양의 상관성을 나타내었으며, 총 플라보노이드 함량과 환원력 간의 상관성은  $r=0.860$  (p<0.01)으로 양의 상관관계를 나타내었으나 DPPH 및 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성 간의 상관성은 없는 것으로 나타났다. 새송이의 DPPH 라디칼 소거활성과 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성, 환원력 간의 상관관계는  $r=0.970-0.841$  (p<0.01)로 양의 상관성을 나타내었으며 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성과 환원력 간의 상관관계도  $r=0.833$  (p<0.01)로 양의 상관성을 나타내었다.

팽이버섯의 총 폴리페놀 함량과 DPPH 및 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성, 환원력 간의 상관성은  $r=0.796-0.991$  (p<0.01)로 양의 상관성을 나타내었으며 총 플라보노이드 함량과 총 폴리페놀 함량, DPPH 및 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성, 환원력 간의 상관성은 없는 것으로 나타났다. DPPH 라디칼 소거활성과 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성, 환원력 간의 상관관계는  $r=0.770-0.993$  (p<0.01)으로 나타났으며 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성과 환원력 간의 상관관계는  $r=0.711$  (p<0.01)로 나타낸 양의 상관관계를 보였다.

본 연구 결과 버섯 추출물의 항산화능은 새송이버섯과 팽

<Table 3> Correlation between total phenol content (TPC), total flavonoid content (TFC), DPPH free radical scavenging activity (DPPH), ABTS<sup>+</sup> radical cation scavenging activity (ABTS<sup>+</sup>), Ferric reducing antioxidant potential (FRAP) of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Que, *Flammulina velutipes* and *Pleurotus eryngii* extracts from various extraction condition

	Pleurotus ostreatus (Jacq.) Que				
	Total polyphenol contents	Total flavonoid contents	DPPH free radical scavenging activity	ABTS <sup>+</sup> radical cation scavenging activity	Ferric reducing antioxidant potential
Total polyphenol contents	1.000				
Total flavonoid contents	-0.204	1.000			
DPPH free radical scavenging activity	0.633	0.125	1.000		
ABTS <sup>+</sup> radical cation scavenging activity	0.835**	0.000	0.936**	1.000	
Ferric reducing antioxidant potential	0.994**	-0.176	0.691*	0.863**	1.000
	Pleurotus eryngii				
	Total polyphenol contents	Total flavonoid contents	DPPH free radical scavenging activity	ABTS <sup>+</sup> radical cation scavenging activity	Ferric reducing antioxidant potential
Total polyphenol contents	1.000				
Total flavonoid contents	0.876**	1.000			
DPPH free radical scavenging activity	0.805**	0.564	1.000		
ABTS <sup>+</sup> radical cation scavenging activity	0.792*	0.547	0.970**	1.000	
Ferric reducing antioxidant potential	0.997**	0.860**	0.841**	0.833**	1.000
	Flammulina velutipes				
	Total polyphenol contents	Total flavonoid contents	DPPH free radical scavenging activity	ABTS <sup>+</sup> radical cation scavenging activity	Ferric reducing antioxidant potential
Total polyphenol contents	1.000				
Total flavonoid contents	-0.616	1.000			
DPPH free radical scavenging activity	0.846**	-0.212	1.000		
ABTS <sup>+</sup> radical cation scavenging activity	0.796**	-0.159	0.993**	1.000	
Ferric reducing antioxidant potential	0.991**	-0.696*	0.770*	0.711*	1.000

Significant at p<0.01 among groups by linear regression analysis and correlation coefficient comes between -1 and 1.

\*\*p<0.01 \*p<0.05

이버섯의 경우 총 폴리페놀 성분의 DPPH 및 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성 및 산화·환원 작용에 의한 것으로 사료되며 느타리버섯의 항산화능은 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성 및 산화·환원작용의 영향이 큰 것으로 사료된다. Qi et al.(2013)은 총 폴리페놀 함량이 라디칼 소거활성에 따른 항산화 활성과 높은 상관성을 보인다고 보고한 바 있으며, Hong et al. (2012)의 버섯의 부위별 항산화 연구와 Kim et al.(2016)의 느타리 버섯 추출물 항산화 연구에서도 버섯에 함유된 총 페놀함량과 DPPH 및 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성 간 양의 상관관계를 나타내어 본 연구와 유사한 경향을 나타내었다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 대표적인 식용버섯인 느타리버섯, 새송이버섯, 팽이버섯의 최적의 용매 추출 방법을 알아보고 천연 항산화제로서의 활용 가능성을 향상시키기 위하여 증류수, 70%

ethanol, 95% ethanol로 추출하여 페놀화합물 함량과 항산화 활성을 분석하였다. 느타리버섯, 팽이버섯, 새송이버섯의 총 폴리페놀 함량은 세 종류의 버섯 모두 증류수 추출물에서 가장 높은 폴리페놀 함량을 나타내었고 추출용매의 ethanol 함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며(p<0.001), 총 플라보노이드 함량의 경우 느타리버섯은 추출 용매에 따른 플라보노이드 함량의 유의적인 차이는 나타나지 않았으며, 새송이버섯은 증류수 추출물이 팽이버섯은 70% ethanol 추출물이 가장 높은 플라보노이드 함량을 나타내었다(p<0.05). 버섯 추출물들의 항산화 활성 중 DPPH 라디칼 소거활성은 세 종류의 버섯 모두 증류수 추출물의 소거활성이 가장 높게 측정되었으며 95% ethanol 추출물의 DPPH 라디칼 소거활성이 가장 낮게 측정되었다(p<0.001). 느타리버섯, 새송이버섯, 팽이버섯 추출물들의 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성은 느타리버섯과, 새송이버섯이 증류수 추출물에서 가장 높은 소거활성을 나타내었으며, 팽이버섯의 경우 70% ethanol



추출물에서 가장 높은 소거활성을 나타내었다( $p < 0.001$ ). 환원력은 세 종류 버섯 모두 증류수 추출물에서 가장 높은 환원력을 95% ethanol 추출물에서 가장 낮은 환원력을 나타내었다( $p < 0.001$ ). 항산화 활성 비교를 위한 DPPH 라디칼 소거활성의  $IC_{50}$  값은 세 종류의 버섯 모두 증류수, 70% ethanol 추출물, 95% ethanol 추출물 순으로 높은 활성을 나타내었으며( $p < 0.001$ ), ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성의  $IC_{50}$  값은 느타리버섯이 증류수, 70% ethanol 추출물, 95% ethanol 추출물 순으로 높은 활성을 나타내었고, 새송이버섯과 팽이버섯은 증류수 추출물과 70% ethanol 추출물에서 높은 소거활성을 나타내었다. 또한 느타리버섯 증류수 추출물과 팽이버섯 증류수 추출물, 70% ethanol 추출물이 가장 높은 활성을 나타내었다( $p < 0.001$ ). 환원력의  $EC_{50}$  값은 느타리버섯과 새송이버섯의 증류수 추출물이 70% ethanol, 95% ethanol 추출물 보다 높은 활성을 나타내었고 팽이버섯의 경우 추출조건에 따른 값의 차이가 상대적으로 크지 않았으며, 느타리버섯의 증류수 추출물이 가장 높은 환원력을 나타내었다( $p < 0.001$ ). 항산화 성분 및 항산화 활성 측정 항목 간 상관관계를 분석한 결과 느타리버섯의 총 폴리페놀 함량과 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성, 환원력간의 상관관계는 각각  $r = 0.835$ ,  $r = 0.994$  ( $p < 0.01$ )로 새송이버섯의 총 폴리페놀 함량과 플라보노이드, DPPH 및 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성, 환원력 간의 상관관계는  $r = 0.792-0.997$  ( $p < 0.01$ )로 팽이버섯의 총 폴리페놀 함량과 DPPH 및 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성, 환원력 간의 상관성은  $r = 0.796-0.991$  ( $p < 0.01$ )로 양의 상관성을 나타내었다.

결론적으로 느타리버섯, 새송이버섯, 팽이버섯을 증류수로 추출하는 것이 버섯에 함유된 주요 생리활성 물질인 페놀 화합물의 함량을 높일 수 있으며, 이에 따라 DPPH 및 ABTS<sup>+</sup> 라디칼 소거활성, 환원력 등의 항산화 활성을 증가시켜 바람직한 것으로 사료된다.

#### 저자 정보

최진희(공주대학교 외식식품학과, 연구원&강사, 0000-0001-9337-9272)

김진성(공주대학교 외식식품학과, 학석사 연계과정, 0000-0003-3190-5497)

박종대(한국식품연구원, 책임 연구원, 0000-0003-1797-6045)

성정민(한국식품연구원, 책임 연구원, 0000-0003-1464-2648)

#### Acknowledgments

This research was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Export Promotion Technology

Development Program (617067-5) funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA).

#### Conflict of Interest

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

#### References

- An GH, Han JG, Cho JH. 2019. Antioxidant activities and  $\beta$ -glucan contents of wild mushrooms in Korea. *J. Mushroom Sci.*, 17(3):144-151
- Benzie IFF, Strain JJ. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power": The FRAP assay. *Analytical Biochem.*, 239(1):70-76
- Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*. 181:1199-1200
- Cai Y, Luo Q, Sun M, Corke H. 2004. Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional chinese medicinal plants associated with anticancer. *Life Sci.*, 74(17):2157-2184
- Cheung LM, Cheung PCK, Ooi VEC. 2003. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts. *Food chem.*, 81(2):249-255
- Cho HS, Lee HJ, Lee SJ, Shin JH, Lee HU, Sung NJ. 2008. Antioxidative effects of *Pleurotus eryngii* and its by-products. *J. Life Sci.*, 18(10):1360-1368
- 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(6):970-975
- Choi HY, Ryu HS. 2015. Antioxidant and anticancer effects of water extract from *Pleurotus ostreatus*. *Korean J. Food Nutr.*, 28:60-65
- 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
- Gheldof N, Engeseth NJ. 2002. Antioxidants capacity of honeys from various flora sources based on the determination of oxygen radical absorbance capacity and inhibition of vitro lipoprotein oxidation in human serum samples. *J. Agric. Food Chem.*, 50(10):3050-3055
- Hong MH, Jin YJ, Pyo YH. 2012. Antioxidant properties and ubiquinone contents in different parts of several commercial mushrooms. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 41(9):1235-1241
- Im CH, Kim MK, Kim KH, Cho SJ, Lee JJ, Joung WK, Lee SD, Choi YJ, Ali A, Ryu JS. 2014. Breeding of *Pleurotus eryngii* with a high temperature tolerance trait. *Korea J. Mushroom Sci.*, 12(3):187-192
- Jang MJ, Lee YH, Kim JH, Ju YC. 2011. Effect of LED light on primordium formation, morphological properties, ergosterol

- Content and antioxidant activity of fruit body in *Pleurotus eryngii*. Korean J. Mycol., 39(3):175-179
- Jung IC, Park S, Park KS, Ha HC, Kim SH, Kwon YI, Lee JS. 1996. Antioxidative effect of fruit body and mycelial extracts of *pleurotus ostreatus*. Korean J. Food Sci. Technol., 28(10):464-469
- 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) singer. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr., 41(8):1072-1078
- Kang MS, Kang TS, Kang AS, Shon HR, Sung JM. 2000. Studies on mycelial growth and artificial cultivation of *pleurotus eryngii*. Korean J. Mycol., 28(2):73-80
- 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(2):86-90
- Kawai J, Andoh T, Ouchi K, Inatomi S. 2014. *Pleurotus eryngii* ameliorates lipopolysaccharide-induced lung inflammation in mice. Evid-Based Comple. Alter. Med., 2014:1-7
- Kim HJ, Ahn MS, Kim GH, Kang MH. 2006. Antioxidative and antimicrobial activities of *pleurotus eryngii* extracts prepared from different aerial part. Korean J. Food Sci. Technol., 38(6):799-804
- Kim KO, Ryu HS. 2018. The effects of *Flammulina velutipes* water extract on the activation of spleen cell and macrophage in mice. Korean J. Food Nutr., 31(2):236-241
- Kim MH, Jeong EJ, Kim YS. 2016. Studies on the antioxidative activities and active components of the extracts from *Pleurotus ostreatus*. J. Food Hyg. Saf., 31(2):119-125
- Kim MJ, Chu WM, Park EJ. 2012. Antioxidant and antigenotoxic effects of shiitake mushrooms affected by different drying methods. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr., 41(8):1041-1048
- Kim MJ, Chung HJ. 2017. Quality characteristics and antioxidant activities of *Yanggaeng* added with *Pleurotus eryngii* powder. J. East Asian Soc. Diet. Life., 27(1):69-77
- Kim MY. 2007. Comparison of comparison of free amino acids, mono-and disaccharides, and phenolic compounds concentration, and antioxidant activities on edible medicinal mushrooms. Master's Thesis, Kunkuk Univ, Korea, pp 60-65
- Kim NM, Park JD, Choi YS, Lee MH, Sung JM. 2020. Antioxidant activity of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* hot water extracts by drying methods. Korean J. Food Nutr., 33(1):64-73
- Kim YS. 1998. Quality of wet noodle prepared with wheat flour and mushroom powder. Korean J. Food Sci. Technol., 30(6):1373-1380
- Krik PM, Cannon PF, David JC, Stalpers JA. 2001. Ainsworth and bisby's dictionary of the fungi. CABI Publishing 9<sup>th</sup>ed. Sao paulo, Brazil, pp 650-660
- Lee HD, Yoon HS, Lee WO, Jeong H, Cho KH, Park WK. 2003. Estimated gas concentrations of MA(Modified Atmosphere) and changes of quality characteristics during the MA storage on the oyster mushroom. Korean J. Food Preserv., 10(1):16-22
- 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(6):836-841
- Lee JS. 2018. Quality characteristics and antioxidative activity of *Flammulina velutipes* according to cooking methods. Korean J. Food Cook. Sci., 34(2):195-200
- Lin JT, Liu CW, Chen YC, Hu CC, Juang LD, Shiesh CC, Yang DJ. 2014. Chemical composition, antioxidant and anti-inflammatory properties for ethanolic extracts from *Pleurotus eryngii* fruiting bodies harvested at different time. LWT., 55(1):374-382
- Michalak A. 2006. Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. Pol. J. Environ. Stud., 15:523-530
- Middleton E, Kandaswami C. 1992. Effects of flavonoids on immune and inflammatory cell functions. Biochem Pharmacol., 43(6):1167-1179
- Osawa T. 1994. Novel natural antioxidants for utilization in food and biological systems. Postharvest biochemistry of plant food-materials in the tropics. Japan Sci. Soc. Press., 1:241-251
- Oyaizu M. 1986. Antioxidative activities of browning reaction prepared from glucosamine. Jpn. J. Nutr., 44:307-315
- Qi Y, Zhao X, Lim YL, Park KY. 2013. Antioxidant and anticancer effects of edible and medicinal mushrooms. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr., 42(5):655-662
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala Ananth, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radic. Biol. Med., 26(9-10):1231-1237
- Ryu HS. 2014. Enhancing effect of *Pleurotus ostreatus* extracts on mouse spleen and cytokine cells activation. Korean J. Food Nutr., 27(4):603-608
- 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(6):911-918
- Shahidi F, Nacz M. 1995. Food phenolics: sources, chemistry, effects and applications. Technomic Publishing, Lancaster, USA, pp 32-65.
- Shomori K, Yamamoto M, Afifuku I, Teramachi K, Ito H. 2009. Antitumor effects of a water-soluble extract from *Maitake* (*Grifola frondosa*) on human gastric cancer cell lines. Oncology Rep., 22(3):615-620
- Siddhuraju P, Becker K. 2007. The antioxidant and free radical scavenging activities of processed cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) seed extracts. Food Chem., 101(1):10-19
- Sun Y, Xu W, Zhang W, Hu Q, Zeng X. 2011. Optimizing the

- extraction of phenolic antioxidants from *kudingcha* made from *Ilex kudingcha* C.J. Tseng by using response surface methodology. *Sep. Purif. Technol.*, 78(3):311-320
- Swain T, Hillis WE. 1959. The phenolic constituents of *ptunus domestica* L. - The quantitative analysis of phenolic constituents. *J. Sci. Food Agric.*, 10(2):63-68
- Synytsya A, Mkov K, Synytsya A, Jablonsk I, Spvek J, Erban V, Kovkov E, opkov J. 2009. Glucans from fruitbodies of cultivated mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: structure and potential prebiotic activity. *Carbohydr. Polym.*, 76(4):548-556
- Um HJ, Kim GH. 2007. Studies on the flavonoid compositions of *Elsholtzia* spp. *Korean J. Food Nutr.*, 20(2):103-107
- Valco M, Rhodes C.J, Moncol J, Izakovic M, Mazur M. 2006. Free radicals, metals and antioxidants in oxidativestress-induced cancer. *Chem. Biol. Interact.*, 160(1):1-40
- Wang MF, Shao Y, Li JG, Zhu NQ, Rangarajan M, Lavoic EJ, Ho CT. 1998. Antioxidative phenolic compounds from sage (*Salvia officinalis*). *J. Agric. Food Chem.*, 46(12):4869-4873
- Willcox JK, Ash SL, Catignani GL. 2004. Antioxidants and prevention of chronic disease. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 44(4):275-295

---

Received October 25, 2021; revised November 16, 2021; accepted November 18, 2021