

건조 방법에 따른 느타리버섯과 새송이버섯 열수추출물의 항산화 활성

김나미 · 박종대* · 최윤상* · 이명희* · †성정민*

공주대학교 외식식품학과 석사과정, *한국식품연구원 가공공정연구단 연구원

Antioxidant Activity of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii* Hot Water Extracts by Drying Methods

NaMi Kim, Jong-Dae Park*, Yun-Sang Choi*, Myunghee Lee* and †Jung-Min Sung*

Master's Student, Major in Food Service Management and Nutrition, Kongju National University, Yesan 32439, Korea

*Researcher, Research Group of Food Processing, Korean Food Research Institute, Jeonbuk 55356, Korea

Abstract

The purpose of this study was to investigate the antioxidant activity and β -glucan content of extracts extracted by varying the temperature at 30, 55 and 80°C after hot air drying or freeze drying of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*. For the analysis antioxidant activity of each mushroom, β -glucan, total phenol, flavonoid contents, and DPPH · ABTS⁺ · Nitrite assay were measured. Also, the β -glucan content, total flavonoid content and ABTS⁺ scavenging activity increased with freeze drying rather than hot air drying, and increased with increasing extraction temperature in both mushrooms. However, the total phenol and nitrite scavenging activity increased with hot air drying rather than freeze drying, and decreased with increasing temperature in both mushrooms. DPPH scavenging activity was not significant in both mushrooms, but decreased with increasing extraction temperature. Pearson's correlations between total flavonoid content and antioxidant activities were $r=0.719-0.753$ ($p<0.01$). As a result, the β -glucan content, total flavonoid content, and ABTS radical cation scavenging activity were highest during freeze drying and extraction at 80°C. And the highest total phenol content, DPPH radical scavenging activity and nitrite scavenging activity were obtained during hot air drying and extraction at 30°C.

Key words: *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus eryngii*, β -glucan contents, antioxidant activity

서 론

버섯은 전 세계적으로 400여 종이 식용으로 이용되고 있으며, 각종 영양소를 다양하게 함유하고 있을 뿐만 아니라, 생리활성 물질들이 풍부하여 오래전부터 식용 및 약용으로 널리 이용되어져 왔다(Krik 등 2001). 우리나라에서 주로 재배되어 식용으로 이용되고 있는 버섯 중 느타리과(Pleurotaceae) 느타리속(*Pleurotus*)에 속하는 버섯은 느타리버섯(*Pleurotus ostreatus*)과 새송이버섯(큰느타리버섯, *Pleurotus eryngii*)이 대표적이다. 느타리버섯은 전 세계에서 생산되며, 육질이 연하고 필수 아미노산 및 다양한 유기산과 지방산을 함유한다고 알려져 있으며, 새송이버섯은 큰느타리버섯의 상품명으로 일반 느타리에 비해 버섯의 줄기가 길고 굵으며 다른 버

섯에 비해 수분함량이 낮아 상품성이 뛰어나다(Kim YS 1998; Hossain 등 2003; Kim 등 2005; Im 등 2014). 느타리버섯과 새송이버섯은 1970-80년대에 국내에 보급되어 점차 생산량이 증가하였으며, 2016년 기준 느타리버섯이 58,784톤을, 새송이버섯이 48,588톤을 차지하여 국내 버섯류 생산량 중 1, 2위를 차지하였다(Yoo 등 2005; MAFRA 2017).

느타리버섯속 버섯에 대한 효과로는 항산화 및 항암 활성(Choi & Ryu 2015; Ryu 등 2018), 면역 세포 활성화(Ryu HS 2014), 간암세포 억제(Kawai 등 2014), 혈당 및 혈중 콜레스테롤 감소(Kang 등 2001) 등이 보고된 바 있으며, 최근 질병 치료에 효과를 나타내는 각종 기능성 식품을 개발하는데 이용되고 있다. 버섯에 함유된 주요 생리활성 물질인 베타글루칸은 약용 버섯에 다량 함유되어 있다고 알려져 있으며, 생체

† Corresponding author: Jung-Min Sung, Researcher, Research Group of Food Processing, Korean Food Research Institute, Jeonbuk 55356, Korea. Tel: +82-31-780-9384, Fax: +82-31-780-9036, E-mail: jmsung@kfri.re.kr

방어 물질로 이용되고 세포조직의 면역 기능 활성화, 항당뇨, 항암, 혈압조절 작용을 한다고 보고된 바 있다(Chihara 등 1989; Chandrasekaran 등 2011). 또한 버섯에 함유된 생리활성 물질의 대부분은 페놀 성분으로 알려져 있다. 이와 같은 페놀 성분은 식물에만 함유되어 있는 대표적인 항산화성 물질로 산화적 손상 및 파괴, 세포의 성능 저하를 통한 노화, 발암 등을 유발하는 자유라디칼 제거 및 저해인자로 작용한다고 보고된 바 있다(Willcox 등 2004; Michalak A 2006; Valko 등 2006).

그러나 버섯은 다른 농산물에 비해 저장기간이 짧고 유통 중 부패율과 품질저하율이 높은 편에 속한다. 이는 수확이 된 후에도 호흡 및 대사작용이 왕성하여 중량감소가 빠르게 일어나 외관이 수축되고, 호흡열에 의한 품온 상승으로 변색되거나, 미생물 번식과 같은 품질 저하가 일어나기 때문이다(Lee 등 2003). 이러한 품질 저하를 최소화하기 위하여 버섯은 수확 후 저온저장, CA저장, 병조림, 염장, 통조림, 건조 등의 과정을 통해 가공되어 저장·유통되고 있다(Beit-Halachmy & Mannheim 1992; Han 등 1992). 또한 최근에는 버섯을 기능성 식품 소재로 활용하기 위하여 버섯 추출액을 건조하여 분말형태로 포장한 영양식품과 추출물 분말과 액상을 원료로 한 건강기능식품에 적용되고 있으나, 그 종류는 제한적으로 대부분 원물과 추출물의 형태로 섭취하고 있는 실정이다(Jo & Shin 2017). 이렇게 식품의 유효성분을 추출하여 기능성 식품 소재로 활용하기 위해 건조 및 추출 과정은 필수적이며, 일반적으로 식품을 건조하게 되면 영양성분 및 생리활성 뿐만 아니라, 색, 질감 등에도 영향을 끼치게 된다(Stapelfeldt 등 1997). 버섯은 건조 시 항산화 활성이 증가한다고 알려져 있으며, 주요 생리활성 성분인 베타글루칸을 얻기 위해 주로 열수추출 방법이 사용되고 있어 버섯의 유효성분을 얻기 위해 건조 및 추출 방법이 적합하다(Kim 등 2012; Jo & Shin 2017). 그러나 버섯의 건조 또는 추출 조건에 관련된 연구에는 해송이버섯(Xu 등 2007), 차가버섯(Baek 등 2012), 표고버섯(Kim 등 2012), 꽃송이버섯(Lee 등 2016), 느타리버섯류(Yeob 등 2016), 팽이버섯(Ryu 등 2018) 등으로 미미한 편이다.

본 연구에서는 기능성 성분이 다량 함유되어 있으며, 생리활성이 뛰어난 느타리버섯 속의 대표적인 식용버섯인 느타리버섯과 새송이버섯의 건조 방법과 추출 온도를 달리하여 추출한 추출물의 유효성분 함량 비교와 항산화능을 측정하여 기능성 식품 소재 개발의 기초 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료 및 시료 건조

2019년 전북지역에서 생산된 느타리버섯(PO)과 새송이버

섯(PE)을 구입하여 슬라이스하여 동결건조와 열풍건조를 실시하였다. 동결건조는 동결건조기(TFP8503, Ilshin bio base, Suwon, Korea)를 사용하여 3일간 실시하였고, 열풍 건조는 열풍건조기(HK-DO1000F, Hankuk S&I, Hwaseong, Korea)를 이용하여 65°C에서 7시간 실시하였다.

2. 추출물 제조

동결건조 및 열풍건조하여 분쇄한 느타리버섯과 새송이버섯을 시료로 이용하여 시료 1 g에 50 mL의 증류수를 사용하였다. 추출온도는 Park & Jeong(2006)의 방법을 변형하여 각각 30, 55, 80°C로 하여 3시간 동안 환류냉각추출장치(CD1090, dslab, Seoul, Korea)에서 추출하였다. 추출액은 여과지(No.1, Whatman, Maidstone, UK)로 감압여과하여 55°C에서 농축하였다. 회수한 농축액을 동결건조기(TFP8503)로 동결건조하여 -20°C에서 보관하였다. 건조 방법을 달리하여 30, 55, 80°C에서 추출한 추출물의 수율을 온도별로 구하였으며, 온도에 따른 느타리버섯의 추출수율은 열풍건조군에서 51.52%, 48.18%, 33.12%, 동결건조군에서 47.60%, 46.16%, 23.84%로 측정되었다. 새송이버섯의 추출수율은 온도에 따라 열풍건조군에서 50.04%, 38.56%, 35.30%, 동결건조군에서 47.90%, 32.46%, 30.64%로 측정되었다.

3. 베타글루칸 함량

느타리버섯과 새송이버섯 열수 추출물의 베타글루칸 함량은 Mushroom and Yeast β -Glucan Kit(Megazyme, Chicago, IL, USA)을 사용해 분석하였다. 총 글루칸 함량은 각 시료에 1.5 mL의 37% hydrochloric acid를 첨가한 후, 45분간 30°C에서 반응시켰다. 반응액에 10 mL의 증류수를 첨가하여 2시간 동안 100°C에서 가열한 후, 냉각하여 10 mL의 2 N KOH과 pH 5.0의 200 mM sodium acetate buffer를 이용하여 부피를 조정하였다. 10분간 1,500×g에서 원심분리한 상층액 0.1 mL를 취해 β -glucosidase(exo-1,3- β -glucanase) 100 U/mL와 β -glucosidase 20 U/mL를 0.1 mL의 200 mM sodium acetate buffer(pH 5.0)를 가한 뒤 510 nm에서 분광광도계(infinite[®] 2000 PRO, Tecan, Männedorf, Switzerland)를 사용하여 측정하였다. 알파글루칸 함량은 시료에 2 mL의 2 M KOH을 첨가해 냉각상태에서 20분간 반응시킨 뒤 8 mL의 1.2 M sodium acetate buffer(pH 3.8)와 0.2 mL의 Amyloglucosidase(1,630 U/mL)를 첨가하여 30분간 40°C에서 반응시킨 후 원심분리하였다. 상층액 0.1 mL를 취해 0.1 mL의 pH 5.0의 200 mM sodium acetate buffer와 3.0 mL의 GOPOD 시약을 첨가한 뒤 510 nm에서 반응액의 흡광도를 측정하였다. 베타글루칸의 함량은 총글루칸과 알파글루칸 함량의 차이로 계산한 값으로 구하였다.

$$\beta\text{-Glucan}(\% \text{ w/w}) = \text{Total glucan}(\% \text{ w/w}) - \alpha\text{-Glucan}(\% \text{ w/w})$$

4. 플라보노이드 함량

플라보노이드 함량은 Zhishen(1999) 등의 방법을 변형하여 측정하였다. 추출물 100 μL 에 증류수 500 μL 와 5% NaNO_2 30 μL 를 혼합한 후 6분간 상온에서 반응 후 10% AlCl_3 60 μL 를 혼합하고 5분간 상온에서 반응시켰다. 1 M NaOH 200 μL 와 증류수 110 μL 를 차례로 혼합한 후 4,000 rpm으로 4 $^\circ\text{C}$ 에서 5분간 원심분리시켜 96 well plate에 상등액 200 μL 씩 옮긴 후 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 Catechin(Sigma Chemical Co.)을 사용하였으며, 총 플라보노이드 함량은 시료 1 mL 중의 $\mu\text{g CE acid}(\text{mg CE/ mL})$ 로 나타내었다.

5. 총 페놀 함량

총 페놀 함량분석은 Folin-Ciocalteu colorimetric method (Choi 등 2006)을 변형하여 분석하였다. 각각의 추출물 10 μL 에 증류수 500 μL 를 혼합한 후 Folin-Ciocalteu's reagent(Sigma Chemical Co., St Louis, MO, USA) 500 μL 를 넣고 혼합하였다. 그리고 포화 Na_2CO_3 150 μL 를 넣고 혼합 후 증류수 290 μL 와 혼합하고, 상온에서 2시간 동안 반응시킨 후 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 gallic acid(Sigma Chemical Co.)를 사용하였으며, 총 페놀 화합물 함량은 시료 1 mL 중의 mg gallic acid(mg GAE/mL)로 나타내었다.

6. DPPH 라디칼 소거능

버섯 추출물의 DPPH 라디칼 소거 검정은 Blois MS(1958)의 방법을 이용하였다. DPPH 라디칼 소거능은 시료액 200 μL 에 0.8 mL의 에탄올에 용해시킨 350 μM DPPH 용액을 가하여 10초 동안 혼합한 뒤 20분 동안 상온의 암실에 방치한 다음 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조구와 시료의 흡광도 차이를 백분율(%)로 구하였고, 각 sample 별로 라디칼을 50% 저해하는 농도인 IC_{50} 를 구하였다.

7. ABTS⁺ 라디칼 소거능

ABTS⁺ 소거 활성은 Van den Berg 등(1999)의 방법을 변형하여 측정하였다. ABTS⁺ 라디칼 소거활성은 2.5 mM ABTS (2,2'-azino-bis 3-ethylbenzothiazolin-6sulfonic acid)와 1 mM AAPH(2,2'-azobis(2-amidinopropane) dihydrochloride)를 혼합하고 68 $^\circ\text{C}$ 에서 반응시킨 후 흡광도가 734 nm에서 0.7인 것을 확인한 다음 실험을 진행하였다. 각 시료 4 μL 와 ABTS 196 μL 를 혼합하고 30 $^\circ\text{C}$ 에서 10분 방치 후 734 nm에서 측정하였다. 대조구의 흡광도를 시료액 대신 에탄올을 가하여 함께 측정하여 ABTS⁺ radical 소거활성을 백분율로 나타내었다.

8. 아질산염 소거능

느타리버섯과 새송이버섯 열수 추출물의 아질산염 소거능은 Gray & Dugan(1975)의 방법으로 측정하였다. 0.1 mL의 1 mM NaNO_2 에 0.2 mL의 시료 추출물과 pH 1.2로 조정된 1 mL의 0.1 N HCl 을 넣고 1시간 동안 37 $^\circ\text{C}$ 에서 반응시킨 뒤 5 mL의 2% acetic acid, 0.4 mL의 Griess reagent(modified, G4410, Sigma Co., St Louis, MO, USA)을 혼합시킨 다음 15분간 암반응 후에 520 nm에서 흡광도를 측정하여 잔존하는 아질산염의 양을 측정하였다. 대조구는 증류수 0.4 mL를 Griess 시약 대신 넣어주었고, 이를 백분율(%)로 표기하였다.

9. 통계처리

통계분석은 SPSS Statistics(ver. 12, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 그 평균과 표준편차를 구하였고, 건조 방법에 따른 차이는 t 검정을 시행하였으며, 추출 온도에 따른 차이는 분산분석(ANOVA)을 시행한 후, 각 시료간의 차이를 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의성을 검증하였다 ($p < 0.05$). 상관관계 결과는 상관분석을 실시하여 $p < 0.05$ 수준에서 Pearson계수로 상관도를 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 베타글루칸 함량

느타리버섯(PO)과 새송이버섯(PE)을 각각 열풍건조 및 동결건조하여 30, 55, 80 $^\circ\text{C}$ 에서 열수추출한 추출물의 베타글루칸 함량을 Table 1에 나타내었다. 느타리버섯의 열풍건조 추출군과 동결건조 추출군의 베타글루칸 함량은 각각 11.66~23.25%와 16.55~31.80%로 나타났다. 느타리버섯의 베타글루칸 함량은 동결건조 추출군이 열풍건조 추출군보다 높게 나타났다($p < 0.05$), 열풍건조 추출군과 동결건조 추출군 모두 추출 온도가 높아짐에 따라 증가하였다($p < 0.001$). 새송이버섯의 열풍건조 추출군과 동결건조 추출군의 베타글루칸 함량은 각각 36.47~40.33%와 35.53~43.70%로 나타났고, 열풍건조 추출군이 동결건조 추출군보다 높게 나타났다($p < 0.05$). 새송이버섯의 열풍건조 및 동결건조 추출군 모두 추출 온도가 증가함에 따라 베타글루칸 함량도 유의적으로 증가($p < 0.05$)하여 80 $^\circ\text{C}$ 에서 추출할 경우 가장 높게 나타났다. 결과적으로 느타리버섯과 새송이버섯을 동결건조하여 80 $^\circ\text{C}$ 에서 추출할 경우 베타글루칸 함량이 가장 높게 나타났다($p < 0.05$).

Choi 등(2010)의 주요 식용버섯 연구에서 동결건조한 느타리버섯과 새송이버섯의 베타글루칸 함량은 각각 21.96%, 25.96%로 보고되었다. 식용 버섯 중 꽃송이버섯은 베타글루칸 함량이 40% 이상 함유되어 있고, 야생버섯인 한입버섯, 애기버섯속, 금빛흰구멍버섯 등도 35.8~39.5%라고 알려져 있

Table 1. β -Glucan contents of dried mushrooms extracts from various extraction temperature (Unit: %)

Extraction temperature	Hot air drying	Freeze-drying	t-value	
PO	30°C	11.66±0.03 ^{1)Cb}	16.55±1.21 ^{Ca}	7.00 ^{**}
	55°C	18.65±0.21 ^{Bb}	27.74±0.33 ^{Ba}	40.48 ^{***}
	80°C	23.25±0.35 ^{Ab}	31.80±0.02 ^{Aa}	41.80 ^{***}
	F-value	1,806.02 ^{***}	357.79 ^{***}	
PE	30°C	36.47±0.09 ^{Ca}	35.53±0.01 ^{Cb}	17.22 ^{***}
	55°C	37.89±0.27 ^{Ba}	37.15±0.28 ^{Bb}	3.24 [*]
	80°C	40.33±2.46 ^A	43.70±0.86 ^A	2.25
	F-value	5.59 [*]	204.47 ^{***}	

¹⁾ All values are mean±S.D.

^{ab} Values with different letter within a row differ significantly by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

^{A-C} Values with different letter within a column differ significantly by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

PO: *Pleurotus ostreatus*, PE: *Pleurotus eryngii*.

어 일반적인 식용 버섯과 비교 시 함유량이 높다고 보고된 바 있다(Seo 등 2016; An 등 2019). Heo 등(2014)은 생 표고버섯 분말과 55°C에서 오븐건조한 뒤 열처리시킨 표고버섯 추출액의 베타글루칸 함량을 측정 한 결과 각각 21.8±1.4%, 40.1±1.5%로 건조 및 열처리한 표고버섯의 베타글루칸 함량이 생 표고버섯 분말보다 증가한다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 동결건조하여 80°C에서 추출할 경우, 느타리버섯이 31.80%, 새송이버섯이 43.70%로 높은 함유량을 보였으며, 베타글루칸 함량이 높다고 알려진 상기 꽃송이버섯, 야생버섯들과 유사한 함량으로 나타났다. 이는 건조 방법과 추출 온도가 느타리버섯과 새송이버섯의 베타글루칸 함량에 영향을 끼친 것으로 사료된다.

2. 총 플라보노이드 함량

느타리버섯과 새송이버섯을 열풍건조 및 동결건조하여 각각 30, 55, 80°C에서 열수추출한 추출물의 총 플라보노이드 함량을 Table 2에 나타내었다. 느타리버섯의 총 플라보노이드 함량은 열풍건조 추출군에서 24.71~48.13 $\mu\text{g CE/mL}$, 동결건조 추출군에서 42.13~64.13 $\mu\text{g CE/mL}$ 로 나타났다. 느타리버섯의 총 플라보노이드 함량은 동결건조 추출군이 열풍건조 추출군보다 높게 나타났다($p<0.01$). 동결건조 및 열풍건조 추출군에서 모두 추출 온도가 높아짐에 따라 총 플라보노이드 함량이 증가하여, 80°C에서 추출한 동결건조군이 가장 높게 나타났다($p<0.001$). 새송이버섯의 총 플라보노이드 함량은 열풍건조 추출군에서 9.50~14.38 $\mu\text{g CE/mL}$, 동결건조 추

Table 2. Total flavonoid contents of dried mushrooms extracts from various extraction temperature (Unit: $\mu\text{g/mL}$)

Extraction temperature	Hot air drying	Freeze-drying	t-value	
PO	30°C	24.71±0.36 ^{1)Cb}	42.13±2.70 ^{Ca}	11.06 ^{***}
	55°C	42.65±1.38 ^{Bb}	54.54±2.87 ^{Ba}	6.47 ^{**}
	80°C	48.13±1.36 ^{Ab}	64.13±2.10 ^{Aa}	11.08 ^{***}
	F-value	349.96 ^{***}	54.87 ^{***}	
PE	30°C	9.50±0.06 ^{Cb}	11.56±0.06 ^{Ca}	40.42 ^{***}
	55°C	10.06±0.29 ^{Bb}	18.08±0.43 ^{Ba}	27.09 ^{***}
	80°C	14.38±0.17 ^{Ab}	26.50±0.33 ^{Aa}	56.80 ^{***}
	F-value	565.14 ^{***}	1,715.21 ^{***}	

¹⁾ All values are mean±S.D.

^{ab} Values with different letter within a row differ significantly by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

^{A-C} Values with different letter within a column differ significantly by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

PO: *Pleurotus ostreatus*, PE: *Pleurotus eryngii*.

출군에서 11.56~26.50 $\mu\text{g CE/mL}$ 로 나타났다. 새송이버섯 동결건조 추출군은 열풍건조 추출군보다 총 플라보노이드 함량이 높게 나타났으며($p<0.001$), 열풍 건조 및 동결건조 추출군에서 모두 추출 온도가 높아짐에 따라 유의하게 증가하여 80°C에서 추출한 동결건조군에서 가장 높게 나타났다($p<0.001$). 결과적으로 느타리버섯과 새송이버섯의 총 플라보노이드 함량은 동결건조하여 80°C에서 추출할 경우 가장 높게 나타났다($p<0.001$).

Lee 등(2005)의 연구에서 생리활성물질이 풍부하다고 알려진 차가버섯을 80, 100, 120°C에서 물로 추출하였을 때 각각 15.7 $\mu\text{g/mL}$, 22.4 $\mu\text{g/mL}$, 32.9 $\mu\text{g/mL}$ 로 나타나 추출 온도가 높아질수록 플라보노이드 함량도 높아지는 경향을 나타내어 본 연구와 유사한 경향을 보였다. Ryu 등(2018)의 연구에서 새송이 버섯의 플라보노이드 함량을 측정 한 결과, 15.21 mg/g 로 나타났으며, Kim 등(2016)의 연구에서도 느타리 버섯의 플라보노이드를 측정 한 결과 2.83 mg/g 로 나타나 본 연구보다 높은 값을 나타내었다.

버섯류에는 catechin, narginin, quercetin, rutin 등의 flavonoid 성분이 다량 함유되어 있으나, non-flavonoids의 함량이 flavonoids의 함량보다 2배 이상 높다고 보고된 바 있다(Kim MY 2007). 본 연구에서 나타난 플라보노이드 측정 결과가 총 페놀 함량과 다른 경향을 나타낸 것은 식물성 폴리페놀의 가장 큰 분류가 플라보노이드이나 non-flavonoids인 단순 페놀류와 페놀산, 페닐프로파노이드, 페놀성 퀴논 등이 포함되어 있어 추출 조건에 따라 용출된 성분에 차이가 있었기 때문이

라고 사료된다(Cho 등 2005).

3. 총 페놀 함량

느타리버섯과 새송이버섯을 열풍건조 및 동결건조하여 각각 30, 55, 80°C에서 열수추출한 추출물의 총 페놀 함량을 Table 3에 나타내었다. 느타리버섯의 열풍건조 추출군과 동결건조 추출군의 총 페놀 함량은 각각 1.54~1.74 mg GAE/mL, 0.87~1.21 mg GAE/mL로 나타났다. 느타리버섯의 총 페놀 함량은 열풍건조 추출군이 동결건조 추출군보다 높게 나타났으며($p<0.01$), 열풍건조 및 동결건조 추출군 모두 온도가 높아짐에 따라 총 페놀 함량이 낮아졌다($p<0.05$). 새송이버섯의 열풍건조 추출군과 동결건조 추출군의 총 페놀 함량은 각각 0.97~1.74 mg GAE/mL, 0.74~1.25 mg GAE/mL로 나타났다. 새송이버섯의 총 페놀 함량은 열풍건조 추출군이 동결건조 추출군보다 높게 나타났으며($p<0.05$), 열풍건조 및 동결건조 추출군 모두 온도가 높아짐에 따라 총 페놀 함량이 낮아졌다($p<0.01$). 결과적으로 느타리버섯과 새송이버섯 모두 열풍건조하여 30°C에서 추출할 경우 총 페놀 함량이 가장 높게 나타났다($p<0.01$).

Yeob 등(2016)의 연구에서 열풍건조 및 동결건조하여 5~30일 동안 발효 주정을 사용한 느타리버섯 추출물의 총 페놀 함량은 0.38~0.49 mg/mL로 나타나, 본 연구보다 낮은 값을 나타내었으나, Ryu 등(2018)의 새송이버섯 열수추출물 연구에서는 총 페놀 함량이 19.60 mg/g으로 측정되어 본 연구보다 높은 값을 나타내어 본 연구와 차이를 보였다. Kim MY

Table 3. Total phenol contents of dried mushrooms extracts from various extraction temperature (Unit: mg GAE/mL)

	Extraction temperature	Hot air drying	Freeze-drying	t-value
PO	30°C	1.74±0.06 ^{1)Aa}	1.21±0.09 ^{Ab}	8.42 ^{**}
	55°C	1.55±0.10 ^{Ba}	0.99±0.04 ^{Bb}	8.83 ^{**}
	80°C	1.54±0.05 ^{Ba}	0.87±0.07 ^{Bb}	13.37 ^{***}
	F-value	6.91 [*]	18.41 ^{**}	
PE	30°C	1.74±0.04 ^{Aa}	1.25±0.07 ^{Ab}	11.11 ^{***}
	55°C	1.30±0.13 ^{Ba}	0.97±0.07 ^{Bb}	3.78 [*]
	80°C	0.97±0.05 ^{Ca}	0.74±0.10 ^{Cb}	3.46 [*]
	F-value	61.54 ^{***}	29.71 ^{**}	

¹⁾ All values are mean±S.D.

^{a,b} Values with different letter within a row differ significantly by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

^{A-C} Values with different letter within a column differ significantly by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

^{*} $p<0.05$, ^{**} $p<0.01$, ^{***} $p<0.001$.

PO: *Pleurotus ostreatus*, PE: *Pleurotus eryngii*.

(2007)의 연구에 따르면 느타리버섯의 주요 페놀 화합물은 Myricetin, Chlorogenic acid, Protocatechuic acid, Homogentisic acid이며, 새송이버섯의 주요 페놀 화합물은 Protocatechuic acid, Naringin, Gallic acid라고 보고된 바 있다. 이와 같은 페놀 화합물은 화학적 구조 및 추출 온도·시간·용매 등에 따라 달라지며, 식품 내의 주요 페놀 성분은 열처리를 포함한 가공 과정 중 여러 요인에 의해 소실된다고 알려진 바 있다(Shahidi & Nacz 1995; Cai 등 2004). 또한 Sun 등(2011)의 고정차 열수추출물 연구에서 추출 온도가 높아질수록 총 페놀 함량의 추출량이 증가하나, 90°C 이상에서 추출 시 감소하며, 추출 시간도 길어질수록 추출량이 증가하나 30분 이상 추출 시 서서히 감소한다고 보고한 바 있다. 따라서 본 실험에서 느타리버섯과 새송이버섯의 건조방법과 추출온도를 달리하여 추출하였을 때, 건조 조건에 관계없이 30°C에서 가장 높은 총 페놀 함량을 나타낸 것은 보다 높은 온도인 55~80°C에서 3시간 추출 시 시간 경과에 따라 30°C에서 추출할 때보다 열로 인한 총 페놀 화합물의 손실이 증가한 것으로 사료된다.

4. DPPH 라디칼 소거능

느타리버섯과 새송이버섯의 건조 방법을 달리하여 각각 30, 50, 80°C에서 추출한 추출물의 DPPH 라디칼을 50% 소거하는 농도인 IC₅₀을 구하여 Table 4에 나타내었다. 항산화 물질은 활성 라디칼 전자를 공여해 식물 중의 항산화 효과나 인체 노화 억제에 의해 이용되며, 그 중 DPPH는 분자 내에 안정적인 라디칼을 함유하나, 항산화 물질과 반응하여 라디칼이 소거되며, DPPH가 감소하는 정도로 시료의 항산화 활성을 측정하는 것으로 알려져 있다(Jeon 등 2009; Lee 등

Table 4. DPPH IC₅₀ value of dried mushrooms extracts from various extraction temperature (Unit: mg/mL)

	Extraction temperature	Hot air drying	Freeze-drying	t-value
PO	30°C	19.18±3.12 ^{1)NS}	23.54±3.78	1.55
	55°C	19.53±3.64	23.61±4.27	1.26
	80°C	19.63±3.12	23.74±3.70	1.47
	F-value	0.02	0.00	
PE	30°C	36.58±4.31 ^{NS}	39.40±2.07	1.02
	55°C	36.89±3.70	40.01±2.66	1.19
	80°C	37.09±4.32	40.76±1.71	1.37
	F-value	0.01	0.29	

¹⁾ All values are mean±S.D.

NS: Not significantly.

IC₅₀ value were defined as the concentration which inhibits 50% of biological activity.

PO: *Pleurotus ostreatus*, PE: *Pleurotus eryngii*.

2009). 느타리버섯 열풍건조 추출군과 동결건조 추출군의 IC₅₀은 각각 19.18~19.63 mg/mL, 23.54~23.74 mg/mL로 나타났다. 느타리버섯 추출물의 IC₅₀은 유의적이지 않았으나, 열풍건조군이 동결건조군보다 높은 IC₅₀값을 나타내었으며, 추출 온도가 높아짐에 따라 IC₅₀이 다소 감소하는 경향을 보였다. 새송이버섯 추출물의 IC₅₀은 열풍건조 추출군, 동결건조 추출군에서 각각 36.58~37.09 mg/mL, 39.40~40.76 mg/mL로 나타났다. 새송이버섯의 IC₅₀은 유의적이지 않았으나 열풍건조군이 동결건조군보다 높게 나타났으며, 추출 온도가 높아짐에 따라 IC₅₀이 다소 감소하는 경향을 보였다. 결과적으로 느타리버섯과 새송이버섯의 IC₅₀은 열풍건조하여 30°C에서 추출할 경우 가장 높게 나타났다.

Kim 등(2012)의 연구에 따르면 버섯은 건조 전보다 건조 후 DPPH 라디칼 소거활성이 높아진다고 보고한 바 있으며, Choi 등(2004)의 노루궁뎅이 열수추출물 연구에서 DPPH 라디칼 소거활성을 측정된 결과, 추출 온도가 증가함에 따라 DPPH 라디칼 소거활성이 높아지나, 최적온도 이후 감소하는 경향을 보인다고 보고된 바 있다. 본 연구에서 DPPH 라디칼 소거능의 IC₅₀이 건조 방법 및 추출 온도에 따라 유의적인 차이가 나타나지 않은 것은 건조 전보다 후에 항산화 활성이 높아졌으며, 열처리를 거치는 과정에서 유지된 것이라고 사료된다.

5. ABTS⁺ 라디칼 소거능

건조 방법을 달리한 느타리버섯과 새송이버섯의 ABTS⁺ 라디칼 소거능을 추출 온도에 따라 측정된 값을 Table 5에 나타내었다. 느타리버섯의 ABTS⁺ 라디칼 소거능은 열풍건조 추출군에서 75.90~83.51%, 동결건조 추출군에서 64.61~79.48%로 나타났다. 느타리버섯 열풍건조 추출군이 동결건조 추출군보다 높은 ABTS⁺ 라디칼 소거능을 보였으며 ($p<0.05$), 열풍건조 및 동결건조 추출군에서 추출 온도가 증가함에 따라 ABTS⁺ 라디칼 소거능이 증가하였다($p<0.05$). 새송이버섯 추출물의 ABTS⁺ 라디칼 소거능은 열풍건조 추출군과 동결건조 추출군에서 각각 36.54~54.86%, 38.92~51.76%로 측정되었다. 열풍건조 추출군과 동결건조 추출군에서 건조 방법에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았으나, 열풍건조군에서 다소 높게 나타났다. 열풍건조 및 동결건조 추출군에서 추출 온도가 높아짐에 따라 ABTS⁺ 라디칼 소거능이 증가하는 경향을 보였다($p<0.01$). 결과적으로 느타리버섯과 새송이버섯을 열풍건조하여 추출 온도를 55°C 이상으로하여 추출할 경우 ABTS⁺ 라디칼 소거능이 가장 높게 나타났다($p<0.05$).

Ryu 등(2018)의 새송이버섯 연구와 Choi & Ryu(2015)의 느타리 버섯 연구에서 측정된 느타리버섯과 새송이버섯 추

Table 5. ABTS radical cation scavenging activity of dried mushrooms extracts from various extraction temperature

(Unit: %)

	Extraction temperature	Hot air drying	Freeze-drying	t-value
PO	30°C	75.90±0.53 ^{1)Ba}	64.61±4.48 ^{Bb}	4.23*
	55°C	83.51±2.97 ^{Aa}	71.46±5.37 ^{ABb}	3.40*
	80°C	84.74±4.81 ^A	79.48±1.52 ^A	1.81
	F-value	6.39*	9.74**	
PE	30°C	36.54±3.17 ^B	38.92±0.76 ^B	1.26
	55°C	53.55±4.01 ^A	50.04±1.31 ^A	1.44
	80°C	54.86±2.96 ^A	51.76±3.34 ^A	1.21
	F-value	26.96**	32.43**	

¹⁾ All values are mean±S.D.

^{ab} Values with different letter within a row differ significantly by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

^{A-B} Values with different letter within a column differ significantly by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

PO: *Pleurotus ostreatus*, PE: *Pleurotus eryngii*.

출물의 ABTS⁺ 라디칼 소거능은 각각 70.1%, 74.70%로 본 연구에서 측정된 느타리버섯과 유사한 결과를 나타내었고, 새송이버섯의 경우 더 높게 측정되었다. Baek 등(2012)의 연구에서 추출 온도에 따른 차가버섯 추출물의 항산화 활성 측정 결과 추출 온도가 높아짐에 따라 ABTS⁺ 라디칼 소거활성 또한 증가하여 본 연구와 유사한 경향을 나타내었다.

6. 아질산염 소거능

건조 방법을 달리한 느타리버섯과 새송이버섯의 아질산염 소거능을 각각 30, 55, 80°C로 열수추출하여 측정하였고, 그 값을 Table 6에 나타내었다. 아질산염은 아민류와 반응하여 발암성 물질인 니트로소아민을 생성하며, 아질산염 자체로도 독성을 나타내 일정 농도 이상 섭취 시 각종 증독을 일으키는 것으로 알려져 있다(Swann PF 1975). 이러한 아질산염을 제거하는 능력을 측정하기 위해 주로 이용되는 방법이 아질산염 소거능이다. 아질산염 소거능은 느타리버섯 열풍건조 추출군 및 동결건조 추출군에서 각각 46.78~58.16%, 39.58~54.13%로 측정되었다. 느타리버섯은 열풍건조 추출군이 동결건조 추출군보다 높은 아질산염 소거능을 나타내었으며 ($p<0.05$), 열풍건조 및 동결건조 추출군 모두 온도가 증가함에 따라 아질산염 소거능이 유의적으로 감소하였다($p<0.001$). 새송이버섯의 아질산염 소거능은 열풍건조 추출군과 동결건조 추출군에서 각각 34.25~38.13%, 30.60~36.31%로 측정되었다. 새송이버섯은 열풍건조 추출군이 동결건조 추출군보다 높은

Table 6. Nitrite scavenging activity of dried mushrooms extracts from various extraction temperature (Unit: %)

Extraction temperature	Hot air drying	Freeze-drying	t-value	
PO	30 °C	58.16±0.59 ^{1)Aa}	54.13±0.55 ^{Ab}	4.74 ^{**}
	55 °C	52.23±1.16 ^{Ba}	46.95±1.20 ^{Bb}	2.84 [*]
	80 °C	46.78±0.51 ^{Ca}	39.58±0.77 ^{Cb}	7.35 ^{**}
	F-value	148.63 ^{***}	203.75 ^{***}	
PE	30 °C	38.13±0.43 ^{Aa}	36.31±0.50 ^{Ab}	4.79 ^{**}
	55 °C	34.09±0.54 ^{Ba}	32.55±0.77 ^{Bb}	2.84 [*]
	80 °C	34.25±0.41 ^{Ba}	30.60±0.75 ^{Cb}	7.34 ^{**}
	F-value	73.41 ^{***}	53.70 ^{***}	

¹⁾ All values are mean±S.D.

^{a,b} Values with different letter within a row differ significantly by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

^{A-C} Values with different letter within a column differ significantly by Duncan's multiple range test ($p<0.05$).

^{*} $p<0.05$, ^{**} $p<0.01$, ^{***} $p<0.001$.

PO: *Pleurotus ostreatus*, PE: *Pleurotus eryngii*.

아질산염 소거능을 나타내었으며($p<0.05$), 열풍건조 및 동결건조 추출온도 모두 추출 온도가 증가함에 따라 감소하였다($p<0.001$). 결과적으로 느타리버섯과 새송이버섯을 열풍건조하여 30°C에서 추출하였을 때 아질산염 소거능이 가장 높게 나타났다($p<0.01$).

Yeob 등(2016)의 느타리버섯류 연구에서 자실체 주정 추출물의 아질산염을 측정된 결과 열풍건조 시 33.33~42.47%, 동결건조 시 34.47~48.40%로 나타나 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다. Lee 등(1997)은 버섯류에 함유된 페놀성 물질과 유기용매 용해물질은 항산화성, 아질산염 소거작용에 큰 영향을 미친다고 보고된 바 있으며, 본 연구에서 측정된 느타리 버섯과 새송이 버섯의 페놀성 물질과 항산화능이 아질산염 소거작용과 유사한 경향을 보여, 이와 같은 생리활성 물질이 기능성 소재로의 가치가 높을 것으로 사료된다.

7. 상관관계

건조 방법을 달리한 느타리버섯과 새송이버섯을 각각 30, 55, 80°C로 열수추출하여 측정된 총 플라보노이드 함량, 총 페놀 함량, DPPH 라디칼 소거능, ABTS⁺ 라디칼 소거능, 아질산염 소거능 간의 상관관계를 Table 7에 나타내었다. 총 플라보노이드 함량과 DPPH 및 ABTS⁺ 라디칼, 아질산염 소거능은 $r=0.514-0.753(p<0.01)$ 으로 나타나 양의 상관성을 보였으며, DPPH 라디칼 소거능과 ABTS⁺ 라디칼 및 아질산염 소거능 간의 상관성은 $r=0.863-0.905(p<0.01)$ 로 양의 상관성을 나타내었다($p<0.01$). 총 페놀 함량과 DPPH 라디칼 및 아질산

Table 7. Correlation between total flavonoid content, total phenol content, DPPH free radical scavenging activity, ABTS radical cation scavenging activity, nitrite scavenging activity of dried mushrooms extracts from various extraction temperature

	1	2	3	4	5
1. Total flavonoid contents	1.00				
2. Total phenol contents	-0.117	1.00			
3. DPPH free radical scavenging activity	0.719 ^{**}	0.449 ^{**}	1.00		
4. ABTS radical cation scavenging activity	0.753 ^{**}	0.130	0.863 ^{**}	1.00	
5. Nitrite scavenging activity	0.514 ^{**}	0.551 ^{**}	0.905 ^{**}	0.665 ^{**}	1.00

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

^{**} $p<0.01$.

염 소거능은 $r=0.449$, $0.514(p<0.01)$ 로 나타났으며, ABTS⁺ 라디칼 소거능과 아질산염 소거능의 상관성은 $r=0.665(p<0.01)$ 로 나타나 양의 상관성을 나타내었다. 이러한 결과는 Lee 등(2005)의 차가버섯 항산화능 연구에서 총 플라보노이드 함량과 DPPH 및 ABTS⁺ 라디칼 소거능 사이의 상관관계가 $r=0.882-0.977(p<0.01)$ 로 양의 상관관계를 보였다고 보고하여 본 연구와 유사한 경향을 나타내었다. 또한 An 등(2019)의 야생버섯의 항산화능 연구에서 총 페놀 함량, DPPH 라디칼 소거능, 아질산염 소거능 사이의 상관성을 분석한 결과, $r=0.758-0.951(p<0.01)$ 로 나타나 양의 상관관계를 나타내었다고 보고하여 본 연구와 유사한 경향을 나타내었으나, 본 연구에서는 상관성이 $r=0.449-0.551(p<0.01)$ 로 나타나 다소 낮은 값을 나타내었다. Qi 등(2013)은 총 폴리페놀 함량과 라디칼 소거능에 따른 항산화 활성은 밀접한 상관관계가 있다고 보고한 바 있으나, 본 연구결과에 따르면 총 페놀 함량뿐만 아니라, 플라보노이드 함량도 항산화능에 기여함을 알 수 있었다.

요약 및 결론

본 연구는 느타리버섯속에 속하는 버섯 중 느타리버섯과 새송이버섯을 각각 열풍 건조 및 동결 건조한 후 30, 55, 80°C로 온도를 달리하여 추출한 추출물의 항산화 활성과 베타글루칸 함량을 분석하고자 하였다. 실험 결과, 느타리버섯과 새송이버섯 추출물의 베타글루칸 함량과 총 플라보노이드 함량은 두 버섯 모두 동결건조군이 열풍건조군보다 높게 나타났다($p<0.05$), 추출 온도가 높아짐에 따라 증가하였다

($p < 0.05$). 또한 동결건조하여 80°C에서 추출하였을 때 각각 31.80~43.70%, 26.50~64.13 $\mu\text{g/mL}$ 로 가장 높게 나타났다. ABTS⁺ 라디칼 소거능은 느타리버섯과 새송이버섯에서 추출 온도가 높아짐에 따라 증가하였으며($p < 0.05$), 열풍건조 및 동결건조 추출군 모두 55°C 이상에서 추출하였을 때 높게 나타났다. 총 페놀 함량 및 아질산염 소거능은 두 버섯 모두 열풍건조군이 동결건조군보다 높게 나타났으며($p < 0.01$), 추출 온도가 증가함에 따라 감소하여 30°C에서 추출하였을 때 가장 높게 나타났다($p < 0.05$). DPPH 라디칼 소거능의 IC₅₀은 느타리버섯과 새송이버섯 모두 건조 방법 및 추출 온도에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 열풍건조하여 30°C에서 추출할 경우 가장 높은 IC₅₀ 값을 나타내었다. 느타리버섯과 새송이버섯의 베타글루칸 함량, 총 플라보노이드 함량, ABTS⁺ 라디칼 소거능에서는 동결건조하여 80°C에서 추출할 경우 높게 나타났으며, 총 페놀 함량, DPPH 라디칼 소거능, 아질산염 소거능에서는 열풍건조하여 30°C에서 추출할 경우에 생리활성 물질의 함량과 항산화 활성이 높게 나타났다. 또한 항산화 활성 측정 항목들 간의 상관관계를 분석한 결과 $r = 0.449 \sim 0.905$ ($p < 0.01$)로 나타나 양의 상관성을 나타내었다.

결과적으로 느타리버섯과 새송이버섯을 동결건조하여 80°C에서 추출할 경우, 버섯에 함유되어 있는 주요 생리활성 물질인 베타글루칸의 함량을 높이며, 총 플라보노이드 함량, ABTS⁺ 라디칼 소거활성 등 다양한 항산화능을 기대할 수 있어 기능성 식품 소재 개발의 기초 자료로 활용될 수 있을 것이라고 사료된다.

감사의 글

이 논문은 농림축산식품부의 재원으로 수출전략기술개발사업 (617067-5) 및 농식품수출비즈니스전략모델구축사업(319090-3) 지원을 받아 수행된 연구성과입니다.

References

- An GH, Han JG, Cho JH. 2019. Antioxidant activities and β -glucan contents of wild mushrooms in Korea. *J Mushrooms* 17:144-151
- Baek GH, Jeong HS, Kim H, Yoon TJ, Suh HJ, Yu KW. 2012. Pharmacological activity of chaga mushroom on extraction conditions and immunostimulating polysaccharide. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41:1378-1387
- Beit-Halachmy I, Mannheim CH. 1992. Is modified atmosphere packaging beneficial for fresh mushrooms? *LWT-Food Sci Technol* 25:426-432
- 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* 74:2157-2184
- Chandrasekaran G, Oh DS, Shin HJ. 2011. Properties and potential applications of the culinary-medicinal cauliflower mushroom, *Sparassis crispa* Wulf.:Fr. (Aphyllphoromycetidae): A review. *Int J Med Mushrooms* 13:177-183
- Chihara G, Maeda YY, Suga T, Hamuro J. 1989. Lentinan as a host defence potentiator (HDP). *Int J Immunother* 5:145-154
- 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 HY, Ryu HS. 2015. Antioxidant and anticancer effects of water extract from *Pleurotus ostreatus*. *Korean J Food Nutr* 28:60-65
- Choi MA, Park NY, Jeong YJ. 2004. Optimization of hot water extraction conditions from *Heridium erinaceus*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33:1068-1073
- 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
- Choi Y, Lee SM, Chun J, Lee HB, Lee J. 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of Shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chem* 99:381-387
- Gray JI, Dugan Jr LR. 1975. Inhibition of N-nitrosamine formation in model food system. *J Food Sci* 40:981-984
- Han D, Ahn BH, Shin HK. 1992. Modified atmosphere storage for extending shelf life of oyster mushroom and shiitake. *Korean J Food Sci Technol* 24:376-384
- Heo S, Jeon S, Lee S. 2014. Utilization of *Lentinus edodes* mushroom β -glucan to enhance the functional properties of gluten-free rice noodles. *LWT-Food Sci Technol* 55:627-631
- Hossain S, Hashimoto M, Choudhury EK, Alam N, Hussain S, Hasan M, Choudhury SK, Mahmud I. 2003. Dietary mushroom (*Pleurotus ostreatus*) ameliorates atherogenic lipid in hypercholesterolaemic rats. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 30:470-475
- 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. *J Mushrooms* 12:187-192
- Jeon HR, Kim MH, Son CW, Kim MR. 2009. Quality characteristics and antioxidant activity of calcium-added gallic yanggaeng. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38:195-200
- Jo HG, Shin HJ. 2017. Foods and functional foods containing mushroom, mushroom extracts, and mushroom-derived compounds. *J Mushrooms* 15:155-163
- 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
- Kawai J, Andoh T, Ouchi K, Inatomi S. 2014. *Pleurotus eryngii* ameliorates lipopolysaccharide-induced lung inflammation in mice. *J Evidence-Based Complementary Altern Med* 2014: 532389
- Kim HK, Han HS, Lee GD, Kim KH. 2005. Physiological activities of fresh *Pleurotus eryngii* extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34:439-445
- 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* 31:119-125
- Kim MJ, Chu WM, Park EJ. 2012. Antioxidant and anti-genotoxic effects of Shiitake mushrooms affected by different drying methods. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41:1041-1048
- 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 YS. 1998. Quality of wet noodle prepared with wheat flour and mushroom powder. *Korean J Food Sci Technol* 30:1373-1380
- Krik PM, Cannon PF, David JC, Stalpers JA. 2001. Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi. 9th ed. p.650. CABI Publishing
- 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 GD, Chang HG, Kim HK. 1997. Antioxidative and nitrite-scavenging activities of edible mushrooms. *Korean J Food Sci Technol* 29:432-436
- 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 mushrooms. *Korean J Food Preserv* 10:16-22
- Lee SH, Hwang IG, Nho JW, Chang YD, Lee CH, Woo KS, Jeong HS. 2009. Quality characteristics and antioxidant activity of *Chrysanthemum indicum* L., *Chrysanthemum boreale* M. and *Chrysanthemum zawadskii* K. powdered teas. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38:824-831
- Lee SO, Kim MJ, Kim DG, Choi HJ. 2005. Antioxidative activities of temperature-stepwise water extracts from *Inonotus obliquus*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34:139-147
- Michalak A. 2006. Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. *Pol J Environ Stud* 15:523-530
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs [MAFRA]. 2017. 2016 Special Crops Production Performance. pp.59-60. MAFRA
- Park NY, Jeong YJ. 2006. Quality properties of oak mushroom (*Lentinus edodes*) based on extraction conditions and enzyme treatment. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35:1273-1279
- Qi Y, Zhao X, Lim YI, Park KY. 2013. Antioxidant and anticancer effects of edible and medicinal mushrooms. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42:655-662
- 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
- Ryu HS. 2014. Enhancing effect of *Pleurotus ostreatus* extracts on mouse spleen and cytokine cells activation. *Korean J Food Nutr* 27:603-608
- 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
- Shahidi F, Naczki M. 1995. Food Phenolics: Sources, Chemistry, Effects and Applications. pp.32-65. Technomic Publishing
- Stapelfeldt H, Nielsen BR, Skibsted LH. 1997. Effect of heat treatment, water activity and storage temperature on the oxidative stability of whole milk powder. *Int Dairy J* 7:331-339
- 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* 78:311-320
- Swann PF. 1975. The toxicology of nitrate, nitrite and n-nitroso compounds. *J Sci Food Agric* 26:1761-1770

- Valko M, Rhodes CJ, Moncol J, Izakovic M, Mazur M. 2006. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chem Biol Interact* 160:1-40
- Van den Berg R, Haenen GRMM, Van den Berg H, Bast A. 1999. Applicability of an improved Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay for evaluation of antioxidant capacity measurements of mixtures. *Food Chem* 66:511-517
- Willcox JK, Ash SL, Catignani GL. 2004. Antioxidants and prevention of chronic disease. *Crit Rev Food Sci Nutr* 44:275-295
- Xu XM, Jun JY, Jeong IH. 2007. A study on the antioxidant activity of hae-songi mushroom (*Hypsizigus mamoreus*) hot water extracts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36:1351-1357
- Yeob SJ, Park HS, Kang SM, Han JG, Lee KH, Cho JH. 2016. Phenolic contents and physiological properties of *Pleurotus ostreatus* by drying method and 30% fermented ethanol extraction for different periods. *J Mushrooms* 14:215-219
- Yoo YB, Kong WS, Oh SJ, Cheong JC, Jang KY, Jhune CS. 2005. Trends of mushroom science and mushroom industry. *J Mushroom Sci Prod* 3:1-23
- 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 31 January, 2020
Revised 10 February, 2020
Accepted 19 February, 2020