

# 주요 식용버섯 가공원료의 상온 및 저온 저장에 따른 항산화 활성 변화

안기홍 · 한재구 · 김옥태 · 조재한\*

농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 버섯과

## Changes in antioxidant activity of processed edible mushrooms stored at room temperature and low temperature

Gi-Hong An, Jae-Gu Han, Ok-Tae Kim, Jae-Han Cho\*

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

**ABSTRACT:** This study investigated the changes in the antioxidant activity, nitrite scavenging activity, and  $\beta$ -glucan content of processed raw materials (*Pleurotus eryngii*, *Pleurotus ostreatus*, *Lentinula edodes*, and *Flammulina velutipes*) brought about by storage at room temperature (20-25°C) and low temperature (4°C). The results indicated that DPPH free radical scavenging activity was the lowest in air-dried and roasted samples that were stored at room temperature, with the exception of the air-dried samples of *P. eryngii* and *L. edodes*. For total polyphenol contents, all roasted samples of the edible mushrooms stored at room and low temperature decreased compared with the samples pre-storage, except for the air-dried samples of *P. eryngii*, *P. ostreatus*, and *L. edodes*. Furthermore, the ferric reducing antioxidant power and reducing power of the air-dried and roasted samples stored at room temperature and low temperature tended to increase compared to that before storage. Moreover, the  $\beta$ -glucan content in the air-dried and roasted samples stored at room temperature was significantly lower compared to that before storage, as well as to that in the samples stored at low temperature ( $p < 0.05$ ). The results of this study may help predict the degree to which biological activities in processed edible mushrooms change when stored at room temperature and/or low temperature conditions.

**KEYWORDS:** Antioxidant activity, Edible mushrooms, Processing method, Storage temperature

## 서론

버섯은 필수 아미노산, 단백질, 무기질과 같은 중요한 영양성분을 다량 함유하고 있으며 약리적으로 노화, 암 등의 원인이 되는 활성산소의 산화반응 등을 억제하여 산화 스트레스로부터 인체를 보호하는 항산화 활성을 가지고 있다(Barros *et al.*, 2007; Cho *et al.*, 2014; Hossain *et al.*, 2003; Lillian *et al.*, 2007; Manzi *et al.*, 2001). 또한 인체의 면역기능을 활성화시키는 효능을 가진 베타글루칸을 다량 함유하고 있어 항균, 항바이러스, 항종양 등의 약리적 효과가 알려져 있다(Chandrasekaran *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2015a). 이와 같이 버섯에 여러 가지 유익한 효능을 나타내는 생리활성 성분들이 존재한다는 것이 밝혀지면서 건강기능식품으로 활용도가 높아졌다. 하지만 생산된 버섯의 대부분은 생버섯으로 조리로 주로 소비되고 있으며 가공식품으로의 소비는 미비한 실정이다 (Jo *et al.*, 2009).

J. Mushrooms 2021 March, 19(1):14-22  
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2021.19.1.14>  
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853  
 © The Korean Society of Mushroom Science

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

\*Corresponding author  
 E-mail : limitcho@korea.kr  
 Tel : +82-43-871-5731

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.

국내 버섯산업의 현황과 개선과제에 대하여 계층적 분석(AHP)을 행한 결과, 버섯산업의 부문별 우선순위는 수출 및 마케팅부문이 1위, 가공부문이 2위로 분석되었으며, 소비자 선호 조사를 통한 기능성 버섯품종 개발 등 다양한 품종의 개발 및 생산과 국내외 소비자 특성과 트렌드에 맞는 신상품 제품개발의 필요성을 강조하였다(Yeom *et al.*, 2019). 또한 국내 버섯산업의 발전방향으로 내수시장이 형성되어 국내 수요를 충족시켜 고부가가치 상품을 개발하고 수출하여 단순한 버섯만이 아니라 버섯을 중심으로 한 전후방 산업까지 함께 발전하여야 한다고 하였다(Lee and Seo, 2005).

버섯은 수확 후에도 왕성한 대사작용으로 인해 이산화탄소 발생, 중량 감소, 외관수축이 발생하며 호흡열로 인한 품온 상승, 변색 및 미생물들의 번식 등의 문제로 부패하고 품질이 급속히 저하된다는 치명적인 단점이 있어 저장기간이 짧다(Hardenburg *et al.*, 1986; Kim *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2011). 이러한 단점을 극복하며 버섯들의 여러 가지 유익한 효능들을 이용한 식품원료 및 일반식품류로의 활용도가 점차 증가하고 있다(Park, 2008). 현재까지 버섯 가공원료를 이용한 버섯차, 조미료, 간편식, 음료, 빵, 면류 등의 여러 가공제품들이 연구개발 되고 있으나, 저장관련 연구들은 대부분 느타리, 팽이, 양송이 등의 생버섯을 중심으로 신선도 및 상품성을 유지시키기 위한 온도, 포장재, 예냉처리 등에 대한 연구가 주로 이루어지고 있다(Kim *et al.*, 1995; Kim *et al.*, 2015b; Kim *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2011; Oh *et al.*, 2013). 현재까지 버섯 가공원료에 대한 가공방법 연구 중 추출용매별 식용버섯의 생리활성 성분변화와 열풍건조 및 로스팅 방법을 이용한 건조방법별 생리활성 및 영양성분의 변화에 대한 연구가 진행되어 왔으며(An *et al.*, 2020a; An *et al.*, 2020b; An *et al.*, 2020c), 아직까지도 다양한 버섯 품목에 대한 추출 및 가공방법, 기능성 식품원료로서의 생리활성 성분 등의 변화, 저장 및 품질특성 등에 대한 연구와 평가는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 버섯 가공원료의 저장방법 중에서 저장 온도에 의한 가공원료의 상품성의 변화를 알아보기 위하여 국내에서 소비도 및 인지도가 높은 식용버섯인 큰느타리(*Pleurotus eryngii*), 느타리(*Pleurotus ostreatus*), 표고(*Lentinula edodes*), 팽이(*Flammulina velutipes*)의 열풍건조 및 로스팅을 통한 가공원료를 대상으로 상온 및 저온 저장 3개월 후의 시료와 저장 전의 시료와의 생리활성 성분의 변화를 알아보기 위하여 실험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 시험재료

본 연구에 사용된 큰느타리(*P. eryngii*)는 큰느타리 2호, 느타리(*P. ostreatus*)는 춘추느타리 2호이며, 표고(*L.*

*edodes*)는 산조701, 팽이(*F. velutipes*)를 사용하였으며 버섯의 자실체는 각 버섯 재배 농가들에 문의하여 직접 구하여 실험에 이용하였다.

### 열풍건조 및 로스팅 처리

각 식용버섯 시료에 대한 열풍건조는 국내에서 시판 중인 식품건조기 리quip(L'EQUIP, LD-918TH)을 사용하여 65°C에서 48시간 건조를 진행하였다. 로스팅 시료는 국내에서 커피 원두의 로스팅에 많이 이용되는 회전드럼식 로스팅 쿠키(common rotary drum type roasting cooker, CR)를 이용하여 로스팅 처리를 수행하였다. 로스팅 처리 전에 각 버섯 생시료 1,400 g을 7 mm 크기로 세절한 뒤, 온수를 이용한 대류식 열풍건조기에서 초기온도 45°C, 온수 온도 55°C로 30시간 동안 1차 건조를 시킨 후, 건조기 내의 온도를 60°C, 온수온도 70°C에서 12시간 2차 건조를 행하여 버섯시료의 수분율을 7%로 유지시켰다. 1차 및 2차 건조과정을 거친 버섯시료는 170°C의 온도에서 15 rpm/min의 회전드럼 속도 조건 하에서 로스팅을 행하였으며, 초기 버섯시료 내 여분의 수분이 수증기로 증발하기 시작하여 호화되는 과정을 거쳐 갈변화 될 때까지 로스팅 작업을 수행하였다.

### 상온 및 저온저장

각 식용버섯의 열풍건조 및 로스팅 시료는 저장을 위하여 국내 시판 중인 큐백 진공포장기(QV-100)를 이용하여 진공포장 하였다. 진공 포장된 상온저장 시료는 플라스틱 박스에 넣은 뒤 20~25°C의 실온(room temperature)에서 3개월간 저장하였으며, 진공 포장된 저온저장 시료는 플라스틱 박스에 넣은 뒤 4°C의 냉장고에 3개월간 저장하였다.

### 추출용매별 분석용 시료 제조

저장 전 및 저장 후 열풍건조 및 로스팅 시료는 분말화한 후 분말시료의 5 g을 시료의 20배(V/W)의 증류수 100 mL을 가하여 60°C 반응조에서 24시간 추출하였으며, 모든 버섯추출은 3반복으로 행하였다. 그 이후 추출액은 원심분리하여 흡입 여과하였으며, 여과액을 회전감압농축기(EYELA, Japan)를 이용하여 농축하였다. 농축된 버섯시료는 최종 1 mg/ml로 희석하여 각 분석에 이용하였다.

### DPPH 라디칼 소거능(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 버

섯추출물 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 흡광도(Varioskan LUX, Thermo Fisher Scientific, USA)를 백분율(%)로 나타내었다.

#### 총 폴리페놀 함량(Total polyphenol contents)

총 폴리페놀함량은 Folin-Denis (1912) 방법에 의하여 측정하였다. 각 버섯 추출물 0.1 ml에 folin-denis reagent 0.02 ml를 가하고 3분간 정치시킨다. 그 후 1% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0.16 ml를 첨가하고 균일하게 혼합한 뒤에 45분 간 암반응 시킨 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 acid의 표준곡선에 시료의 흡광도 측정값을 대입하여 농도를 결정하였다.

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

철환원 항산화능(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 FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O를 각각 10:1:1(v/v/v)의 비율로 혼합한 뒤 37°C 항온수조에서 가온한 것을 FRAP reagent로서 사용하였다. 버섯추출물 200 µl (1 mg/ml)에 위의 준비된 FRAP reagent 3.0 ml를 혼합한 뒤에 37°C에서 30분간 반응시킨 후 Multimode microplate reader (Varioskan LUX, Thermo Fisher 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 ml을 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(Nitrite-scavenging activity)

아질산염 소거능은 Gray와 Dugan (1975)의 방법으로 측정하였다. 1 mM NaNO<sub>2</sub> 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 용액인 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)

각 버섯의 저장 전, 상온 및 저온저장 열풍건조 및 로스팅 시료에 대한 베타글루칸 함량은 β-Glucan Assay Kit for Yeast & Mushroom (Megazyme Ltd., Wicklow, Ireland)을 이용하여 분석하였다. 흡광도 510 nm에서 측정된 토달글루칸(total glucan)과 알파글루칸(α-glucan) 측정값은 glucose 용액(1 mg/ml)을 GOPOD 시약과 반응시킨 반응액의 흡광도 값과 함께 생산회사의 홈페이지(www.megazyme.com)에 공개된 Mega-Calc 함량 계산식을 참고하여 함량(% w/w) 값으로 계산하였다. β-glucan은 total glucan 함량에서 α-glucan 함량을 제한 값으로 계산하였다.

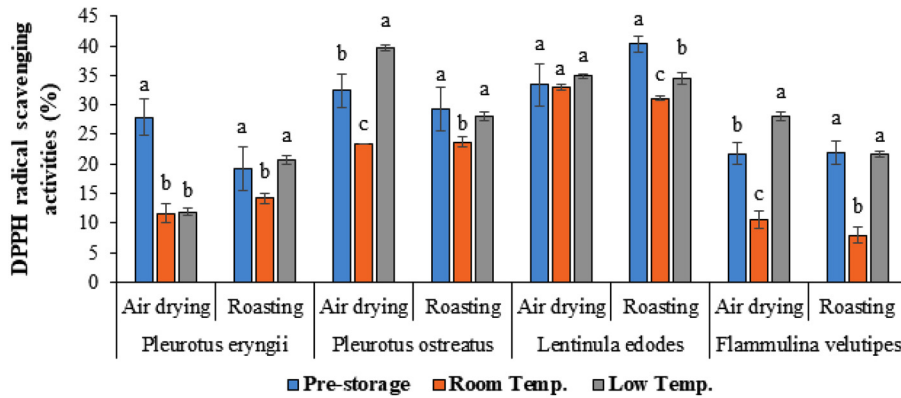
#### 통계처리

모든 실험은 3회 이상 반복 수행하였으며, 각 추출용매 별로 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

### 주요 식용버섯의 상온 및 저온저장 전후의 DPPH 라디칼 소거활성 변화

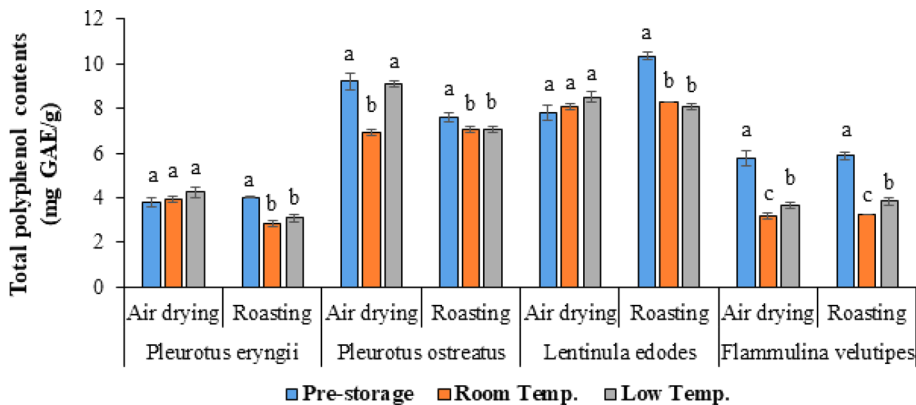
주요 식용버섯인 큰느타리(*P. eryngii*), 느타리(*P. ostreatus*), 표고(*L. edodes*), 팽이(*F. velutipes*)의 열풍건조 및 로스팅 시료에 대하여 상온(room temp.) 및 4°C 저온저장(low temp.) 전후의 DPPH 라디칼 소거활성을 분석하였다(Fig. 1). DPPH 라디칼은 진한 자색을 띠는 비교적 안정한 자유라디칼로서 항산화 물질과 반응하면 지질과산화 연쇄반응을 하여 산화성 자유라디칼이 안정한 형태로 환원되어 짙은 자색이 감소된다(Lee *et al.*, 2014; Torel *et al.*, 1986). 이러한 특성을 빛의 모니터링을 이용하여 비교적 간단하게 항산화능을 확인할 수 있는 방법으로 버섯 역시



**Fig. 1.** DPPH radical scavenging activity of extracts at 1 mg/ml concentrations of air drying and roasting edible mushrooms (*Pleurotus eryngii*, *P. ostreatus*, *Lentinula edodes*, and *Flammulina velutipes*) of pre-storage, and stored at room temperature (20-25°C) and low temperature (4°C) for 3 months. Bars with different letters show significant differences by Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ).

항산화 능력이 우수한 것으로 알려져 있다(Gardner and Fridovich, 1991). 큰느타리의 열풍건조 시료는 저장 전 약 27.9%의 DPPH 라디칼 소거활성을 보였으며 상온과 저온저장 후 활성은 각각 11.6%와 11.8%로 저장 전에 비하여 유의적으로 감소하는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). 로스팅 시료의 경우, 저장 전에 비하여 상온저장 시료의 DPPH 라디칼 소거활성이 감소하였으며, 저온저장 시료는 큰 변화는 없었다. 느타리의 열풍건조 시료는 저장 전 32.4%의 활성을 보였으며 상온저장 시료는 23.4%로 활성이 감소하였고, 저온저장 시료는 39.7%로 활성이 유의적으로 증가하는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). 로스팅 시료의 경우, 저장 전에 비하여 상온저장 시료의 활성이 감소하였으며 저온저장 시료는 큰 변화는 없었다. 표고의 로스팅 시료는 저장 전 40.3%로 가장 높은 활성을 보였으며, 저온저장 시료는 34.5%, 상온저장 시료는 31.1%로 유의적 감소를 나타냈다( $p < 0.05$ ). 팽이의 열풍건조 시료는 저

장 전 21.8%의 활성을 나타냈고 상온저장 시료는 10.5%로 활성이 감소하였으나 저온저장 시료는 28.1%로 활성이 증가하였다. 로스팅 시료는 저장전과 저온저장 시료 사이에 유의적 차이는 없었으나 상온저장 시료는 7.9%로 활성이 크게 감소하는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ). An *et al.* (2020c, 2020d)에 의하면 느타리의 열풍건조 및 로스팅 시료의 DPPH 라디칼 소거능은 약 30%이었으며, 표고는 약 40%, 팽이는 약 20%인 것으로 보고하고 있어 본 연구의 저장 전 열풍건조 및 로스팅 시료의 소거능과 비교하여 비슷한 수치인 것을 확인하였다. 하지만 가공방법 중에서 로스팅 처리를 할 경우 수용성 고형분 함량이 증가하고 다양한 성분의 변화가 일어나며 식품에서 생성된 갈변물질은 지질의 산패에 대하여 강한 항산화 활성을 가지며(Suh and Chun, 1981), 특히 DPPH에 의한 수소공여 능력이 증가된다는 보고가 있다(Park *et al.*, 1993). 하지만 본 연구에서는 표고를 제외하고 열풍건조 시료의 라디칼



**Fig. 2.** Total polyphenol contents of extracts at 1 mg/ml concentrations of air drying and roasting edible mushrooms (*Pleurotus eryngii*, *P. ostreatus*, *Lentinula edodes*, and *Flammulina velutipes*) of pre-storage, and stored at room temperature (20-25°C) and low temperature (4°C) for 3 months. Bars with different letters show significant differences by Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ).

소거능이 로스팅 처리한 시료에 비하여 높게 나타나는 것으로 확인되었다.

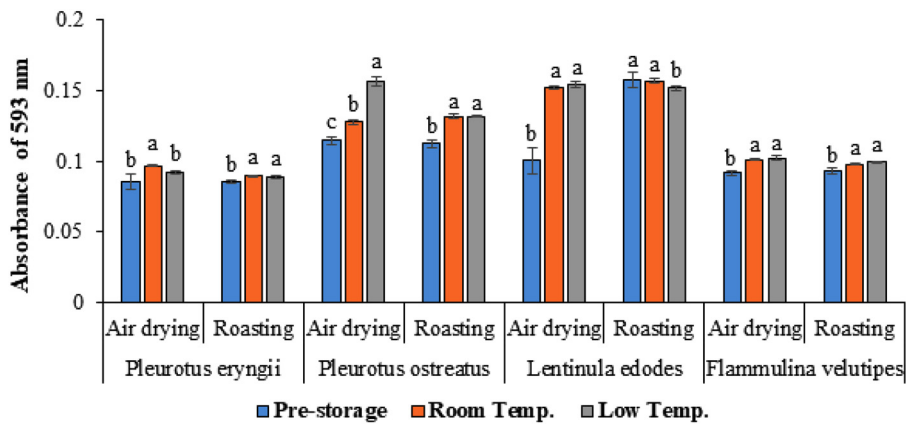
**주요 식용버섯의 상온 및 저온저장 전후의 총 폴리페놀 함량 변화**

각 주요 식용버섯의 열풍건조 및 로스팅 시료에 대하여 상온 및 저온저장 전후의 총 폴리페놀 함량을 분석하였다 (Fig. 2). 페놀성 화합물은 방향족 벤젠고리에 히드록시 그룹을 가진 화합물들을 말하고 플라보노이드, 타닌, 안토시아닌, 페놀산 등이 있으며 총 페놀 화합물은 항산화 물질의 주요성분으로 함량이 높을수록 항산화 활성이 증가된다고 알려져 있다(Ko *et al.*, 2018; Moreno *et al.*, 2006; Rice-Evans *et al.*, 1996; Seo *et al.*, 2017). 큰느타리의 열풍건조 시료는 저장 전의 시료와 상온 및 저온저장 시료의 총 폴리페놀 함량 사이의 유의적 차이는 보이지 않았으나, 로스팅 시료의 경우 상온(2.83 mg GAE/g) 및 저온저장(3.08 mg GAE/g) 시료의 함량이 저장 전(4.03 mg GAE/g)에 비하여 유의적으로 감소하는 것으로 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 느타리의 열풍건조 시료는 저장 전 시료와 저온저장 시료 사이에 유의적 차이는 없었으나 상온저장 시에 총 폴리페놀 함량이 감소하였다. 로스팅 시료는 저장 전 시료에서 7.59 mg GAE/g의 함량치가 상온 및 저온저장 시료에서 유의적으로 감소하였다 ( $p < 0.05$ ). 표고의 열풍건조 시료는 저장 전 시료와 상온 및 저온저장 시료 사이에 유의적 차이는 보이지 않았으나, 로스팅 시료의 저장 전 시료에서 10.35 mg GAE/g의 함량치를 보였으나 상온 및 저온저장 시료는 각각 8.25 mg GAE/g, 8.03 mg GAE/g으로 유의적으로 감소하는 것으로 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 팽이의 열풍건조 시료는 저장 전 5.76 mg GAE/g이었으며, 저온저장 시료와 상온저장 시료에서 각각 3.17 mg GAE/g, 3.67 mg GAE/g으로 함량치가 감소하였으며, 로스팅 시료에서도 이와 비슷한 경향을 보였다. 이전의 보고에

의하면 느타리, 표고, 팽이의 열풍건조 및 로스팅 시료 추출물 1 mg/ml 농도에서의 총 폴리페놀 함량범위는 약 5~10 mg GAE/g인 것으로 보고하고 있다(An *et al.*, 2020c; An *et al.*, 2020d). 가공방법 중, 로스팅 처리로 인한 생리활성 성분 중 폴리페놀 함량이 증가하는 것과 관련하여 maillard 반응에 의해 생성되는 갈색 반응생성물인 melanoidin 증가에 의한 것으로 기인하는 것이라고 보고하고 있으나(Do *et al.*, 1989), 본 연구결과, 표고의 저장 전 시료를 제외하고 열풍건조 저장 전 시료의 총 폴리페놀 함량이 로스팅 처리한 시료에 비하여 높게 나타나는 것으로 확인되었다.

**주요 식용버섯의 상온 및 저온저장 전후의 철환원 항산화능 변화**

주요 식용버섯의 열풍건조 및 로스팅 시료에 대하여 상온 및 저온저장 전후의 철환원 항산화능(FRAP, ferric-reducing antioxidant power)을 분석하였다(Fig. 3). 철 이온은 산화 및 환원반응을 통하여 인체 내에서 활성산소(ROS, reactive oxygen species)의 생성에 영향을 미치며, 펜톤반응(fenton reaction)을 통하여 수산화기(hydroxyl radical)를 생성한다고 보고되고 있다(Ko *et al.*, 2018). 이와 같이 철 환원 항산화능은 산성 pH에서 환원제에 의해 ferric tripyridyl-triazine [Fe(III)-TPTZ] 복합체가 ferrous tripyridyl-triazine [Fe(II)-TPTZ] 으로 환원되는 원리를 이용하는 것으로 시료 중 항산화 물질의 함량에 의존도가 높은 것으로 알려져 있다(Lee *et al.*, 2016). 큰느타리의 열풍건조 시료는 저장 전에 비하여 상온저장 시료에서 유의적인 증가가 확인되었으나 저온저장 시료와의 차이는 없었다. 로스팅 시료에서는 저장 전에 비하여 상온 및 저온저장 시료에서 항산화능이 유의적으로 증가하는 것으로 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 느타리와 팽이의 경우도 역시 열풍건조 시료와 로스팅 시료의 저장 전 시료에 비하여 상온 및



**Fig. 3.** Ferric-reducing antioxidant power of extracts at 1 mg/ml concentrations of air drying and roasting edible mushrooms (*Pleurotus eryngii*, *P. ostreatus*, *Lentinula edodes*, and *Flammulina velutipes*) of pre-storage, and stored at room temperature (20–25°C) and low temperature (4°C) for 3 months. Bars with different letters show significant differences by Duncan’s multiple range test ( $p < 0.05$ ).



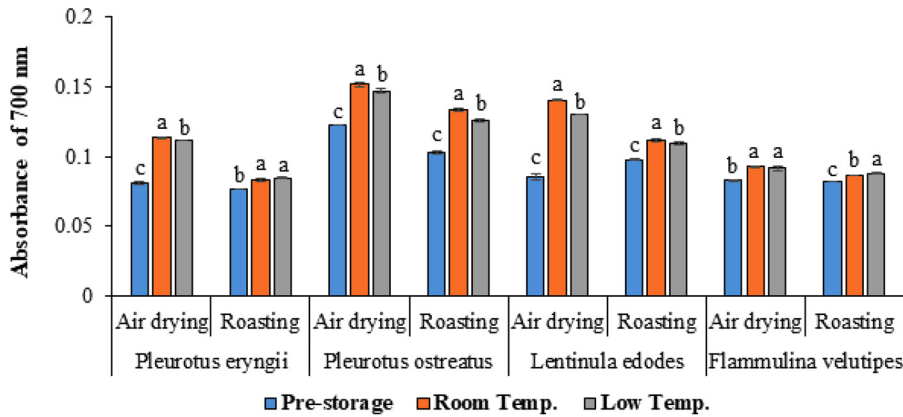


Fig. 4. Reduction power of extracts at 1 mg/ml concentrations of air drying and roasting edible mushrooms (*Pleurotus eryngii*, *P. ostreatus*, *Lentinula edodes*, and *Flammulina velutipes*) of pre-storage, and stored at room temperature (20-25°C) and low temperature (4°C) for 3 months. Bars with different letters show significant differences by Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ).

저온저장 시료에서 유의적으로 항산화능이 증가하였다 ( $p < 0.05$ ). 표고의 열풍건조 시료에서 저장 전 시료에 비하여 상온 및 저온저장 시료에서 항산화능의 증가가 확인된 반면, 로스팅 시료에서 저장 전 시료와 상온저장 시료의 유의적 차이는 없었고 저온저장 시료에서 감소하는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ).

**주요 식용버섯의 상온 및 저온저장 전후의 환원력 변화**

주요 식용버섯의 열풍건조 및 로스팅 시료에 대하여 상온 및 저온저장 전후의 환원력을 분석하였다(Fig. 4). 주요 식용버섯의 금속이온을 환원시키는 환원력은 여러 항산화 작용 중 활성산소종 및 유리기에 전자를 공여하는 능력을 일컫는다(Kim *et al.*, 2013; Song *et al.*, 2012). 환원력 측정은 항산화 활성을 검정하는 방법 중의 하나로 ferricyanide ( $Fe^{+3}$ )가 시료에 의한 환원으로 생성된

ferricyanide ( $Fe^{+2}$ )를 비색 정량하여 시료의 전자공여능인 환원력을 측정하며 환원력이 클수록 높은 흡광도를 나타내며 이는 항산화능이 높다고 평가된다(Kang *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2013). 큰느타리의 열풍건조 시료는 저장 전에 비하여 상온 및 저온저장 시료에서 유의적인 증가를 보였으며, 상온저장 시료에서 가장 높은 환원력을 나타냈다( $p < 0.05$ ). 로스팅 시료에서도 저장 전에 비하여 상온 및 저온저장 시료에서 높은 환원력을 나타냈다. 느타리와 표고의 경우에서도 열풍건조 시료와 로스팅 시료의 저장 전 시료에 비하여 상온 및 저온저장 시료에서 환원력이 유의적으로 증가하였다( $p < 0.05$ ). 팽이의 경우 열풍건조 시료에서 저장 전 시료에 비하여 상온 및 저온저장 시료에서 환원력이 증가하였고, 로스팅 시료에서는 저온저장 시료의 환원력이 가장 높았으며 상온저장 시료도 저장 전 시료와 비교하여 유의적 차이를 나타냈다( $p < 0.05$ ).

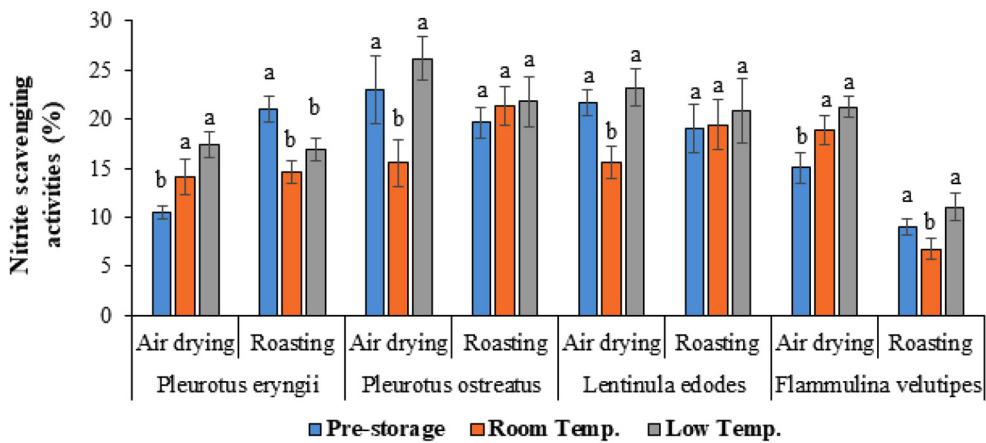


Fig. 5. Nitrite scavenging activity of extracts at 1 mg/ml concentrations of air drying and roasting edible mushrooms (*Pleurotus eryngii*, *P. ostreatus*, *Lentinula edodes*, and *Flammulina velutipes*) of pre-storage, and stored at room temperature (20-25°C) and low temperature (4°C) for 3 months. Bars with different letters show significant differences by Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ).

전체적으로 주요 식용버섯의 열풍건조 및 로스팅 시료의 환원력은 저장 전에 비하여 상온 및 저온저장 시에 증가하는 경향을 나타냈다.

**주요 식용버섯의 상온 및 저온저장 전후의 아질산염 소거능 변화**

큰느타리, 느타리, 표고, 팽이의 열풍건조 및 로스팅 시료에 대하여 상온 및 저온저장 전후의 아질산염 소거능을 분석하였다(Fig. 5). 흔히 육류 가공제품의 발색제로 사용되는 아질산염은 2급 및 3급 amine류가 존재하는 의약품, 식품, 잔류 농약 등과 반응하여 발암물질인 nitrosamine이 생성하게 되는데 체내에서 diazoalkane (C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>N<sub>2</sub>)으로 변화하여 핵산이나 단백질 또는 세포내의 성분을 알칼리화 시킴으로서 암을 유발시킨다고 알려져 있다(Choi *et al.*, 2008; Chung *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2014). 또한 아질산염을 일정 농도 이상 섭취하게 되면 헤모글로빈을 산화시켜 메트로헤모글로빈 혈증(methemoglobinemia)과 같은 중독 증상을 유발시킨다(Jung *et al.*, 2000). 큰느타리의 열풍건조 시료는 저장 전 10.5%의 소거능을 보였으며 상온 및 저온저장 시료에서 각각 14.1%, 17.4%의 소거능을 보이며 저장 전 시료(10.5%)에 비하여 유의적인 증가가 나타났다( $p<0.05$ ). 로스팅 시료의 저장 전 시료는 21.1%의 소거활성을 보였으며 상온 및 저온저장 시료에서는 소거활성이 유의적으로 감소하는 것으로 나타났다( $p<0.05$ ). 느타리의 열풍건조 시료는 저장 전 시료(23.0%)와 저온저장 시료(26.1%) 사이에 유의적 차이는 없었으나 상온저장 시(14.6%)에 활성이 감소하였다( $p<0.05$ ). 로스팅 시료의 경우 저장 전, 상온 및 저온저장 시료에서 유의적 차이는

보이지 않았다( $p<0.05$ ). 표고의 열풍건조 시료는 저장 전 시료와 저온저장 시료 사이에 차이는 없었으나 상온저장 시에 활성이 감소하였으며 로스팅 시료에서는 저장 전, 상온 및 저온저장 시료 사이에 유의적 차이는 보이지 않았다( $p<0.05$ ). 표고의 열풍건조 시료는 저장 전 시료와 저온저장 시료 사이에 유의적 차이는 없었으나 상온저장 시에 활성이 감소하였고, 로스팅 시료의 경우 저장 전, 상온 및 저온저장 시료 사이에 유의적 차이는 없었다( $p<0.05$ ). 팽이의 열풍건조 시료는 저장 전 시료에 비하여 상온 및 저온저장 시료에서 소거활성이 증가하는 것으로 나타났고 로스팅 시료의 경우 저장 전에 비하여 상온저장 시에 소거활성이 감소하였으나 저온저장 시료에서는 유의적 차이가 없었다( $p<0.05$ ). Kim *et al.* (1990)에 의하면 식품의 가공, 저장 및 조리 중에 용이하게 생성되는 maillard 반응 생성물의 아질산염 소거능이 우수하다고 보고하고 있으나, 큰느타리를 제외하고 열풍건조 저장전 시료의 아질산염 소거능이 로스팅 처리한 시료에 비하여 높게 나타나는 것으로 확인되었다.

**주요 식용버섯의 상온 및 저온저장 전후의 베타글루칸 함량 변화**

큰느타리, 느타리, 표고, 팽이의 열풍건조 및 로스팅 시료에 대한 상온 및 저온저장 전후의 베타글루칸 함량을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 버섯의 잘 알려진 약리적 효능 중의 하나는 면역력 증강이다. 이와 관련한 생리활성 물질로서 베타글루칸은 β-D-glucopyranose 단위를 기본으로 하면서 다양한 가지를 갖는 중합체로 대식세포에서 방출되는 TNF-α를 조절하여 염증을 조절하고 인간의

**Table 1.** β-glucan contents of air drying and roasting edible mushrooms (*Pleurotus eryngii*, *P. ostreatus*, *Lentinula edodes*, and *Flammulina velutipes*) of pre-storage, and stored at room temperature (20-25°C) and low temperature (4°C) for 3 months

Mushrooms	Storage	β-glucan contents (% w/w)	
		Air drying	Roasting
<i>Pleurotus eryngii</i>	Pre-storage	21.97± 0.93 b	23.05± 0.30 b
	Room temp.	19.06± 0.34 c	21.42± 0.26 c
	Low temp.	23.22± 0.39 a	24.64± 0.19 a
<i>P. ostreatus</i>	Pre-storage	21.36± 0.87 a	21.36± 0.64 b
	Room temp.	19.05± 0.00 b	19.17± 0.03 c
	Low temp.	22.11± 0.31 a	22.53± 0.53 a
<i>Lentinula edodes</i>	Pre-storage	20.48± 0.13 b	20.64± 0.43 a
	Room temp.	19.34± 0.32 c	18.63± 0.19 b
	Low temp.	21.24± 0.18 a	20.19± 0.17 a
<i>Flammulina velutipes</i>	Pre-storage	16.22± 0.60 ab	16.67± 0.27 a
	Room temp.	15.59± 0.02 b	15.57± 0.00 b
	Low temp.	16.54± 0.18 a	16.57± 0.18 a

Data are means ± SD (n=3).

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

정상적인 세포조직의 면역기능을 활발하게 하는 인터루킨(interleukin), 인터페론(interferon)의 생성을 촉진시켜 암 억제, 다양한 병원체의 감염에 대한 방어작용을 한다고 알려져 있다(Brown and Gordon, 2003; Chandrasekaran et al., 2011; Kim et al., 2015a; Ryu and Kim, 2018). 큰 느타리 열풍건조 시료의 저장 전 베타글루칸 함량은 21.97% 이었으며 상온저장 시료는 19.06%, 저온저장 시료에서는 23.22%로 저장 전에 비하여 유의적인 함량의 감소와 증가가 나타났으며, 로스팅 시료에서도 저장 전 23.05%의 베타글루칸 함량에 비하여 상온저장 시료에서는 감소하였고 저온저장 시료에서 증가하였다( $p < 0.05$ ). 느타리 열풍건조 시료의 경우 저장 전과 저온저장 시료 사이에 유의적 차이는 없었으나 상온저장 시 베타글루칸 함량이 감소하였고, 로스팅 시료에서는 저장 전 시료에 비하여 저온저장 시료의 베타글루칸 함량의 유의적 증가가 나타났다( $p < 0.05$ ). 표고 열풍건조 시료의 경우, 저온저장 시료가 저장 전 시료에 비하여 높은 함량치를 보였으며, 상온저장 시료는 낮은 함량치를 보였다. 또한 로스팅 시료에서는 저장 전(20.64%)과 저온저장 시료(20.19%) 사이의 유의적 차이는 없었으나 상온저장 시료(18.63%)에서는 함량치가 감소하였다. 팽이의 경우 상온 저장된 열풍건조 시료는 상온저장 시료와 저온저장 시료의 베타글루칸 함량치 사이에 유의적 차이를 보였으며, 로스팅 시료의 경우 저장 전 시료와 저온저장된 시료에 사이에 유의적 차이는 없었다( $p < 0.05$ ). 열, 수분 및 압력 등의 가공처리는 베타글루칸의 구조 및 형태를 변화시킬 수 있다(Aman and Graham, 1987). 특히 볶음처리의 시간에 따라 총 베타글루칸 함량은 감소하지만 수용성 베타글루칸 함량은 증가하며, 열처리에 의하여 총 및 수용성 베타글루칸 함량이 감소한다고 알려져 있다(Lee, 1996). 저온저장에 비하여 상온저장시 베타글루칸 함량의 감소는 상온저장에 의하여 베타글루칸의 일부가 감소하였을 가능성이 있을 것으로 추측한다.

## 적 요

본 연구에서는 국내에서 소비도 및 인지도가 높은 식용버섯인 큰느타리(*Pleurotus eryngii*), 느타리(*Pleurotus ostreatus*), 표고(*Lentinula edodes*), 팽이(*Flammulina velutipes*)의 열풍건조 및 로스팅 시료를 대상으로 상온(20-25°C) 및 저온저장(4°C) 3개월 후의 시료와 저장 전의 시료와의 항산화능, 아질산염 소거능 및 베타글루칸 성분 변화를 알아보기 위하여 실험을 수행하였다. DPPH 라디칼 소거능은 큰느타리와 표고의 열풍건조 시료를 제외하고 다른 열풍건조 및 로스팅 시료의 상온저장 처리가 가장 낮은 소거능을 나타냈다. 총 폴리페놀 함량은 큰느타리와 표고 열풍건조 시료를 제외하고 상온저장 시 함량치가 가장 낮았으며, 모든 식용 버섯류의 로스팅 시료에서

저장 전에 비하여 상온 및 저온저장 시에 함량이 감소하였다. 철환원 항산화능은 표고의 로스팅 시료를 제외하고 다른 버섯류의 열풍건조 및 로스팅 시료에서 저장 전에 비하여 상온 및 저온저장 시료에서 높아지는 경향이었으며, 환원력은 열풍건조 및 로스팅 시료의 상온 및 저온저장 시에 저장 전에 비하여 증가하는 경향을 나타냈다. 베타글루칸 함량의 경우, 열풍건조 및 로스팅 시료의 상온 저장된 시료에서 가장 낮은 함량치를 보였다. 본 연구의 결과는 식용버섯 가공원료의 상온 또는 저온저장 시에 버섯에 함유되어 있는 항산화, 베타글루칸 등과 같은 유용한 생리활성 성분의 변화 정도를 예측할 수 있는 기초적 자료로서 그 활용도가 높으리라 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 2020년 농촌진흥청 국립원예특작과학원 시험연구사업(과제번호 PJ013413012020)에 의하여 수행된 결과의 일부이며 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

- Aman P, Graham H. 1987. Analysis of total and insoluble mixed-linked (1→3), (1→4)-β-glucans in barley and oats. *J Agric Food Chem* 35: 704-709.
- An GH, Han JG, Cho JH. 2020a. Comparisons of biological activities and amino acid contents of edible mushrooms extracted using different solvents. *J Mushrooms* 18: 53-62.
- An GH, Han JG, Cho JH. 2020b. Changes in biological activities and nutritional contents of edible mushrooms following roasting treatment. *J Mushrooms* 18: 63-71.
- An GH, Han JG, Kim OT, Cho JH. 2020a. Changes of biological activity and nutritional content by processing methods of *Flammulina velutipes*, *Grifola frondosa*, and *Sparassis crispa*. *J Mushrooms* 18: 403-409.
- An GH, Han JG, Kim OT, Cho JH. 2020b. Changes of biological activities and nutritional contents by different extraction conditions in the mixtures of roasted edible mushrooms and grain additives for the development of mushroom tea. *J Mushrooms* 18: 344-356.
- Barros L, Baptista P, Estevinho LM, Ferreira ICFR. 2007. Effects of fruiting body maturity stage on chemical composition and antimicrobial activity of *Lacarius* sp. mushrooms. *J Agric Food Chem* 55: 4781-4788.
- 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.
- Brown GD, Gordon S. 2013. Fungal beta-glucans and mammalian immunity. *Immunity* 19: 311-315.
- Chandrasekaran G, Oh DS, Shin HJ. 2011. Properties and potential applications of the culinary-medicinal cauliflower mushrooms,



- Sparassis crispa* Wulf.:Fr. (Aphyllphoromycetidae): a review. *Int J Med Mushrooms* 13: 177-183.
- Cho JH, Park HS, Han JG, Lee GY, Sung GH, Jhune CS. 2014. Comparative analysis of antioxidant effects and polyphenol contents of the fruiting bodies in oyster mushrooms. *J Mushrooms* 12: 311-315.
- 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. *J Ind Eng Chem* 14: 765-770.
- 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.
- Do JH, Kim KH, Jang JG, Yang JW. 1989. Changes in color intensity and components during browning reaction of white ginseng water extract. *Korean J Food Sci Technol* 21: 480-485.
- Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F-test. *Biometrics* 11: 1-5.
- Folin O, Denis W. 1912. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem* 12: 239-243.
- Gardner PR, Fridovich I. 1991. Superoxide sensitivity of *Escherichia coli* 6-phosphogluconate dehydratase. *J Biol Chem* 266: 1478-1783.
- Gray JJ, Dugan Jr LR. 1975. Inhibition of N-nitrosamine formation in model food systems. *J Food Sci* 40: 981-984.
- Hardenburg RE, Watada AE, Wang CY. 1986. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. Agr Handbook No. 66. USDA
- Hossain S, Hsahimoto M, Choudhury EK, Alam N. 2003. Dietary mushroom *Pleurotus ostreatus* ameliorated atherogenic lipid in hypercholesterolaemic rats. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 30: 470-475.
- Jo WS, Hwang EK, Cho DH, Choi CD, Park SD, Jung HY. 2009. 2008 the nation opinion research to mushroom industry. *J Mushroom Sci Prod* 7: 37-43.
- Jung GT, Ju IO, Choi JS, Hong JS. 2000. The antioxidative antimicrobial and nitrite scavenging effects of *Schizandra chinensis* (Omija) seed. *Korean J Food Sci Technol* 32: 928-945.
- Kang MY, Kim SY, Yun HJ, Nam SH. 2004. Antioxidant activity of the extracts from browned oak mushroom (*Lentinus edodes*) with unmarketable quality. *Korean J Food Sci Technol* 36: 648-654.
- Kim BS, Bae NG, Kim OW, Kim DC. 1995. Freshness keeping of shiitake mushroom by vacuum cooling. *Korean J Food Sci Technol* 27: 852-859.
- Kim DH, Park SR, Debnath T, Hasnat MDA, 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 KJ, Jin SW, Chio BS, Kim JK, Koh YW, Kim ARC, Seo KS. 2015. Organic acid and quality change in *Flammulina velutipes* fruit body by various storage temperature treatments and packaging films application. *J Mushrooms* 13: 119-124.
- Kim KJ, Jin SW, Choi BS, Kim JK, Koh YW, Ban SE, Seo KS. 2016. Evaluation of the nutrition properties of *Flammulina velutipes*. *J Mushrooms* 14: 44-50.
- Kim SB, Do JR, Lee YW, Gu YS, Kim CN, Park YH. 1990. Nitrite-scavenging effects of roasted-barley extracts according to processing conditions. *Korean J Food Sci Technol* 22: 748-752.
- 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  $\beta$ -glucan. *J Mushroom Sci Prod* 13: 79-83.
- Ko HM, Eom TK, Kim KC, Kim CJ, Lee JG, Kim JS. 2018. Antioxidant effects and tyrosinase and elastase inhibitory activities of mountain ginseng adventitious roots extracts at different ethanol concentrations. *Korean J Agric Sci* 45: 499-508.
- 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 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 YH, Lee HB, Ju YC. 2011. Changes of quality in *Pleurotus ostreatus* during low-temperature storage as affected by cultivation temperature and relative humidity. *J Mushroom Sci Prod* 9: 34-38.
- Lee YT. 1996.  $\beta$ -glucans in barley and oats and their changes in solubility by processing. *Agri Chem Biotechnol* 39: 482-487.
- Lillian B, Paula B, Daniela M, Susana C, Beatriz O, Isabel C. 2007. Fatty acid and sugar compositions, and nutritional value of five wild edible mushrooms from Northeast Portugal. *Food Chem* 105: 140-145.
- Manzi P, Aguzzi A, Pizzoferrato L. 2001. Nutritional value of mushrooms widely consumed in Italy. *Food Chem* 73: 321-325.
- 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.
- Oh YL, Jang KY, Jhune CS, Kong WS, Yoo YB, Shin PG, Seo JS. 2013. Quality changes in *Agaricus bisporus* varieties due to period and temperature during their storage. *J Mushroom Sci Prod* 11: 137-144.
- 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 KM. 2008. Industrialization of mushroom functional substances. *J Mushroom Sci Prod* 6: 1-12.
- Park MH, Kim KC, Kim JS. 1993. Changes in the physicochemical properties of ginseng by roasting. *J Ginseng Res* 17: 228-231.
- Rice-Evans CA, Miller NJ, Paganga G. 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radic Biol Med* 20: 933-956.
- Ryu HW, Kim HW. 2018. Induction of dectin-1 expression and intracellular signal transduction by  $\beta$ -glucan of *Ganoderma lucidum*. *Kor J Mycol* 46: 161-176.
- 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.
- 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.
- Suh CS, Chun JK. 1981. Relationships among the roasting conditions, colors and extractable solid content of roasted barley. *Korean J Food Sci Technol* 13: 334-339.
- Torel J, Cillard J, Cillard P. 1986. Antioxidant activity of flavonoids and reactivity with peroxy radical. *Phytochemistry* 25: 383-385.
- Yeom YM, Kim DH, Yoon BS, Kim SW. 2019. Identification of issues and requirements for prioritizing the development of the mushroom industry in Korea. *J Mushrooms* 17: 255-260.