

목질진흙버섯 (*Phellinus linteus*) HN00K9 균사체 배양 대두의 단백질함량 및 항산화활성 특성

김자윤¹ · 백예린¹ · 이상호² · 강희완^{1,3,*}

¹한경국립대학교 생명공학부

²(주) 마이펄스

³한경국립대학교 유전공학연구소

Characteristics of the protein and antioxidant contents in soybeans cultured with *Phellinus linteus* HN00K9

Ja-Yoon Kim¹, Ye-Lin Baek¹, Sang-Ho Lee², and Hee-Wan Kang^{1,3,*}

¹School of Biotechnology, Division of Horticultural Biotechnology, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

²Mythings Co., Ltd., Daejeon 34139, Korea

³Institute of Genetic Engineering, Hankyong National University, Anseong 17579, Korea

ABSTRACT: In this study, the protein content and functional changes in soybeans cultured with *Phellinus linteus* HN00K9 were analyzed. *P. linteus* HN00K9 was cultured on soybeans. The crude protein content in soybeans cultured with HN00K9 (PMS) was 41.99%, which was higher than that in soybeans not cultured with the mushroom (UCS). The total free amino acid content in PMS increased to 39,963 mg/100 g, which was higher than that in UCS (36,817 mg/100 g). In particular, in PMS, glutamic acid accounted for 18.5% of the total amino acids at 7,413 mg/100 g. The total polyphenol content in PMS was 2.66 mg GAE/g, which was more than 45% higher than the amount in UCS (1.45 mg GAE/g). Additionally, PMS showed a DPPH radical scavenging activity of 33.3%, which was 3 times higher than that exhibited by UCS (11.5%), reflecting its high antioxidant content. Therefore, the PMS in this study has potential for use as a functional food material.

KEYWORDS: *Phellinus linteus* HN00K9, Soybean, Mycelial culture, Protein, Amino acids, Antioxidant

서론

목질진흙버섯 (*Phellinus linteus*, PL)은 상황버섯이라 칭하며 진흙버섯속(*Phellinus* spp.), 민주름버섯목, 소나무 비늘버섯과에 속하는 다년생 버섯이다. PL 상황버섯의 β -glucan은 자연살해세포(natural Killer, NK 세포), T-보조 세포(T-helper cell), 세포독성세포 T 세포, 대식세포 등의 인체 면역기능을 활성화하여 암세포 성장을 억제하는 것으로 알려져 있다 (Daniel, 2010; Zhu *et al.*, 2008). 국내 재배되고 있는 상황버섯은 장수상황버섯 (*P. baumii*)와 고려상황 (*P. linteus*)이 알려져 있고 대부분의 농가에서는 재배에 용이한 *P. baumii*계통이 주를 이루고 있다. 최근, 목질진흙버섯 HN00K9이 분리되어 재배 및 생리활성기능이 분석되었다(Min and Kang, 2021). HN00K9은 공시한 상황버섯 중 중에서 균사체 성장이 가장 양호하며 균사체에서 고 함량의 베타글루칸(β -glucan)과 다발리아락

J. Mushrooms 2023 September, 21(3):126-131
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2023.21.3.126>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

Ja-Yoon Kim (Ph.D course student), Ye-Lin Baek (undergraduate student), Sang-Ho Lee (CEO, Mythings Co., Ltd.), Hee-Wan Kang (Professor)

*Corresponding author

E-mail : kanghw2@hknu.ac.kr

Tel : +82-31-670-5420, Fax : +82-31-676-2602

Received August 14, 2023

Revised September 13, 2023

Accepted September 15, 2023

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.

튼, 히스피딘 등 다양한 폴리페놀을 생산하며 항염, 항암 및 항산화 활성이 높은 것으로 보고 된 바 있다(Min and Kang, 2021; Min *et al.*, 2018). 상황버섯 자실체는 원목 재배로 생산되고 있으며 2-3년의 재배기간 요구된다. 반면, 곡물을 이용한 상황버섯 균사체 배양기간은 1-2개월로 신속배양이 가능하며 폴리페놀 및 β -glucan 등의 다양한 생리활성 성분을 포함하고 있어 식품 가공 소재로 유용하다(Choi *et al.*, 2007). 상황버섯 곡물 균사체 배양체의 생리 활성물질 증가와 효능 연구가 수행된 바 있다(Kim *et al.*, 2013; Lee and Lee 2010). 상황버섯의 발아 현미 균사체 배양체를 이용하여 면역, 항산화 기능이 강화된 가공 소재를 개발한 바 있으며 (Park *et al.*, 2010) PL 상황버섯 균사체를 백미, 흑미, 적미에 배양하여 지방산, 아미노산, 유기산 분석 등을 수행하여 성분변화 양상을 조사 한 바 있다(Jin *et al.*, 2017). 활성산소들은 체내에서 끊임없이 생성되지만 항산화성 유지 측면에서 체내에서 활성산소들이 소거되지 않으면 일시적 혹은 영구적으로 생체 조직에 손상을 주어 질병의 원인이 될 수 있다(Videla and Femandaz, 1988).

상황버섯 HN00K9은 styrylpyrones 계열의 신규 페놀화합물인 Phellinins A1과 A2의 구조가 동정(°Lee *et al.*, 2009; °Lee *et al.*, 2009) 된 바 있으며 styrylpyrone 계열의 화합물 davallialactone, hispidin, hypholomine B와 phenylpropanoid 계열의 화합물인 caffeic acid가 동정된 바 있으며 높은 활성의 항산화 활성이 있는 것으로 알려져 있다(Kang, *et al.*, 2013; Jeong *et al.*, 2018)

대두(*Glycine max*)는 전통적으로 간장, 된장, 고추장 등 장류 제조에 사용되며 대두 단백질은 사포닌, 이소플라본 및 레시틴과 같은 생리활성 물질을 포함하고 있다(Kim, 2018.). 건강한 식습관에 대한 소비자의 요구 증가, 채식의 대중화 및 육류의 소비 기피 또는 감소로 대체육에 대한 관심이 높아지고 있다(Ismail *et al.*, 2020). 대두는 고단백질의 식물단백질을 풍부하게 함유하고 있어 가공처리 하여 질감을 개선한 TVP(textured vegetable protein)와 콩 분리 단백질 유래 T-ISP(textured isolated soy protein)가 대체육 제조에 이용되고 있다(Bakhsh *et al.*, 2021).

본 연구는 목질진흙버섯 HN00K9의 균사체를 대두에 접종 배양하여 조단백질과 유리 아미노산 변화를 조사하였으며 총 페놀 함량변화에 따른 항산화 활성을 분석하여 기능이 강화된 상황버섯 균사체 대두 개발을 목적으로 하고 수행하였다.

재료 및 방법

목질진흙상황버섯대두 균사체 배양

목질진흙버섯 HN00K9균주를 YGM고체배지(0.4% yeast, 1% malt, 0.4% glucose, Agar 1.5%)에 접종하여 25°C에서 14일간 배양하였다. YGM 고체배지에 성장한

Table 1. Analytical condition of amino acid

Instrument	Amino acid automatic analyzer S433-H (SYKAM)
Column	Cation separation column(LCA K06/Na)
Column size	4.6 × 150 mm
Column temperature	57 ~ 74°C
Flow rate	Buffer 0.45 ml/min, reagent 0.25 ml/min
Buffer pH range	3.45 ~ 10.85
Wavelength	fluorescence spectrophotometer (440 nm and 570 nm)

균사체를 균질기로 5,000 rpm으로 2분간 균질하고 균질이 완료된 집종액 10mL를 500mL YMG액체배지에 집종하여 25°C에서 100rpm으로 10일간 진탕 배양하여 액체 종균으로 사용하였다. 대두콩은 물에 4시간 침지 후 건져 내어 물기를 제거하고 내열성 polyethylene bag (20 cm × 15 cm)에 1000 mL 투입하여 121°C 1시간 고압 살균하였다. 20 mL 액체 종균을 살균한 대두에 접종한 후 25°C에서 30일 동안 배양하여 상황버섯 콩 균사체를 제조하였다. 배양이 완료된 균사체 배양 콩을 건조기에 55°C에서 20시간 건조 시킨 후 0.1 mesh로 분쇄한 분말을 시료로 사용하였다. 대조구로는 상황버섯을 배양하지 않은 콩을 위와 동등한 방법으로 제조하여 사용하였다.

아미노산분석

HN00K9 균사체배양 대두 분말 (PMS)과 대조구로 배양하지않은 대두(UCS) 분말 시료 0.1 g을 포함하는 18 mL test tube에 3 mL의 6N HCl을 첨가하고 감압 밀봉(질소가스 충전)한 후 110°C에서 24시간 이상 동안 가수분해하였다. 가수분해가 끝난 시료는 50°C에서 rotary evaporate로 HCl을 제거한 후 Sodium dilution buffer 30 mL를 첨가하여 membrane filter 0.2 μm로 여과하였다. 시료를 적절한 농도로 희석한 후 Table 1과 같이 조건으로 아미노산 자동분석기(S433-H)로 정량 분석하였다.

단백질함량

PMS와 UCS 분말 시료를 단백질 분석에 사용하였다. 일 반성분은 Association of Official Analytical Chemists (AOAC)법에 따라 수분함량은 105°C 건조법, 조지방은 Soxhlet법, 회분은 550°C 회화법으로 분석하였고 조단백질은 원소분석기(DKSH사, vario MAX cube)를 이용하여 전 질소량을 정량하고 질소 계수 6.25를 곱하여 조단백질로 하였으며 탄수화물은 100에서 수분, 조단백질, 조지방, 회분의 값을 제한값으로 하였다.

총 폴리페놀 함량

총 폴리페놀 함량은 Folin-Denis 방법(Chan *et al.*,

1993)을 이용하여 측정하였다. PMS 분말 1g에 60%알코올 30 ml를 첨가하고 50°C, 100 ppm으로 진탕하면서 12시간 추출 하였다. 총 페놀함량은 추출용액 40 µl와 0.2 N Folin-Ciocalteus 시약을 200 µl, Na₂CO₃(7.5%) 160 µl을 혼합 하여 암실에서 1시간 반응시킨 후 Epoch Microplate Spectrophotometer (BioTek Instruments, Winooski, VT, USA)를 사용하여 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. Gallic acid를 0.05, 0.10, 0.15, 0.25, 0.30 mg/mL의 농도로 하여 $y = 0.0049x - 0.0324$, $R^2 = 0.998$ 의 정량곡선을 기준으로 폴리페놀 총량을 GAE (galic acid equivalent)/g로 나타내었다.

2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 라디칼 소거능

항산화활성은 DPPH방법(Blois, 1958)방법에 준하여 분석 하였다. 위에서 언급한 PMS 추출물 1.0 mL와 0.2 mM DPPH 용액 1.0 mL의 혼합액을 암소에서 30분간 반응시킨 후 Epoch Microplate Spectrophotometer (BioTek Instruments, Winooski, VT, USA)를 사용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH라디칼 소거 활성은 시료 용액의 대조구와 시료 첨가구의 흡광도 차이를 백분율로 산출하였다.

$$\text{DPPH 라디칼 소거능 (\%)} = \frac{\text{대조구흡광도} - \text{시료첨가구 흡광도}}{\text{대조구 흡광도}} \times 100$$

통계처리

3회 반복 실험을 통하여 얻어낸 각각의 모든 값은 평균치±표준편차로 표시하였고, 집단 간 평균의 차이는 SAS 9.4 (statistical analysis system; SAS Institue, USA)를 이용하여 two-tailed unpaired Student's t-test 및 one-way analysis of variance (ANOVA) test를 이용하였다. 각 실험의 평균차에 대한 통계적 유의성 검증은 Ducan의 다중 검증법(DMRT: Duncan's multiple range test)으로 하여, p<0.05 및 p<0.01수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

목질진흙버섯 HN00K9의 대두 균사체 배양

목질진흙버섯(HN00K9) 액체 종균을 대두에 접종하고 30일 후에 균사체 성장을 조사하였다. Fig. 1에서와 같이 외부의 대두 전체에 진황색의 균사체가 고밀도로 분포하였으나 내부에는 외부 대두 균사체보다 균사체밀도가 낮게 형성 되었는데 이는 외부대두는 공기 접촉이 원활한 결과로 사료 되었다. 대두 외부에 형성된 대두균사체를 절단하여 관찰한 결과 균사체가 내부로 거의 침투하지 않은 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 1). 대두를 포함해서 서리태, 병아리콩에 HN00K9균사체 배양 능을 비교 관찰하였던 결과 대두와 병아리콩에서 균사체 성장율이 90% 이상

Table 2. Mycelial growth rate on different beans of *Phellinus linteus* HN00K9 and *Pleurotus eryngii*

Beans	Mycelial growth rate	
	HN00K9	<i>Pleurotus eryngii</i>
Soybean	+++	+
Black bean	++	±
chickpeas	+++	+++

+++ : mycelial growth more than 90%-100% ++:50%-70%; +: 30%-50%; ±10%-20%; -: no mycelial growth



Fig. 1. Mycelial culture of soybean with *Phellinus linteus* HN00K9. A: external feature of soybean cultured with HN00K9, B: internal feature of the cultured soybeans, C: cross section of the cultured soybeans

으로 양호하였으나 서리태는 낮은 균사체 성장율을 보였다. 대조 균주로 사용한 큰느타리의 경우는 대두와 서리태에서 30% 이하의 낮은 균사체 성장률을 보여 콩배양에서 HN00K9의 균사체 효율의 우수성을 확인할 수 있었다. 선행연구에서 PL HN00K9 대두 배양에서 충분한 물 침지에 의한 수분량 확보가 중요한 요소로 작용했으며 물 침지 4시간이 가장 양호한 균사체 성장률을 보였다. 기 연구에서 현미, 보리, 밀, 옥수수 및 대두를 대상으로 *P. linteus*의 균사체 배양을 수행한 바 있는데 보리와 밀에서는 양호한 균사체 성장률을 보였으나 대두에서는 저조한 균사체 성장률을 보였다고 하였다(Lee and Lee, 2010). 이러한 결과는 상황버섯 균주에 따른 균사 성장률 차이에서 기인 된 것으로 사료 되었다. *P. linteus* 계통으로 HN00K9을 포함한 HN6036, ASI26099(고려상황버섯)와 *P. baumii* (장수상황버섯)의 YGM 고체배지에서 균사체 성장률을 조사한 결과 HN00K9>*P. baumii*> HN6036 >ASI 26099 순으로 나타났다 (Min and Kang, 2021). 따라서 본 연구의 HN00K9균주의 콩에서의 양호한 균사체 성장은 빠른 균사체 성장률에 기인 되는 것으로 사료 되었으나 다양한 *P. linteus*균주 간 상호비교 연구가 필요할 것으로 생각되었다.

목질진흙버섯 HN00K9 균사체 배양에 의한 대두의 단백질 및 아미노산 함량변화

PMS와 UCS 분말을 이용 단백질함량을 분석하였다. PMS 조 단백질함량은 41.99%로 대조구 UCS의 38.61%보다 높은 단백질함량을 보였다(Table 3). Lee et al.

Table 3. Comparison of crude protein content in soybean cultured (PMS) and uncultured (UCS) with *Phellinus linteus* HN009K

Materials	Crude protein content (%)
PMS	41.99
UCS	38.61

Table 4. The content of free amino acid in soybean cultured with *Phellinus linteus* HN00K9

Free amino acid	Content (mg/100g)	
	UCS	PMS
Aspartic acid	4,375.843	4,590.035
Threonine	1,539.578	1,709.284
Serine	2,083.939	2,247.789
Glutamic acid	7,228.632	7,413.920
Proline	2,283.618	2,413.163
Glycine	1,492.187	1,766.543
Alanine	1,626.929	1,828.417
Cystine	450.446	477.686
Valine	1,706.859	1,940.575
Methionine	351.245	414.952
Isoleucine	1,601.847	1,801.014
Leucine	2,840.727	3,098.932
Tyrosine	1,155.513	1,347.439
Phenylalanine	1,848.903	1,971.546
Histidine	1,206.020	1,483.010
Lysine	2,373.928	2,485.056
Arginine	2,650.789	2,974.138
Total	36,817.002	39,963.499

UCS: uncultured soybean with HN00K9, PMS: cultured soybean with *Phellinus linteus* HN00K9

(2006)은 큰노타리를 콩에 균사체 배양하여 조 단백질 함량을 분석한 결과 단백질함량이 증가한다고 하여 본 연구 결과와 유사하였다.

PMS의 유리아미노산 함량을 분석한 결과는 Table 3와 같다. PMS는 총 16종의 아미노산이 검출되었으며 모든 아미노산 함량이 UCS에 비하여 증가 되었다. 총 유리아미노산의 함량은 PMS에서 39,963 mg/100 g으로 UCS의 36,817 mg/100 g보다 8%이상 증가하였다. aspartic acid, glutamic acid, leucine, arginine함량은 전체 아미노산 함량의 50%로 나타났으며 glutamic acid는 PMS에서 7,413 mg/100 g로 전체 아미노산 중 가장 많은 18.5%함량을 보였으며 aspartic acid는 4,590 mg/100 g으로 전체 아미노산 중 11.4%의 분포를 보였으며 PMS는 USC에 비하여 5% 이상 증가하였다. Cha *et al.* (2020)은 콩 단백질을 분리하여 아미노산분석을 수행한 바 있으며 glutamic acid와

aspartic acid가 가장 높은 함량으로 검출된 바본 연구와 유사하였다. 그러나 methionine은 414 mg/100 g로 가장 낮게 검출되었다. 상황버섯 균사체를 백미, 적미 흑미에 배양하여 유리 아미노산 종류와 함량변화를 조사한 바 있다(Jin *et al.*, 2017). 상황버섯 균사체 배양 적미는 무 배양 적미에 비하여 3배이상의 아미노산 함량이 증가한다고 하여 유색미의 상황버섯 균사체 배양은 아미노산함량을 급격히 증가시키는 원인이 된다고 하였다. 따라서 상황버섯 곡물 배양은 아미노산과 단백질함량을 증대시키는데 유효한 방법으로 활용될 수 있을 것으로 생각되었다.

항산화 활성

Phellinus 중에서 styrylpyrone 계열의 다양한 Polyphenol 화합물이 분리 동정 되었으며 강한 항산화 활성이 있는 것으로 보고 된 바 있다(Jung *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2010). *P. linteus* HN00K9에서는 davallialactone, hispidin, hypholomine B 등의 styrylpyrone 계열의 Polyphenol과 phenylpropanoid 계열의 화합물인 caffeic acid과 신규물질 Phellinins A1, PhellininsA2가 동정 된 바 있으며 강한 항산화 활성이 있는 것으로 확인되었다 (^aLee *et al.*, 2010; ^bLee *et al.*, 2010; Min *et al.*, 2020). 본 연구는 PMS 와 UCS분말로 부터 60%의 Ehtanol추출하여 총 폴리페놀 함량을 측정 하였다. Fig. 2A은 총 폴리페놀 함량 결과로 PMS에서 2.66 mg GAE/g이 UCS에서는 1.45mg GAE/g이 검출되어 Polyphenol함량이 45%이상 차이를 보여 균사체 성장에 의한 결과로 확인할 수 있었다. 식물 또는 버섯 유래 폴리페놀은 hydroxyl group(-OH)포함하고 있어 free radical에 수소 원자를 환원하여 항산화 활성 기능을 가진다 (Videla and Fermandaz, 1988). DPPH는 산화성 free radical에 전자를 공여, free radical의 생성 억제 를 간접적으로 측정 가능한 방법으로, 안정한 라디칼로써 항산화를 가진 물질과 만나면 제거되면서 짙은 자색의 DPPH용액을 노란색으로 탈색시키는 원리를 이용한다 (Blois, 1958). Fig. 2B는 PMS와 USC의 DPPH 라디칼 소거능에 따른 항산화 활성을 측정한 결과로 PMS는 33.3%의 Radical 소거 능을 보여 UCS의 11.5%의 radical 소거 능보다 3배 증가한 것으로 나타났다.

대두는 다른 곡물보다 단백질이 많아 식물 대체육 소재로 활용되어왔으며 버섯 분말은 식물 대체육 풍미와 조직감 개선에 유용하다(Ismail *et al.*, 2020; Bakhsh *et al.*, 2021). 버섯 분말과 분리 대두 단백질을 이용하여 압출성형 식물 대체육을 제조하여 조직감을 개선하였으며 DPPH는 버섯첨가량에 따라 유의적으로 증가하였다고 하였다(Cho and Ryu, 2020).

결론적으로 본 연구의 상황버섯 HN00K9균사체 기반으로 제조한 PMS는 단백질과 아미노산 함량증가와 폴리페놀함량 증가에 따른 항산화 활성 강화 기능이 확인되었다. HN00K9의 균사체에서 알려진 β-glucan의 면역, 항암, 항

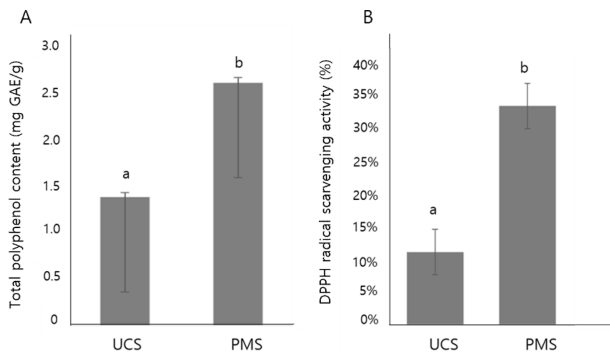


Fig. 2. Total polyphenol content (A) DPPH radical scavenging activity (B) in cultured (PMS) and uncultured soybean (UCS) with *Phellinus linteus* HN00K9

염증 등 다양한 추가적 가능성이 있을 것으로 예상하여 콩을 주 원료로 사용하는 식물 대체육 제조의 기능성 식품소재로 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

적 요

목질진흙버섯 HN00K9균사체 액체종균을 대두에 배양한 대두(PMS)의 조단백질 함량은 41.99%로 HN00K9 균사체 배양하지 않은 대두(UCS) 38.61%보다 높은 단백질 함량이 검출되었다. PMS와 UCS에서 16종의 유리 아미노산이 검출되었으며 총 아미노산함량은 PMS에서 39,963 mg/100 g으로 UCS의 36,817 mg/100 g보다 8% 이상 증가되었다. 특히 glutamic acid는 PMS에서 7,413 mg/100 g로 전체 아미노산 중 가장 많은 18.5%로 나타났다. 총 polyphenol 함량은 PMS에서 2.66 mg GAE/g로 UCS 1.45 mg GAE/g보다 45%이상 높게 검출되었으며 PMS는 33.3%의 DPPH radical 소거 능력을 보여 UCS의 11.5%보다 3배 증가한 높은 항산화 활성을 보였다. 따라서 본 연구의 PMS는 높은 단백질함량과 항산화 활성이 강화된 기능성 식품소재로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 연구개발특구진흥재단 민간투자형 R&BD (과제번호: 2022-DD-RD-0574-02) 지원으로 수행된 연구결과이며 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

Bakhsh A, Lee SJ, Lee EY, Sabikun N, Hwang YH, Joo ST. 2021. A novel approach for tuning the physicochemical, textural, and sensory characteristics of plant-based meat analogs with different levels of methylcellulose concentration. *Foods* 10: 560.
 Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a

stable free radical. *Nature* 181: 1199-1200.
 Cha SH, Shin KO, Han KS. 2020. Studies on the characteristics of concentrated soy protein. *Kor J Food Sci Technol* 52: 459-466.
 Chan KM, Decker EA, Means MJ. 1993. Extraction and activity of carnosine, a naturally occurring antioxidant in beef muscle. *J Food Sci* 58: 1-4.
 Cho SY, Ryu GH. 2020. Effects of mushroom composition on the quality characteristics of extruded meat analog. *Kor J Food Sci Technol* 52: 357-362.
 Choi HD, Seog HM, Park YK, Park YD, Kim JA. 2007. Hypoglycemic effects of Basidiomycetes mycelia and cereals fermented with Basidiomycetes. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 36: 1257-1262.
 Ismail I, Hwang YH, Joo ST. 2020. Meat analog as future food: A review. *J Anim Sci Technol* 62: 111-120.
 Min GJ, Jeong EU, Yun BS, Kang HW. 2018. Chemical identification and antioxidant activity of phenolic compounds extracted from the fruiting body of ‘Hankyong Sanghwang’, *Phellinus linteus* KACC 93057P. *J Mushrooms* 16: 1-7.
 Jin SW, Im SB, Kim KJ, Yun KW, Jeong SW, Koh YW, Je HS, Cho IK, Jang JY, Seo KS. 2017. Changes of chemical compositions of cereals by *Phellinus linteus* mycelial cultivation. *J Mushrooms* 15: 229-236.
 Jung JY, Lee IK, Seok SJ, Lee HJ, Kim YH, Yun BS. 2008. Antioxidant polyphenols from the mycelial culture of the medicinal fungi *Inonotus xeranticus* and *Phellinus linteus*. *J Applied Microbiol* 104: 1824-1832.
 Kang HW, Lee MH, Seo GS. 2013. Antioxidant and anti-inflammatory effects of *Phellinus linteus* HN1009K. *Kor J Mycol* 41: 243-247.
 Kim HS, You JH, Jo YC, Lee YJ, Park IB, Park JW, Jung MA, Kim YS, Kim SO. 2013. Inhibitory effect of *Phellinus linteus* and rice with *Phellinus linteus* mycelium on obesity and diabetes. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 42: 1029-1035.
 Lee IK, Jung JY, Kim YH, Yun BS. 2009a. Phellinins A1 and A2, new styrylpyrones from the culture broth of *Phellinus* sp. KACC93057P: II. Physicochemical properties and structure elucidation. *J Antibiotics* 62: 635-637.
 Lee IK, Seo GS, Jeon NB, Kang HW, Yun BS. 2009b. Phellinins A1 and A2, new styrylpyrones from the culture broth of *Phellinus* sp. KACC93057P: I. Fermentation, taxonomy, isolation and biological properties. *J Antibiotics* 62: 631-634.
 Lee IK, Han MS, Lee MS, Kim YS, Yun BS. 2010. Styrylpyrones from the medicinal fungus *Phellinus baumii* and their antioxidant properties. *Bioorg Med Chem Lett* 20: 5459-5461.
 Lee HD, Lee GS. 2010. β -glucan and glucosamine contents in various cereals cultured with mushroom mycelia. *Kor J Mycol* 37: 167-172.
 Min GJ, Yun BS, Kang HW. 2020. Comparison of antioxidant activities and polyphenolic compounds of extracts from artificially cultivated Sanghwang mushroom species, *Phellinus linteus* and *P. baumii*. *J Mushrooms*

- 18:29-36.
- Min GJ, Kang HW. 2021. Artificial cultivation characteristics and bioactive effects of novel *Tropicoporus linteus*(Syn. *Phellinus linteus*) strains HN00K9 and HN6036 in Korea. *Mycobiology* 49: 161-172.
- Park HJ, Han ES, Park DK, Lee C, Lee KW. 2010. An extract of *Phellinuslinteus* grown on germinated brown rice inhibits inflammation markers in RAW264.7 macrophages by suppressing inflammatory cytokines, chemokines, and mediators and up-regulating antioxidant activity. *J Med Food* 13: 1468–1477.
- Sliva D. 2010. Medicinal mushroom *Phellinuslinteus* as an alternative cancer therapy (Review). *Exp Ther Med* 1: 407-411.
- Videla LA, Fernández V. 1988. Biochemical aspects of cellular oxidative stress. *Arch Biol Med Exp* 21: 85-92.
- Zhu T, Kim SH, Chen CY. 2008. A medicinal mushroom: *Phellinus linteus*. *Curr Med Chem* 15: 1330-1335.