한 국 균 학 회 지 The Korean Journal of Mycology Research Article

참나무시들음병 피해목을 이용한 표고 톱밥재배에 대한 연구

김세훈[1] · 서수영[1] · 장영선[1]* · 유림[1] · 서상태[2] · 기강현[1]

[1]국립산림과학원 화학미생물과, [2]국립산림과학원 산림병해충연구과

Study on Sawdust Bag Cultivation of Shiitake (*Lentinula edodes*), using Oak Wilt-Diseased Logs

Sehun Kim[1], Sooyoung Seo[1], Yeongseon Jang[1]*, Rhim Ryoo[1], Sang-Tae Seo[2] and Kang-Hyeon Ka[1]

[1]*Wood Chemistry and Microbiology Division, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea*
[2]*Forest Insect Pests and Diseases Division, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea*

ABSTRACT : Recently, the incidence of oak wilt disease has been increasing in Korea, resulting in an increasing number of dead trees. In this study, we performed sawdust bag cultivation of shiitake (*Lentinula edodes*) using oak wilt-diseased logs and measured the antioxidant activities of the resulting mushrooms. For sawdust media, 4 types of logs (healthy, infected, dead, and fumigated ones) were used. As inocula, three strains of *L. edodes* (NIFoS 764, Sanjo 701ho, and Sanmaru 2ho) were used. The productivity of *L. edodes* from dead logs was similar to that from healthy logs. Except for the Sanmaru 2ho strain, fumigated logs and infected logs yielded a lower productivity of *L. edodes* compared to healthy logs. In terms of antioxidant activity, *L. edodes* grown on sawdust from fumigated logs showed higher values than those from other logs.

KEYWORDS : Antioxidant activity, *Lentinula edodes*, Oak wilt disease, Sawdust bag cultivation

서 론

참나무시들음병은 2004년에 우리나라에 처음 보고된 매개충인 광릉긴나무좀(*Platypus koryoensis*)과 병원균인 *Raffaelea quercus-mongolicae* 간의 공생 작용에 의해 전염되는 것으로 보고되었다[1, 2]. 이 병은 전국 82개 시군구에서 발병하였으며 그로 인한 참나무 피해는 매년 증가되고 있다. 주로 갈참나무, 신갈나무, 졸참나무에 많은 피해를 주며 상수리나무, 굴참나무, 떡갈나무도 피해를 받는 것으로 알려져 있다[3]. 이런 참나무류가 급격히 고사하는 증상은 2004년 경기 성남시에서 처음 발견되었으며, 참나무시들음병 피해목은 2012년 268,000본에서 2013년 309,000본으로 15% 증가하였으며, 매년 증가하는 추세이다[4].

참나무시들음병의 확산을 막기 위해 고사목을 벌채하여서 훈증 및 소각을 하거나, 살충제를 직접 나무에 분사하여 매개충을 제거하는 방법이 이용된다. 이 중에서 훈증 방법이 가장 많이 이용되는데[3], 이 방법으로 방제를 하게 되면 벌목하게 되는 참나무가 많아지고 그로 인해 생기는 산림 피해가 적지 않을 것으로 예상된다. 그렇기 때문에 참나무시들음병 피해목을 활용할 수 있는 방법들이 검토되고 있으며, 그러한 방법의 하나로 피해목을 이용한 버섯 재배를 일본에서 연구한 바가 있다[5]. 이와 같이 피해목을 이용하여 버섯을 재배할 때 피해목은 건전목에 비해 수분 및 영양원 함량이 적기 때문에 자실체의 생산량이 상대적으로 적을 수 있다. 그러나 톱밥재배는 직접적으로 수분 및 영양원 함량을 조절하기 때문에 이러한 부분을 보완할 수 있다. 또한 원목재배에 비해서 재배 기간이 짧아 단시간 내에 자실체를 얻을 수 있으며 노동력이 더 적게 들어가는 장점이

Kor. J. Mycol. 2016 December, **44**(4): 300-306
https://doi.org/10.4489/KJM.2016.44.4.300
pISSN 0253-651X • eISSN 2383-5249
© The Korean Society of Mycology

***Corresponding author**
E-mail: idjys@korea.kr

Received November 10, 2016
Revised November 25, 2016
Accepted December 7, 2016

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.

있다. 참나무를 이용하여 표고, 맛버섯, 개암버섯, 팽이버섯 등 여러 가지 버섯이 재배되고 있는데[5], 이중에서 표고는 독특한 향과 맛으로 인해 우리나라를 비롯한 동북아시아에서 기호성이 좋은 버섯이다[6]. 이뿐만 아니라 표고는 식용 및 약용으로 널리 사용되어 왔으며 천연물로서 성인병 예방, 암세포 증식 억제, 고혈압, 당뇨병 등에 효능이 있는 것으로 알려져 있다[7]. 표고의 항산화 활성에 대한 연구는 다양한 추출용매를 이용하여 연구되고 있으며, 일부 연구에서는 methanol을 이용한 추출물의 총 폴리페놀 함량과 총 플라보노이드 함량, 항산화 활성 등이 보고되고 있다[8]. 이와 같이 표고의 항산화 활성에 대한 연구는 보고되고 있으나 다양한 조건에서 재배한 표고 추출물에서의 항산화 활성에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 참나무시들음병 피해목을 이용한 표고 톱밥재배의 가능성을 알아보고 더불어 배지 재료에 따른 표고의 항산화 활성을 비교 분석하여 표고에 대한 기초자료의 활용 가능성을 알아보았다.

재료 및 방법

표고 종균 및 배지 제조

본 연구에서는 NIFoS 764, 산조 701호(Sanjo 701ho), 산마루2호(Sanmaru 2ho) 세 균주를 사용하였으며, 종균으로 사용할 배지는 종균용 톱밥 80%, 밀기울 20% 비율로 섞고 함수율을 65%로 조절한 이후에 1 L 용량의 종균병에 650 g씩 넣고 121℃에서 90분 고압 멸균을 하여 제조하였다. 세 균주를 potato dextrose agar (PDA; Difco, Detroit, MI, USA) 평판배지에서 1주일간 배양한 후 1 cm 크기의 agar block 3~4개씩 종균용 배지에 접종하였으며, 접종한 종균용 배지는 1달간 25℃ 인큐베이터에서 배양하였다. 실험에 사용된 톱밥배지는 신갈나무 건전목(C), 훈증목(H), 고사진행목(Y), 고사목(G) 톱밥을 80% 밀기울 20% 비율로 섞고 함수율을 65%로 조절한 이후에 사각 비닐봉지에 2,000 g씩 넣고 121℃에서 90분 고압멸균을 실시하였다. 고압멸균이 끝난 배지는 10℃로 조절된 멸균실에서 충분히 냉각한 이후에 사각배지 상면에 종균을 30~40 g씩 접종하였다. 각 처리구 당 20개의 톱밥배지를 만들어서 25℃ 배양실에서 120일(암배양 90일과 명배양 30일)간 배양을 진행하였다.

표고의 생산성 검정

균주를 접종한 톱밥배지는 120일간 배양을 마치고 배지의 비닐봉지를 개봉하여, 1차 발생을 진행하였다. 발생 기간 동안에는 발생실 내부온도는 15~24℃, 습도 95%를 유지하였다. 1차 발생 후 3주간 휴양 기간을 주었으며, 휴양 후에는 배지를 24시간 동안 침수하여 충분히 수분을 공급하고 다음 발생을 진행하였다. 발생은 총 4차까지 진행하였으며, 각 차수에 수확된 표고는 무게 및 수량을 조사한 후에 50℃ 드라이 오븐에서 72시간 동안 건조시켰다.

총 폴리페놀 함량

총 폴리페놀 함량은 Folin-Denis 방법을 이용하여 측정하였다[9]. 50℃에서 72시간동안 건조한 표고는 분쇄하여 100 μm mesh의 체에 걸렀으며, 분말 1 g에 70% methanol을 첨가하여 실온에서 150 rpm, 24시간 동안 교반하여 추출하였다. 추출 용매는 3,500 rpm에서 15분간 원심 분리하여 얻은 상등액을 -4℃에서 보관하면서 실험에 사용하였다. 표고 추출물 1.0 mL에 0.2N Folin Ciocalteu's phenol reagent (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 5.0 mL 첨가하여 5분 동안 반응시킨 다음 7.5% Na_2CO_3를 4 mL 첨가하였다. 암소에서 1시간 동안 반응시켜 Epoch Microplate Spectrophotometer (BioTek Instruments, Winooski, VT, USA)를 사용하여 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 gallic acid (Sigma-Aldrich)를 이용하였으며 시료와 동일한 방법으로 얻은 검량선으로부터 총 페놀 함량을 산출하였다.

1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) 라디칼 소거능 측정

DPPH 라디칼 소거 활성은 Blois [10]의 방법을 이용하여 측정하였다. 표고 추출물 1.0 mL에 0.1 mM DPPH methanol 용액 1.0 mL를 혼합한 후 암소에서 30분간 반응시킨 다음 517 nm에서 Epoch Microplate Spectrophotometer를 사용하여 흡광도를 측정하였다. 양성대조구는 ascorbic acid (Sigma-Aldrich)를 사용하였고, 공시험은 추출 용매를 사용하였다. DPPH 라디칼 소거 활성은 시료 용액의 대조구와 시료 첨가구의 흡광도 차이를 백분율로 산출하였다.

DPPH 라디칼 소거 활성(%) = (대조구 흡광도 – 시료 첨가구 흡광도) / 대조구 흡광도 × 100

Ferric reducing antioxidant power (FRAP) 측정

FRAP 측정은 Benzie & Strain [11] 방법에 준하여 실시하였다. 환원력의 측정을 위하여 기질 용액은 300 mM acetate buffer (pH 3.6), 40 mM HCl에 용해한 10 mM 2,4,6-tripyridyl-S-triazine (TPTZ) 용액 및 20 mM $FeCl_3 \cdot 6H_2O$를 각각 10:1:1(v/v/v)의 비율로 미리 혼합한 다음 37℃ 수욕상에서 가온한 것을 사용하였다. 표고 추출물 200 μL에 FRAP reagent 3.0 mL를 혼합한 다음 37℃에서 30분간 반응시킨 후 Epoch Microplate Spectrophotometer를 사용하여 593 nm에서 흡광도를 측정하였다.

Reducing power 측정

Reducing power 측정은 potassium ferricyanide법을 이용한 Oyaizu [12]의 방법을 변형하여 측정하였다. 표고 추출물 0.5 mL에 phosphate buffer (0.2 M, pH 6.6) 및 1% potassium ferricyanide를 각 2.5 mL씩 차례로 첨가하여 교반한 후 50℃에서 20분간 반응시켰다. 다음 10% trichloroacetic acid 용액 2.5 mL을 가하여 3500 rpm에서 10분간 원심 분리한 후 상등액 2.5 mL에 증류수 2.5 mL과 ferric

chloride 0.5mL를 첨가하여 혼합한 후 Epoch Microplate Spectrophotometer를 사용하여 700 nm에서 흡광도를 측정하였다.

통계분석

각 시료는 배지 생산성 검정은 20회 반복, 항산화 분석은 3회 반복으로 수행된 결과값을 이용하여 평균 및 표준편차를 구하였으며, 모든 항목에 대한 상관관계를 알아보기 위해 SPSS 프로그램(PASW Statistics 18; SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 ANOVA로 분석 후 Duncan's multiple range test에 의해 $p < 0.05$ 수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

배양 특성 및 배지 중량 감소율

배양 중 균사 만연도는 각각의 균주 및 배지 재료에 따른 차이가 거의 없었다. 접종한 이후부터 120일 동안 배양한 후 중량 감소율은 Fig. 1에 나타내었다. 중량감소율은 배지 재료에 따라서 다소 차이가 있었는데 건전목에 비해서 참나무시들음병 피해목을 이용하였을 때 전체적으로 중량감소율이 낮은 것으로 확인되었다. NIFoS 764가 다른 두 균주에 비해서 다소 높은 중량 감소율을 보였다. NIFoS 764가 다른 균주에 비해서 1차, 2차 버섯 발생이 많이 진행된 것으로 보아 초기 버섯 발생과 중량감소율이 관련이 있을 것으로 판단된다.

표고 생산성

산조 701호와 산마루2호의 경우에는 1차 발생에 비해서 2차 이후부터 표고가 잘 발생되었으며 4차까지 배지상태도 양호하였다. 그에 비해서 NIFoS 764는 1차, 2차 발생에서 준수한 수확량을 보였으나 3차 이후 배지의 상태가 온전하지 않았으며 표고의 발생이 거의 없었다. 표고의 크기와 형태는 3개 균주 모두 준수하였으나 NIFoS 764의 경우 다른 2개의 균주에 비해서 표고의 경도가 매우 무른 것으로 확인되었다.

각각의 균주별로 처리구 당 버섯 수확량을 건전목을 기준으로 나타내었으며 Fig. 2와 같다. NIFoS 764는 고사 진행목과 훈증목을 이용하여 재배하였을 때 건전목과 고사목보다 생산량이 적은 것으로 확인되었다($p < 0.05$). 산조 701호는 통계적으로는 차이가 없었지만 평균값으로 보면 NIFoS 764와 같은 양상을 보이는 것을 확인할 수가 있다. 산마루2호는 다른 두 균주와 다른 양상을 보였는데 건전목에서 생산량이 많았으며, 훈증목을 이용하여 재배하였을 때 다른 참나무시들음병 피해목보다 좀 더 생산량이 높은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 모든 처리구에서의 생산량은 일반적으로 경제성이 있다고 하는 배지당 표고의 생산량 25%를 만족하지 못하였다. 이는 실험에 사용된 균주가 사각 톱밥 배지 재배에 적합하지 않은 균주이기 때문일 것으로 생각된다. 전체적인 양상을 보면 참나무시들음병 피해목 중 고사목을 이용하였을 때 건전목과 유사하거나 낮은 생산량을 보였다. 이러한 결과는 현재 참나무시들음병으로 인해서 버려지는 산림 자원을 경제적으로 사용 할 수 있는 가능성을 보여준다. 훈증 처리를 한 이후에 자목에 남아있을 수 있는 유해성분이 자실체로 전이 될 가능성은 추후에 실험을 통해서 검증이 필요하며, 표고 생산성을 더 잘 알아보기 위해 균주 특성에 맞는 톱밥재배 형태에 따라 재배하는 것이 필요하다.

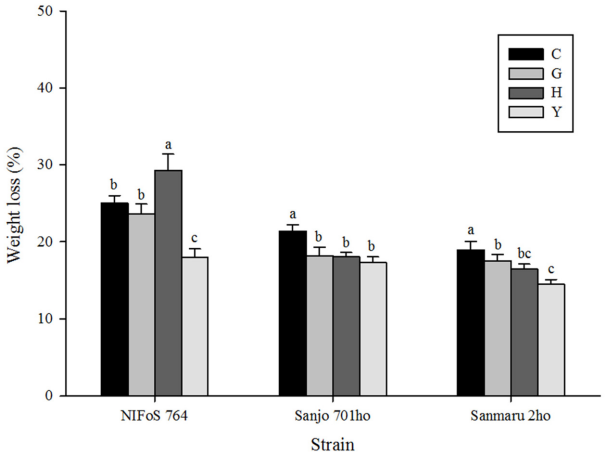

Fig. 1. The weight loss of sawdust media after 120 days of incubation. C, Control group; G, Wilting group; H, Fumigated group; Y, Wilted group. Values are mean ± SD (n = 20). In each strain, means with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

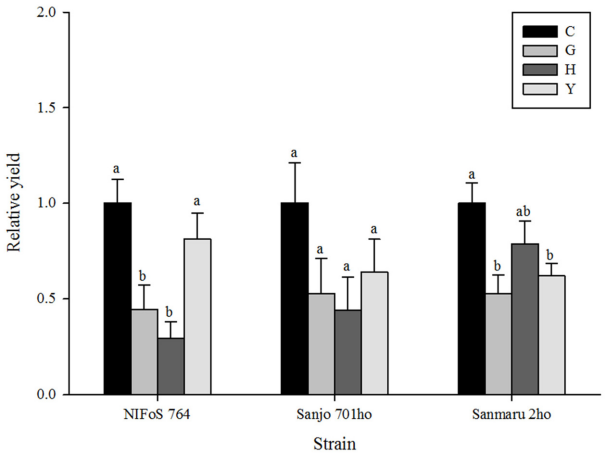

Fig. 2. The relative fruit body yield according to control group in each strain. C, Control group; G, Wilting group; H, Fumigated group; Y, Wilted group. Values are mean ± SD (n = 20). In each strain, means with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

Table 1. Total phenolic compound contents and antioxidant capacity of mushroom methanolic extracts[A]

Sample		TPC (mg GAE/g)[B]	DPPH IC_{50} (mg/mL)[C]	FRAP IC_{50} (mg/mL)[D]	Reducing power IC_{50} (mg/mL)[E]
Control group (C)	NIFoS 764	5.93 ± 1.18^{d}	29.75 ± 0.60^{a}	20.41 ± 0.13^{f}	20.83 ± 0.21^{a}
	Sanjo 701ho	7.67 ± 0.04^{ab}	13.28 ± 0.20^{f}	46.31 ± 0.97^{a}	13.45 ± 0.85^{d}
	Sanmaru 2ho	7.23 ± 0.08^{bc}	15.86 ± 0.08^{e}	38.50 ± 0.37^{b}	13.69 ± 0.46^{d}
Wilting group (G)	NIFoS 764	5.89 ± 0.12^{d}	20.40 ± 0.75^{bc}	30.40 ± 1.07^{de}	18.16 ± 0.25^{b}
	Sanjo 701ho	7.15 ± 0.07^{bc}	15.52 ± 0.23^{e}	40.34 ± 0.67^{b}	14.23 ± 0.86^{d}
	Sanmaru 2ho	6.78 ± 0.09^{c}	16.09 ± 0.64^{e}	39.23 ± 1.47^{b}	16.74 ± 0.77^{c}
Fumigated group (H)	NIFoS 764	6.96 ± 0.05^{bc}	17.63 ± 0.47^{d}	33.36 ± 1.00^{c}	10.84 ± 0.20^{f}
	Sanjo 701ho	8.34 ± 0.03^{a}	12.13 ± 0.02^{f}	46.62 ± 0.27^{a}	7.80 ± 0.07^{g}
	Sanmaru 2ho	8.38 ± 0.05^{a}	12.54 ± 0.13^{f}	46.00 ± 0.53^{a}	7.68 ± 0.68^{g}
Wilted group (Y)	NIFoS 764	6.55 ± 0.41^{cd}	19.49 ± 0.93^{c}	30.99 ± 1.47^{d}	12.26 ± 1.07^{e}
	Sanjo 701ho	7.36 ± 0.07^{bc}	15.05 ± 0.21^{e}	39.18 ± 0.70^{b}	10.88 ± 0.61^{f}
	Sanmaru 2ho	5.99 ± 0.68^{d}	21.05 ± 2.17^{b}	28.82 ± 2.57^{e}	14.43 ± 0.68^{d}

[A]Values are mean ± SD, $n = 3$. Means with different letters on the same column are significantly different at $p < 0.05$.
[B]TPC: total phenolic content (mg Gallic acid equivalent/g).
[C]DPPH: IC_{50} values represent the concentration requires for 50% inhibition of DPPH.
[D]FRAP: IC_{50} values represent the concentration requires for 50% inhibition of ferric reducing antioxidant power.
[E]Reducing power: IC_{50} values represent the concentration requires for 50% inhibition of reducing power.

총 폴리페놀 함량 측정

참나무시들음병 피해목을 이용한 톱밥재배에서 생산된 표고 추출물의 총 폴리페놀 함량은 Fig. 3과 Table 1과 같다. 훈증목을 이용하여 재배한 산조 701호(8.34 mg GAE/g)와 산마루2호(8.38 mg GAE/g)에서 가장 높게 나타났으며 건전목, 고사진행목을 이용하여 재배한 NIFoS 764 (5.93, 5.89 mg GAE/g)에서 낮게 나타났다. 기존에 연구가 진행되고 있는 버섯의 총 폴리페놀 함량은 추출 용매를 달리한 표고(1.53~2.12 mg GAE/g), 표고(3.45 mg GAE/g), 그 외 다른 버섯에서는 느타리버섯(0.80~3.20 mg GAE/g), 목이버섯(2.23~5.85 mg GAE/g), 느릅나무버섯(0.51-1.29 mg GAE/g)에 비해 본 연구의 표고가 총 폴리페놀 함량이 높게 나타났으며[7,13-16], 다른 논문에서의 표고(10.46-36.19 mg GAE/g)에 비해 낮게 나타내는 것으로 보여졌다[17]. 총 폴리페놀 함량은 시료에 따라 균주, 톱밥배지, 재배방법, 수확시기, 건조방법, 추출 용매 등에 따라 차이가 날 수 있으며, 2차 대사산물인 생리활성 물질은 환경의 영향을 많이 받기 때문에 자유 라디칼에 의한 산화스트레스로 인해 증가될 수 있다[18, 19].

항산화 활성

참나무시들음병 피해목을 이용한 톱밥재배에서 생산된 표고 추출물의 항산화 활성을 알아보고자 DPPH 라디칼 소거 활성, FRAP, reducing power를 측정하였다. 참나무시들음병 피해목을 이용한 표고 추출물의 DPPH 라디칼 소거 활성 측정 결과는 Table 1과 Fig. 3과 같다. DPPH 라디칼 소거 활성은 추출 농도에 따라 유의적인 차이를 나타내었고 1~4 mg/mL의 농도에서 NIFoS 764 배지별 결과는 훈증목(37.8~81.8%), 고사목(32.7~75.9%), 고사진행목(32.8~73.4%), 건전목(30.0~68.0%) 순으로 나타났다. 산조 701호 배지에서는 건전목(42.6~91.3%), 훈증목(43.9~91.0%), 고사목(38.0~88.6%)이며, 고사진행목(37.7~85.2%) 순으로 나타났으며, 산마루2호 배지는 훈증목(42.6~91.3%), 건전목(39.4~86.7%), 고사진행목(38.7~87.3%), 고사목(30.9~74.2%) 순으로 나타났다. IC_{50}은 DPPH 라디칼을 50% 저해하는 시료 농도의 값이 낮을수록 활성이 높은 것을 의미한다. 표고 추출물의 IC_{50}값 측정 결과, 훈증목을 이용하여 재배한 산조 701호(1.19 mg/mL)와 산마루2호(1.22 mg/mL)에서 가장 낮게 나타났고, 건전목을 이용하여 재배한 NIFoS 764(2.57 mg/mL)에서 가장 높게 나타났다. Kang 등[20]은 폴리페놀 함량이 높을수록 DPPH 라디칼 소거 활성이 증가한다고 보고한 것과 같이 본 연구에서 총 폴리페놀 함량이 높은 표고 추출물의 농도가 높아질수록 유리라디칼의 소거효과가 높게 나타났다. 결과적으로 표고 추출물의 DPPH 라디칼 소거 활성 측정 결과는 총 폴리페놀 함량과 항산화 활성이 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.

FRAP을 측정한 결과는 Table 1과 Fig. 4와 같다. 표고 추출물의 농도가 증가함에 따라 FRAP의 값은 농도에 의존하여 증가하는 경향을 보였다. IC_{50}값 측정 결과는 훈증목을 이용하여 재배한 산조 701호(12.13 mg/mL)과 산마루2호(12.54 mg/mL), 건전목을 이용하여 재배한 산조 701호(13.28 mg/mL)이 가장 낮게 나타났고, 건전목을 이용하여

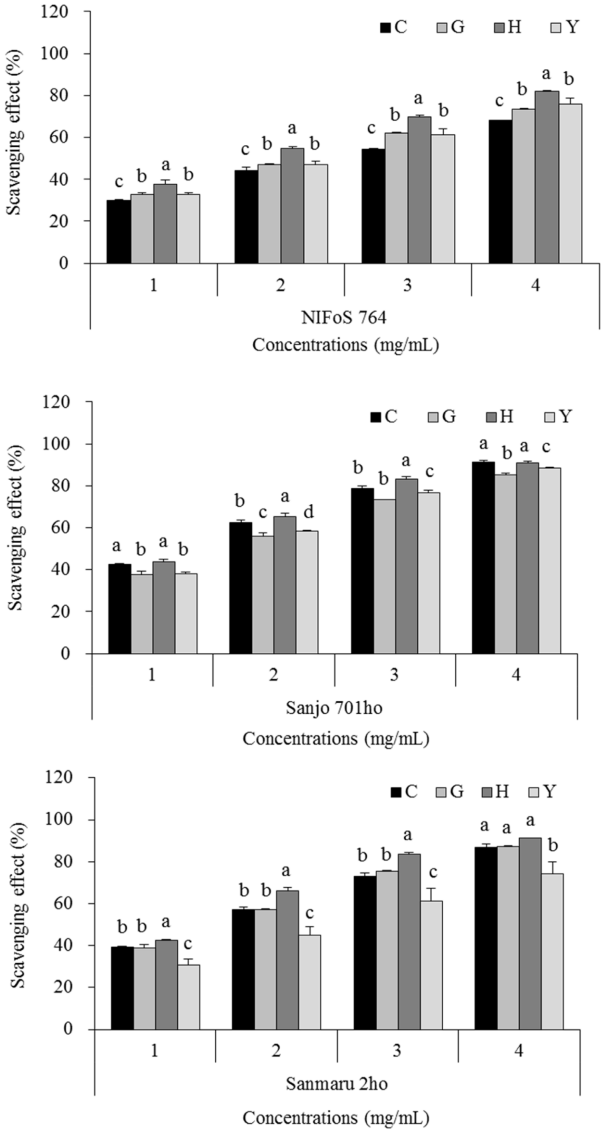

Fig. 3. DPPH free radical scavenging effects of mushroom methanolic extracts at different concentrations. C, Control group; G, Wilting group; H, Fumigated group; Y, Wilted group. Values are presented as means ± SD (n = 3). Different superscripts indicate significant difference among groups at $p < 0.05$.

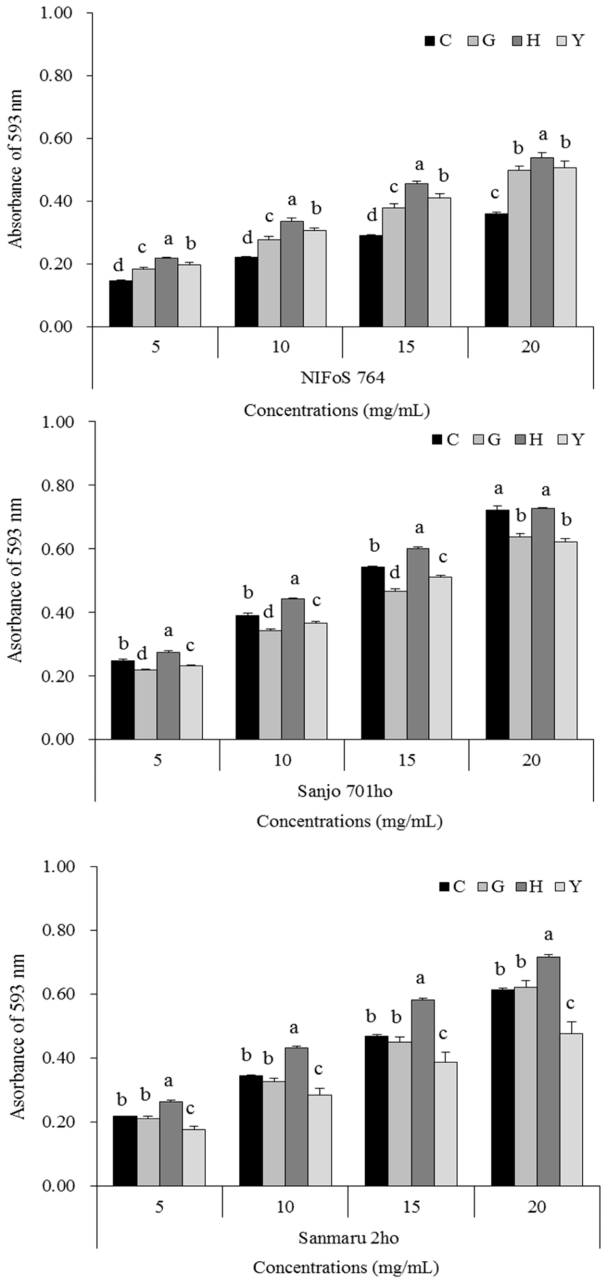

Fig. 4. Ferric reducing activity power of mushroom methanolic extracts at different concentrations. C, Control group; G, Wilting group; H, Fumigated group; Y, Wilted group. Values are presented as means ± SD (n = 3). Different superscripts indicate significant difference among groups at $p < 0.05$.

재배한 NIFoS 764(29.75 mg/mL)로 가장 높게 나타났다. FRAP 값은 산화반응의 촉매제로 작용하는 금속이온을 환원시키는 환원력을 의미하는데[21], DPPH 라디칼 소거 활성과 유사한 결과를 나타냈으며 이 역시 총 폴리페놀 함량과 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다.

Reducing power의 측정 결과는 Table 1과 Fig. 5에 나타내었다. 표고 추출물의 reducing power는 농도가 증가할수록 높은 흡광도를 나타냈으며, 그 중 훈증목에서 재배한 NIFoS 764(0.27~0.84 mg/mL), 산조 701호(0.34~1.11 mg/mL), 산마루2호(0.35~1.09 mg/mL)가 높은 값을 보였다. 표고 추출물 20 mg/mL 농도에서의 IC_{50} 값을 나타낸 결과는 훈증목에서 재배된 산조 701호(7.80 mg/mL), 산마루2호(7.68 mg/mL)가 가장 낮은 IC_{50} 값을 나타내었고 건전목에서 재배한 NIFoS 764(20.83 mg/mL)는 가장 높은 IC_{50} 값을 나타내었다. Reducing power는 농도가 증가할수록 높은 흡광도를 나타냈으며, 그 중 훈증목에서 재배한 NIFoS 764(0.27~0.84 mg/mL), 산조 701호(0.34~1.11 mg/mL), 산마루

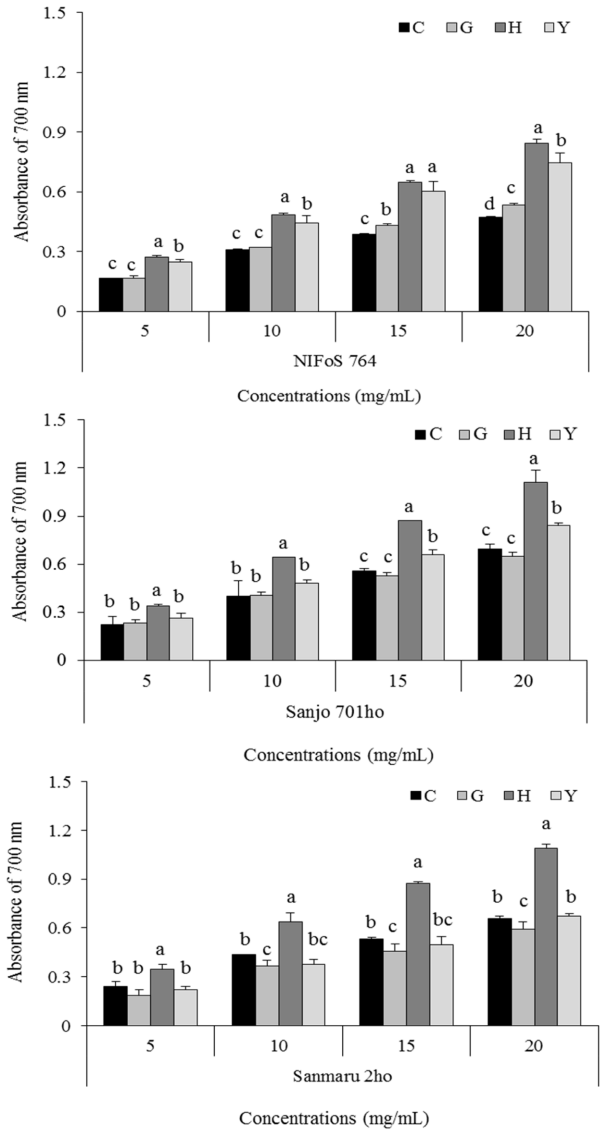

Fig. 5. Reducing power of mushroom methanolic extracts at different concentrations. C, Control group; G, Wilting group; H, Fumigated group; Y, Wilted group. Values are presented as means ± SD (n = 3). Different superscripts indicate significant difference among group at $p < 0.05$.

2호(0.35~1.09 mg/mL)가 높은 값을 보였다. Reducing power는 흡광도 수치가 시료의 환원력을 나타내므로 수치가 높을수록 높은 환원력을 나타낸다. 결과적으로 표고 추출물의 총 폴리페놀 함량이 높을수록 환원력이 증가하였으며 DPPH 라디칼 소거 활성과 FRAP과 동일한 결과를 나타냈다.

본 연구에서 표고의 총 폴리페놀 함량 및 DPPH 라디칼 소거활성, FRAP, reducing power를 측정한 결과는 훈증목을 이용하여 재배한 산조 701호와 산마루2호가 다른 자실체에 비해 항산화 활성이 우수한 것으로 나타났다. 배지 재료 중에서 훈증목이 건전목, 고사진행목, 고사목보다 항산화 효과가 높게 나타났다. 이는 메탐소디움을 이용한 훈증처리가 항산화 시스템을 활성화시켰기 때문인 것으로 생각된다. 또한 천연물의 항산화 활성은 전자를 공여하여 산화를 억제시키는 역할 뿐만 아니라 라디칼 소거 활성은 인체의 질병과 노화를 방지하는데 중요한 역할을 한다[22]. Ryu 등[23]에 의하면 버섯의 항산화 기능물질로 알려진 페놀성 화합물은 고등식물과는 다르게 생합성이 가능하며 인체에 직접적으로 활성산소를 소거하는 작용을 한다고 보고되고 있다. 이전 연구를 통한 표고의 항산화 활성은 용매 추출에 따른 활성 비교, 건조 방법에 따라 총 폴리페놀 함량과 전자공여능 등의 항산화 활성에 대하여 보고되고 있다[7]. 이와 같이 DPPH 소거 활성, FRAP, reducing power와 같은 항산화 활성은 페놀성 화합물 또는 플라보노이드 물질에 기인하여 항산화 활성을 나타내며 대체적으로 항산화 효과가 우수한 것을 확인하였으며 총 폴리페놀 함량과 항산화 활성은 배지 재료와 유의적인 차이를 보이는 것으로 나타났다. 참나무시들음병 피해목을 이용한 톱밥재배에서 생산된 표고의 항산화 활성 측정 결과를 바탕으로 향후 참나무시들음병을 방제하기 위해 사용되는 다양한 훈증제에 대한 저항성이 높고 항산화 활성이 우수한 표고 품종을 개발할 수 있을 것이라 생각된다.

적 요

본 연구에서는 참나무시들음병 피해목을 이용해서 표고 톱밥재배 가능성을 알아보고 생산된 표고의 항산화 활성을 알아보았다. 총 3개 균주와 4가지 톱밥재료를 이용하여 실험을 진행하였으며, 생산량 검정 결과 고사목을 이용하여 재배한 모든 균주는 건전목과 통계적으로 비슷한 생산량을 나타냈으며 산마루2호를 제외하고 훈증목과 고사진행목을 이용하였을 때 건전목보다 생산성이 떨어지는 것으로 확인되었다. 각 처리구에서 수확한 표고의 항산화 활성 측정 결과는 총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거능, FRAP, reducing power에서 훈증목이 다른 배지재료에 비해서 항산화 활성이 유의적으로 높게 나타났다. 본 연구에서 사용된 참나무시들음병 피해목의 이용 증진을 위해 추가적인 연구가 필요하며 참나무시들음병 피해목을 이용한 표고 톱밥재배 가능성과 생산된 표고의 항산화 활성을 확인함으로써 향후 참나무시들음병 피해목을 활용한 톱밥재배 관련 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

Acknowledgements

This study was supported by grants (FP 0801-2016-01) from the National Institute of Forest Science, Republic of Korea.

REFERENCES

1. Kang MY, Kim SY, Yun HJ, Nam SH. Antioxidant activity of the extracts from browned oak mushroom (*Lentinus edodes*) with unmarketable quality. Korean J Food Sci Technol 2004; 36:648-54.
2. Kim JH, Jeong CH, Choi GN, Kwak JH, Choi SG, Heo HJ. Antioxidant and neuronal cell protective effects of methanol extract from *Schizandra chinensis* using an in vitro system. Korean J Food Sci Technol 2009;41:712-6.
3. Suh DH, Son SY, Kim SH, Seo ST, Kim KH, Ko HK. Investigation of fungi in pesticide fumigated oak wilt-diseased logs. Kor J Mycol 2010;40:288-91.
4. Son SY, Seo ST, Park JH. Control efficacy of fungicide injection on oak wilt in the field. Res Plant Dis 2014;20:295-8.
5. Lee BH, Bak WC, Ka KH, Ryu SR. Comparison of productivity according to sawdust size and effect of additives for sawdust cultivation of shiitake. Kor J Mycol 2008;36:36-40.
6. Jeon SM, Ka KH, Kim KH. Antagonistic properties of mushroom strains to Korean oak wilt pathogen, *Raffaelea quercus-mongolicae*. Kor J Mycol 2010;38:62-8.
7. Han SR, Kim MJ, Oh TJ. Antioxidant activities and antimicrobial effects of solvent extracts from *Lentinus edodes*. J Korean Soc Food Sci Nutr 2015;44:1144-9.
8. Qi Y, Zhao X, Lim YI, Park KY. Antioxidant and anticancer effects of edible and medicinal mushrooms. J Korean Soc Food Sci Nutr 2013;42: 655-62.
9. Singleton VL, Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdice phosphotungstic acid reagents. Am J Enol Vitic 1965;16:144-58.
10. Blois MS. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. Nature 1958;181:1199-200.
11. Benzie IFF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. Anal Biochem 1996;239:70-6.
12. Oyaizu M. Studies on products of browning reaction-antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. Jpn J Nutr Diet 1986;44:307-15.
13. Woldegiorgis AZ, Abate D, Haki GD, Ziegler GR. Antioxidant property of edible mushrooms collected from Ethiopia. Food Chem 2014;157:30-6.
14. Jung IC, Park S, Park KS, Ha HC, Kim SH, Kwon Yl, Lee JS. Antioxidative effect of fruit body and mycelial extracts of *Pleurotus ostreatus*. Korean J Food Sci Technol 1996;28:464-9.
15. Yu SC, Oh TJ. Antioxidant activities and antimicrobial effects of extracts from *Auricularia auricula-judae*. J Korean Soc Food Sci Nutr 2016;45:327-32.
16. Kwon YJ, Kim MH, Choi JS, Lee TS. Free radical scavenging, anti-inflammatory and melannin synthesis inhibitory activities of *Gloeostereum incarnatum*. J Mushrooms 2014;12:107-16.
17. Boonsong S, Klaypradit W, Wilaipun P. Antioxidant activities of extracts from five edible mushrooms using different extractants. Agric Nat Resour 2016;50:89-97.
18. Kim JO, Jung MJ, Choi HJ, Lee JT, Lim AK, Hong JH, Kim DI. Antioxidative and biological activity of hot water and ethanol extracts from *Phellinus linteus*. J Korean Soc Food Sci Nutr 2008;37:684-90.
19. Kim MH, Jeong EJ, Kim YS. Studies on the antioxidative activities and active components of the extracts from *Pleurotus ostreatus*. J Food Hyg Saf 2016;31:119-25.
20. Kang YH, Park YK, Lee GD. The nitrite scavenging and electron donating ability of phenolic compounds. Korean J Food Sci Technol 1996;28:232-9.
21. Rhu JH, Lee SJ, Kim MJ, Shin JH, Kang SK, Cho KM, Sung NJ. Antioxidant and anticancer activities of *Artemisia annua* L. and determination of functional compounds. J Korean Soc Food Sci Nutr 2011;40:509-16.
22. Kim SM, Cho YS, Sung SK. The antioxidant ability and nitrite scavenging ability of plant extracts. Korean J Food Sci Technol 2001;33:626-32.
23. Ryu SR, Lee WY, Ka KH. Comparative study on the sawdust cultivation and the antioxidants of *Hericium* spp. Kor J Mycol 2009;37:80-5.