

제주 야생 버섯 추출물의 생리활성 연구

이혜자[†] · 김기옥^{*} · 박진오 · 주철규

대봉엘에스(주) 천연물소재응용연구소, *(재)제주테크노파크 생물종다양성연구소,
(2015년 6월 16일 접수, 2015년 6월 16일 수정, 2015년 6월 22일 채택)

A Study on the Biological Activities of Wild Mushroom Extracts from Jeju Island

Hye Ja Lee[†], Gi Ok Kim^{*}, Jin Oh Park, and Chul Gue Joo

Department of Natural Product Laboratory, Daebong LS, Ltd., 123, Neungheodae-ro 649 Beon-gil,
Namdong-gu, Incheon-city 405-820, Korea

*Jeju Biodiversity Research Institute, Jeju Technopark, Seogwipo 697-943, Korea

(Received June 16, 2015; Revised June 19, 2015; Accepted June 22, 2015)

요약: 본 연구에서는 제주도에 자생하고 있는 12종의 야생 버섯에 대한 항산화, 미백 그리고 염증억제 효능을 조사하였다. 항산화 효능은 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH)를 이용한 free radical 소거 활성을 측정하였으며, 미백 효능 검정을 위하여 tyrosinase 저해활성을 측정하였다. 그리고 항염 효능 검정을 위하여 nitric oxide (NO) 생성 저해활성을 측정하였다. 그 결과, DPPH 소거 활성(FSC₅₀)에서는 참나무 잔나비버섯 추출물(74.8 µg/mL), 서어나무 잔나비버섯 추출물(182.6 µg/mL)이 높은 억제 활성을 나타내었다. Tyrosinase 저해 활성(IC₅₀)에서는 참나무 잔나비버섯 추출물(346.8 µg/mL)이 가장 높은 활성을 나타내었고, 이는 비교 대조군으로 사용한 Arbutin (421.6 µg/mL)보다 높은 활성을 나타내었다. 염증 억제 효능 관련 NO 생성 저해율을 측정한 결과, 100 µg/mL 처리 시 참나무 잔나비버섯과 때죽나무 잔나비버섯에서 각각 74.1%, 62.9%의 억제활성을 나타내었다. 그리고, 이들을 농도별로 처리한 결과 농도 의존적으로 NO 생성을 저해함을 확인할 수 있었다. 이상의 연구결과로부터, 참나무 잔나비버섯, 서어나무 잔나비버섯, 때죽나무 잔나비버섯에서 화장품 효능 원료로서의 가능성을 발견할 수 있었다.

Abstract: In this study, we investigated the antioxidant, whitening and anti-inflammatory effects of 12 species of wild mushrooms in Jeju Island. Their anti-oxidative effects were measured by the free radical scavenging activity using 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), and tyrosinase inhibitory activities were determined for the whitening effect. In addition, inhibitory activities of NO production for anti-inflammation were investigated. As a result, *Elfvigia applanata* extract and *Fomitopsidaceae sp.* extracts showed higher free radical scavenging activities (FSC₅₀; 74.8 µg/mL, 182.6 µg/mL respectively) than other extracts. *Elfvigia applanata* extract (IC₅₀; 346.8 µg/mL) showed higher activity than the Arbutin (IC₅₀; 421.6 µg/mL) on tyrosinase inhibitory activity. *Elfvigia applanata* extract and *Daedaleopsis styracina* extract showed anti-inflammatory activity of 74.1% and 62.9% respectively, at the concentration of 100 µg/mL. Furthermore, the extracts inhibited NO production in a dose-dependent manner. In conclusion, we evaluated the biological activities of 12 species of wild mushrooms in Jeju Island, *Elfvigia applanata*, *Fomitopsidaceae sp.* and *Daedaleopsis styracina* could have the functional effects as a cosmetic raw material.

Keywords: wild mushroom, Jeju Island, anti-oxidant, tyrosinase inhibition, anti-inflammation

† 주 저자 (e-mail: hj4170@daebongls.co.kr)
call: 032)712-8808

1. 서 론

산소는 호기성 생물의 생명유지에 절대적으로 필요하지만, 화학적, 환경적 요인에 의하여 반응성이 큰 활성산소종(reactive oxygen species)으로 전환되면, 노화는 물론 암을 비롯하여 피부질환, 염증, 자기면역질환 등의 각종 질병을 일으키는 것으로 알려져 있다[1]. DPPH는 안정한 유리기로 cysteine, glutathione과 같은 황 함유 아미노산과 ascorbic acid 등에 의해 환원되어 탈색되므로 다양한 천연소재로부터 항산화 물질을 검색하는데 많이 이용되고 있다[2].

Tyrosinase는 polyphenol oxidase의 일종이며 구리를 함유하는 효소로서 색소세포에서 tyrosine을 3,4-dihydroxyphenylalanine (DOPA)로 변환하고 효소적 산화반응에 의해 단계적으로 멜라닌(melanin)을 생합성한다. 이와 같이 tyrosinase는 멜라닌 중합체를 생성하는 key enzyme으로서, 세포 내 색소세포에서 활성화되어 멜라닌이 과잉 생성되면 기미, 주근깨, 검버섯 등의 색소침착이 일어나 피부노화 및 손상을 초래하므로 tyrosinase 활성억제 실험은 미백원료 개발의 screening 단계에서 필수적이다[3].

Nitric oxide (NO)는 활성산소(ROS)의 일종으로 혈관 확장, 신경전달, 세포독성, 세포보호 등의 역할을 포함한 여러 가지 생리학적, 병리학적 조절작용에 관여하는 것으로 알려져 있다. 특히, 대식세포에서 lipopolysaccharide (LPS)나 cytokine 등과 같은 자극물질에 의해 생성되는 NO는 항균, 항암작용을 조절하는 물질로 작용하며, 과도하게 생성되었을 경우 염증질환, 돌연변이 발생, 발암과정과 연관이 되어 있는 것으로 알려져 있다[4].

버섯은 담자균강과 일부의 자낭균강에 속하는 종으로 탄수화물, 단백질, 지질, 무기질 및 비타민 등이 풍부하여 영양적으로 우수하며 고대로부터 식용 혹은 약용 등의 목적으로 사용되어져 왔다[5]. 식용 및 약용으로 섭취하고 있는 버섯의 자실체 부분은 독특한 향과 질감을 가지고 있으며, 베타글루칸, 에르고티오네인, 에리타데닌, 레티나신 등 다양한 생리활성 물질이 다량 함유되어 있다고 보고되고 있다[6-7]. 또한, 식용 및 약용 버섯의 항균[8], 항산화 및 항암 효과[9-10] 등이 보고되어 다양한 기능성 소재로 활용되는 등 그 이용범위는 지속적으로 확대되고 있다.

제주도는 화산활동으로 만들어진 오름(작은화산체)과 오름에서 분출된 용암으로 형성된 곳자왈 등을 비롯해 다습한 기후, 상록활엽수림, 목장지대 등이 분포해 버섯이 자라기에 좋은 환경을 갖추었다[11]. 이와 더불어 제주 버섯 분포는 국내 최고라 보고되고 있으나 관련 응용연구는 매우 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 제주 야생 버섯으로부터 항산화, 미백 및 염증억제 효과를 나타내는 우수자원을 발굴하여 화장품 원료 개발을 수행하고, 제주 야생 버섯을 새로운 천연물 유래 생리활성 물질로 활용하는 기초자료를 제시하고자 연구를 수행하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 시약 및 재료

실험에 사용된 시약으로 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical, L-tyrosine은 Sigma Chemical Co. (USA)에서 구입하여 사용하였으며, 그 외 각종 용매는 시판 특급 시약을 사용하였다. Tyrosinase (1000 units/mg solid), L-ascorbic acid, arbutin, sodium nitrate (NaNO₂)는 Sigma Chemical Co. (USA)에서 구입하여 사용하였다.

세포실험에 사용된 Fetal bovine serum (FBS), Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM)은 Gibco (USA)에서 구입하여 사용하였고, Lipopolysaccharide (LPS, E. coli serotype 0111:B4), griess 시약(1%(w/v) sulfanilamide, 0.1%(w/v) naphylethylenediamine in 2.5%(v/v) phosphoric acid), MTT (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5 diphenyl-2H-tetrazolium bromide), dimethyl sulfoxide (DMSO)은 Sigma Chemical Co. (USA)에서 구입하여 사용하였다.

2.2. 제주 야생 버섯 추출물 제조

본 실험에 사용한 제주 야생 버섯은 한라산 300 ~ 1100 m 고지사이에서 자생하는 야생 버섯으로 제주 생물종다양성연구소를 통해 얻었으며, 1차 스크리닝을 통하여 12종을 선별하였다. 채취 후 건조된 버섯을 70% 에탄올 용매(덕산 약품공업, Korea) 1000 mL에 침지하여 상온에서 추출하였으며, 에탄올로 추출한 물질은 여과지(Advantec Toyo, No. 2, Japan)로 여과한 다음 40 ~ 45 °C에서 회전감압농축기(Heidolph Co., L-4003, Germany)를 이용하여 감압 농축 후, 에탄올 추출물을 얻어 실험에 이용하였다(Table 1).

Table 1. Mushroom Extracts used for Experiment

No.	Korean name	Scientific name
1	주름버섯	<i>Agaricus campestris</i>
2	무당버섯	<i>Russula emetica (Schaeff.) Pers</i>
3	갓버섯	<i>Macrolepiota procera</i>
4	관음흰우단버섯	<i>Leucopaxillus septentrionalis</i>
5	말불버섯	<i>Lycoperdon perlatum</i>
6	참나무잔나비버섯	<i>Elfvigia applanata</i>
7	매죽나무잔나비버섯	<i>Daedaleopsis styracina</i>
8	붉은덕다리버섯 (A)	<i>Laetiporus sulphureus (A)</i>
9	구실갓밤나무잔나비버섯	<i>Fomitopsis sp. (Castanopsis cuspidata)</i>
10	소나무잔나비버섯	<i>Fomitopsis pinicola</i>
11	서어나무잔나비버섯	<i>Fomitopsis sp. (Carpinus laxiflora)</i>
12	붉은덕다리버섯 (B)	<i>Laetiporus sulphureus (B)</i>

2.3. DPPH법을 이용한 free radical 소거 활성

DPPH radical 소거 활성은 시료에 대한 free radical의 소거 활성을 측정하여 항산화력을 평가하는 방법이다. 각 시료 추출물의 전자공여능(electron donating ability, EDA%) 측정은 Blois 방법에 의한 DPPH free radical 소거법에 따라 측정하였다[12]. 준비된 각 농도별 시료를, 96 well plate에 100 µL씩 분주 하고, 메탄올에 녹인 0.4 mM DPPH를 동량 첨가하여 실온의 암실에서 30 min 간 방치한 후, ELISA Reader (VersaMax Molecular Devices, USA)를 이용하여 515 nm에서 흡광도를 측정하였다. 양성 대조군으로는 L-ascorbic acid를 사용하였다. 그 활성의 크기는 DPPH의 농도가 50% 감소되는데 필요한 시료의 농도(free radical scavenging activity, FSC₅₀, µg/mL)로서 표기하였다. 각 시료별로 3회 반복 실험 후 평균값을 구하였다.

2.4. Tyrosinase 저해 활성

Tyrosinase는 L-Tyrosine으로부터 멜라닌 생성과정에서 전체 반응 속도를 결정하는데 작용하는 핵심효소이다. 따라서 tyrosinase의 활성 저해 분석은 미백활성을 측정하는데 매우 중요하다. 다음의 용액을 혼합한 후 37 °C에서 10 min동안 항온 배양하였다[13].

- L-tyrosine (0.3 mg/mL) : 1.0 mL
- Potassium phosphate buffer (0.1 M, pH 6.8) : 1.9 mL
- Test solution (sample extract) : 0.1 mL
- 0.1 mL Tyrosinase 용액(1,250 units/mL)을 반응혼합

물에 가하고 37 °C에서 10 min 동안 항온 배양한 다음, 반응혼합물을 얼음 수조에 넣어 반응을 종결시키고, 475 nm에서 흡광도를 측정하였다. Tyrosinase를 첨가하지 않은 균을 공시험 균으로 하여 효소활성 저해를 계산하였다. 활성의 크기는 0.1 mL tyrosinase (1,250 units/mL)의 활성을 50% 감소시키는데 필요한 시료의 농도(IC₅₀, µg/mL)로 표기하였다. 양성대조군으로는 arbutin을 사용하였다.

2.5. 세포활성평가

2.5.1. 세포배양

마우스 대식세포인 Raw 264.7 세포는 American Type Culture Collection (ATCC, USA)으로부터 분양받아 실험에 사용하였다. 10%의 FBS (Gibco)와 1% antibiotic-antimycotic (Gibco)이 첨가된 DMEM (Gibco)를 사용하여 37 °C, 5% CO₂ 인큐베이터에서 배양하였으며, 2 ~ 3일 간격으로 계대배양을 시행하였다.

2.5.2. NO 생성 억제

48 well plate에 1.8 × 10⁵ cells/mL의 Raw 264.7 세포를 분주하여 18 h 동안 배양하였다. 염증 반응 유도 인자인 lipopolysaccharide (LPS)를 1 µg/mL의 농도로 처리한 후 시료를 농도별로 처리하여 24 h 동안 배양하였다. 생성된 NO의 양은 griess 시약(1%(w/v) sulfanilamide, 0.1%(w/v) naphylethylenediamine in 2.5%(v/v) phosphoric

Table 2. Free Radical Scavenging Activities of 12 Jeju wild Mushroom Extracts

No.	Name	DPPH FSC ₅₀ (μg/mL)
1	<i>Agaricus campestris</i>	443.6
2	<i>Russula emetica</i> (Schaeff.) Pers	>1,000
3	<i>Macrolepiota procera</i>	349.7
4	<i>Leucopaxillus septentrionalis</i>	484.4
5	<i>Lycoperdon perlatum</i>	425.6
6	<i>Elfvigia applanata</i>	74.8
7	<i>Daedaleopsis styracina</i>	>1,000
8	<i>Laetiporus sulphureus</i> (A)	421.2
9	<i>Fomitopsidaceae sp. (Castanopsis cuspidata)</i>	392.7
10	<i>Fomitopsis pinicola</i>	373.6
11	<i>Fomitopsidaceae sp. (Carpinus laxiflora)</i>	182.6
12	<i>Laetiporus sulphureus</i> (B)	365.7
Standard	L-Ascorbic acid	1.5

Table 3. Tyrosinase Inhibitory Activities of 12 Jeju wild Mushroom Extracts

No.	Name	Tyrosinase inhibition IC ₅₀ (μg/mL)
1	<i>Agaricus campestris</i>	>1,000
2	<i>Russula emetica</i> (Schaeff.) Pers	>1,000
3	<i>Macrolepiota procera</i>	>1,000
4	<i>Leucopaxillus septentrionalis</i>	>1,000
5	<i>Lycoperdon perlatum</i>	>1,000
6	<i>Elfvigia applanata</i>	346.8
7	<i>Daedaleopsis styracina</i>	>1,000
8	<i>Laetiporus sulphureus</i> (A)	>1,000
9	<i>Fomitopsidaceae sp. (Castanopsis cuspidata)</i>	>1,000
10	<i>Fomitopsis pinicola</i>	>1,000
11	<i>Fomitopsidaceae sp. (Carpinus laxiflora)</i>	>1,000
12	<i>Laetiporus sulphureus</i> (B)	>1,000
Standard	Arbutin	421.6

acid)을 이용하여 세포 배양액 중에 존재하는 NO₂⁻의 형태로 측정하였다[14]. 세포 배양 상등액 100 μL와 griess 시약 100 μL를 혼합하여 10 min 동안 반응시킨 후 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 생성된 NO의 양

은 sodium nitrite (NaNO₂)를 standard로 비교하였다.

2.5.3. 세포독성평가(MTT assay)

세포독성은 3-(4,5-dimethylthazo-2-yl)-2,5-diphenyl-tetra-

Table 4. Inhibitory Effects of 12 Jeju wild Mushroom Extracts on NO Production

Name	NO inhibition (%)		Cell viability (%)	
	50 $\mu\text{g/mL}$	100 $\mu\text{g/mL}$	50 $\mu\text{g/mL}$	100 $\mu\text{g/mL}$
<i>Agaricus campestris</i>	22.4 \pm 0.9	35.1 \pm 1.4	101.3	100.3
<i>Russula emetica (Schaeff.) Pers</i>	27.87 \pm 0.5	35.63 \pm 0.5	103.4	99.5
<i>Macrolepiota procera</i>	33.05 \pm 1.5	45.11 \pm 2.4	100.0	94.2
<i>Leucopaxillus septentrionalis</i> ¹⁾	N.D. ²⁾	N.D.	103	N.D.
<i>Lycoperdon perlatum</i>	21.8 \pm 1.6	30.2 \pm 1.9	118.0	103.3
<i>Elfvigia applanata</i>	54.0 \pm 0.1	74.1 \pm 1.5	105.2	101.7
<i>Daedaleopsis styracina</i>	52.3 \pm 1.4	62.9 \pm 0.7	107.7	106.3
<i>Laetiporus sulphureus (A)</i>	29.6 \pm 0.8	35.9 \pm 1.2	105.2	110.5
<i>Fomitopsidaceae sp. (Castanopsis cuspidata)</i>	33.1 \pm 1.7	42.2 \pm 0.7	115.7	129.1
<i>Fomitopsis pinicola</i>	35.1 \pm 2.4	43.7 \pm 3.1	101.6	97.7
<i>Fomitopsidaceae sp. (Carpinus laxiflora)</i>	36.2 \pm 2.9	44.5 \pm 1.0	113.7	113.4
<i>Laetiporus sulphureus (B)</i>	29.6 \pm 1.8	37.3 \pm 0.4	113.8	138.2

¹⁾ cytotoxicity

²⁾ not detected

zolium bromide (MTT) 시약을 이용하여 세포 생존율을 측정하는 방법을 변형하여 측정하였다[15]. 96 well plate에 Raw 264.7 세포를 1.0×10^5 cells/mL로 분주하여 18 h 동안 전 배양하였다. LPS (1 $\mu\text{g/mL}$)와 농도별로 희석한 시료(1 $\mu\text{g/mL}$)를 동시처리한 후 24 h 동안 배양하였다. 배양이 끝난 후 MTT용액(2 mg/mL)을 각 well에 0.5 mg/mL 농도로 처리하여 4 h 동안 배양한 후, 배양액을 제거한 다음 dimethyl sulfoxide (DMSO) 용액 500 μL 를 넣고, 10 min 동안 흔들어 준 후 ELISA reader로 570 nm에서 흡광도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. DPPH법을 이용한 free radical 소거 활성

항산화 활성 측정방법 중 DPPH법은 비교적 간단하며 실제 항산화 활성과 연관성이 높은 방법으로, 인체 내에서 활성 라디칼에 의한 피부노화를 억제하는 작용의 척도로도 이용되고 있다[16]. 본 실험에서 연구한 제주 야생 버섯 12종의 프리 라디칼 소거 활성 결과는 Table 2와 같다. 프리 라디칼 소거 활성(FSC₅₀)은 참나무 잔나비버섯 추출물, 서어나무 잔나비버섯 추출물, 갯버섯 추출물, 덕다리버섯 추출물, 소나무 잔나비버섯 추출물 순이었으며, 가장 높은 효능을 나타낸 것은 참나

무 잔나비버섯 추출물(FSC₅₀: 74.8 $\mu\text{g/mL}$)이었다.

3.2. Tyrosinase 저해 활성

Tyrosinase는 L-tyrosine의 멜라닌 생성에 관여하는 효소로, 이러한 tyrosinase 효소의 저해물질은 기미, 주근깨 생성을 억제할 수 있으며, 미백제로도 활용이 가능하다[17]. 본 실험에서 연구한 제주 야생 버섯 12종의 tyrosinase 저해 활성(IC₅₀)은 Table 3과 같다. 이들 12종의 제주 야생 버섯 추출물 중 참나무 잔나비버섯 추출물(346.8 $\mu\text{g/mL}$)이 tyrosinase 억제 활성을 나타내었으며, 이는 비교 대조군으로 사용한 Arbutin (421.6 $\mu\text{g/mL}$)보다 높은 활성을 나타내었다.

또한, 이러한 효능을 나타낸 참나무 잔나비버섯 추출물에 대하여 다양한 농도로 tyrosinase 저해활성을 측정한 결과, 농도 의존적으로 활성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다(Figure 1).

3.3. NO 생성 억제

일반적인 NO의 생성은 박테리아를 죽이거나 종양을 제거시키는 중요한 역할을 하지만, 염증상태에서 iNOS에 의해 생성되는 과량의 NO는 혈관 투과성, 부종 등의 염증반응을 촉진시킬 뿐만 아니라 염증매개체의 생합성을 촉진하여 염증을 심화시키는 것으로 알려져

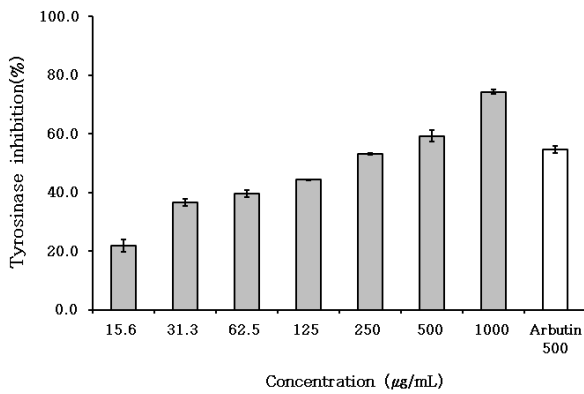


Figure 1. Inhibitory effects of *Elfvigina applanata* extract on tyrosinase activity.

있다[18-19]. 제주 야생 버섯 추출물이 염증관련 인자에 미치는 영향을 알아보기 위하여 RAW 264.7 세포에 LPS로 자극을 주고, NO 생성량을 griess 시약을 이용하여 세포배양액 중에 존재하는 NO₂의 형태로 측정하였다. 그 결과, LPS 처리에 의하여 과량의 NO (> 25 µM)가 생성되는 것을 확인할 수 있었으며(data not shown), 버섯 추출물 100 µg/mL 농도처리시 참나무 잔나비버섯 추출물(74.1%)과 때죽나무 잔나비버섯 추출물(62.9%)에서 높은 NO 생성 억제활성을 나타냄을 확인할 수 있었다(Table 4). 높은 억제 활성을 나타내었던 참나무 잔나비버섯과 때죽나무 잔나비버섯을 농도별로 처리하고 LPS에 의해 생성되는 NO 생성 억제율을 알아본 결과, 농도 의존적으로 NO 생성을 억제하는 것을 확인할 수 있었고, 이때 세포 독성은 나타나지 않았다(Figure 2).

잔나비버섯(*Fomitopsidaceae* sp.)은 활엽수의 살아있는 나무 또는 죽은 나무에 연중 무휴 무리지어 나는 다년생 목재부후균이다. 숙주가 되는 나무의 종류에 따라 이름이 지어지며, 식용버섯으로는 상황버섯, 구름버섯과 함께 높은 항암효과가 있는 것들이 알려져 있다[20]. 현재 서어나무 잔나비버섯에 대한 생리활성은 보고된 바가 없으며, 참나무 잔나비버섯은 항암효과가 알려져 있으나 항산화 및 NO 생성 억제효과는 알려진 바가 없다. 때죽나무 잔나비버섯은 죽은 때죽나무 고목에 붙어 자란다고 하여 붙여진 이름으로 동백나무 조개버섯이라고도 한다. 현재 관찰 보고된 바가 없어 알려진 바 없는 버섯 종의 하나로 향후 NO 생성 억제 활성 및 항산화 활성 등에 대한 연구에 활용 가능할 것

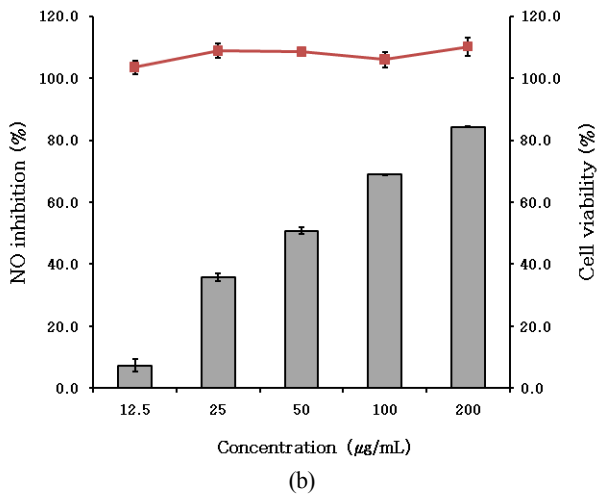
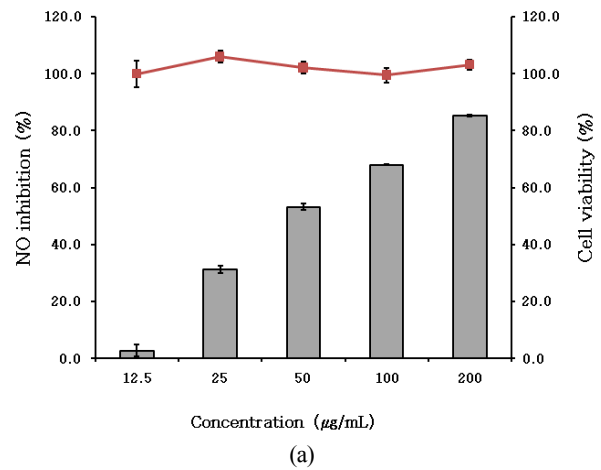


Figure 2. Inhibitory effects of *Elfvigina applanata* extract and *Daedaleopsis styracina* extract on NO production.

(a) *Elfvigina applanata* extract

(b) *Daedaleopsis styracina* extract

으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 제주 야생 버섯을 새로운 화장품 소재로 활용하고자 제주 야생 버섯 12종을 이용하여 항산화, 미백, 항염활성 평가를 진행하였고, 그 결과 새로운 천연물 유래 생리활성 물질로 활용 가능한 야생 버섯 추출물을 확보하였다. 야생 버섯 추출물 중 항산화 활성에서는 참나무 잔나비버섯, 서어나무 잔나비버섯이 높은 활성을 나타내었다. 미백 활성에서는 참나

무 잔나비버섯 추출물이 가장 높은 활성을 나타내었고, 항염 활성에서는 참나무 잔나비버섯과 때죽나무 잔나비버섯이 억제 활성을 나타내었다. 이 중 참나무 잔나비버섯은 항산화와 염증억제에서 농도 의존적인 높은 활성을 나타냈으며, 미백평가에서도 양성대조군인 arbutin과 비교하여 더 높은 tyrosinase 억제 활성을 가지는 것으로 확인되었다. 이상의 결과들은 화장품 효능 소재 개발을 위한 기초 연구용 자료로서의 역할을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 정부(환경부)의 재원으로 국립생물자원관의 ‘나고야의정서 대응 창의 연구개발을 위한 인력양성 사업’의 지원을 받아 수행하였습니다(NIBR No. 2013-02-071).

Reference

- C. E. Cross, B. Halliwell, E. T. Borish, W. A. Pryor, B. N. Ames, R. L. Saul, J. M. McCord, and D. Harman, Oxygen radicals and human disease, *Ann. Intern. Med.*, **107**, 526 (1987).
- J. Ancerewicz, E. Migliavacca, P. A. Carrupt, B. Testa, F. Bree, R. Zini, J. P. Tillement, S. Labidalle, D. Guyot, A. M. Chauvet-Monges, A. Creva, and A. Le Ridant, Structure-property relationships of trimetazidine derivatives and model compounds as potential antioxidants, *Free Radic. Biol. Med.*, **25**, 113 (1998).
- Y. J. Kim and H. Uyama, Tyrosinase inhibitors from natural and synthetic sources: structure, inhibition mechanism and perspective for the future, *Cell Mol. Life Sci.*, **62**, 1707 (2005).
- J. H. Ryu, H. Ahn, J. Y. Kim, and Y. K. Kim, Inhibitory activity of plant extracts on nitric oxide synthesis in LPS-activated macrophage, *Phytother. Res.*, **17**, 485 (2003).
- B. A. Wani, R. H. Bodha, and A. H. Wani, Nutritional and medicinal importance of mushrooms, *J. Medicinal Plants Res.*, **4**, 2598 (2010).
- W. Y. Lee, E. J. Park, J. K. Ahn, and K. H. Ka, Ergothioneine contents in fruiting bodies and their enhancement in mycelial cultures by the addition of methionine, *Mycobiology.*, **37**, 43 (2009).
- P. Maity, S. Samanta, A. K. Nandi, I. K. Sen, S. Paloi, K. Acharya, and S. S. Islam, Structure elucidation and antioxidant properties of a soluble β -D-glucan from mushroom *Entoloma lividoalbum*, *Int. J. Biol. Macromol.*, **63**, 140 (2014).
- E. J. Lee, J. E. Kim, M. J. Park, D. C. Park, and S. P. Lee, Antimicrobial effect of the submerged culture of *Sparassis crispa* in Soybean curd whey, *Korean J. Food Preserv.*, **20**, 111 (2013).
- Y. Qi, X. Zhao, Y. I. Lim, and K. Y. Park, Antioxidant and anticancer effects of edible and medicinal mushrooms, *Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **42**, 655 (2013).
- S. Patel and A. Goyal, 3 Biotech, Recent developments in mushrooms as anti-cancer therapeutics: a review, **2**(1), 1 (2012)
- 고평열, 김찬수, 신용만, 석순자, 변광욱. 제주지역의 야생버섯, *국립산림과학원*, 463 (2009).
- M. S. Blois, Antioxidant determination by the use of a stable free radical, *Nature*, **26**, 1199 (1958).
- J. W. Choi, S. I. Kim, S. M. Jeon, J. Y. Kim, H. J. Yang, K. H. Lee, and S. N. Park, Antioxidative and cellular protective effects of Jeju native plant extracts against reactive oxygen species, *J. Soc. Cosmet. Scientists Korea*, **32**, 181 (2006).
- S. Y. Ryu, M. H. Oak, S. K. Yoon, D. I. Cho, and G. S. Yoo, Anti-allergic and anti-inflammatory triterpenes from the herb of *Prunella vulgaris*, *Planta Med.*, **66**, 358 (2000).
- M. V. Berridge, P. M. Herst, and A. S. Tan, Tetrazolium dyes as tools in cell biology: new insights into their cellular reduction. *Biotechnology Annu. Rev.*, **11**, 127 (2005).
- S. J. Jeong, J. H. Lee, H. N. Song, N. S. Seong, S. E. Lee, and N. I. Baeg, Screening for antioxidant activity of plant medicinal extracts, *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.*, **47**, 135 (2004).

17. Y. Zhu, C. Chen, S. Zhao, J. Yang, H. Song, F. Ge, D. Liu, Inhibitory mechanism of salidroside on tyrosinase, *J. Food. Nutr. Res.*, **2** (10), 698 (2014).
18. C. F. Nathan and H. B. Jr. Hibbs, Role of nitric oxide synthesis in macrophage antimicrobial activity, *Curr. Opin. Immunol.*, **3**, 65 (1991).
19. K. Y. Stokes, D. Cooper, A. Taylor, and D. N. Granger, Hypercholesterolemia promotes inflammation and microvascular dysfunction: role of nitric oxide and superoxide, *Free Radical. Biol. Med.*, **33**, 1026 (2002).
20. M. Popova, B. Trusheva, M. Gyosheva, I. Tsvetkova, and V. Bankova, Antibacterial triterpenes from the threatened wood-decay fungus *Fomitopsis rosea*, *Fitoterapia*, **80**, 263 (2009).