

## 동결건조 목이버섯의 자외선(UVB) 처리조건에 따른 품질 특성 및 유효성분 함량

†최소라 · 신소희\* · 송영은 · 한현아\* · 이송이\*

전라북도농업기술원 지방농업연구관, \*전라북도농업기술원 지방농업연구사

### Quality Characteristics and Content of Available Components of Freeze-dried Ear Mushroom by UVB (Ultraviolet B) Treatment Conditions

†So-Ra Choi, So-Hee Shin\*, Young-Eun Song, Hyun-Ah Han\* and Song-Yee Lee\*

Senior Researcher, Jeollabukdo Agricultural Research & Extension Services, Iksan 54591, Korea

\*Researcher, Jeollabukdo Agricultural Research & Extension Services, Iksan 54591, Korea

#### Abstract

In order to investigate the optimal UVB (ultraviolet B) treatment conditions for vitamin D<sub>2</sub> enhancement of freeze-dried ear mushroom, sample size (below 300 μm~whole), UV treatment temperature (30~60°C), treatment density (6.25~50.0 mg/cm<sup>2</sup>) and the samples mixing frequency (1~32 times) were treated differently. After that, chromaticity, vitamin D<sub>2</sub> and ergosterol (vitamin D<sub>2</sub> precursor) contents were investigated. As a result of the investigating, effective UVB treatment conditions for vitamin D<sub>2</sub> enhancement are as follows. The sample sizes were 2~4 mm and finely crushed pieces. The treatment temperatures were 50°C and 60°C. The treatment density was 12.5 to 25.0 mg/cm<sup>2</sup>, and the number of sample mixing was 8 times or more. As the amount of vitamin D<sub>2</sub> increased by UVB treatment, the ergosterol content generally tended to decrease. However, under some UVB treatment conditions, the vitamin D<sub>2</sub> content was not high despite the decrease of ergosterol content. Under the conditions set in this experiment, it was possible to obtain ear mushrooms with enhanced vitamin D<sub>2</sub> up to 26,968.7 μg/100 g. Therefore, it is thought that the ear mushroom is highly likely to be used as a vitamin D source and nutritionally fortified food ingredient.

Key words: ear mushroom, ergosterol, UVB, UVB treatment conditions, vitamin D<sub>2</sub>

#### 서 론

목이버섯(*Auricularia auricula-judae*)은 담자균류로 목이속(*Auricularia*), 목이과(*Auriculariaceae*)에 속하는 버섯이다(Yoo YB 2015). 원산지는 한반도, 중국 등 아시아 전역으로 알려져 있다. 우리나라에서 유통되는 목이버섯의 95%는 건목이 형태로 수입되는 중국산이며 2022년 건목이 수입량은 1,355 톤에 이른다(Korea Forest Service 2023). 그러나 국내에서도 2000년 초반부터 목이버섯 재배가 시작되어 2010년 초반 종균 생산시스템이 보급됨에 따라 재배면적이 꾸준히 증가하여 2021년에는 약 412톤이 생산되었다(Korea Forest Service

2022). 현재 주산지는 전북, 전남 등으로 특히 전북은 전국 생산량의 40.9%를 차지하고 있다(Korea Forest Service 2022).

목이버섯의 주요 영양성분은 식이섬유와 비타민 D<sub>2</sub>이다. 이 중 비타민 D<sub>2</sub>(ergocalciferol)는 동물에서 합성되는 D<sub>3</sub>(cholecalciferol)와 함께 건강기능식품 원료인 비타민 D의 원료로 등록되어 있다. 비타민 D는 인과 칼슘의 흡수와 이용에 반드시 필요하고 뼈의 형성과 유지에 관여하며 골다공증의 발생 위험 감소에도 도움을 주는데 일일섭취량은 3~10 μg이다(Ministry of Food and Drug Safety 2019).

생목이버섯에는 비타민 D<sub>2</sub>가 11.6 μg/100 g 함유된 반면 건목이버섯에는 363.9 μg/100 g이 함유되어 건조에 의한 차

† Corresponding author: So-Ra Choi, Senior Researcher, Jeollabukdo Agricultural Research & Extension Services, Iksan 54591, Korea. Tel: +82-63-290-6340, Fax: +82-63-290-6360, E-mail: sora0909@korea.kr

이가 많으며(Ji 등 2015), 건목이버섯의 비타민 D 함량은 표고버섯, 영지버섯, 운지버섯, 석이버섯 등 다양한 식용버섯 중 가장 높은 것으로 보고된 바 있다(Lee 등 1997). 또한 목이버섯의 건조방법에 따른 비타민 D<sub>2</sub> 함량은 열풍건조와 동결건조의 경우 1.89~5.90 µg/g이었으나 비닐하우스 안에서 자연건조한 경우 6.77 µg/g으로 높고 수확 후 경도와 외관이 양호하였다(Choi 등 2014).

또한 대부분의 버섯류에는 ergosterol(비타민 D<sub>2</sub> 전구체)이 다량 함유되어 있어 햇빛 속의 자외선에 의해 전환되어 비타민 D<sub>2</sub> 함량이 증가되는 특징을 가지고 있다(Holick 등 1980). 이러한 이유로 국내를 비롯한 전 세계에서 양송이버섯, 표고버섯, 팽이버섯 등에 자외선을 조사하여 비타민 D<sub>2</sub> 생성을 증가시키는 연구가 활발히 진행되고 있다(Zhang Y 2015; Keflic 등 2019).

목이버섯에 관한 연구는 암세포주에 대한 항암 효과(Reza 등 2011), 항당뇨 효과(Kim 등 2007), 혈당 강하(Yuan 등 1998), 항염 효과(Damte 등 2011), 항산화 활성(Kho 등 2009) 등의 기능성 분석에 치중되어 있으며, 일부 건조방법 등 전처리 기술이나 가공품 개발 연구도 수행되었다(Choi 등 2014; Shin 등 2020). 목이버섯의 비타민 D<sub>2</sub> 증강기술에 관한 연구로 Choi 등(2019)은 건조상태나 자외선량, 수확시기 등에 따른 차이를 일부 검토하였으나 아직도 이에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 목이버섯을 천연 비타민 D<sub>2</sub> 공급원인 기능성 원료로 개발하기 위해 비타민 D<sub>2</sub> 함량을 증강시키기 위한 최적의 자외선 처리조건을 설정하고자 시료크기, 자외선 조사온도, 처리밀도, 그리고 시료 혼합횟수에 따른 품질특성 및 유효성분 함량을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험재료

본 연구에서는 2018년 익산에서 생산된 목이버섯을 동결건조 후 실험재료로 사용하였으며 ‘현유’ 품종이었다. 목이버섯을 수확 당일 구입하여 초저온냉동고(WiseCryo, Daehan Scientific Co., Ltd., Wonju, Korea)에 -40°C로 1일 동안 냉동하여 동결건조기(TFD Series, IlshinBioBase, Dongduchun, Korea)로 96시간 동안 건조 후 시료로 사용하였다. 건조된 시료는 -80°C의 초저온냉동고(WiseCryo, Daehan Scientific Co., Ltd., Wonju, Korea)에 보관하고 실험처리 전 3시간 동안 상온에 방치 후 자외선 처리하였으며 모든 실험 처리는 동결건조 후 1주일 이내 완료하였다.

### 2. 자외선 처리

자외선등은 필립사의 UVB(290-320 nm, broadband 20W/12, Philips, Amsterdam, Netherlands)를 사용하였고 인큐베이터(WIR-420, Daehan Scientific Co., Ltd., Wonju, Korea) 안에 스테인레스스틸로 온도가 조절되도록 특수 제작된 조사장치(W700×D600×H100 mm)를 준비한 후 자외선등 8개를 설치하였다(Fig. 1). 자외선 조사선량 측정은 자외선측정기(HD2102.2, Delta Ohm, Caselle di Selvazzano, Italy)를 활용하였다.

자외선 처리에 사용된 tray는 W350×D255×H40 mm의 스테인레스 스틸 재질이었으며 140 kJ/m<sup>2</sup>의 자외선량을 tray 상단부에 처리하였다. 실험 1부터 실험 3까지는 17.5 kJ/m<sup>2</sup> 선량이 경과될 때마다 시료를 뒤집어 혼합하였다. 단, 실험 4의 시료 혼합횟수는 총 140 kJ/m<sup>2</sup>을 혼합횟수로 나누어 처리하였다.

본 연구에서는 동결건조된 목이버섯의 시료크기, 자외선 조사온도, 처리밀도, 시료 혼합횟수 등을 달리하여 비타민 D<sub>2</sub> 증진에 효과적인 최적 자외선 처리조건을 설정하고자 하였다. 실험 1에서는 시료크기를 300 µm 이하, 300~500 µm, 500 µm~2 mm, 2~4 mm, 잘게 부순 조각, 거칠게 부순 조각 및 건목이(미분쇄)로 달리하였는데, 이 때 시료의 수확시기는 8월, 자외선량은 140 kJ/m<sup>2</sup>이었고 자외선 처리밀도는 25.0 mg/cm<sup>2</sup>, 처리온도는 40°C이었다. 실험 2에서는 10월에 수확한 목이버섯의 시료크기를 2~4 mm로 준비하고 자외선 처리온도는 30~60°C로 10°C 간격으로 하였으며, 40°C 처리 시 자외선량을 측정하고 140 kJ/m<sup>2</sup>에 필요한 시간을 계산한 후 다른 처리에 동일하게 적용하였다. 실험 3의 자외선 처리밀도 실험을 위해 6.25, 12.5, 25.0, 37.5 및 50.0 mg/cm<sup>2</sup>로 구분하였으며 시료는 6월에 수확한 2~4 mm의 분말로 준비하였으며,

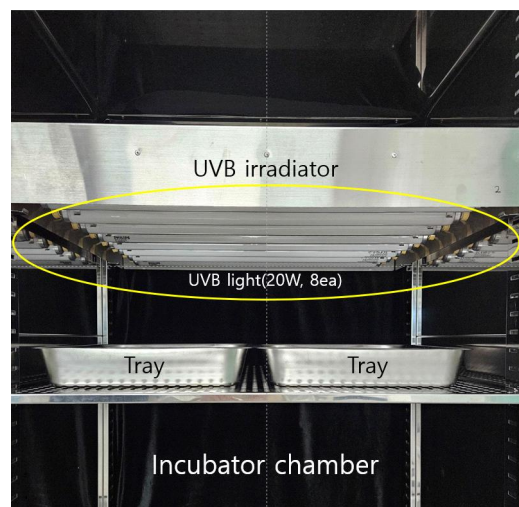


Fig. 1. The appearance of UVB irradiator used in this experiment.

자외선량은 140 kJ/m<sup>2</sup>, 처리온도는 40℃로 하였다. 실험 4에서는 시료 혼합횟수에 따른 차이를 알아보고자 자외선량 140 kJ/m<sup>2</sup> 조건에서 혼합횟수를 1, 2, 4, 8, 16, 32회로 달리하였는데 이 때 수확시기는 8월, 시료크기는 2~4 mm, 자외선 조사온도는 40℃로 하였다. 실험 완료 후 색도, 비타민 D<sub>2</sub>, ergosterol 및 총 폴리페놀 함량을 분석하였다.

### 3. 분말의 색도 측정

색도 측정을 위해 동결건조 목이버섯을 실험 처리 후 500 μm 이하로 분쇄한 분말이나 500 μm 이하인 시료는 그대로 사용하였다. Petridish(35×10 mm, SPL Life Sciences, Pocheon, Korea)에 시료를 넣은 후 색차계(Minolta Spectrophotometer CM-3500d, Minolta Co., Ltd., Tokyo, Japan)로 L값(명도)과 a값(적색도), 그리고 b값(황색도)을 측정하였다.

### 4. 분말의 비타민 D<sub>2</sub> 및 ergosterol 함량 분석

자외선 처리 후 비타민 D<sub>2</sub> 분석을 위해 시료 2 g을 duran bottle 100 mL에 넣고 methanol 50 mL를 가하여 50℃에서 9시간 동안 초음파 추출한 후 상등액을 여과지(Adventec No.2, Toyo Roshi Kaisha, Ltd., Japan)로 여과하여 50 mL로 정량하여 분석시료로 사용하였다.

HPLC 분석을 위해 준비된 시료를 멤브레인 필터(PTFE 0.45 μm, Guangzhou Jet Bio-Filtration Co., Scenic Science City, China)로 여과하고 HPLC(Agilent 1260, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) 분석을 위한 시료로 사용하였다. HPLC 분석칼럼으로는 Zorbax eclipse XDB-C<sub>18</sub>(4.6×150 mm, 5 μm, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)을 사용하였으며 이동용매는 acetonitrile:water=92:8(v/v), 유속은 1.5 mL/min로 설정하였고 UV 검출기로 264 nm에서 분석하였다. 주입량은 5~20 μL이고 칼럼온도는 30℃로 유지하였다. 표준물질인 비타민 D<sub>2</sub>와 ergosterol은 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, Mo, USA)에서 구입하여 100% 메탄올에 용해시킨 후 사용하였으며 처리 당 3반복으로 분석하였다.

### 5. 분말의 총 폴리페놀 함량 분석

총 폴리페놀 함량 분석을 위해 사용된 시료는 비타민 D<sub>2</sub> 분석용 시료와 동일하였으며, Folin-Ciocalteu's 방법을 변형하여 실험하였다. 시료 용액 0.1 mL에 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 2 mL를 첨가하여 혼합하고 실온에서 3분간 정치한 다음 50%의 Folin-Ciocalteu's reagent 용액 0.2 mL를 넣은 후 30분간 반응시켜 725 nm에서의 흡광도를 측정하였다. Gallic acid를 이용하여 표준곡선을 작성한 후 이 검량곡선으로 총 폴리페놀 함량을 구하였다.

### 6. 통계처리

분석한 데이터의 통계처리를 위해 SAS 프로그램(SAS 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 사용하여 평균과 표준편차를 구하고 one-way ANOVA(analysis of variation)로 처리 간 차이를 분석하였으며 Duncan's multiple range test(DMRT)를 실시하여 5% 유의수준에서 평균간 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 동결건조 목이버섯의 자외선 처리 시 시료크기별 품질 특성 및 유효성분 함량

자외선은 식물, 동물 또는 효모의 표면에 작용하여 비타민 D를 생성시키는 것으로 알려져 있기 때문에 동결건조된 목이버섯의 크기가 작을수록 표면적이 넓어 비타민 D<sub>2</sub> 생성에 효과적일 것이라는 가정하에 실험 1을 실시하였다. 동결건조 목이버섯의 시료크기에 따른 자외선 처리 후 품질특성과 유효성분을 조사한 결과는 Table 1과 같다.

색도의 경우 2~4 mm 처리구에서 L값(명도)이 가장 높고 a값(적색도)과 b값(황색도)은 다소 낮은 경향이었으나 300 μm 이하의 크기에서 L값(명도)이 가장 낮고 a값(적색도)과 b값(황색도)은 오히려 높은 경향을 보였다. 시료크기를 미분쇄에서 300 μm 이하까지 달리하여 자외선 처리하였을 때 비타민 D<sub>2</sub> 증진에 양호한 시료크기는 2~4 mm부터 잘게 부순 조각으로 25,961.2 μg/100 g 이상의 비타민 D<sub>2</sub>가 함유되어 있었으며 분쇄하지 않은 목이버섯에서는 16,479.3 μg/100 g, 300 μm 이하는 18,289.0 μg/100 g으로 나타나 시료크기에 따른 차이가 많았다. 비타민 D<sub>2</sub> 함량 증가가 높을 것으로 기대했던 가장 작은 입자인 300 μm 이하에서 2~4 mm 또는 잘게 부순 조각에 비해 낮은 비타민 D<sub>2</sub> 증가량을 보여 자외선 증진에 효과적인 시료크기가 있는 것으로 생각되었다.

목이버섯의 자외선 조사에 따른 비타민 D<sub>2</sub> 증강 효과에 대한 Choi 등(2019)의 연구에 따르면, 목이버섯의 비타민 D<sub>2</sub> 함량은 자외선 처리 전 53.0~53.3 μg/100 g이었으나 동결건조버섯의 경우 자외선 105 kJ/m<sup>2</sup> 이상 처리했을 때 18,691.3 μg/100 g 이상으로 급증하였으며 생목이버섯의 경우 52.5와 70 kJ/m<sup>2</sup>에서 4,643.4~4,780.9 μg/100 g으로 낮은 함량을 보여 105 kJ/m<sup>2</sup> 이상의 자외선 처리가 비타민 D<sub>2</sub> 증가에 효과적이라 보고된 바 있다. 또한 수확시기에 따라서도 비타민 D<sub>2</sub> 증가량은 6월과 7월에 수확한 목이버섯에서 20,524.1 μg/100 g 까지 증가하기도 하였는데 이는 4월에 비해 3.3배 증가한 수치이다. 그러나 인용된 문헌에서는 시료크기에 따른 비타민 D<sub>2</sub> 증강 효과는 연구되지 않아 효율적인 자외선 처리방법에 따른 세밀한 연구가 필요하게 되었다.

**Table 1. Quality characteristics and content of available components of freeze-dried ear mushroom after UVB treatment according to sample size**

Sample size	Hunter's color value			Vitamin D <sub>2</sub> (µg/100 g)	Ergosterol (mg/100 g)	Total polyphenol (mg/100 g)
	L <sup>1)</sup>	a	b			
Below 300 µm	50.4±0.0 <sup>e2)</sup>	3.9±0.0 <sup>a</sup>	13.2±0.1 <sup>a</sup>	18,289.0±309.6 <sup>e</sup>	79.2±2.8 <sup>f</sup>	1.65±0.01
300~500 µm	50.8±0.3 <sup>e</sup>	3.5±0.0 <sup>b</sup>	12.3±0.1 <sup>cd</sup>	22,928.0±76.4 <sup>d</sup>	93.1±0.6 <sup>e</sup>	1.72±0.01
500 µm~2 mm	52.4±0.2 <sup>d</sup>	3.4±0.0 <sup>bc</sup>	12.3±0.0 <sup>cd</sup>	25,625.1±332.2 <sup>b</sup>	97.4±1.4 <sup>de</sup>	1.73±0.02
2~4 mm	55.2±0.2 <sup>a</sup>	3.2±0.0 <sup>e</sup>	11.9±0.0 <sup>e</sup>	25,961.2±431.5 <sup>ab</sup>	108.8±1.0 <sup>d</sup>	1.70±0.02
Finely crushed pieces	53.0±0.3 <sup>c</sup>	3.4±0.0 <sup>d</sup>	12.2±0.1 <sup>d</sup>	26,968.7±965.9 <sup>a</sup>	116.8±4.6 <sup>c</sup>	1.68±0.03
Coarsely crushed pieces	53.2±0.4 <sup>c</sup>	3.4±0.0 <sup>cd</sup>	12.4±0.1 <sup>c</sup>	24,897.9±144.3 <sup>c</sup>	148.9±0.5 <sup>b</sup>	1.71±0.02
Whole	54.3±0.3 <sup>b</sup>	3.5±0.0 <sup>bc</sup>	12.6±0.1 <sup>b</sup>	16,479.3±318.5 <sup>f</sup>	182.4±3.6 <sup>a</sup>	1.66±0.02

※ Sample harvest time-August, UVB treatment temperature-40°C, sample density-25.0 mg/cm<sup>2</sup>, UVB dose-140 kJ/m<sup>2</sup>.

<sup>1)</sup> L; lightness (0~100), a; greenness-redness (-80~100), blueness-yellowness (-70~70).

<sup>2)</sup> Each value is expressed as the mean±standard deviation (n=3).

<sup>a-f)</sup> Mean in each column by different superscripts are significantly at 5% level by Duncan's multiple range test.

비타민 D<sub>2</sub> 전구체인 ergosterol 함량은 비타민 D<sub>2</sub>가 많이 생성된 2~4 mm와 잘게 부순 조각 처리구에서 108.8~116.8 mg/100 g 이었으며 그 이상의 시료크기에서는 비타민 D<sub>2</sub>가 적게 생성되어 ergosterol 함량이 높은 경향이였다. 반면 2 mm 이하에서는 시료크기가 작아질수록 비타민 D<sub>2</sub> 생성량이 적음에도 불구하고 ergosterol 함량도 낮아졌다. Kalaras 등(2012)은 ergosterol이 UVB에 의해 previtamin D<sub>2</sub>로 전환된 이후 비타민 D<sub>2</sub>가 생성되기 위해서는 UVB보다는 온도 상승 조건이 필요하며, 이러한 조건이 충족되지 않고 지속적으로 UVB가 조사될 경우 ergosterol이 previtamin D<sub>2</sub>로 전환 후 더 이상 비타민 D<sub>2</sub>로 전환되지 못하고 오히려 이성체인 tachysterol이나 lumisterol로 전환된다고 언급한 바 있다. 그러나 명확한 UVB 처리조건이나 온도조건은 제시하지 않았다. 본 실험에서도 시료크기 2~4 mm 이하의 경우 지속적인 UVB 조사에 의해 previtamin D<sub>2</sub>가 이성체로 전환된 것으로 추측되어졌으나 Kalaras 등(2012)이 언급한 바와 같이 온도 상승 조건이 원인인지에 대해서는 앞으로 심도있는 논의가 필요할 것으로 판단된다.

동결건조된 갈색 양송이버섯의 경우 분말과 3 mm 절단구는 UVB 처리 후 각각 177 µg/g과 395 µg/g의 비타민 D<sub>2</sub>가 생성되어 2배 이상 차이를 나타낸다는 보고도 있으나(Nölle 등 2017) 시료크기가 두 처리로 한정되었고 분말입자 크기가 제시되지 않아 본 실험과 직접적인 비교가 어려웠다. 그렇지만 본 실험과 마찬가지로 표면적이 넓었던 분말보다 3 mm 절단구에서 비타민 D<sub>2</sub> 함량이 높았던 점으로 보아 UVB 처리 시 비타민 D<sub>2</sub> 생성에 효과적인 시료크기가 있는 것으로 보여진다.

Keffie 등(2019)은 느타리버섯 생체 시료크기별로 30분에

서 16시간까지 햇빛을 조사한 결과 1시간 이후부터 시료두께 1 cm 미만일 때 비타민 D<sub>2</sub> 생성량이 유의적으로 많다고 하였으며 UVB 처리시에도 1 cm<sup>3</sup> 크기에서 기타 시료크기 또는 미분쇄된 동결건조 버섯에 비해 비타민 D<sub>2</sub> 함량이 높고 햇빛조사에 비해서는 약 10배 이상 증가하였다고 보고하였다. 그러나 동결건조된 버섯의 시료크기에 따른 효과는 검토되지 않았다.

항산화 물질을 나타내는 총 폴리페놀 함량은 1.65~1.73 mg/100 g으로 시료크기에 따른 큰 차이가 없었다.

## 2. 동결건조 목이버섯의 자외선 처리온도별 품질특성 및 유효성분 함량

자외선 처리에 의한 목이버섯의 비타민 D<sub>2</sub> 증강 연구 초기에 자외선 처리 시 부수적으로 발생하는 열을 정밀하게 제어하지 않고 실험하여 재현성이 다소 떨어지는 현상을 발견했다. 이에 온도센서가 부착된 자외선 조사장치를 제작하여 동일한 온도에서 자외선을 처리할 수 있도록 하였는데 60°C 이상의 온도처리는 자외선 등 특성상 물리적으로 불가능하였다. 따라서 본 실험에서는 자외선 처리온도를 30~60°C로 설정한 후 품질특성과 유효성분 함량을 조사하였다. 실험을 위해 10월에 수확된 목이버섯을 동결건조하여 시료크기를 2~4 mm로 선별하고 자외선량 140 kJ/m<sup>2</sup> 처리에 필요한 시간을 40°C를 기준으로 모든 온도처리에 똑같이 적용하였다.

색도의 경우 L값(명도)은 40~50°C에서 다소 감소하였으며 a값(적색도)과 b값(황색도)은 온도가 증가할수록 떨어지는 경향을 보였다(Table 2). 자외선 조사온도가 높아질수록 비타민 D<sub>2</sub> 함량이 증가하여 30°C 처리구에서 14,437.4 µg/100 g 이었으나 50~60°C에서는 16,950.6~17,512.3 µg/100 g을 보여

**Table 2. Quality characteristics and content of available components of freeze-dried ear mushroom powder according to UVB treatment temperature**

UVB treatment temp. (°C)	Hunter's color value			Vitamin D <sub>2</sub> (µg/100 g)	Ergosterol (mg/100 g)	Total polyphenol (mg/100 g)
	L <sup>1)</sup>	a	b			
30	49.5±0.4 <sup>2)</sup>	2.8±0.0 <sup>a</sup>	9.1±0.1 <sup>a</sup>	14,437.4±206.7 <sup>c</sup>	107.5±1.5 <sup>b</sup>	1.19±0.05
40	48.8±0.7 <sup>b</sup>	2.7±0.0 <sup>b</sup>	8.9±0.0 <sup>b</sup>	15,678.2±220.7 <sup>b</sup>	105.2±2.2 <sup>b</sup>	1.28±0.03
50	48.0±0.6 <sup>b</sup>	2.7±0.0 <sup>b</sup>	8.7±0.0 <sup>c</sup>	16,950.6±384.9 <sup>a</sup>	108.3±2.4 <sup>ab</sup>	1.06±0.02
60	49.7±0.5 <sup>a</sup>	2.6±0.0 <sup>c</sup>	8.7±0.1 <sup>c</sup>	17,512.3±406.0 <sup>a</sup>	111.2±0.6 <sup>a</sup>	1.10±0.04

※ Sample harvest time-October, sample size-2~4 mm, sample density-25.0 mg/cm<sup>2</sup>, UVB dose-140 kJ/m<sup>2</sup>.

<sup>1)</sup> L; lightness (0~100), a; greenness-redness (-80~100), blueness-yellowness (-70~70).

<sup>2)</sup> Each value is expressed as the mean±standard deviation (n=3).

<sup>a-c</sup>Mean in each column by different superscripts are significantly at 5% level by Duncan's multiple range test.

117~121% 높은 함량이었다. Ergosterol 함량은 자외선 처리온도가 높은 처리구에서 비타민 D<sub>2</sub> 생성이 많았음에도 불구하고 감소되지 않고 오히려 다소 높은 경향을 보였는데 30~60°C 처리에 따라 105.2~111.2 µg/100 g으로 6.0 µg/100 g의 차이밖에 보이지 않았다. 따라서 자외선 처리온도는 50~60°C가 양호하며 그 이하에서는 오히려 비타민 D<sub>2</sub> 전구체인 ergosterol 함량은 감소하면서도 비타민 D<sub>2</sub> 증가량이 낮았기 때문에 처리온도 효과가 떨어지는 것으로 판단된다. 그러나 동결건조된 양송이버섯 분말의 경우 자외선 1.2 W/m<sup>2</sup> 처리 시 온도는 25~30°C에서, 처리시간은 11~13분 구간에서 높은 비타민 D<sub>2</sub>가 생성되는 최적화 모델이 보고(Lee & Aan 2016)된 바 있는데 이는 본 연구 결과와 다소 차이가 있었다. 또한 생버섯의 경우에도 10~70°C의 자외선 처리온도 가운데 35°C에서 비타민 D<sub>2</sub> 생성량이 많고 그 이후에는 열 스트레스(산화), 세포사멸, 갈색화 등이 일어나 좋지 않다는 보고도 있다(Jasinghe & Perera 2006). 팽이버섯 생체의 자외선 처리온도에 관한 연구(Hwang CH 2015)에서도 10°C부터 20°C까지 비타민 D<sub>2</sub> 및 ergosterol 함량이 증가되었으나 30°C부터 50°C까지 비타민 D<sub>2</sub> 함량이 유의적으로 적게 생성되었고, 생표고버섯의 경우에도 20~50°C로 자외선을 조사했을 때 30°C에서 98.2 µg/g으로 높은 비타민 D<sub>2</sub> 함량을 보였으며 50°C에서 62.0 µg/g으로 가장 낮아(Zhang Y 2015) 버섯의 종류에 따라라도 차이가 나타났다.

동결건조 목이버섯의 경우 자외선 처리온도 50~60°C에서 비타민 D<sub>2</sub>가 높았는데 버섯의 종류, 건조상태, 처리밀도 등의 요인이 복합적으로 작용하기 때문으로 추측된다. 본 연구는 균일한 규격의 자외선 처리장치를 이용하였는데 금후에는 시간 당 조사되는 자외선량과 처리온도의 상관관계에 대해 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 그러나 총 폴리페놀 함량의 경우 이전 실험과 마찬가지로 자외선 처리온도에 의한 큰 차이를 찾아볼 수 없었다.

### 3. 동결건조 목이버섯의 자외선 처리밀도별 품질특성 및 유효성분 함량

목이버섯을 동결건조 후 분쇄한 분말의 처리밀도를 6.25~50.0 mg/cm<sup>2</sup>으로 선별하여 자외선 조사 후 품질특성 및 유효성분 함량을 조사하였는데 이때 목이버섯의 수확시기는 6월, 시료크기는 2~4 mm, 자외선량은 140 kJ/m<sup>2</sup>, 그리고 처리온도는 40°C로 하였다.

자외선 처리 결과 색도의 경우 처리밀도에 따른 L값(명도), a값(적색도), b값(황색도)은 경향을 유추하기 어려웠다(Table 3). 그러나 비타민 D<sub>2</sub> 함량은 큰 차이를 보여 6.25 mg/cm<sup>2</sup>에서 23,751.6 µg/100 g을 보이다가 12.5~25.0 mg/cm<sup>2</sup>에서 25,503.0~25,815.3 µg/100 g으로 증가하였으며, 37.5 mg/cm<sup>2</sup> 이상의 밀도에서는 6.25 mg/cm<sup>2</sup>보다 오히려 비타민 D<sub>2</sub> 함량이 낮게 나타나 비타민 D<sub>2</sub> 처리에 효과적인 처리밀도가 있는 것으로 판단되었다. 이와 유사한 연구로 Koyyalamudi 등(2011)은 슬라이스된 양송이버섯을 한층과 다층으로 자외선 처리 하였을 때 비타민 D<sub>2</sub> 함량이 4배 이상 차이난다고 하였으나 다양한 밀도로 처리하지 않아 본 실험과 비교는 어려웠다.

Ergosterol 함량은 비타민 D<sub>2</sub> 함량 변화와 달리 처리밀도가 낮은 6.25 mg/cm<sup>2</sup>에서 가장 적은 84.2 µg/100 g을 보였고 50.0 mg/cm<sup>2</sup>까지 175.0 µg/100 g으로 높아졌다. 특이하게도 비타민 D<sub>2</sub> 함량이 12.5~25.0 mg/cm<sup>2</sup>에서 높은 수치를 보인 반면 ergosterol 함량은 처리밀도가 높아짐에 따라 계속 증가하였다. 처리밀도가 낮은 6.25 mg/cm<sup>2</sup>에서 ergosterol 함량이 적었으나 오히려 비타민 D<sub>2</sub> 함량이 낮은 원인에 대해서는 tachysterol이나 lumisterol로 전환되었기 때문으로 추측되어지며 앞으로 세밀한 검토가 필요할 것으로 본다. 본 실험 결과 자외선 처리밀도에 따라 D<sub>2</sub> 증진 효과는 큰 차이를 나타냈기 때문에 효과적인 자외선 처리를 위해서 처리밀도도 매우 중요함을 감안해야 할 것으로 생각된다.

**Table 3. Quality characteristics and content of available components of freeze-dried ear mushroom powder according to UVB treatment density**

Treatment density (mg/cm <sup>2</sup> )	Hunter's color value			Vitamin D <sub>2</sub> (µg/100 g)	Ergosterol (mg/100 g)	Total polyphenol (mg/100 g)
	L <sup>1)</sup>	a	b			
6.25	56.1±0.2 <sup>a2)</sup>	3.3±0.0 <sup>b</sup>	11.9±0.0 <sup>b</sup>	23,751.6±323.5 <sup>b</sup>	84.2±1.2 <sup>c</sup>	1.50±0.02
12.5	53.7±0.0 <sup>c</sup>	3.4±0.0 <sup>a</sup>	12.3±0.0 <sup>a</sup>	25,503.0±269.7 <sup>a</sup>	99.5±0.3 <sup>d</sup>	1.53±0.01
25.0	53.2±0.5 <sup>d</sup>	3.3±0.1 <sup>b</sup>	11.8±0.2 <sup>bc</sup>	25,815.3±291.1 <sup>a</sup>	132.2±2.3 <sup>c</sup>	1.65±0.04
37.5	56.1±0.4 <sup>a</sup>	3.1±0.0 <sup>d</sup>	11.5±0.1 <sup>d</sup>	22,918.0±212.2 <sup>c</sup>	154.9±1.0 <sup>b</sup>	1.65±0.03
50.0	54.9±0.3 <sup>b</sup>	3.2±0.0 <sup>c</sup>	11.7±0.1 <sup>c</sup>	21,231.0±94.2 <sup>d</sup>	175.0±1.0 <sup>a</sup>	1.65±0.00

※ Sample harvest time-June, sample size-2~4 mm, UVB treatment temperature-40℃, UVB dose-140 kJ/m<sup>2</sup>.

<sup>1)</sup> L; lightness (0~100), a; greenness-redness (-80~100), blueness-yellowness (-70~70).

<sup>2)</sup> Each value is expressed as the mean±standard deviation (n=3).

<sup>a-c)</sup> Mean in each column by different superscripts are significantly at 5% level by Duncan's multiple range test.

#### 4. 동결건조 목이버섯 분말의 자외선 처리 시 혼합횟수별 품질특성 및 유효성분 함량

목이버섯의 비타민 D<sub>2</sub> 증가에 영향을 미치는 자외선 처리 조건을 알아보기 위해 이전 실험을 통해 자외선 처리에 효과적인 시료크기, 조사온도, 처리밀도에 관해 검토하고 실험 4에서는 140 kJ/m<sup>2</sup> 처리 시 혼합횟수를 1~32회로 달리한 후 품질 특성 및 유효성분 함량을 조사하였다. 사용된 시료는 8월에 수확하였으며 시료크기는 2~4 mm, 자외선 처리온도는 40℃이었다.

자외선 조사장치에 시료를 넣고 혼합횟수를 달리하여 색도를 조사한 결과, L값(명도)은 다소 차이가 나타났는데 1회 혼합한 시료에 비해서 다른 처리에 비해 낮은 수치를 보였으며 a값(적색도)과 b값(황색도)은 차이가 없었다(Table 4). 반면 비타민 D<sub>2</sub> 함량의 경우에는 상당한 차이가 나타났는데 1

회 혼합시 7,187.6 µg/100 g이었다가 8회 혼합처리구에서 13,358.3 µg/100 g으로 85.9% 증가하여 혼합횟수가 중요한 조건임을 알 수 있었다. 혼합횟수 8회 이상 처리구에서도 지속적으로 증가하는 경향을 보여 32회 처리구에서는 13,825.7 µg/100 g으로 증가하였다. 1회에 비해 32회 혼합 시 비타민 D<sub>2</sub> 함량은 1.92배 높은 증가율을 보였는데 본 실험 결과 UVB는 표면에 작용하므로 비타민 D<sub>2</sub> 증진을 위해서는 자외선 처리 시 시료를 자주 섞어주어야 효과적임을 알 수 있었다. 혼합횟수 증가에 따른 ergosterol 함량은 비타민 D<sub>2</sub> 함량 변화와 반대로 나타나 1회 혼합 처리구에서 129.3 mg/100 g이었으나 32회 혼합처리구에서 97.6 mg/100 g으로 25.5% 감소하였다. 그러나 총 폴리페놀 함량은 혼합횟수에 따른 차이가 나타나지 않았다.

본 연구 결과로 동결건조된 목이버섯의 비타민 D<sub>2</sub> 증진을

**Table 4. Quality characteristics and content of available components of freeze-dried ear mushroom powder according to mixing frequency during UVB treatment**

Mixing frequency (No.)	Hunter's color value			Vitamin D <sub>2</sub> (µg/100 g)	Ergosterol (mg/100 g)	Total polyphenol (mg/100 g)
	L <sup>1)</sup>	a	b			
1	39.0±0.5 <sup>b2)</sup>	2.7±0.0	8.0±0.1	7,187.6±62.4 <sup>d</sup>	129.3±0.9 <sup>a</sup>	1.64±0.02
2	41.7±0.9 <sup>a</sup>	2.7±0.1	8.0±0.1	9,273.2±378.3 <sup>c</sup>	115.4±5.2 <sup>b</sup>	1.66±0.02
4	41.2±0.6 <sup>a</sup>	2.7±0.0	8.0±0.1	11,991.6±228.3 <sup>b</sup>	108.4±2.2 <sup>c</sup>	1.60±0.02
8	42.6±0.6 <sup>a</sup>	2.7±0.0	8.0±0.1	13,358.3±96.5 <sup>a</sup>	102.6±1.4 <sup>d</sup>	1.63±0.03
16	41.9±0.9 <sup>a</sup>	2.7±0.0	8.1±0.2	13,445.2±54.7 <sup>a</sup>	101.8±1.5 <sup>d</sup>	1.56±0.01
32	41.7±0.6 <sup>a</sup>	2.7±0.0	8.2±0.0	13,825.7±413.8 <sup>a</sup>	97.6±2.4 <sup>d</sup>	1.63±0.02

※ Sample harvest time-August, sample size-2~4 mm, UVB treatment temperature-40℃, UVB dose-140 kJ/m<sup>2</sup>.

<sup>1)</sup> L; lightness (0~100), a; greenness-redness (-80~100), blueness-yellowness (-70~70).

<sup>2)</sup> Each value is expressed as the mean±standard deviation (n=3).

<sup>a-d)</sup> Mean in each column by different superscripts are significantly at 5% level by Duncan's multiple range test.

위한 자외선 최적 처리조건을 설정하였는데 입자크기는 2~4 mm 또는 잘게 부순 조각, 처리밀도는 12.5~25.0 mg/cm<sup>2</sup>, 처리 온도는 50~60°C, 혼합횟수는 8회 이상의 조건이 양호하였다.

## 요약 및 결론

동결건조된 목이버섯의 비타민 D<sub>2</sub> 강화를 위한 최적 자외선 처리조건을 구명하고자 시료크기(300 µm 이하~미분쇄), 자외선 처리온도(30~60°C), 처리밀도(6.25~50.0 mg/cm<sup>2</sup>), 시료 혼합횟수(1~32회)를 달리하여 자외선을 처리하고 색도, 비타민 D<sub>2</sub> 및 ergosterol(비타민 D<sub>2</sub> 전구체) 함량을 조사하였다. 다양한 자외선 처리조건에 따른 품질특성을 조사한 결과 시료크기는 2~4 mm과 잘게 부순 조각, 처리온도는 50~60°C, 처리밀도는 12.5~25.0 mg/cm<sup>2</sup>, 시료 혼합횟수는 8회 이상에서 높은 비타민 D<sub>2</sub> 함량을 보였다. 자외선 처리조건에 따라 비타민 D<sub>2</sub> 생성량이 많을수록 대체로 ergosterol 함량은 감소하는 경향을 보였으나 일부 처리조건에서는 ergosterol 함량이 낮아졌음에도 불구하고 비타민 D<sub>2</sub> 함량이 많지 않은 경우도 나타났다. 본 실험에서 설정된 조건으로 동결건조된 목이버섯을 자외선 처리하였을 때 최대 26,968.7 µg/100 g까지 비타민 D<sub>2</sub>가 증강된 목이버섯을 획득할 수 있었다. 따라서 목이버섯은 비타민 D 공급원 및 영양강화 식품 재료로 활용 가능성이 높을 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(세부과제명 : 목이버섯 자외선 처리에 의한 유효성분 강화기술 개발, 과제번호: PJ01266801)의 지원에 의해 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

## References

- Choi SR, Shin SH, Song YE, Han HA, Lee SY, Song EJ. 2019. Quality characteristics of ear mushroom by various UVB (ultraviolet B) treatment conditions. *Korean J Food Nutr* 32:620-629
- Choi SR, Yu YJ, Ahn MS, Song EJ, Seo SY, Choi MK, Han HA, Song YJ, Kim HJ, So SY, Lee GK, Kim CK. 2014. Quality characteristics by various drying methods in ear mushroom (*Auricularia auricula-judae* Quel.). *Korean J Med Crop Sci* 22:497-503
- Damte D, Reza MA, Lee SJ, Jo WS, Park SC. 2011. Anti-inflammatory activity of dichloromethane extract of *Auricularia auricula-judae* in RAW264.7 cells. *Toxicol Res* 27:11-14
- Holick MF, MacLaughlin JA, Clark MB, Holick SA, Potts JT Jr, Anderson RR, Blank IH, Parrish JA, Elias P. 1980. Photosynthesis of previtamin D<sub>3</sub> in human skin and the physiologic consequences. *Science* 210:203-205
- Hwang CH. 2015. Fermentation characteristics of *doenjang* with ultraviolet irradiation increased vitamin D<sub>2</sub> contents in enoki mushroom (*Flammulina velutipes*). Master's Thesis, Jeonbuk National Univ. Jeonju. Korea
- Jasinghe VJ, Perera CO. 2006. Ultraviolet irradiation: The generator of vitamin D<sub>2</sub> in edible mushrooms. *Food Chem* 95:638-643
- Ji SH, Jang MY, Choi JY, Choi YM, Kim YG. 2015. A study on contents of vitamin D in agricultural products and foods. *Korean J Food Nutr* 28:143-152
- Kalaras MD, Beelman RB, Holick MF, Elias RJ. 2012. Generation of potentially bioactive ergosterol-derived products following pulsed ultraviolet light exposure of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Food Chem* 135:396-401
- Keflie TS, Nölle N, Lambert C, Nohr D, Biesalski HK. 2019. Impact of the natural resource of UVB on the content of vitamin D<sub>2</sub> in oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) under subtropical settings. *Saudi J Biol Sci* 26:1724-1730
- Kho YS, Vikineswary S, Abdullah N, Kuppusamy UR, Oh HI. 2009. Antioxidant capacity of fresh and processed fruit bodies and mycelium of *Auricularia auricula-judae* (Fr.) Quel. *J Med Food* 12:167-174
- Kim SK, Hong UP, Kim JS, Kim CH, Lee KW, Choi SE, Park KH, Lee MW. 2007. Antidiabetic effect of *Auricularia auricula* Mycelia in streptozotocin-induced diabetic rats. *Nat Prod Sci* 13:390-393
- Korea Forest Service. 2022. 2021 Production of forest products. *Korea Forest Service*. pp.35-616. Report No. 11-1400000-000529-13
- Korea Forest Service. 2023. Forest product import and export statistics. Available from <https://www.forest.go.kr> [cited 21 March 2023]
- Koyyalamudi SR, Jeong SC, Pang G, Teal A, Biggs T. 2011. Concentration of vitamin D<sub>2</sub> in white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) exposed to pulse UV light. *J Food Compos Anal* 24:976-979
- Lee JS, Ahn RM, Choi HS. 1997. Determinations of ergocalciferol and cholecalciferol in mushrooms. *Korean J Soc*

- Food Sci* 13:173-178
- Lee NK, Aan BY. 2016. Optimization of ergosterol to vitamin D<sub>2</sub> synthesis in *Agaricus bisporus* powder using ultraviolet-B radiation. *Food Sci Biotechnol* 25:1627-1631
- Ministry of Food and Drug Safety. 2019. Standards and specifications for each food product. Available from <http://www.mfds.go.kr> [cited 4 October 2019]
- Nölle N, Argyropoulos D, Ambacher S, Müller J, Biesalski HK. 2017. Vitamin D<sub>2</sub> enrichment in mushrooms by natural or artificial UV-light during drying. *LWT - Food Sci Technol* 85:400-404
- Reza A, Choi MJ, Damte D, Jo WS, Lee SJ, Lee JS, Park SC. 2011. Comparative antitumor activity of different solvent fractions from an *Auricularia auricula-judae* ethanol extract in P388D1 and Sarcoma 180 cells. *Toxicol Res* 27:77-83
- Shin SH, Choi SR, Song YE, Han HA, Lee SY. 2020. Analysis of the quality characteristics of cookies based on the addition rate of ear mushroom (*Auricularia auricula-judae* Quel.) powder by ultraviolet B treatment. *Korean J Food Nutr* 33:672-680
- Yoo YB. 2015. Mushroom Sciences. pp.285-303. Kyohaksa
- Yuan Z, He P, Cui J, Takeuchi H. 1998. Hypoglycemic effect of water-soluble polysaccharide from *Auricularia auricula-judae* Quel. on genetically diabetic KK-Ay mice. *Biosci Biotechnol Biochem* 62:1898-1903
- Zhang Y. 2015. Study of vitamin D<sub>2</sub> synthesis in shitake mushrooms and effects of mushroom extract on osteoblast. Master's Thesis, Jeonbuk National Univ. Jeonju. Korea

---

Received 7 March, 2023

Revised 23 March, 2023

Accepted 4 April, 2023