

다양한 자외선(UVB) 처리조건에 의한 목이버섯의 품질 특성

†최소라 · 신소희* · 송영은* · 한현아* · 이송이* · 송은주
전라북도농업기술원 지방농업연구원, *전라북도농업기술원 지방농업연구사

Quality Characteristics of Ear Mushroom by Various UVB (Ultraviolet B) Treatment Conditions

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

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

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

Abstract

To examine the possibility of ear mushroom (EM) as a source of natural vitamin D, the UVB (ultraviolet B) was treated according to sample drying status, drying methods before UVB treatment and harvest time. And then, vitamin D₂ and ergosterol contents were investigated. According to the sample drying status, the vitamin D₂ contents of fresh and freeze-dried EM (whole) increased to 4,634.4~4,780.9 µg/100 g D.W. (dry weight) under UVB dose 52.5~70.0 kJ/m² and above 18,693.1 µg/100 g D.W. under above 105 kJ/m², respectively. By drying methods before UVB treatment, vitamin D₂ contents of EM powder (below 500 µm) that dried in the vinyl house and freeze-dryer increased to 4,886.2~5,132.9 µg/100 g D.W. under above 105 kJ/m² and 17,103.7 µg/100 g D.W. under 70 kJ/m², respectively. Ergosterol content decreased with increasing UVB dose in all experiments. According to the harvest time, vitamin D₂ content under UVB dose 210 kJ/m² showed marked difference and in order of June, July, August, October and April. As for the results, the optimum harvest time, drying method before UVB treatment, sample size, UVB dose for the EM contained high vitamin D₂ content were June, freeze-drying, whole, and 105 kJ/m², respectively.

Key words: drying methods, ear mushroom, ergosterol, UVB, vitamin D₂

서 론

비타민 D는 칼슘과 인의 흡수 및 이용, 뼈의 형성과 유지에 필요하며, 골다공증 발생 위험 감소에 도움을 주는 영양소로, 식품의약품안전처 건강기능식품의 기준 및 규격에 등록되어 있는 지용성 비타민이다(Ministry of Food and Drug Safety 2019a). 따라서 비타민 D가 결핍되었을 경우, 아동에게는 골연화증이 나타나고, 중년기 이후 성인에게는 골다공증 증상이 발생한다. 체내의 비타민 D 상태는 간에서 합성된 혈청 25(OH)D 농도로 정의되어지는데, 20 ng/mL 미만인 상태는 비타민 D 결핍상태, 20 ng/mL 이상에서 30 ng/mL 미만인 상태는 부족상태, 30 ng/mL 이상은 충분상태로 구분되어지며(Holick MF 2007), 한국인의 73.4%가 결핍상태로 남자보다 여성에서, 노년층보다 청년층에서, 일반 주택보다 아파트

에 거주하는 사람들에서 결핍현상이 많다고 2011년 국민건강영양조사를 통해 보고된 바 있다(Kwon SK 2013).

비타민 D는 효모나 버섯 등에서 공급되는 D₂(ergocalciferol), D₄(dihydroergosterol)와 동물에서 공급되는 비타민 D₃(cholecalciferol) 등 주로 세 가지 형태로 존재하며, 이들은 매우 유사한 화학적 구조를 가지고 있다(Keegan 등 2013). Scheunert 등(1935)에 의해 식용버섯에 비타민 D₂가 함유되어 있다고 보고된 이래 Mattilla 등(1994)이 야생버섯 등에서도 비타민 D₂가 존재함을 확인하여 버섯류가 비타민 D₂를 공급할 수 있는 좋은 식품 원료로 알려지게 되었다. 비타민 D 생성은 provitamin D인 ergosterol(D₂), 7-dehydrocholesterol(D₃), 22,23-dihydroergosterol(D₄)이 햇빛 속의 UV에 의해 provitamin D로 전환되고, 이는 다시 vitamin D₂, D₃, D₄로 전환되는 경로로 진행된다(Holick 등 1980; Kalaras 등 2012; Keegan 등 2013).

† Corresponding author: So-Ra Choi, Senior Researcher, Jeollabukdo Agricultural Research & Extension Services, Iksan 54591, Korea. Tel: +82-63-290-6041, Fax: +82-63-290-6059, E-mail: sora0909@korea.kr

그러나 자연상태에서 생성되는 비타민 D 함량은 매우 미량이기 때문에 최근에는 버섯에 인위적으로 자외선을 처리하여 비타민 D를 증진시키는 연구들이 다양하게 보고되고 있다. 자외선 중에서도 특히 UVB(290-320 nm)가 UVA (190-290 nm)나 UVC(290-320 nm)보다 효과적인 것으로 보고된 바 있으며(Jasinghe & Perera 2006; Wu & Ahn 2014), 현재 네덜란드 등 유럽의 일부 국가에서는 자외선을 처리한 버섯이 유럽 식품안전안정청의 승인을 받아 실제 판매되고 있어, 버섯류가 중요한 비타민 D 공급원으로 떠오르고 있다. 현재 우리나라 식품의약품안전처에서는 건강기능식품 영양소인 비타민 D 보충을 위해 비타민 D₂와 D₃ 또는 식품원료 사용하여 제조·가공이 가능하다고 언급되어 있다(Ministry of Food and Drug Safety 2019a).

식용버섯 8종 가운데 비타민 D₂와 D₃를 합한 비타민 D 함량은 목이버섯 167.8 µg/100 g D.W., 표고버섯 27.5~72.6 µg/100 g D.W., 석이버섯, 영지버섯, 운지버섯 13.0~29.4 µg/100 g D.W.로 나타나 목이버섯에서 가장 높았으며(Lee 등 1997), 100 g당 비타민 D₂ 함량은 건목이버섯(363.86 µg)이 생목이버섯(11.58 µg)에 비해 높은 것으로 보고된 바 있다(Ji 등 2015). 또한 목이버섯은 비타민 D₂뿐만 아니라, 유리당 중 trehalose (11.56mg/g 이상), 식이섬유(60% 이상), 유기산(propionic acid 등)과 감칠맛을 내는 아미노산(glutamic acid, asparagine 등), β-glucan(8.29% 이상)이 다량 함유되어 있어(Kim 등 2012), 항암, 항비만, 배변활동 원활 등 탁월한 기능성이 있는 식품 원료다. 그러나 국내에서는 가공품 개발 연구가 일부 진행되고 있을 뿐(Choi 등 2015), 아직까지도 목이버섯은 주로 중화 요리 등의 부재료로 사용되는 한계점을 갖고 있다.

따라서 본 연구는 목이버섯을 천연 비타민 D₂ 공급원으로 개발하기 위해 건조 여부, 자외선 처리 전 건조방법 및 수확 시기에 따라 각각 자외선을 처리한 후 색도와 비타민 D₂ 및 ergosterol 함량을 분석하여 목이버섯의 비타민 D 증진 방법에 대해 검토하고, 이를 통해 획득된 비타민 D 증진 목이버섯 생산기술을 농가와 가공업체, 기능성 물질 제조업체에 접목하여 목이버섯의 소비 촉진에 기여하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에 사용된 목이버섯은 ‘현유’ 품종이며, 익산지역에서 2018년 수확된 것을 실험재료로 사용하였다. 실험 1에서는 목이버섯 건조상태와 자외선량별 품질 특성인 색도와 유효성분 함량을 알아보고자 생목이버섯과 동결건조 목이버섯을 통째로 사용하였고, 실험 2에서는 UVB 처리 전 건조방법에 따른 효과를 알아보고자 비닐하우스 건조(25~40℃)와

동결건조된 목이버섯의 분말(500 µm 이하)을 사용하였다. 실험 3에서는 수확시기별 자외선 처리 여부에 따른 품질 특성을 알아보고자 4월, 6월, 7월, 8월, 10월에 생산되어 동결건조된 목이버섯을 통째로 사용하였다. 생목이버섯은 수확 당일 구입하여 7℃ 냉장고(WCC-250, Daehan Scientific Co. Ltd., Wonju, Korea)에 보관 후 자외선 처리하였다. 동결건조 목이버섯은 24시간 동안 -40℃의 초저온냉동고(WiseCryo, Daehan Scientific Co. Ltd., Wonju, Korea)에 냉동하여 동결건조기(TFD Series, IlshinBioBase, Dongduchun, Korea)를 이용해 96시간 동안 건조 후 자외선을 처리하였다.

2. 자외선 처리

사용된 자외선등은 UVB(290-320 nm, broadband 20W/12 RS, Philips, Amsterdam, Netherlands)이고, 스테인레스스틸로 특수 제작된 자외선 조사장치(W700×D600×H100 mm)에 8개를 부착하여 온도가 조절되는 인큐베이터(WIR-420, Daehan Scientific Co. Ltd., Wonju, Korea)에 설치하였다. 시료의 자외선 처리를 위해 사용된 용기 크기는 W350×D255×H40 mm 이었으며, 자외선량 측정기(HD2102.2, Delta Ohm, Caselle di Selvazzano (PD), Italy)를 이용하여 용기 정중앙 상단부에 필요한 자외선량을 처리하였는데, 낮은 선량인 8.75~17.5 kJ/m²을 처리할 경우 4.375 kJ/m² 경과마다, 그 이상의 자외선량 처리에는 17.5 kJ/m² 경과마다 시료를 뒤집어 혼합하였다.

실험 1에서는 생목이버섯을 0, 8.75, 17.5, 35, 52.5, 70, 87.5, 105 kJ/m²로 자외선을 처리한 후, 처리 전·후 무게를 측정하여 무게잔존율을 조사하였으며, 동결건조 목이버섯은 0, 35, 70, 105, 140, 175, 210 kJ/m² 선량으로 자외선을 처리하였다. 이 때 생목이버섯과 동결건조 목이버섯의 자외선량 범위는 예비실험을 통해 설정하였다. 실험 2의 UVB 처리 전 건조방법에 따른 자외선량은 0, 35, 70, 105, 140, 175, 210 kJ/m² 이었으며, 실험 3의 수확시기에 따른 목이버섯의 자외선량은 0, 210 kJ/m² 이었다.

3. 건조분말의 색도 측정

색도 측정을 위해 생목이버섯은 자외선 처리하여 동결건조 후 분쇄하여 시료를 sieve(No. 35, Daehan Scientific Co. Ltd., Wonju, Korea)를 이용하여 500 µm 이하로 정선하였으며, 동결건조 목이버섯 역시 자외선 처리 후 500 µm 이하로 분쇄하여 사용하였다. 시료를 페트리 디쉬(35×10mm, SPL Life Sciences, Pocheon, Korea)에 담은 후 색차계(Minolta Spectrophotometer CM-3500d, Minolta Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)를 조사하였다. 이 때 색차계 calibration plate의 L값은 99.68, a값은 0.03, b값은 -0.76이었다.

4. 건조분말의 비타민 D₂ 및 ergosterol 함량 분석

비타민 D₂ 분석을 위한 전처리는 식품의약품안전처 식품공전(Ministry of Food and Drug Safety 2019b)에 따라 수행하였으며, 이를 ergosterol 분석에도 사용하였다. 즉, 시료 0.25 g을 물 3 mL로 충분히 녹인 후, ethanol 10 mL에 pyrogallol 1 g을 녹인 용액 40 mL를 가하여 진탕 후 90% potassium hydroxide 용액 10 mL를 가하고, 환류냉각관을 부착하여 비등수욕 중에서 60분간 가열하여 saponification하였다. 즉시 실온으로 냉각하고 갈색 분액 깔때기로 옮긴 후, hexane 50 mL를 가하여 10분간 강하게 진탕 혼합하였다. 침전이 생기면 이것이 가라앉을 때까지 방치하여 hexane층을 새로운 분액 깔때기로 옮긴 후 남은 잔여물에 hexane 50 mL로 2회 더 반복하여 추출하였다. 모은 hexane층 150 mL에 1 N potassium hydroxide 용액 100 mL를 가하여 강하게 15초간 진탕한 후, 이를 분리하고 물층을 버리고 hexane층에 0.5 N potassium hydroxide 용액 40 mL를 가하여 진탕한 후 물층을 다시 제거하였다. Hexane층을 세척하여 세척액이 phenolphthalein 시액으로 알칼리 반응을 나타내지 않을 때까지 여러 번 세척하였는데, 매회 15초간 격렬하게 진탕하였다. Hexane층을 Na₂SO₄ 무수염으로 탈수하여 갈색 플라스크로 옮기고 Na₂SO₄ 무수염을 hexane 10 mL로 2회 세척한 후 탈수한 hexane 용매와 합하고 이를 40°C 이하에서 감압농축 하였다. 잔류물에 메탄올 2 mL를 가하여 녹여 이를 membrane filter(PTFE 0.45 µm, Guangzhou Jet Bio-Filtration Co., Scenic Science City, China)로 여과하여 HPLC(Agilent 1260, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)로 분석하였다. 이 때 사용된 column은 Zorbax eclipse XDB-C₁₈(4.6×150 mm, 5 µm, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)이었으며 이동상은 acetonitrile:water=92:8(v/v), 유속은 1.5 mL/min이었고 UV 검출기 264 nm에서 분석하였다. 주입량은 20 mL이고 column 온도는 30°C로 유지하였다. 비타민 D₂와 ergosterol 표준물질은 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, Mo, USA)에서 구입하여 메탄올에 녹여 사용하였으며 처리당 3반복으로 분석하였다.

5. 통계처리

실험 결과의 통계처리를 위해 SAS 프로그램(SAS 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)으로 데이터의 평균과 표준편차를 구한 후 처리 간 차이를 one-way ANOVA(analysis of variation)로 분석하고 5% 수준에서 Duncan's multiple range test(DMRT)를 실시하여 평균간 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 목이버섯 건조여부 및 자외선량별 품질특성

생목이버섯과 동결건조 목이버섯에 자외선을 처리하여

무게잔존율과 색도를 조사한 결과(Table 1), 생목이버섯에 자외선을 처리 후 무게잔존율은 자외선량이 증가할수록 크게 감소하여 105 kJ/m²에서 13.0%로 급격히 낮아졌다. 이는 자외선량이 증가하게 되면 생목이버섯의 자외선 노출 시간 역시 길어져 수분 증발량이 많았기 때문으로 생각된다. 따라서 비타민 D₂가 증가된 생목이버섯 생산을 위해서는 상품성 유지를 위해 자외선량 조절이 필요할 것으로 판단된다. 동결건조 후 자외선 처리를 위해 실험 전 생목이버섯을 동결건조했을 때 건조수율은 8.17±0.3이었으나 건조 이후 자외선 처리 시에는 무게잔존율의 변화는 없었다.

색도의 경우 생목이버섯의 자외선 무처리구 L값은 48.50, a값은 2.69, b값은 9.38이었으며 105 kJ/m² 처리구에서는 각각 46.81, 2.76, 9.47로 나타났다. 자외선량이 증가할수록 대체로 L값은 낮아지고 a값은 높아졌으나, b값은 52.5 kJ/m²에서 가장 높아 유의적인 차이가 있었다(*p*<0.05). 그러나 자외선량에 따른 동결건조 목이버섯의 L값은 105, 175 kJ/m²에서 50.39~50.47로 낮고 a값과 b값은 70 kJ/m²에서 각각 2.86, 10.83으로 자외선 무처리구에 비해 높았는데 뚜렷한 경향을 유추하기는 어려웠다. 또한 육안으로 생목이와 동결건조 목이버섯의 구분은 가능했으나 자외선 처리에 의한 변화는 알 수 없었다.

생느타리버섯은 열대 기후 아래 햇빛 건조할 경우 16시간 후 수분감소율이 90.8%로 매우 높았으며 색이나 품질 변화는 3시간 이후부터 관찰되어 16시간에는 어두운 브라운색으로 변하며 완전히 수축된다(Keffie 등 2018). 이처럼 색이 밝은 버섯의 경우 색 변화 인지가 쉽지만 흑갈색인 생목이버섯은 자외선량 처리에 따라 육안으로 수축 현상이 관찰되면서도 색 변화 확인은 쉽지 않았다.

자외선량에 따른 생목이버섯과 동결건조 목이버섯의 유효성분 변화를 분석한 결과(Table 2), 생목이버섯의 경우 UVB 52.5~70.0 kJ/m² 처리에서 비타민 D₂ 함량이 4,643.4~4,780.9 µg/100 g D.W.까지 증가하였다. 이는 무처리구 53.0 µg/100 g D.W.에 비해 약 87.6배가 증가된 수치이며 그 이상의 선량에서는 서서히 감소하여 유의적 차이를 보였다(*p*<0.05). 동결건조 목이버섯은 자외선 무처리구의 53.3 µg/100 g D.W.에서 고선량인 210 kJ/m² 처리 후 20,524.0 µg/100 g D.W.로 약 385배가 증가되어 동결건조 후 자외선을 처리하는 것이 생목이버섯에 자외선을 처리하는 것보다 오히려 비타민 D₂ 함량 증가에 효과적임을 알 수 있었다. 또한 동결건조 목이버섯의 경우 자외선 처리 시 35 kJ/m² 선량에서 비타민 D₂ 함량이 급속히 증가하였으며 105 kJ/m² 이상에서는 비타민 D₂ 증가량이 둔화되면서 큰 차이가 없었다(*p*<0.05). Ergosterol 함량은 생목이버섯의 경우 자외선 무처리구에서 172.3 mg/100 g D.W.에서 105 kJ/m² 처리 시 135.4 mg/100 g D.W.로, 동결건조 목이버섯의 경우 자외선 처리 전 199.6

Table 1. The weight ratio after UVB treatment and chromaticity according to UVB dose in fresh and freeze-dried ear mushrooms

Sample drying status	UVB dose (kJ/m ²)	Weight ratio after UVB treat(%)	Hunter's color value		
			L	a	b
Fresh ear mushroom (Whole)	0	100.0±0.0 ^a	48.50±0.16 ^a	2.69±0.01 ^c	9.38±0.03 ^b
	8.75	84.5±0.6 ^b	48.30±0.48 ^a	2.60±0.03 ^d	9.12±0.06 ^c
	17.5	72.8±2.4 ^c	46.71±0.46 ^b	2.74±0.04 ^{bc}	9.49±0.10 ^b
	35.0	52.3±1.2 ^d	46.56±0.15 ^b	2.77±0.01 ^{ab}	9.44±0.02 ^b
	52.5	40.2±2.3 ^e	46.54±0.09 ^b	2.79±0.03 ^{ab}	9.70±0.06 ^a
	70.0	31.3±2.6 ^f	46.23±0.40 ^b	2.79±0.02 ^{ab}	9.47±0.02 ^b
	87.5	20.7±2.2 ^g	46.74±0.25 ^b	2.84±0.02 ^a	9.52±0.03 ^b
	105.0	13.0±0.5 ^h	46.81±0.24 ^b	2.76±0.01 ^{ab}	9.47±0.05 ^b
Freeze-dried ear mushroom (Whole)	0	100.0±0.0 ^a	52.01±0.28 ^a	2.69±0.02 ^c	9.90±0.06 ^c
	35.0	100.0±0.0 ^a	51.70±0.62 ^a	2.78±0.02 ^b	10.55±0.03 ^b
	70.0	100.0±0.0 ^a	51.99±0.07 ^a	2.86±0.00 ^a	10.83±0.04 ^a
	105.0	100.0±0.0 ^a	50.47±0.16 ^b	2.71±0.01 ^c	10.43±0.04 ^b
	140.0	100.0±0.0 ^a	51.33±0.16 ^a	2.67±0.02 ^c	10.47±0.04 ^b
	175.0	100.0±0.0 ^a	50.39±0.17 ^b	2.71±0.02 ^c	10.56±0.08 ^b
	210.0	100.0±0.0 ^a	52.17±0.18 ^a	2.69±0.02 ^c	10.55±0.07 ^b

※ Sample harvest time-June, UVB treatment temperature-40°C.

L; lightness (0~100), a; greenness-redness (-80~100), blueness-yellowness (-70~70).

Each value is expressed as the mean±standard deviation (n=3).

^{a-h} Mean in each column by different superscripts are significantly at 5% level by Duncan's multiple range test.

Table 2. The vitamin D₂ and ergosterol contents according to UVB dose in fresh and freeze-dried ear mushrooms

Sample drying status	UVB dose (kJ/m ²)	Vitamin D ₂ (µg/100 g D.W.)	Ergosterol (mg/100 g D.W.)
Fresh ear mushroom (Whole)	0	53.0±3.2 ^g	172.3±4.4 ^a
	8.75	2,657.4±119.4 ^f	167.2±10.1 ^{ab}
	17.5	3,479.8±115.6 ^e	155.2±6.8 ^{bc}
	35.0	4,448.8±39.4 ^{bc}	149.4±0.9 ^{cd}
	52.5	4,643.4±61.5 ^{ab}	145.2±0.9 ^{cd}
	70.0	4,780.9±46.0 ^a	145.5±0.6 ^{cd}
	87.5	4,334.3±86.8 ^d	140.5±0.5 ^{cd}
	105.0	4,093.3±122.1 ^d	135.4±0.6 ^d
Freeze-dried ear mushroom (Whole)	0	53.3±1.7 ^d	199.6±1.6 ^a
	35.0	13,585.7±11.5 ^c	154.5±0.8 ^b
	70.0	15,558.8±150.4 ^b	139.0±1.4 ^c
	105.0	18,693.1±157.9 ^{ab}	120.0±1.5 ^d
	140.0	19,208.6±154.7 ^{ab}	117.8±1.3 ^d
	175.0	19,518.0±197.9 ^a	111.9±0.9 ^e
	210.0	20,524.0±184.3 ^a	98.6±1.5 ^f

※ Sample harvest time-June, UVB treatment temperature-40°C

Each value is expressed as the mean±standard deviation (n=3).

^{a-g} Mean in each column by different superscripts are significantly at 5% level by Duncan's multiple range test.

mg/100 g D.W.에서 210 kJ/m² 처리 시 98.6 mg/100 g D.W.로 감소하여 두 처리구 모두 자외선량에 따라 유의적인 차이가 있었다($p < 0.05$). 이 때 ergosterol 감소량은 생목이버섯에서 36.9 mg/100 g D.W., 동결건조 버섯에서 100.7 mg/100 g D.W.로 나타나 비타민 D₂ 함량 변화가 많았던 동결건조 버섯에서 큰 차이를 보였다.

최근 생버섯에 햇빛이나 자외선을 처리하여 상품성을 유지하면서 자외선 D를 증가시키는 연구가 다양하게 진행 중에 있는데, Simon 등(2011)은 양송이버섯의 자외선 처리 전 비타민 D₂ 함량은 5.5 µg/100 g D.W.이었으나 UVB(1.08 J/cm²)와 햇빛(2.5h) 처리 후 각각 410.9 µg/100 g D.W., 374.5 µg/100 g D.W.로 증대된다고 하였다. 그러나 기타 비타민류, 지방산, 아미노산 등의 영양성분 함량은 무처리구와 UVB 또는 햇빛 처리구 사이에 큰 차이가 없다고 하여 자외선 처리는 주로 비타민 D₂ 함량에 영향을 미침을 알 수 있었다.

Chen 등(2015)은 생느타리버섯에 190-700 nm, 169 J/pulse의 광펄스를 9 pulse 처리 후 비타민 D₂ 함량 증가 효과를 비교한 결과 노랑느타리와 분홍느타리버섯에서 1.81~2.78 µg/g F.W.로 높았으나 큰느타리, 아위버섯, 느타리버섯은 0.36~0.79 µg/g F.W.로 낮아 버섯 종류간에 차이가 있음을 시사한 바 있다. 또한 동결건조된 분말과 생버섯을 비교하였을 때 동결건조 분말 처리구의 비타민 D₂ 함량은 노랑느타리에서는 비슷하였으나 큰느타리 등 4종에서는 생버섯보다 훨씬 높은 수치를 나타낸다고 보고하였으며, 조사선량 증가에 따라 아위버섯 분말의 비타민 D₂ 함량은 60 pulse까지 65.4 µg/g D.W.로 점진적으로 증가하였다가 이후 감소한다고 하였다. 이러한 현상에 대해 Kalaras 등(2012)은 UV 선량이 초과되면 previtamin D₂가 vitamin D₂ 대신 tachysterol이나 lumisterol 형태로 변환되기 때문이라고 하였다. 그러나 표고버섯은 자외선량을 10 J/cm²까지 증가시켜도 지속적으로 비타민 D₂ 함량이 증가한다는 보고도 있다(Lee 등 2002). 또 다른 연구에서 Nolle 등(2017)은 양송이버섯의 경우(3 mm 절단) UVB 처리(1.5 J/cm²) 후 동결건조하면 406 µg/g D.W.의 비타민 D₂가 생성되며, 반대로 동결건조 후 자외선을 처리하면 395 µg/g D.W.가 생성되어 큰 차이가 없다고 하였는데, 이는 본 실험에 비해 자외선량이 현저히 낮았기 때문으로 생각된다.

Choi SJ(2017)은 생버섯 7종의 비타민 D₂ 함량을 조사한 결과, 자외선 처리 전에는 거의 없었으며 10분간 조사 후 팽이버섯과 느타리버섯(갓)에서 매우 높은 함량이 검출된 반면 표고버섯과 목이버섯의 비타민 D₂ 증가량은 높지 않았다고 하였다. 특히 목이버섯은 ergosterol 함량도 매우 낮아 동결건조 버섯에 대한 자외선 처리 반응을 위한 시료로 검토조차 되지 않았다. 그러나 본 실험에서 생목이버섯의 비타민 D₂ 함량은 53.0 µg/100 g D.W.이었으나 동결건조 후 210 kJ/m²의

자외선량에서 20,524.0 µg/100 g D.W.까지 증가하는 것으로 나타났는데, 이러한 수치는 Choi SJ(2017)의 동결건조 후 자외선을 처리한 새송이버섯의 비타민 D₂ 함량과 비슷한 수치이다. 따라서 추후 버섯 종류에 따라 건조상태와 자외선량에 따른 반응에 대한 연구가 세밀히 진행되어야 할 것으로 생각된다.

목이버섯의 건조여부에 따른 비타민 D₂ 함량을 비교한 결과 동결건조버섯(통째)에서는 자외선량 105 kJ/m² 이상에서 18,693.1 µg/100 g D.W. 이상이었으나 생목이버섯(통째)에서는 52.5~70 kJ/m²에서 4,643.4~4,780.9 µg/100 g D.W.로 나타나 비타민 D₂ 증대를 위해서는 동결건조 후 처리하는 것이 효과적이었으며 이 때 자외선량은 105 kJ/m² 이상이 필요할 것으로 판단된다.

2. 목이버섯 건조방법 및 자외선량별 품질특성

하우스건조 또는 동결건조 두 가지 방법으로 건조된 목이버섯을 500 µm 이하로 분쇄한 후 자외선량을 달리 처리하여 색도를 조사한 결과는 Table 3과 같다. 동결건조 목이버섯은 열풍건조에 비해 L, a, b값이 높고 형태 수축은 적지만 균사체가 날리고 색이 흐려 상품성이 거의 없다고 보고된 바 있다(Choi 등 2014). 그러나 본 연구에서는 실험 1을 통해 자외선 처리에 의한 비타민 D₂ 증가량이 동결건조에서 효과적으로 높았기 때문에 비타민 D 보충 건강기능식품 원료 사용을 목적으로 동결건조된 목이버섯과 함께 농가의 일반적인 건조방법인 비닐하우스 건조 목이버섯, 두 시료의 자외선 증진 효과를 검토하였다. 실험 1과 달리 실험 2에서 목이버섯 분말을 사용한 이유는 시료의 표면적을 늘려 자외선 처리 효과를 최대로 올려보고자 하였다.

비닐하우스 건조 후 자외선을 처리하지 않은 목이버섯의 L값은 44.19, b값은 9.35인 반면 동결건조 버섯에서는 51.72, 9.51로 나타나 비닐하우스 건조 목이버섯에서 L값과 b값이 낮아 어두워지는 경향이였다. 이는 실험 1의 생목이버섯에 자외선 처리(0~105.0 kJ/m²) 후 동결건조한 처리구의 L값 46.81~48.50, b값 9.12~9.70보다도 낮은 수치이였다(Table 1, 3). 비닐하우스 건조 목이버섯은 자외선 증가에 따라 L, a, b 값 모두 대체로 낮아지는 경향이었는데 무처리에 비해 210 kJ/m²에서는 L값 5.55, a값 0.17, b값 0.52가 감소하여 유의적인 차이가 있었다($p < 0.05$). 그러나 동결건조 분말의 자외선 처리구는 무처리구에 비해 L값은 다소 낮고 a값은 높은 경향이였으며 b값은 70 kJ/m²에서 높아 유의적인 차이가 인정되었다($p < 0.05$). 이는 동결건조 목이버섯을 통째로 자외선 처리한 실험 1의 b값과 비슷한 경향이였다.

아위버섯 동결건조 분말에서는 장시간 자외선에 노출되면 L값은 낮아지고 a, b값은 높아지는 현상이 관찰되었는데

Table 3. Chromaticity of ear mushroom according to drying methods before UVB treatment and UVB dose

Drying methods before UVB treatment	UVB dose (kJ/m ²)	Hunter's color value		
		L	a	b
Drying in vinyl house (Powder)	0	44.19±0.35 ^a	2.58±0.05 ^{ab}	9.35±0.24 ^a
	35	40.57±0.30 ^b	2.64±0.02 ^a	9.40±0.09 ^a
	70	39.37±0.18 ^{de}	2.56±0.02 ^{ab}	9.19±0.10 ^{ab}
	105	39.71±0.21 ^{cd}	2.52±0.03 ^b	8.83±0.20 ^b
	140	40.41±0.19 ^{bc}	2.52±0.01 ^b	9.19±0.11 ^{ab}
	175	38.67±0.12 ^c	2.41±0.04 ^c	8.77±0.08 ^b
	210	38.64±0.46 ^e	2.41±0.02 ^c	8.83±0.10 ^b
Freeze-drying (Powder)	0	51.72±0.30 ^a	2.52±0.02 ^c	9.51±0.04 ^d
	35	50.19±0.17 ^b	2.66±0.02 ^a	9.86±0.04 ^{bc}
	70	50.52±0.33 ^b	2.68±0.01 ^a	10.14±0.03 ^a
	105	50.09±0.17 ^b	2.65±0.01 ^a	9.94±0.04 ^{bc}
	140	50.15±0.22 ^b	2.70±0.02 ^a	9.99±0.06 ^b
	175	50.21±0.20 ^b	2.64±0.02 ^b	9.79±0.05 ^c
	210	50.06±0.08 ^b	2.67±0.03 ^a	9.91±0.08 ^{bc}

※ Sample size-below 500 μm, harvest time-June, UVB treatment temperature-40°C.

L; lightness(0~100), a; greenness-redness(-80~100), blueness-yellowness(-70~70).

Each value is expressed as the mean±standard deviation (n=3).

^{a-e} Mean in each column by different superscripts are significantly at 5% level by Duncan's multiple range test.

(Chen 등 2015) 실험 1의 생목이버섯에서도 비슷한 결과가 도출되었으나 동결건조 목이버섯(통째 또는 분말)에 자외선을 처리했을 때 색도 변화는 일정한 경향을 유추하기가 어려웠다. 이러한 원인은 동결건조는 비닐하우스 건조와 달리 열을 가하지 않아서 열에 의한 색 변화가 거의 없는 상태에서 자외선이 처리되었기 때문으로 판단되었다.

일반적인 기능성 검정방법 중 미백효과는 tyrosinase 저해 활성으로 확인하는데, 이 때 tyrosinase는 주로 버섯에서 유래하며 기질인 tyrosine과 DOPA(3,4-dihydroxyphenylalanine)를 전환시켜 멜라닌을 형성시킨다(Lin 등 2002). 따라서 생버섯은 자외선에 노출될수록 L값이 대체로 낮아질 것으로 추측되었으며 실험 1의 목이버섯 역시 생체에 자외선 처리하거나 햇빛 건조 후 자외선을 처리할 경우 뚜렷하게 L값이 낮아지는 경향을 보였다.

한편 블루베리와 블랙베리의 L, a, b값은 동결건조구에서 열풍건조구에 비해 높았으며(Park 등 2014; Choi 등 2017), 블루베리의 경우 열풍건조 시 건조온도가 증가할수록 L값이 오히려 감소하고 a값과 b값은 증가했는데(Shin 등 2015) 본 연구에서도 온도가 높은 비닐하우스 건조방법에서 L값이 비슷한 반응을 보였다.

목이버섯의 건조방법과 자외선량을 달리한 후 비타민 D₂와 ergosterol 함량을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 자외선을

처리하지 않았을 때 비닐하우스 건조구의 비타민 D₂ 함량은 233.9 μg/100 g D.W., 동결건조구는 62.7 μg/100 g D.W.이었다. 또한 ergosterol 함량은 비닐하우스 건조구에서 79.2 mg/100 g D.W. 동결건조구에서 189.3 mg/100 g D.W.로 나타나 동결건조구에서 비닐하우스 건조구에 비해 비타민 D₂ 함량은 낮고 ergosterol 함량은 높은 것으로 나타났다. Choi 등 (2014)의 연구 결과에서 7월에 수확한 목이버섯은 비닐하우스 건조 시 677 μg/100 g D.W., 동결건조 시 590 μg/100 g D.W.의 비타민 D₂ 함량을 보고하였는데 이러한 결과는 재배년도, 재배시기 및 환경의 차이에서 기인된 것으로 생각된다.

자외선량에 따라 비닐하우스 건조구는 35 kJ/m²에서 4,192.4 μg/100 g D.W.로 급격히 증가하였고 105 kJ/m² 이상에서 4,886.2~5,132.9 μg/100 g D.W.로 비슷한 비타민 D₂ 생성량을 보였다. 반면 동결건조구는 70 kJ/m²에서 17,103.7 μg/100 g D.W.로 최고치를 보이다 이후 선량에서 감소하여 유의적인 차이를 보였으며(p<0.05) 비닐하우스 건조구보다는 약 2.8배 이상 높은 비타민 D₂ 함량을 보여 효과적이었다. Ergosterol 함량은 자외선량 증가에 따라 비닐하우스 건조구는 79.2 mg/100 g D.W.에서 50.1 mg/100 g D.W.로, 동결건조 처리구는 189.3 mg/100 g D.W.에서 43.7 mg/100 g D.W.로, 두 처리구 모두 지속적으로 감소하는 경향이였으며(p<0.05) 비타민 D₂ 생성량이 많았던 동결건조 처리구에서 감소 폭은 더 컸다.

Keflie 등(2018)은 느타리 버섯 생체의 비타민 D₂ 증진 효과는 아열대 지역에서 햇빛 처리구보다 UVB 처리구에서 약 9배 정도 높아 814 µg/g까지 증가한다고 하였으며 햇빛 처리구는 3시간 이후부터 비타민 D₂ 함량 증가가 둔화된다고 발표한 바 있다. 또한 생버섯에 직접 UVB 처리하는 것이 동결 건조 후 UVB 처리 또는 동결 건조 후 햇빛 처리구에 비해 훨씬 효과적이라고 하였다. 그러나 본 실험에서 비닐하우스 건조구는 35 kJ/m²에 급격히 비타민 D₂가 증가하였다가 105 kJ/m² 이후부터는 크게 증가하지 않았다. 동결 건조 후 UVB 처리구는 비닐하우스 건조구보다 약 3배 정도 비타민 D₂ 증진에 효과적이었다. 이러한 결과가 나온 이유로 버섯 종류의 차이도 있겠지만 온대지역인 우리나라가 아열대 지역에 비해 UVB 강도가 상대적으로 낮고 비닐하우스 안에서 건조되었기 때문에 동결 건조구에 비해 비타민 D 증진 효과가 떨어진 것으로 생각되었다.

표고버섯의 경우 10 J/cm²의 자외선이 처리된 천일건조구의 비타민 D₂ 함량은 77.8 µg/g으로 무처리구에 비해 4.8배 증가하였으나, 열풍 건조 중 6시간 UVB 처리구와 열풍 건조 후 UVB 3~6시간 처리구는 116.7~138.8 µg/g으로 비타민 D₂ 함량이 증가한다고 하여 천일 건조에 비해 열풍 건조가 효과적임을 제시한 바 있으나(Choi HK 2001), 동결 건조 후 처리는 검토되지 않았다. Nolle 등(2017)의 연구에서는 양송이버섯의 경우 동결 또는 열풍 건조(60°C) 후 UVB 처리, UVB 처리 후 동결 건조할 경우 38,400~40,600 µg/100 g D.W.로 비슷한 비타민 D₂ 함량을 보였다. 그러나 열풍 건조의 빠른 건조로 인한 형태 변화와 동결 건조의 단점인 장시간 소요됨을 보완하기 위한 차선책으로, 햇빛 건조와 수분 제거에 효과적인 강제 순환식 solar bubble dryer를 이용해서 양송이를 건조하였는데, 이 때 비타민 D₂ 함량은 3,600~3,900 µg/100 g D.W.로 낮아 비타민 D 증가에 효과적인 방법이 아니라고 보고한 바 있다.

실험 1에서 목이버섯을 통째로 처리한 것과 달리 실험 2에서는 자외선 처리 효과를 높이고자 표면적이 넓은 500 µm 이하인 분말로 시험처리를 하였다. 동일한 동결 건조 시료라도 실험 1에서 105 kJ/m² 이상 선량에서 18,693.1 µg/100 g D.W. 이상으로 비슷한 비타민 D₂ 생성량을 보인 것과 달리 실험 2에서는 70 kJ/m²에서 17,103.7 µg/100 g D.W.로 최고치를 보인 후 그 이상의 선량에서는 오히려 감소하는 경향을 보였다(Table 2, 4). Ergosterol 함량은 동결 건조 통째 처리구보다 분말 처리구에서 급속히 감소하였으나 비타민 D₂ 생성량은 오히려 낮았는데 이러한 원인은 ergosterol에서 previtamin D₂로 전환되었다가 지속적인 UVB에 의해 비타민 D₂로 전환되지 않고 tachysterol 또는 lumisterol이 생성되었기 때문으로 추측되었으며 추후 자외선 처리 시 온도의 효과에 관한 연구

Table 4. The vitamin D₂ and ergosterol contents of ear mushroom according to drying methods before UVB treatment and UVB dose

Drying methods before UVB treatment	UVB dose (kJ/m ²)	Vitamin D ₂ (µg/100 g D.W.)	Ergosterol (mg/100 g D.W.)
Drying in vinyl house (Powder)	0	233.9±3.5 ^d	79.2±0.5 ^a
	35	4,194.2±56.5 ^c	65.7±0.6 ^b
	70	4,826.6±56.9 ^b	57.4±0.8 ^c
	105	4,886.2±81.2 ^{ab}	56.3±0.1 ^c
	140	5,023.0±98.8 ^{ab}	56.0±0.9 ^c
	175	5,132.9±126.5 ^a	53.0±0.6 ^d
Freeze-drying (Powder)	0	62.7±0.9 ^e	189.3±1.7 ^a
	35	14,203.2±70.4 ^c	130.2±0.5 ^b
	70	17,103.7±109.9 ^a	95.6±1.2 ^c
	105	15,151.7±86.3 ^b	92.0±0.6 ^d
	140	15,076.2±197.5 ^b	65.2±0.9 ^e
	175	15,043.1±184.1 ^b	58.5±0.5 ^f
	210	13,730.5±249.8 ^d	43.7±0.7 ^g

※ Sample size-below 500 µm, harvest time-June, UVB treatment temperature-40°C.

Each value is expressed as the mean±standard deviation (n=3).

^{a-g} Mean in each column by different superscripts are significantly at 5% level by Duncan's multiple range test.

도 진행되어야 할 것으로 생각되었다.

기타 양송이버섯을 동결 건조 후 크기에 따라 자외선을 처리했을 때 비타민 D₂ 함량은 분말(406 µg/g D.W.), 세절 3.0±0.2 mm(177 µg/g D.W.), 통(44 µg/g D.W.) 순으로 큰 차이가 있다는 보고(Nolle 등 2017)도 있었는데 본 실험과는 다른 결과로써 앞으로 동결 건조 목이버섯 크기에 따른 비타민 D₂ 증진 효과에 관한 연구도 진행할 예정이다.

본 실험 결과 비타민 D₂ 증진을 위한 자외선 처리 전 건조 방법으로 일반 건조방법인 비닐하우스 건조방법은 효과적이지 않았으므로 동결 건조가 선행되어야 하며 분말(500 µm 이하)보다는 통째로 자외선을 처리하는 것이 효과적으로 생각되었다.

3. 목이버섯 수확시기별 자외선 처리여부에 따른 품질특성

4~10월 수확된 목이버섯을 동결 건조 후 자외선 무처리구와 210 kJ/m² 처리구로 달리하여 품질특성을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 목이버섯은 비닐하우스에서 재배되며 봄부터 가을까지 수확이 이뤄지기 때문에 배양실에서 재배되는 대부분의 버섯과 달리 수확시기에 따라 동결 건조 후 색도가

Table 5. Chromaticity of freeze-dried ear mushroom under UVB dose 0 and 210 kJ/m² according to harvest time

Harvest time	UVB dose (kJ/m ²)	Chromaticity		
		L	a	b
Apr.	0	49.96±0.57 ^c	2.46±0.02 ^d	8.99±0.15 ^c
Jun.	0	52.01±0.28 ^b	2.69±0.02 ^c	9.90±0.06 ^b
Jul.	0	54.33±0.36 ^a	2.86±0.03 ^b	10.34±0.13 ^b
Aug.	0	54.86±0.13 ^a	3.13±0.05 ^a	11.40±0.17 ^a
Oct.	0	50.94±0.41 ^{bc}	3.13±0.04 ^a	10.20±0.16 ^b
Apr.	210	50.12±0.36 ^d	2.59±0.00 ^d	9.86±0.02 ^d
Jun.	210	52.17±0.18 ^c	2.69±0.02 ^c	10.55±0.07 ^b
Jul.	210	56.29±0.32 ^a	2.82±0.01 ^b	10.36±0.04 ^c
Aug.	210	54.55±0.30 ^b	3.35±0.02 ^a	12.17±0.04 ^a
Oct.	210	53.01±0.51 ^c	2.81±0.03 ^b	9.17±0.10 ^c

L; lightness (0~100), a; greenness-redness (-80~100), blueness-yellowness (-70~70).

Each value is expressed as the mean±standard deviation (n=3).

^{a-c} Mean in each column by different superscripts are significantly at 5% level by Duncan's multiple range test.

큰 차이가 있었다($p<0.05$). 4월에 수확된 목이버섯의 L값은 49.96, a값은 2.46, b값은 8.99이었으나 8월 수확 시에는 L값 54.86, a값 3.13, b값 11.40, 10월에는 L값 50.94, a값 3.13, b값 10.20으로 나타나 여름철에 색이 밝아지고 봄, 가을에 다소 진해짐을 알 수 있었다. 자외선 처리구는 무처리구에 의해 L값은 대체로 증가하였고 b값은 10월을 제외하고 증가하는 경향을 보였다.

버섯의 수확시기에 따른 연구로 실내에서 재배되는 양송이는 여름과 가을철에 호흡률이 낮고 저장 중 중량감소율이 높지만 수확시기에 따른 색도 차이는 나타나지 않았으며 (Lim 등 2004) 표고버섯은 채취시기에 따라 일반성분과 무기질 함량, 비타민 A, B₁, B₂, C 함량에 큰 차이가 보이지 않는다고 보고된 바 있다(Park 등 2004). 그러나 국내에서 버섯의 수확시기에 따른 색도, 비타민 D₂ 및 ergosterol 함량에 관한 연구나 자외선 처리 효과에 관한 연구는 매우 미흡한 상황으로 앞으로 이에 관한 연구가 추가로 진행되어야 할 것으로 생각된다.

목이버섯을 수확시기에 따라 동결건조 후 자외선 무처리구와 210 kJ/m² 처리로 나누어 비타민 D₂와 ergosterol 함량을 조사한 결과는 Table 6과 같다. 자외선 처리 전 비타민 D₂ 함량은 4월에 31.2 µg/100 g D.W.에서 8월 296.4 µg/100 g D.W.로 서서히 증가하였다가 10월에 38.5 µg/100 g D.W.로 급속히 감소하여 유의적 차이가 있었다($p<0.05$). Ergosterol 함량

역시 4월에 161.9 mg/100 g D.W.에서 8월 259.6 mg/100 g D.W.로 증가하고 10월 175.9 mg/100 g D.W.로 감소하여 비슷한 양상을 보였으며 수확시기별 유의적 차이가 인정되었다($p<0.05$). 이 때 8월의 비타민 D₂ 함량은 4월에 비해 9.5배 증가한 반면 ergosterol 함량은 1.6배 증가하였다.

210 kJ/m²의 자외선 처리에 의해 모든 수확시기에서 비타민 D₂ 함량이 자외선 무처리에 비해 59.0~385.1배로 급증하였는데 비타민 D₂ 함량은 6월, 7월, 8월, 10월, 4월 순으로 낮아졌다. 특히 6월에 수확된 목이버섯의 경우 비타민 D₂ 함량이 20,524.0 µg/100 g D.W.까지 증가함을 확인하였으며 4월의 비타민 D₂ 함량과는 3.3배 차이가 있어 자외선 처리 전 수확시기도 매우 중요함을 알 수 있었다. 전구체인 ergosterol 함량은 자외선 처리에 의해 25.8~50.6% 감소하였으며 8월, 10월, 4월, 6월, 7월 순으로 낮아졌다. 자외선 처리 전 목이버섯의 ergosterol 함량은 광도와 관련이 있을 것으로 추측되었으나 ergosterol 함량이 높았던 8월의 비타민 D₂ 생성량이 6월보다 낮은 구체적인 원인은 밝힐 수 없었다. 그러나 비타민 D₂ 증가량이 높았던 6, 8월의 ergosterol 함량 변화는 95.2~101.1 mg/100 g D.W.로 거의 비슷한 감소량을 보인 반면 비타민 D₂ 생성량이 적었던 4월과 10월은 44.6~45.4 mg/100 g D.W.로 낮

Table 6. The vitamin D₂ and ergosterol contents of freeze-dried ear mushroom under UVB dose 0 and 210 kJ/m² according to harvest time

Harvest time	UVB dose (kJ/m ²)	Vitamin D ₂ (µg/100 g D.W.)	Ergosterol (mg/100 g D.W.)
Apr.	0	31.2±1.0 ^c	161.9±1.5 ^c
Jun.	0	53.3±1.7 ^c	199.6±1.6 ^c
Jul.	0	182.7±2.5 ^b	208.3±1.6 ^b
Aug.	0	296.4±14.5 ^a	259.6±2.7 ^a
Oct.	0	38.5±2.8 ^c	175.9±1.5 ^d
Apr.	210	6,209.1±165.5 ^c	117.3±3.7 ^c
Jun.	210	20,524.1±207.8 ^a	98.6±1.5 ^c
Jul.	210	19,394.7±242.6 ^b	107.6±0.6 ^d
Aug.	210	17,477.0±224.8 ^c	164.4±0.5 ^a
Oct.	210	12,089.8±91.7 ^d	130.5±0.7 ^b

L; lightness (0~100), a; greenness-redness (-80~100), blueness-yellowness (-70~70).

Each value is expressed as the mean±standard deviation (n=3).

^{a-c} Mean in each column by different superscripts are significantly at 5% level by Duncan's multiple range test.

은 감소량을 보였다.

본 실험 결과 목이버섯은 수확시기에 따라서 비타민 D₂와 ergosterol 함량이 달랐으며 자외선 처리 후 비타민 D₂ 생성량도 차이가 있었다. 자외선 처리에 의한 비타민 D₂ 증진에 효과적인 수확시기는 6월이었는데 이 때 20,000 µg/100 g D.W. 이상의 비타민 D₂ 함량을 기대할 수 있었다.

요약 및 결론

천연 비타민 D₂ 공급원으로 목이버섯의 사용가능성을 검토하고자 건조여부, 자외선 처리 전 건조방법 및 수확시기에 따라 자외선을 처리한 후 색도, 비타민 D₂ 및 비타민 D₂ 전구체인 ergosterol 함량을 조사하였다. 건조여부에 따른 색도 측정 결과, 생목이버섯(통째)은 자외선 처리구에서 무처리구에 비해 L값은 낮아지고 a값은 높아졌으나 동결건조된 목이버섯(통째)에서는 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다. 생목이버섯의 경우 UVB 52.5~70.0 kJ/m² 처리에서 비타민 D₂ 함량이 4,634.4~4,780.9 µg/100 g D.W., 동결건조 목이버섯에서는 105 kJ/m² 이상의 선량에서 18,693.1 µg/100 g D.W. 이상으로 생목이버섯보다 동결건조 버섯에서 비타민 D₂ 함량이 4.1배 많았다. 자외선 처리 전 건조방법에 따라 비닐하우스 건조 분말(500 µm 이하)은 자외선량 증가에 따라 L, a, b값이 모두 낮아지는 경향이었으나 동결건조 목이버섯 분말은 70 kJ/m²에서 b값이 가장 높았다. 비타민 D₂ 함량은 비닐하우스에서 건조된 목이버섯 분말의 경우 105 kJ/m² 이상의 선량에서 4,886.2~5,132.9 µg/100 g D.W., 동결건조 분말은 70 kJ/m²에서 17,103.7 µg/100 g D.W.로 나타났다. Ergosterol 함량은 모든 실험에서 자외선량에 증가에 따라 감소하였다. 수확시기에 따라 자외선량 210 kJ/m² 처리시 비타민 D₂ 함량은 6월, 7월, 8월, 10월, 4월 순으로 나타났으며 6,209.1~20,524.0 µg/100 g D.W.로 큰 차이를 보였고 ergosterol 함량은 8월에서 164.4~259.6 mg/100 g D.W.로 가장 높았다. 본 연구 결과 천연 비타민 D 공급원으로 사용하기 위한 비타민 D₂ 고함유 목이버섯을 생산하기 위해서는 6월에 수확하여 동결건조 후 통째로 105 kJ/m² 이상의 자외선량을 처리해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

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

References

Chen SY, Huang SJ, Cheng MC, Chen YK, Yang SC, Mau JL.

2015. Enhancement of vitamin D₂ content in *Pleurotus* mushrooms using pulsed light. *J Food Process Preserv* 39:2027-2034

Choi HK. 2001. Effects of ultraviolet irradiation method on vitamin D₂ content in *Lentinus edodes* (Shiitake). Master's Thesis, Dongduk Women's Univ. Seoul. Korea

Choi SJ. 2017. Enhancement of ergocalciferol (vitamin D) content in mushrooms by UV irradiation. *Korean J Food Preserv* 24:381-386

Choi SR, Song EJ, Song YE, Choi MK, Han HA, Lee IS, Shin SH, Lee KK, Kim EJ. 2017. Quality characteristics of blackberry powder obtained by various drying methods. *Korean J Food Nutr* 30:609-617

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

Choi SR, Yu YJ, Ahn MS, Song EJ, Seo SY, Choi MK, Song YE, Han HA, So SY, Lee GK, Song YJ, Kim CK. 2015. Quality characteristics of instant gruel containing ear mushroom and black rice. *Korean J Food Nutr* 28:428-435

Holick MF, MacLaughlin JA, Clark MB, Holick SA, Potts JT Jr, Anderson RR, Blank IH, Parrish JA, Elias P. 1980. Photosynthesis of previtamin D₃ in human skin and the physiologic consequences. *Science* 210:203-205

Holick MF. 2007. Vitamin D deficiency. *N Engl J Med* 357: 266-281

Jasinghe VJ, Perera CO. 2006. Ultraviolet irradiation: The generator of vitamin D₂ 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

Keegan RJH, Lu Z, Bogusz JM, Williams JE, Holick MF. 2013. Photobiology of vitamin D in mushrooms and its bioavailability in humans. *Derm Endocrinol* 5:165-176

Keflie TS, Nolle N, Lambert C, Nohr D, Biesalski HK. 2018. Impact of the natural resource of UVB on the content of vitamin D₂ in oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) under

- subtropical settings. *Saudi J Biol Sci* (in press) doi:10.1016/j.sjbs.2018.07.014
- Kim TH, Jo SH, Kim MJ, Yu YB, Jang MH, Park KM. 2012. Comparative study on nutritional contents of *Auricularia* spp. *J Mushroom Sci Prod* 10:29-36
- Kwon SK. 2013. Factors associated with vitamin D deficiency in Korea. Master's Thesis, Korea Univ. Seoul. Korea
- Lee J, Ahn RM, Choi HS. 1997. Determinations of ergocalciferol and cholecalciferol in mushrooms. *Korean J Soc Food Sci* 13:173-178
- Lee JS, Kim SJ, Ahn RM, Choi HS, Choi HR, Yoon SK, Hong WS, Whang HS, Kwon DJ, Kim YJ. 2002. The effect of UV-B irradiation and hot-air drying on the vitamin D₂ content of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). *Korean J Soc Food Cookery Sci* 18:173-178
- Lim JH, Choi JH, Hong SI, Jeong MC, Kim D. 2004. Browning of minimally processed mushrooms (*Agaricus bisporus* Sing.) as affected by picking season and postharvest holding time. *Korean J Food Preserv* 11:313-318
- Lin CB, Babiarz L, Liebel F, Kizoulis M, Gendimenico GJ, Seiberg M, Roydon-Price E, Fisher DE. 2002. Modulation of microphthalmia-associated transcription factor gene expression alters skin pigmentation. *J Invest Dermatol* 119:1330-1340
- Mattila PH, Piironen VI, Uusi-Rauva EJ, Koivistoinen PE. 1994. Vitamin D contents in edible mushrooms. *J Agric Food Chem* 42:2449-2453
- Ministry of Food and Drug Safety. 2019a. Regulation on approval of functional ingredient for health functional food. Available from <https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/board/boardDetail.do> [cited 4 October 2019]
- Ministry of Food and Drug Safety. 2019b. Food Standards Codex. http://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_01.jsp [cited 4 October 2019]
- Nolle N, Argyropoulos D, Ambacher S, Muller J, Biesalski HK. 2017. Vitamin D₂ enrichment in mushrooms by natural or artificial UV-light during drying. *LWT-Food Sci Tech* 85: 400-404
- Park HI, Lee SH, Back OH, Cho SM, Cho YS. 2004. Component comparisons of the nutrient composition of *Lentinus edodes* based of harvest period. *Korean J Community Living Sci* 15:107-112
- Park SJ, Choi YB, Ko JR, Rha YA, Lee HY. 2014. Effects of drying methods on the quality and physiological activities of blueberry (*Vaccinium ashei*). *Korean J Culin Res* 20:55-64
- Scheunert A, Schieblich M, Reschke J. 1935. About the vitamin D contents in some edible mushrooms. *Hoppe-Seyler's Z Physiol Chem* 235:91-95
- Shin DS, Yoo YM, Kim HY, Han GJ. 2015. Determine the effects of drying temperature on the quality change and antioxidant activity characteristics of blueberry. *Korean J Food Preserv* 22:505-511
- Simon RR, Phillips KM, Horst RL, Munro IC. 2011. Vitamin D mushrooms: Comparison of the composition of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) treated postharvest with UVB light or sunlight. *J Agric Food Chem* 59:8724-8732
- Wu WJ, Ahn BY. 2014. Statistical optimization of ultraviolet irradiate conditions for vitamin D₂ synthesis in oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) using response surface methodology. *PLOS ONE* 9:e95359

Received 24 September, 2019

Revised 24 October, 2019

Accepted 05 November, 2019