

## 자외선(UV)-B 조사에 의한 아위느타리버섯(*Pleurotus eryngii* var. *ferulae*) 자실체의 비타민 D<sub>2</sub> 함량 증가

노재영<sup>1\*</sup> · 박상돈<sup>2</sup>

<sup>1</sup>단국대학교 생명과학부, <sup>2</sup>천안시 농업기술센터

### Ultraviolet (UV)-B Irradiation Increased Vitamin D<sub>2</sub> Contents in the Fruit Bodies of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae*

Jae-Young Rho<sup>1\*</sup> and Sang-Don Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Bio-science, Dankook University, Cheonan 330-714, Republic of Korea

<sup>2</sup>Agricultural Development and Technology Center, Cheonan 330-846, Republic of Korea

(Received May 24, 2013 / Accepted June 13, 2013)

The fresh fruit bodies of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* was irradiated with ultraviolet (UV)-B (280–320 nm) in order to increase vitamin D<sub>2</sub> contents, which was assayed using HPLC (Waters 1525, USA). The vitamin D<sub>2</sub> contents were 3.5 µg/g after 3 min UV-B irradiation (21.6 KJ/m<sup>2</sup>) and 6.02 µg/g after 5 min UV-B irradiation (36 KJ/m<sup>2</sup>), respectively, which showed the significant increase considering the vitamin D<sub>2</sub> content (0.01 µg/g) before UV-B irradiation. This increasing effect was confirmed also for other edible mushrooms; *Pleurotus eryngii*, from 0.09 µg/g to 2.75 µg/g (3 min) and 5.21 µg/g (5 min); *Lentinus edodes*, from 0.021 µg/g to 3.02 µg/g (3 min) and 3.78 µg/g (5 min); *Pleurotus ostreatus*, from 0.19 µg/g to 9.63 µg/g (3 min) and 11.6 µg/g (5 min). Although the original content of vitamin D<sub>2</sub> was the highest in *P. ostreatus*, the extent of increase by UV irradiation was remarkably high in *P. eryngii* var. *ferulae*.

**Keywords:** *Pleurotus eryngii* var. *ferulae*, ergosterol, fruit bodies, mushrooms, ultraviolet (UV)-B, vitamin D<sub>2</sub>

비타민 D는 뼈의 건강과 유지하는데 중요한 비타민으로 알려져 있다(Holick, 2007). 이러한 비타민 D의 결핍은 골다공증을 유발하며, 임상적으로 암, 심장질환, 비만, 당뇨병 등과 관련이 있다(Hansen et al., 2001; Grant, 2002; Kikkinen et al., 2009). 비타민 D는 두 가지 다른 형태 즉 비타민 D<sub>3</sub> (cholecalciferol)와 비타민 D<sub>2</sub> (ergocalciferol)로 나눌 수 있으며 비타민 D<sub>3</sub>는 주로 연어, 고등어, 참치, 계란 등에서 많이 발견되고 비타민 D<sub>2</sub>는 버섯, 효모 등에서 발견된다(Shrapnel and Truswell, 2006). 따라서 치료목적으로 비타민 D<sub>3</sub> 유도체를 많이 섭취하고 있으나 비타민 D<sub>3</sub>는 과량 섭취할 경우 갈슘 침착을 일으킬 수 있는 반면 비타민 D<sub>2</sub> 유도체의 경우 갈슘 침착을 유발하지 않는다(Holick et al., 2005).

고등균류인 버섯은 담자균류(basidiomycetes)에 속하고 높은 영양적 가치와 많은 생리활성을 나타내는 것으로 알려져 있으며, 특히 항바이러스, 항고지혈증, 면역증강, 항암 등의 효능에 대하여 자주 연구되고 있다(Kakimi et al., 2009; Wong et al., 2010). 버섯에는 적은 양이지만 비타민 D<sub>2</sub>가 존재하며 특히 프로

비타민으로써 에르고스테롤(ergosterol)이 풍부하여 자외선 조사에 의해 충분한 비타민 D<sub>2</sub> 공급원이 될 수 있다(Mau et al., 1998; Mattila et al., 2002). 자외선 조사에 의한 버섯내의 비타민 D<sub>2</sub>의 함량을 증가시키기 위하여 많은 실험을 하였으며, 자외선 파장 중 자외선-B 파장(290–320 nm)이 자외선-C 파장(190–290 nm)보다 높은 비타민 D 전환율을 보였다(Mau et al., 1998). 이에 따라 표고버섯(*Lentinus edodes*)과 양송이버섯(*Agaricus bisporus*)에 자외선을 조사하여 비타민 D<sub>2</sub>의 농도를 증가시킨 예가 있다(Mattila et al., 1994; Mau et al., 1998; Jasinghe and Perera, 2005). 이에 따라 신규 육종 품종인 아위느타리버섯(*Pleurotus eryngii* var. *ferulae*)에서도 자실체의 고유한 비타민 D<sub>2</sub> 함량과 자외선에 의한 비타민 D<sub>2</sub> 함량 변화에 대한 연구가 필요하게 되었다. 아위느타리버섯은 큰느타리버섯(새송이버섯: *Pleurotus eryngii*)의 변종으로서, 건조지대인 중국 신장지방의 아위나무에서 자라기 때문에 아위느타리라고 불리게 되었다. 신규로 육종한 아위느타리버섯(*P. eryngii* var. *ferulae*)의 형태적 특징을 보면 갓의 크기가 15–100 mm이며 초기에는 반구형이고 갓은 안쪽으로 굽어있으며, 성장하면 반 반구형, 중고 편평형 또는 편평하게 퍼진다. 표면은 평활하고, 호피형태의 얼룩무늬가 나타난다. 어린시기에는 갈회색(5D2, brownish grey, Methuen Handbook of

\*For correspondence. E-mail: jyrho@dankook.ac.kr; Tel.: +82-41-550-3475; Fax: +82-41-558-3861

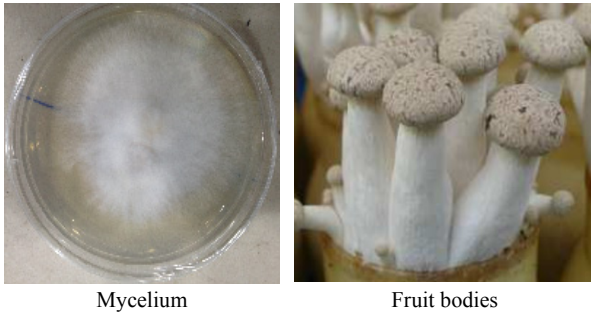


Fig. 1. The fresh fruit bodies and mycelium of *P. eryngii* var. *ferulae*.

color)을 띄고, 성장하면 회황색(5B3, grayish orange)을 띄며 조직은 부드럽고 탄력성이 있는 육질형으로 유백색이다(Fig. 1). 따라서 본 연구는 아위스타리버섯의 비타민 D<sub>2</sub> 함량측정과 자외선조사에 의한 비타민 D<sub>2</sub> 함량의 증가를 확인하였고 근연관계가 밀접한 버섯인 큰느타리버섯(*P. eryngii*)과 느타리버섯(*Pleurotus ostreatus*) 그리고 에르고스테롤(ergosterol) 연구가 많이 된 표고버섯(*Lentinus edodes*)의 비타민 D<sub>2</sub> 함량 측정과 자외선(UV)-B 파장 조사에 의한 비타민 D<sub>2</sub> 함량 증가를 비교 조사하였다.

실험에 사용한 아위스타리버섯은 천안의 농업회사법인 ㈜돌아채로부터 얻었고 버섯배지는 톱밥과 미강을 8:2 (V/V)로 혼합한 다음 고압멸균(121°C, 20 min) 후에 아위스타리버섯을 접종한 다음 25°C 30일간 배양 후 발아시켜 자실체가 충분히 성숙된 것을 수확하였다(Fig. 1). 큰느타리버섯(*P. eryngii*), 느타리버섯(*P. ostreatus*)과 표고버섯(*L. edodes*)은 천안시 농업기술센터로

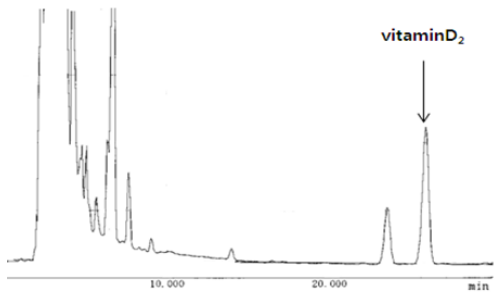


Fig. 3. The HPLC profile of vitamin D<sub>2</sub> after UV-B irradiation in *P. eryngii* var. *ferulae*.

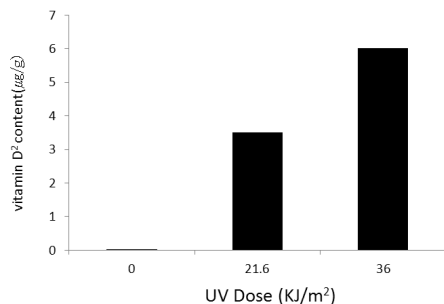


Fig. 4. The effect of UV-B irradiation on vitamin D<sub>2</sub> contents in *P. eryngii* var. *ferulae*.

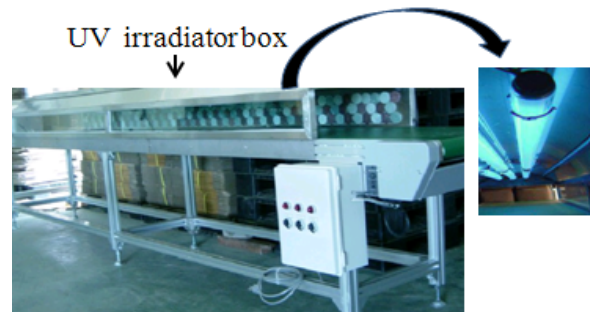


Fig. 2. UV irradiation conveyer system for mushroom processing.

부터 공급 받았으며, 공급받은 버섯은 갓 수확 후 신선하고 충분히 육성된 일정한 크기의 것을 사용하였다. 자외선조사는 자외선조사장치(Fig. 2)에 의하여 비타민 D<sub>2</sub> 전환율이 높은 자외선 UV-B 파장(280-320 nm)을 3분(21.6 KJ/m<sup>2</sup>)과 5분(36 KJ/m<sup>2</sup>)씩 조사하였다. 비타민 D<sub>2</sub> 추출 및 분석은 Mattila 등(1994)의 분석 방법을 변형하여 사용하였다. 즉 동결 건조된 버섯분말을 비누화 반응시킨 후 핵산/에틸아세테이트(J.T. Baker)로 세번 추출 후 정량 분석하기 전에 고속액체 크로마토그래피(HPLC: Waters 1525 binary HPLC pump, Waters 717 plus auto-sampler, Waters 2487 UV detector, USA)를 사용하여 연속정제 후 분석하였다(Phillips *et al.*, 2008, 2010). 분석조건은 다음과 같다.

컬럼: reverse phase C18 (symmetry 4.6 × 250 mm), 이동상: 아세토니트릴: 메탄올(75:25 V/V), 유속: 1.5 ml 검출파장: UV 265 nm. 비타민 D<sub>2</sub> 표준물질(ergocalciferol, Sigma Co.)은 본 실험 조건에서 26분에 방출됨을 확인하고 비교하여 정량 분석하였다.

아위스타리버섯의 생리적 특성을 보면 버섯완전배지(mushroom complete medium; MCM)에서 25°C, 10일간 배양한 결과 균사의 색은 백색을 띄며 표면에 기중균사가 부상형으로 형성하였다(Fig. 1). 균사 생장에 최적 산도(pH)를 규명하기 위하여 yeast extract-peptone-dextrose (YPD) 액체배지를 pH 4-8까지 조절한 후 25°C, 10일간 배양한 뒤 건조 중량을 측정 균사의 최적 산도는 pH 5.5 부근이었다(자료 미제시). 자외선 UV-B 파장(280-320 nm)을 조사시 에르고스테롤의 B고리가 광화학적 반응에 의해 끊어져 중간 대사물인 비타민 D<sub>2</sub> 전구체가 형성되고 이것이 열에 의해 재배열되어 비타민 D<sub>2</sub>가 형성된다(Teichmann *et al.*, 2007). 따라서 자외선 UV-B 파장(280-320 nm)을 조사한 아위

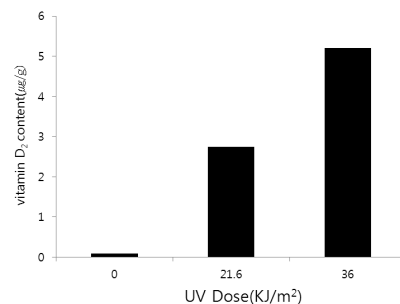


Fig. 5. The effect of UV-B irradiation on vitamin D<sub>2</sub> contents in *P. eryngii*.

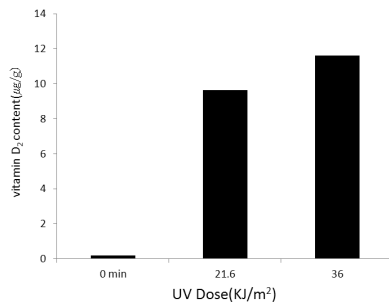


Fig. 6. The effect of UV-B irradiation on vitamin D<sub>2</sub> contents in *P. ostreatus*.

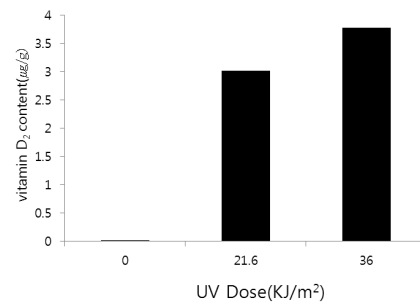


Fig. 7. The effect of UV-B irradiation (KJ) on vitamin D<sub>2</sub> contents in *L. edodes*.

느타리버섯의 비타민 D<sub>2</sub> 농도는 자외선 UV-B를 조사하지 않은 대조군(0 min)에서 0.01 µg/g이지만 자외선 UV-B를 3분 조사한 것에서는 3.5 µg/g, 5분 조사한 것에서는 6.02 µg/g으로 증가하였다(Figs. 3 and 4). 큰느타리버섯(*P. eryngii*)의 비타민 D<sub>2</sub> 농도는 대조군(0 min)에서 0.09 µg/g, 3분 조사한 것에서는 2.75 µg/g 그리고 5분 조사한 것에서는 5.21 µg/g으로 증가하였다(Fig. 5). 느타리버섯(*P. ostreatus*)의 비타민 D<sub>2</sub> 농도는 대조군(0 min)에서 0.19 µg/g, 3분 조사한 것에서는 9.63 µg/g 그리고 5분 조사한 것에서는 11.60 µg/g으로 측정되었다(Fig. 6). 표고버섯(*L. edodes*)의 비타민 D<sub>2</sub> 농도는 대조군(0 min)에서 0.02 µg/g, 3분 조사한 것에서는 3.02 µg/g 그리고 5분 조사한 것에서는 3.78 µg/g으로 증가되었다(Fig. 7). 갓 수확한 버섯(대조군)의 비타민 D<sub>2</sub> 함량은 아위느타리버섯, 새송이버섯, 느타리버섯 그리고 표고버섯에서 아주 미량 검출되었다. 이는 Mattila 등(1994)의 결과와 일치하는 것으로 나타났다. 즉 진균류와 효모 등의 세포막 구성 성분인 에르고스테롤이 자외선 조사에 의해 비타민 D<sub>2</sub>가 생성된다는 것을 보여주는 것이다. Ko 등(2008)의 결과를 보면 표고버섯과 양송이버섯의 절편에 자외선-B 파장을 조사 후 비타민 D<sub>2</sub> 증가량이 자외선 UV-B 파장 조사량과 조사면적의 확대 효과에 의해서 25, 50 KJ/m<sup>2</sup> 조사하였을 때 13.8 µg/g, 40.7 µg/g의 높은 증가량을 보였다. 본 연구에서는 버섯의 두께가 가장 두꺼운 큰느타리버섯, 표고버섯의 비타민 D<sub>2</sub> 증가량이 버섯의 두께가 얇은 느타리버섯과 아위느타리버섯의 비타민 D<sub>2</sub> 증가량보다 적은 것으로 나타나 버섯의 두께에 따라 자외선 UV-B 조사 효과가 다르다는 것을 보여주고 있다. 또한 자외선 UV-B 조사 강도에 의존적으로 비타민 D<sub>2</sub>의 증가를 나타냈으며 이것은 Mau 등(1998)의 결과와 일치한다. 즉 자외선 UV-B의 조사강도가 강하고, 조사시간이 길수록 비타민 D<sub>2</sub> 함량의 증가를 나타내었다(Figs. 4, 5, 6, 7). 본 연구를 통해서 신규 육종 균주인 아위느타리버섯에 대해서도 자외선 UV-B 조사에 의한 비타민 D<sub>2</sub>의 함량 증강이 됨을 확인하였으며, 버섯에서의 자외선 UV-B 조사에 의한 비타민 D<sub>2</sub> 증강은 버섯의 두께에 의존적이고, 자외선 조사 강도, 시간에 의존적이라는 것을 확인하였다(Roberts et al., 2008). 앞으로 아위느타리버섯에서의 자외선 조사에 의한 비타민 D<sub>2</sub>의 함량 증강 뿐만 아니라 자외선 조사 후 비타민 D<sub>2</sub> 함량 변화 그리고 전구 물질인 에르고스테롤(ergosterol)의 함량 변화와의 관계를 규명하는 것이 필요할 것이다.

## 적요

아위느타리버섯(*P. eryngii* var. *ferulae*)의 비타민 D<sub>2</sub> (ergocalciferol) 함량 증강을 위하여 아위느타리버섯 자실체에 자외선(UV)-B파장(280–320 nm)을 조사하였다, 비타민 D<sub>2</sub> (ergocalciferol)의 증가된 함유량은 HPLC (Waters 1525, USA) 분석으로 확인하였다. 비타민 D<sub>2</sub> 함량은 3분(21.6 KJ/m<sup>2</sup>) 처리시 3.5 µg/g, 5분(36 KJ/m<sup>2</sup>) 처리시 6.02 µg/g으로 자외선을 조사하지 않은 대조군 0.01 µg/g에 비교하여 높은 증가를 나타내었다. 이와 함께 큰느타리버섯(*P. eryngii*)은 대조군 0.09 µg/g, 3분 처리시 2.75 µg/g, 5분 처리시 5.21 µg/g으로 나타났다. 표고버섯(*L. edodes*)은 대조군 0.02 µg/g, 3분 처리시 3.02 µg/g, 5분 처리시 3.78 µg/g으로 나타났다. 느타리버섯(*P. ostreatus*)은 대조군 0.19 µg/g, 3분 처리시 9.63 µg/g, 5분 처리시 11.60 µg/g으로 나타났다. 느타리버섯(*P. ostreatus*)의 비타민 D<sub>2</sub> 함량이 아위느타리버섯, 큰느타리버섯과 표고버섯보다 높았으나 비타민 D<sub>2</sub> 함량 증가율은 아위느타리버섯이 월등히 높았다.

## 참고문헌

- Grant, W.B. 2002. An ecologic study of dietary and solar ultraviolet-B links to breast carcinoma mortality rates. *Cancer* **94**, 272–281.
- Hansen, C.M., Binderup, L., Hamberg, K.J., and Carlberg, C. 2001. Vitamin D and cancer: effects of 1,25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub> and its analogues on growth control and tumorigenesis. *Front. Biosci.* **6**, D820–D848.
- Holick, M.F. 2007. Vitamin D deficiency. *N. Engl. J. Med.* **357**, 266–281.
- Holick, M.F., Siris, E.S., Binkley, N., Beard, M.K., Khan, A., Katzner, J.T., Petruschke, R.A., Chen, E., and Papp, A.E. 2005. Prevalence of vitamin D inadequacy among postmenopausal North American women receiving osteoporosis therapy. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* **90**, 3215–3224.
- Jasinghe, V.J. and Perera, C.O. 2005. Distribution of ergosterol in different tissues of mushrooms and its effect on the conversion of ergosterol to vitamin D<sub>2</sub> by UV irradiation. *Food Chem.* **92**, 541–546.
- Kakimi, K., Nakajima, J., and Wada, H. 2009. Active specific immunotherapy and cell-transfer therapy for the treatment of non-small cell lung cancer. *Lung Cancer* **65**, 1–8.
- Kikkinen, A., Knekt, P., Antti, A., Harri, R., Jukka, M., Markku, H., Olli, L., and Antti, R. 2009. Vitamin D status and the risk of cardiovascular disease death. *Am. J. Epidemiol.* **170**, 1032–1039.

- Ko, J.A., Lee, B.H., Lee, J.S., and Park, H.J.** 2008. Effect of UV-B exposure on the concentration of vitamin D<sub>2</sub> in sliced shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) and white button mushroom (*Agaricus bisporus*). *J. Agric. Food Chem.* **56**, 3671–3674.
- Mattila, P.H., Lampi, A.M., Ronkainen, R., Toivo, J., and Piironen, V.** 2002. Sterol and vitamin D<sub>2</sub> contents in some wild and cultivated mushrooms. *Food Chem.* **76**, 293–298.
- Mattila, P., Piironen, V., Uusi-Rauva, E., and Koivistoinen, P.** 1994. Vitamin D contents in edible mushrooms. *J. Agric. Food Chem.* **42**, 2449–2453.
- Mau, J.L., Chen, P.R., and Yang, J.H.** 1998. Ultraviolet irradiation increased vitamin D<sub>2</sub> content in edible mushrooms. *J. Agric. Food Chem.* **46**, 5269–5272.
- Phillips, K.M., Byrdwell, W.C., Exler, J., Hamly, J., Holden, J.M., and Holick, M.F.** 2008. Development and validation of control materials for the measurement of vitamin D<sub>3</sub> in selected U.S. foods. *J. Food Compos. Anal.* **21**, 527–534.
- Phillips, K.M., Ruggio, D.M., Horst, R.L., Minor, B., Simon, R., Feeney, M.J., Byrdwell, W.C., and Haytowitz, D.B.** 2010. Vitamin D and sterol composition of ten types of mushrooms from retail suppliers in the United States. *J. Agric. Food Chem.* **59**, 7841–7853.
- Roberts, J.S., Teichert, A., and McHugh, T.H.** 2008. Vitamin D<sub>2</sub> formation from post-harvest UV-B treatment of mushrooms (*Agaricus bisporus*) and retention during storage. *J. Agric. Food Chem.* **56**, 4541–4544.
- Shrapnel, W. and Truswell, S.** 2006. Vitamin D deficiency in Australia and New Zealand: what are the dietary options?. *Nutr. Diet.* **63**, 206–212.
- Teichmann, A., Dutta, P.C., Staffas, A., and Jägerstad, M.** 2007. Sterol and vitamin D<sub>2</sub> concentrations in cultivated and wild grown mushrooms: effects of UV irradiation. *LWT-Food Sci. Technol.* **40**, 815–822.
- Wong, J.H., Ng, T.B., Cheung, R.C., Ye, X.J., Wang, H.X., Lam, S.K., Lin, P., Chan, Y.S., Fang, E.F., Ngai, P.H.K., and *et al.*** 2010. Proteins with antifungal properties and other medicinal applications from plants and mushrooms. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **87**, 1221–1235.