

ผลของแสงอาทิตย์และแสงอัลตราไวโอเลต บี ต่อการเปลี่ยนแปลงของ ergosterol เป็นวิตามินดี 2 ในเห็ดที่บริโภคได้

Effect of sunlight and UV-B light on the conversion of ergosterol to vitamin D₂ in edible mushrooms

ณัฐสุดา บรรเลงสวรรค์^{1,2} และ นิวัฒน์ เสนาะเมือง^{1,2,3*}

Nutsuda Banlangsawan^{1,2} and Niwat Sanoamuang^{1,2,3*}

บทคัดย่อ: นำเห็ดเข็มทอง (*Flammulina velutipes*) และเห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*) มาทำการผึ่งแดดและฉายแสงด้วยหลอดไฟอัลตราไวโอเลต บี (UV-B) เพื่อเพิ่มปริมาณวิตามินดี 2 ในดอกเห็ด และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสาร ergosterol ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของวิตามินดี 2 จากผลการทดลองพบว่าปริมาณสาร ergosterol ในเห็ดลดลง ขณะที่วิตามินดี 2 กลับมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการฉายแสงมากขึ้น โดยเห็ดที่ฉายแสงด้วยหลอดไฟ UV-B จะมีปริมาณวิตามินดี 2 สูงกว่าการผึ่งแดด การฉายแสง UV-B แก่เห็ดเป็นระยะเวลา 15-180 นาที ที่ระยะห่างระหว่างตัวอย่างและหลอดไฟ ห่างกัน 15 และ 30 ซม. หลังจากการฉายแสงพบว่าเห็ดจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณวิตามินดี 2 สูงเมื่อทำการฉายแสงที่ระยะ 15 ซม. โดยเห็ดนางรมและเห็ดเข็มทองที่ฉายแสงที่ระยะ 15 ซม. มีปริมาณวิตามินดี 2 เพิ่มขึ้น 4,689% และ 2,310% ตามลำดับ เมื่อฉายแสงเป็นระยะเวลา 180 นาที

คำสำคัญ: Ergocalciferol, แสงแดด, การฉายแสงอัลตราไวโอเลต, เห็ดที่บริโภคได้

ABSTRACT: Enoki mushrooms (*Flammulina velutipes*) and oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) were exposed to sunlight and Ultraviolet-B (UV-B) lamp to increase vitamin D₂ in mushrooms and to investigate the conversion of ergosterol which is initial substance of vitamin D₂. The amount of ergosterol content in mushrooms was decreased; conversely, the concentration of vitamin D₂ was increased. Irradiated mushrooms with UV-B lamp had more vitamin D₂ level than irradiated mushrooms with sunlight. Mushrooms were treated with UV-B irradiation for 15-180 min and UV-B irradiation source was placed 15 and 30 cm. away from mushrooms. After irradiation mushrooms, the greatest conversion to vitamin D₂ was observed in mushroom which irradiated by UV-B lamp at distance 15 cm. The concentration of vitamin D₂ in oyster mushrooms and enoki mushrooms increased 4,689.47% and 2,310.16% after irradiation for 180 min.

Keywords: Ergocalciferol, Sunlight, UV irradiation, Edible mushrooms

¹ สาขาโรคพืชวิทยา ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Plant Pathology Department of Plant Science and Agricultural Resources. Faculty of Agriculture. Khon Kaen University.

² โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ คลัสเตอร์วิจัยสินค้าอาหารและอาหารเพื่อสุขภาพภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

The Higher Education Research Promotion and National Research University Project of Thailand, Office of the Higher Education Commission, through the Food and Functional Food Research Cluster of Khon Kaen University.

³ ศูนย์วิจัยอนุกรมวิธานประยุกต์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Applied Taxonomic Research Center. Khon Kaen University.

* Corresponding author: niwat@kku.ac.th

บทนำ

เห็ดเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีสรรพคุณทางยา ช่วยป้องกันและรักษาโรคต่างๆ เช่น โรคความดันโลหิต โรคเบาหวาน เป็นต้น มีสารต้านอนุมูลอิสระและสารต้านมะเร็ง (ประสาน, 2549) นอกจากนี้ยังพบสาร phyto-sterol ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยลดการดูดซึมของ cholesterol ในร่างกาย สาร phyto-sterol ที่พบมากในเห็ด คือ ergosterol เมื่อดอกเห็ดได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ที่ความยาวคลื่น 280-320 nm. จะเกิดกระบวนการ photolysis สาร ergosterol จะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีไปเป็นสาร ergocalciferol หรือ วิตามินดี 2 การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้สามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ แต่ดอกเห็ดจากการเพาะเลี้ยงมีปริมาณวิตามินดี 2 น้อยมาก เพราะเห็ดถูกเพาะเลี้ยงในโรงเรือนซึ่งได้รับการควบคุมปริมาณแสง ไม่มีโอกาสได้รับแสง UV จากแสงอาทิตย์ (Teichmann et al., 2007) มีการทดลองในห้องปฏิบัติการ ทำการเสริมสร้างวิตามินดี 2 ในดอกเห็ดด้วยกระบวนการที่ใกล้เคียงกับธรรมชาติ โดยแหล่งที่มาของแสง คือ หลอดไฟ UV ชนิดต่างๆ เช่น UV-A, UV-B, UV-C เป็นต้น (Mau et al., 1998) Roberts et al. (2008) ทดลองฉายแสง UV-B แก่ดอกเห็ด *Portabella* (*Agaricus bisporus*) ระยะเวลา 15 - 120 นาที สามารถเพิ่มปริมาณวิตามินดี 2 ได้ 375 -728% คณะผู้วิจัยจึงทำการทดลองเพิ่มปริมาณวิตามินดี 2 ในเห็ดโดยใช้แสงแดดและแสงจากหลอดไฟ UV-B โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของวิตามินดี 2 ของเห็ดที่ผ่านการผึ่งแดดและผ่านการฉายแสง UV-B และศึกษาผลของแสง UV-B ที่ระดับความเข้มแสงที่แตกต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงของ ergosterol และวิตามินดี 2

วิธีการศึกษา

การฉาย UV จากแสงอาทิตย์และการฉายแสงจากหลอดไฟ UV-B แก่ดอกเห็ด

ดอกเห็ดที่นำมาทดลอง ได้แก่ เห็ดเข็มทอง (*Flammulina velutipes*) และเห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*) โดยดอกเห็ดทั้งสองชนิด เป็นดอกเห็ดที่นำมาจากฟาร์มเห็ดในจังหวัดขอนแก่น นำดอกเห็ดที่ได้เก็บรักษาไว้ในกล่องที่บดแสงที่อุณหภูมิ 1^oซ ก่อนการฉายแสง นำดอกเห็ดทั้ง 2 ชนิด วางในถาดอลูมิเนียม โดยดอกเห็ดนางรมจะหงายส่วนครึ่งดอกขึ้นรับแสง ผึ่งแดดเป็นระยะเวลา 15, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที ในที่โล่งไม่มีร่มเงาระหว่างช่วงเวลา 11.00-14.00 น. โดยชุดควบคุมจะไม่ทำการผึ่งแดด

การฉายแสง UV แก่ดอกเห็ด ได้สร้างตู้ฉายแสง UV ภายในประกอบด้วยรางหลอดไฟ UV-B (313 ± 12 nm, Philips TLD 18W) ระยะห่างระหว่างตัวอย่างและหลอดไฟห่างกัน 15 และ 30 ซม. ฉายแสง UV-B แก่ดอกเห็ด เป็นระยะเวลา 15, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที โดยระยะห่างระหว่างตัวอย่างและหลอดไฟห่างกัน 15 ซม. ซึ่งมีระดับพลังงานรังสี เท่ากับ 45.86, 91.72, 183.44, 275.16, 366.89, 458.60 และ 550.32 J/cm² ตามลำดับ และที่ระยะห่าง 30 ซม. มีระดับพลังงานรังสี เท่ากับ 11.46, 22.93, 45.86, 68.78, 91.71, 114.65 และ 137.58 J/cm² ตามลำดับ ชุดควบคุมจะไม่ทำการฉายแสง

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ โดยแต่ละกรรมวิธีใช้เห็ดปริมาณ 100 กรัม นำดอกเห็ดที่ผ่านการผึ่งแดดและผ่านการฉายแสงไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำด้วยกระบวนการ Freeze-drying บดดอกเห็ดแห้งให้เป็นผง และเก็บรักษาผงเห็ดไว้ในที่อุณหภูมิ -20^oซ ก่อนทำการสกัดสารในขั้นตอนต่อไป

การสกัดและวิเคราะห์สาร ergosterol และวิตามินดี 2

นำผงเห็ด 1 กรัม ผสมกับ L-ascorbic acid (RFCL Limited) 1 กรัม ethanol 99 % (QRēC™) ปริมาณ 50 มล. และ potassium hydroxide 50% (Ajax Finechem Pty Ltd) 25 มล. สกัดสารด้วยวิธีการสกัดแบบไหลย้อนกลับ (Reflux extraction) ที่อุณหภูมิ 85°C ระยะเวลา 30 นาที เทสารผสมลงในกรวยแยกสาร เติมน-hexane (RCI Labscan Limited) ปริมาณ 30 มล. และ deionized water ปริมาณ 10 มล. สกัดแยกส่วน organic layers มาล้างด้วย deionized water จนสารสกัดอยู่ในสภาพเป็นกลาง นำสารที่ได้ไประเหยแห้งด้วยเครื่อง rotary evaporator และละลายสารด้วยสาร eluent (methanol/acetonitrile = 75:25) และ isopropyl alcohol (2:1) จากนั้นกรองสารด้วย non lyrogenic filter (PTFE, 13 nm, Whatman International Ltd.) ทำการตรวจหาสารด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยฉีดสารตัวอย่างปริมาณ 20 ไมโครลิตร เข้าสู่ระบบ HPLC (water 1525, Waters Corp.) โดยใช้ methanol/acetonitrile (HPLC grade, Fisher Scientific) (75:25) เป็น mobile phase ตรวจสอบและวิเคราะห์หาปริมาณสาร ergosterol และ วิตามินดี 2 จากตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน (ergosterol and ergocalciferol, Sigma Chemical, Steinheim, Germany)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD)

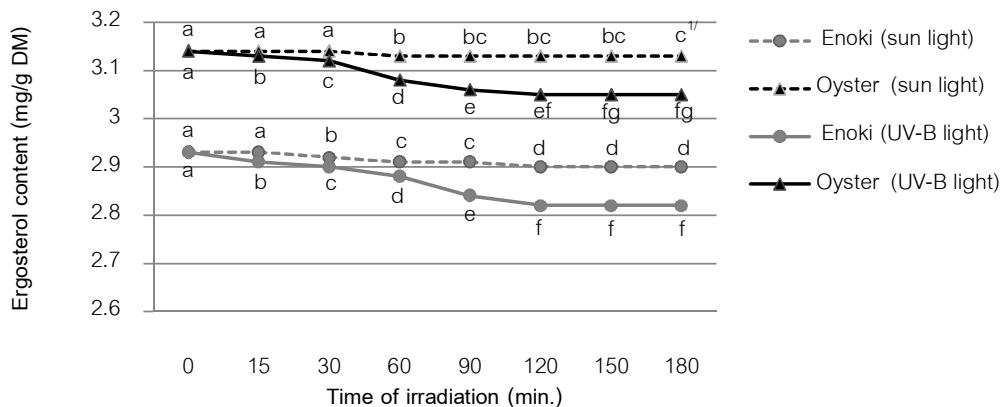
ผลการศึกษา

ผลของแสง UV จากแสงอาทิตย์ และแสงจากหลอดไฟ UV-B ต่อการเปลี่ยนแปลงของสาร ergosterol และวิตามินดี 2 ในดอกเห็ด

ก่อนทำการทดลองเห็ดนางรมและเห็ดเข็มทองมีปริมาณสาร ergosterol เท่ากับ 3.14 และ 2.93 มก./กรัม ตามลำดับ การนำดอกเห็ดไปผึ่งแดดและฉายแสง UV-B พบว่าปริมาณสาร ergosterol ในดอกเห็ดลดลงตามระยะเวลาในการผึ่งแดดและฉายแสง UV-B ที่เวลาเพิ่มขึ้นโดยการนำดอกเห็ดผึ่งแดดเป็นระยะเวลา 180 นาที ดอกเห็ดนางรมมีปริมาณสาร ergosterol ลดลง 0.32% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม และดอกเห็ดเข็มทองมีปริมาณสาร ergosterol ลดลง 1.02% การฉาย UV-B แก่ดอกเห็ดพบว่า เห็ดนางรมและเห็ดเข็มทองมีปริมาณสาร ergosterol ลดลง 2.87% และ 3.75% ตามลำดับ (Figure 1)

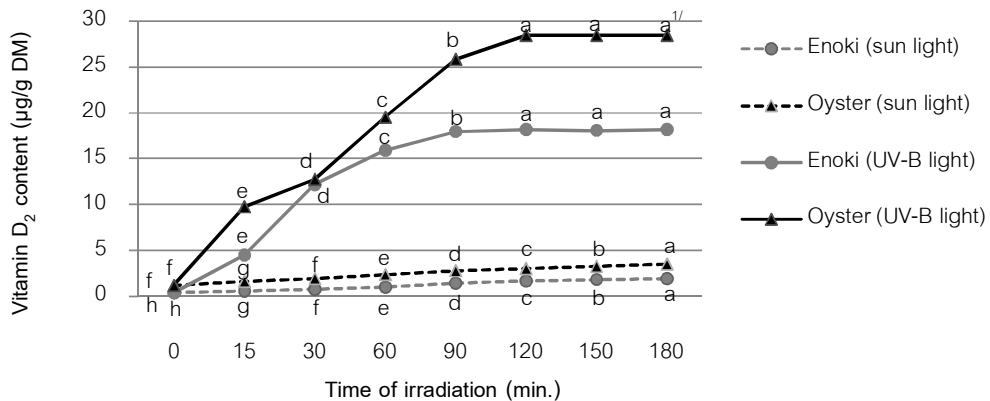
ปริมาณวิตามินดี 2 เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการผึ่งแดดและฉายแสง UV-B ดอกเห็ดนางรมและเห็ดเข็มทองที่ผ่านการผึ่งแดดเป็นระยะเวลา 180 นาที มีปริมาณวิตามินดี 2 เพิ่มขึ้น 407.84% และ 197.45% ตามลำดับ การฉายแสง UV-B แก่ดอกเห็ดนางรมและเห็ดเข็มทองมีปริมาณวิตามินดี 2 เพิ่มขึ้น 4,689.47% และ 2,310.16% ตามลำดับ (Figure. 2) การฉายแสง UV-B แก่ดอกเห็ดที่ระยะเวลา 150 และ 180 นาที พบว่าปริมาณของวิตามินดี 2 ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) กับปริมาณวิตามินดี 2 ที่ฉายแสงที่ระยะเวลา 120 นาที

ลักษณะของดอกเห็ดภายหลังจากการผึ่งแดดและฉายแสง UV-B เป็นระยะเวลา 180 นาที พบว่าดอกเห็ดที่ผ่านการผึ่งแดดจะเหี่ยวแห้ง ดอกเห็ดเปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีน้ำตาล ดอกเห็ดนางรมที่ผ่านการฉายแสง UV-B ลักษณะของดอกเห็ดไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม แต่ดอกเห็ดเข็มทองเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลอ่อนเมื่อฉายแสงเป็นระยะเวลา มากกว่า 60 นาที



^{1/}The same letter is not significantly different by Least Significant Difference (LSD) at $P \leq 0.05$

Figure 1 Ergosterol contents of enoki mushroom and oyster mushroom were exposed to sunlight and UV-B light for 15 to 180 min



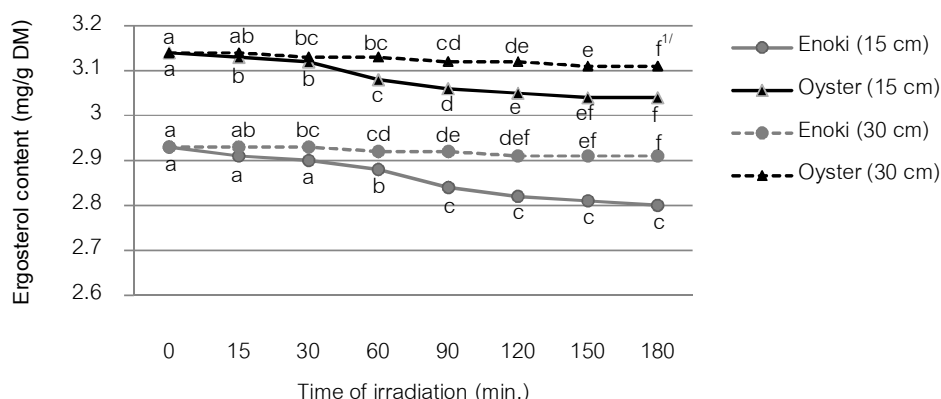
^{1/}The same letter is not significantly different by Least Significant Difference (LSD) at $P \leq 0.05$

Figure 2 Effect of sunlight and UV-B light on vitamin D₂ content in enoki mushroom and oyster mushroom

ผลของแสง UV-B ที่ระดับระดับพลังงานรังสีต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงของสาร ergosterol และ วิตามินดี 2 ในดอกเห็ด

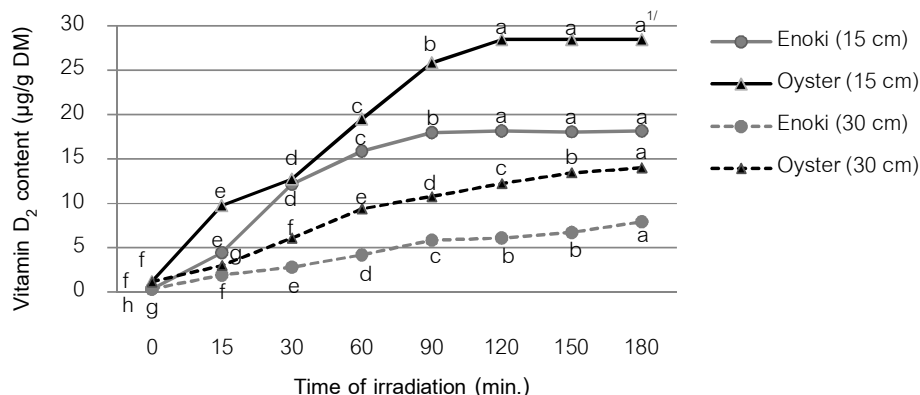
การฉายแสง UV-B แก่ดอกเห็ดโดยมีระยะห่างระหว่างตัวอย่างและหลอดไฟเท่ากับ 15 และ 30 ซม. พบว่าเมื่อทำการฉายแสงเป็นระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของสาร ergosterol ลดลง เมื่อสิ้นสุดการฉายแสงที่ระยะเวลา 180 นาที เห็ดนางรมและเห็ดเข็มทองที่ฉายแสงที่ระยะ 15 ซม. มีปริมาณสาร ergosterol ลดลง 4.44% และ 3.18% ตามลำดับ การฉาย

แสงที่ระยะ 30 ซม. เห็ดเข็มทองและเห็ดนางรมมีปริมาณสาร ergosterol ลดลง 0.68% และ 0.95% ตามลำดับ (Figure. 3) ปริมาณวิตามินดี 2 จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการฉายแสง โดยการฉายแสงที่ระยะเวลา 180 นาที เห็ดนางรมและเห็ดเข็มทองที่ฉายแสงที่ระยะ 15 ซม. ปริมาณวิตามินดี 2 เพิ่มขึ้น 4,689% และ 2,310% ตามลำดับ การฉายแสงที่ระยะ 30 ซม. เห็ดเข็มทองและเห็ดนางรมมีปริมาณวิตามินดี 2 เพิ่มขึ้น 1,986.84% และ 1,088.14% ตามลำดับ (Figure 4)



^{1/}The same letter is not significantly different by Least Significant Difference (LSD) at $P \leq 0.05$

Figure 3 Ergosterol contents of enoki mushroom and oyster mushroom were exposed to UV-B light at distance 15 and 30 cm.



^{1/}The same letter is not significantly different by Least Significant Difference (LSD) at $P \leq 0.05$

Figure 4 Effect of UV-B irradiation at distance 15 and 30 cm. on the concentration of vitamin D₂ in enoki mushroom and oyster mushroom

สรุปและวิจารณ์

ผลการทดลองพบว่าเมื่อดอกเห็ดนางรมและเห็ดเข็มทองที่ได้รับแสงแดด และแสง UV-B เป็นระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณสาร ergosterol ในดอกเห็ดลดลงและปริมาณวิตามินดี 2 เพิ่มขึ้น เป็นเพราะสาร ergosterol เปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีไปเป็นวิตามินดี 2 เมื่อได้รับแสง UV แต่ปริมาณการเพิ่มขึ้นของวิตามินดี 2 เกิดขึ้นน้อยพบปริมาณในหน่วยไมโครกรัม เมื่อเทียบกับปริมาณของสาร ergosterol ซึ่งปริมาณเป็นหน่วยมิลลิกรัม แสดงว่าการ

เปลี่ยนแปลงจาก ergosterol ไปเป็นวิตามินดี 2 ไม่ได้เกิดขึ้นทั้งดอกเห็ด แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะบริเวณที่เห็ดได้รับแสงและบริเวณที่แสงสามารถทะลุผ่านเนื้อเยื่อของเห็ดได้เท่านั้น เนื่องจากแสง UV มีความสามารถในการทะลุผ่านเนื้อเยื่อของเห็ดได้ 50 - 100 ไมโครเมตร (Jasinghe and Peveva, 2005) โดยดอกเห็ดที่ได้รับการฉายแสง UV-B จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของวิตามินดี 2 สูงกว่าดอกเห็ดที่ได้รับแสงแดด เป็นเพราะการฉายแสงจากหลอดไฟ UV-B ในห้องปฏิบัติการมีความเข้มของแสง UV มากกว่าในแสงแดด ซึ่งปริมาณและความเข้มของแสง UV มีผลต่อการ

เปลี่ยนแปลงของสาร ergosterol ไปเป็นวิตามินดี 2 ในดอกเห็ด อีกทั้งคุณภาพของดอกเห็ดที่ผ่านการฉายแสงในห้องปฏิบัติการมีคุณภาพดีกว่าดอกเห็ดที่ผ่านการตากแดด เพราะดอกเห็ดที่ตากแดดจะได้รับความร้อนมากกว่า ความชื้นในเห็ดระเหยทำให้ดอกเห็ดเหี่ยว อีกทั้งสีของดอกเห็ดเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีน้ำตาล

การฉายแสง UV-B ที่ระยะห่างระหว่างตัวอย่างและหลอดไฟห่างกัน 15 และ 30 ซม. ระยะห่างมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสาร ergosterol ไปเป็นวิตามินดี 2 โดยที่ระยะ 15 ซม. ดอกเห็ดจะได้รับระดับความเข้มของแสงมากกว่าจึงมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณวิตามินดี 2 สูงกว่าที่ระยะ 30 ซม. โดยเมื่อระยะเวลาในการฉายแสงเพิ่มขึ้นมีผลทำให้สาร ergosterol ลดลงและปริมาณวิตามินดี 2 เพิ่มขึ้น โดยดอกเห็ดนางรมมีปริมาณของวิตามินดี 2 เพิ่มขึ้นสูงกว่าดอกเห็ดเข็มทองเป็นเพราะดอกเห็ดนางรมมีลักษณะดอกที่แผ่ออกจึงมีพื้นที่ในการรับแสงมากกว่า อีกทั้งยังมีส่วนครีบดอกที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ในการรับแสง ดอกเห็ดแต่ละชนิดมีการเพิ่มขึ้นของวิตามินดี 2 หลังจากการฉายแสงได้แตกต่างกัน เพราะลักษณะทางสัณฐานวิทยา โครงสร้างของดอก ความหนาของเนื้อเยื่อ ปริมาณ pigment และพื้นที่ในการได้รับแสงต่างกัน เห็ดที่มีเนื้อเยื่อบางและ pigment น้อย ลักษณะดอกแผ่ออกมีพื้นที่ในการรับแสงมากแสง UV จะทะลุผ่านลงไปได้ง่ายทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงของ ergosterol ไปเป็นวิตามินดี 2 ได้ดี (Teichmann et al., 2007) การฉายแสงเป็นระยะเวลา 120 นาที ที่ระยะ 15 ซม. พบว่าดอกเห็ดทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณวิตามินดี 2 ไม่ต่างกับการฉายแสงที่ระยะเวลา 150 และ 180 นาที แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณวิตามินดี 2 เริ่มคงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Braun et al. (1991) เมื่อดอกเห็ดได้รับปริมาณแสง UV เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดสูงสุดที่มากเกินไปจะไม่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณวิตามินดี 2 อีก เกิดกระบวนการ photo-degradation โดยแสง UV ทำให้โครงสร้างทางเคมีของ previtamin D₂ เกิดการเปลี่ยนแปลง จนไม่สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินดี 2 ได้ อีกทั้งดอกเห็ดที่ได้รับแสง UV เป็นระยะเวลานาน จะทำให้ความสดและคุณภาพ

ของดอกเห็ดลดลง เกิดความชื้นและความร้อนขึ้นภายในเซลล์ มีการสะสมของปริมาณ pigment เพิ่มขึ้น (Koyyalamudi et al, 2009) เพราะฉะนั้นการฉายแสงแก่เห็ดจึงควรฉายแสงในระยะเวลาที่เหมาะสม จากการทดลองฉายแสง UV-B แก่ดอกเห็ดนางรมและเห็ดเข็มทองปริมาณ 100 กรัม ใช้ระยะเวลาในการฉายแสง 30 นาที ก็สามารถทำให้ดอกเห็ดผลิตวิตามินดี 2 ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย 1 วัน (10 ไมโครกรัม/วัน) (Ann et al., 2008) อีกทั้งยังไม่ทำให้คุณภาพของดอกเห็ดเกิดการเปลี่ยนแปลงอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- ประสาน ยิ้มอ่อน. 2549. การเพาะเห็ด. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์, ปทุมธานี.
- Ann, C., H. A. Weiler, S. O. Donnell, and L. Puil. 2008. Summary of evidence-based review on vitamin D efficacy and safety in relation to bone health. The American Journal of Clinical Nutrition. 88: 513-519.
- Braun, M., W. Fub, and K. L. Kompa. 1991. Improved photosynthesis of previtamin D by wavelengths of 280-300 nm. Photochemistry and Photobiology A : Chemistry. 61: 15-26.
- Jasinghe, J. V., and O. C. Perera. 2005. Distribution of ergosterol in different tissue of mushrooms and its effect on the conversion of ergosterol to vitamin D₂ by UV irradiation. Food Chemistry. 92: 541-546.
- Koyyalamudi, S. R., C. S. Jeong, H. C. Song, Y. K. Cho, and G. Pang. 2009. Vitamin D₂ formation and bio-availability from *Agaricus bisporus* button mushrooms treated with ultraviolet irradiation. Agriculture and Food Chemistry. 58: 3351-3355.
- Mau, J. L., P. R. Chen, and J. H. Yang. 1998. Ultraviolet irradiation increased vitamin D₂ content in edible mushrooms. Agriculture and Food Chemistry. 46: 5269-5272.
- Roberts, S. J., Teichert, A., and TaRa, H. M. 2008. Vitamin D₂ formation for post-harvest UV-B treatment of mushroom (*Agaricus bisporus*). Agriculture and Food Chemistry. 56: 4541-4544.
- Teichmann, A., C. P. Dutta, A. Staffas, and M. Jagerstad. 2007. Sterol and vitamin D₂ concentration and wild grown mushrooms: Effect of UV irradiation. Food Science and Technology. 40: 815-822.