

อิทธิพลของไฟแอลอีดีสีต่างๆ ต่อผลผลิตและปริมาณสารคอร์ไดเซปินในเห็ดถั่งเช่าสีทอง
Effect of Different LED Color on Yield and Cordycepin Production
of *Cordyceps militaris*

นันทีณี ศรีจุมปา^{1/} * รัตนาพร นรรัตน์^{2/} สุธามาต ณ น่าน^{1/} ธารากร มณีรัตน์^{3/}
Nantinee Srijumpa^{1/} Rattanaorn Norarat^{2/} Suthamas Na-Nan^{1/} Tarakorn Maneerat^{3/}

Received 01 Jan. 2021/Revised 21 Oct. 2021/Accepted 24 Oct. 2021

ABSTRACT

Effect of different LED colors on yield and cordycepin production of *Cordyceps militaris* was studied at Chiangrai Horticulture Research Center. LED strips adjusted with RGB controller to obtain light with different colors including blue light, pink light, red light, green light, yellow light and white light were applied to cultured grain of *C. militaris* to induce fruit body production. It was found that under yellow light and red light, *C. militaris* were unable to produce fruit bodies. They were then replaced with turquoise and violet lights. Results showed that under green light, highest fresh yield was obtained at 68% of biological efficiency which was significantly different from those of other light colors except that of white light. Under the pink light, the least of fresh weight of fruit bodies was obtained. Longer stroma was found in bottles grew under blue, green and white lights when compared with other lights. The diameter of stroma was wider under pink, violet, green and turquoise lights. However, there is no difference in stroma colour according to CIE L*a*b* color measurement. The highest cordycepin content was obtained with turquoise light followed by pink light, blue light, green light, violet light and white light, respectively. Adenosine content was highest under turquoise light followed by green light, blue light, violet light and white light, respectively and the least was found under pink light. Overall, the green light was the most suitable to apply during fruiting period to get good yield with high amount of cordycepin and adenosine content.

Keywords: *Cordyceps militaris*, cultivation, cordycepin, LED color

^{1/} ศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย 72 ถนนเด่นห้า-ดงมะตะ ต.ป่าอ้อดอนชัย อ.เมือง จ.เชียงราย 57000

Chiangrai Horticulture Research Center, 72 Denha-Dongmad Rd., Tambon Paor-Donchai, Muang District, Chiang Rai, 57000

^{2/} คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ.เชียงใหม่ 50300

Faculty of Science and Agricultural technology, Rajamangala University of Technology Lanna' Chiang Mai, 50300

^{3/} สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง 333 หมู่ 1 ตำบลท่าสุต อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100

School of Science, Mae Fah Luang University, 333 Moo 1, Tambon Tasud, Muang District, Chiang Rai, 57100

*Corresponding author: nantinee05@gmail.com

บทคัดย่อ

ศึกษาอิทธิพลของไฟแอลลีดีสีต่าง ๆ ต่อผลผลิตและปริมาณสารคอร์โดเซปินในเห็ดถั่งเช่าสีทอง โดยใช้แสงจากหลอดไฟแอลลีดีแบบเส้นและปรับด้วยตัวควบคุมแสงให้มีแสงสีต่าง ๆ กัน ได้แก่ แสงสีน้ำเงิน แสงสีชมพู แสงสีแดง แสงสีเขียว แสงสีเหลือง และแสงสีขาว ในช่วงกระตุ้นการเกิดดอกเห็ดถั่งเช่าสีทอง พบว่า ภายใต้แสงสีเหลืองและแสงสีแดง เห็ดถั่งเช่าสีทองไม่สามารถพัฒนาเป็นดอกเห็ดได้ จึงได้ทดลองใช้แสงสีเทอร์คอยล์และแสงสีม่วง ทดแทนแสงสีแดงและแสงสีเหลือง พบว่า ภายใต้แสงสีเขียวเห็ดถั่งเช่าสีทองให้น้ำหนักสดของดอกเห็ดต่อช่อดอกสูงสุด โดยมีประสิทธิภาพการผลิต 68% แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับแสงสีขาว แต่แตกต่างจากแสงสีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ดอกเห็ดภายใต้แสงสีชมพู มีน้ำหนักสดต่อช่อดอกน้อยที่สุด ดอกเห็ดที่เจริญภายใต้แสงสีน้ำเงิน แสงสีเขียว และแสงสีขาว มีความยาวของดอกเห็ดมากกว่าแสงสีชมพู แสงสีม่วง และแสงสีเทอร์คอยล์ แต่ดอกเห็ดที่เจริญภายใต้แสงสีชมพู แสงสีม่วง แสงสีเขียว และแสงสีเทอร์คอยล์ มีเส้นผ่าศูนย์กลางของดอกเห็ดมากกว่าดอกเห็ดที่เจริญภายใต้แสงสีน้ำเงินและแสงสีขาว และไม่มี ความแตกต่างของสีของดอกเห็ดถั่งเช่าสีทองที่เพาะภายใต้แสงสีต่าง ๆ จากการวัดค่าสีโดยใช้ระบบสี CIE L*a*b* เห็ดถั่งเช่าสีทองที่เพาะภายใต้แสงสีเทอร์คอยล์มีปริมาณคอร์โดเซปิน สูงที่สุด 26.5 ก./กก. รองลงมา คือ ดอกเห็ดที่เจริญภายใต้แสงสีชมพู แสงสีน้ำเงิน แสงสีเขียว แสงสีม่วง และแสงสีขาว ตามลำดับ การผลิตอะดีโนซีนสูงที่สุดได้จากดอกเห็ดที่เจริญภายใต้แสงสีเทอร์คอยล์ 16.28 ก./กก. รองลงมา คือ แสงสีเขียว แสงสีน้ำเงิน แสงสีม่วง และแสงสีขาว ตามลำดับ ส่วนภายใต้แสงสีชมพูจะผลิตอะดีโนซีนน้อยที่สุด ในภาพรวมพบว่า การให้แสงสีเขียวในการกระตุ้นดอกเห็ดถั่งเช่าสีทองให้ทั้งผลผลิตและสารคอร์โดเซปิน และอะดีโนซีนในระดับดีกว่าแสงสีอื่น

คำสำคัญ : เห็ดถั่งเช่าสีทอง, การเพาะ, คอร์โดเซปิน, ไฟแอลลีดี

บทนำ

เห็ดถั่งเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris*) เป็นเชื้อราที่พบเจริญบนตัวแมลงหลายชนิด ได้แก่ พบบนตัวหนอนและดักแด้ของไหมป่า บนหนอนนก และต่อฟันเลื่อย เป็นต้น (ธัญญา, 2555) เห็ดถั่งเช่าสีทองถูกใช้เป็นสมุนไพรในหลายประเทศ ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น และเกาหลี ที่มีรายงานว่า เห็ดถั่งเช่าสีทองมีสรรพคุณทางยา เช่น ด้านการอักเสบ (Das *et al.*, 2010) และด้านการเกิดเนื้องอก (Zhang *et al.* 2010) สารคอร์โดเซปิน (cordycepin) และกรดคอร์โดเซปิก (cordycepic acid) ในเห็ดถั่งเช่าช่วยเพิ่มพลังงานภายในร่างกาย (Dai *et al.*, 2001) เพิ่มการหลั่งอินซูลิน ช่วยลดอาการเบาหวาน (Choi *et al.*, 2004) อะดีโนซีน (adenosine) เป็นสารสำคัญอีกตัวหนึ่งที่พบในถั่งเช่า มีสรรพคุณในการบำรุงปอดและไต รวมถึงการต่อต้านมะเร็ง (Wong *et al.*, 2010) เห็ดถั่งเช่าสีทองเป็นเห็ดที่เพาะเลี้ยงได้ง่าย มีการเติบโตที่เร็วกว่าเมื่อเทียบกับเห็ดถั่งเช่าทิเบต (*Ophiocordyceps sinensis*) มีสารออกฤทธิ์สำคัญ ได้แก่ คอร์โดเซปิน โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) กรดอะมิโน (amino acid) และอะดีโนซีนที่สูงกว่า (Dong *et al.*, 2012) ปัจจุบันมีการใช้ถั่งเช่าสีทองมากกว่าถั่งเช่าทิเบตเนื่องจากปริมาณของถั่งเช่าทิเบตที่พบในสภาพธรรมชาติมีน้อยลง

แสงมีผลต่อการเจริญเติบโตของเห็ดชนิดต่าง ๆ ในแต่ละระยะของการเจริญเติบโต Jang *et al.* (2013) เปรียบเทียบการให้แสงแอลลีดี (LED) สีต่าง ๆ แก่เห็ด *Hypsizygus marmoreus* พบว่า การให้แสง LED สีน้ำเงิน ทำให้ดอกเห็ดมีคุณภาพดีขึ้น และมีปริมาณ ergosterol และ polyphenol ที่สูงขึ้น Do-Hee Kim *et al.* (2012) ศึกษาการใช้แสงจากหลอด LED ที่ความยาวคลื่น

แสงต่าง ๆ พบว่า ภายใต้แสง UV-A, สีนํ้าเงิน และ mixed light (B*R, B*G, B*R*G*U) ทำให้เห็ดเอริงกี (*Pluerotus eringii*) มีสีของหมวกดอกที่คล้ำขึ้น มีก้านสั้นเมื่อเทียบกับแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ และโดยภาพรวมพบว่า แสงสีแดงให้ดอกเห็ดที่มีคุณภาพดีที่สุด การเพาะเห็ดถึงเช้าสีทองในอาหารแข็ง มีการให้แสงสว่างเพื่อกระตุ้นการเกิดดอกเห็ด แสงที่ใช้กันทั่วไปคือ แสง day light แต่ Dong, *et al.* (2013) รายงานว่า แสงสีชมพูกระตุ้นให้มีการสร้างดอกเห็ดสูงสุด แสงสีแดงทำให้มีการสะสมของอะดีโนซีนสูงสุด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแสงไฟสีต่างจากหลอด LED ต่อผลผลิตและปริมาณสารสำคัญในเห็ดถึงเช้าสีทองที่เลี้ยงบนอาหารแข็ง

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมเห็ดถึงเช้าสีทอง

นำเชื้อเห็ดถึงเช้าสีทอง ที่ได้รับจากฟาร์มเพาะเลี้ยง จ. เชียงใหม่ มาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็ง potato dextrose agar (PDA) เชื้อเส้นใยเห็ดถึงเช้าสีทอง วางลงบนจานอาหารด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ นำไปบ่มในที่มืด อุณหภูมิ 22 °ซ เป็นเวลา 14 วัน แล้วใช้ Cork Borer เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ซม. เจาะบริเวณขอบโคโลนีของเชื้อเห็ดถึงเช้าสีทองให้ได้ชิ้นวุ้นที่มีเส้นใย แล้วใส่ลงในขวดอาหารเหลว potato dextrose broth (PDB) ขวดละประมาณ 3 ชิ้น นำขวดไปวางบนเครื่องเขย่าความเร็ว 7,800 - 8,400 รอบ/ชม. โดยเขย่า 2 ชม. และหยุด 1 ชม. นาน 6 วัน ในห้องมืดที่มีอุณหภูมิ 22°ซ จากนั้น นำเชื้อบริสุทธิ์เห็ดถึงเช้าสีทองที่เลี้ยงด้วยอาหารเหลว PDB ปริมาตร 5 มล. เทลงในขวดเพาะเลี้ยงอาหารแข็งที่ใช้ข้าวหอมมะลิ 25 กรัม ที่เติมด้วยอาหาร modified Melin-Norkans medium (MMN) 25 มล. เป็นวัสดุเพาะ (อาหาร MMN 1 ลิตร มีส่วนประกอบดังนี้ (NH₄)₂HPO₄ 250 มก. KH₂PO₄ 500 มก. MgSO₄·7H₂O 150 มก.

CaCl₂·2H₂O 50 มก. NaCl 25 มก. FeEDTA 20 มก. glucose 10 ก. malt extract 3 ก. thiamine HCl 0.1 ไมโครกรัม นํ้ากลั่น 1 ล.) จากนั้นบ่มเส้นใยในที่มืดเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิ 20-22°ซ จนเส้นใยเจริญเต็มวัสดุเพาะ

2. การกระตุ้นการสร้าง stroma (ดอกเห็ด)

การทดสอบ ครั้งที่ 1 เตรียมชั้นสำหรับวางขวดเพาะเลี้ยงเห็ดถึงเช้าสีทอง และติดตั้งไฟ LED (LED strip 220v 5050 14w 60led (IP67) RGB เหนือชั้นวางขวดทดลอง ให้ได้สีของไฟตามกรรมวิธีที่กำหนด สีของไฟ กำหนดโค้ด ตาม RGB Color Codes Chart (Anonymous, n.d.) วางแผนการทดลองแบบ RCB 6 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ (20 ขวดทดลอง/กรรมวิธี) โดยกรรมวิธีคือแสงจากหลอด LED ที่มีสี RGB ต่าง ๆ กัน ดังนี้ 1) แสงสีนํ้าเงิน :51 51 255 2) แสงสีชมพู : 255 51 255 3) แสงสีเขียว : 0 153 0 4) แสงสีเหลือง : 255 255 102 5) แสงสีแดง : 204 0 0 6) แสงสีขาว : 255 255 255 กำหนดให้แสง 12 ชม./วัน เป็นเวลา 6 สัปดาห์

การทดสอบ ครั้งที่ 2 กรรมวิธีเหมือนครั้งที่ 1 แต่ปรับความเข้มของแสงให้ค่าความร้อนลดลง

การทดสอบ ครั้งที่ 3 หลังจากพบว่าภายใต้แสงสีเหลืองและแสงสีแดง เห็ดถึงเช้าสีทองไม่สามารถพัฒนาเป็นดอกเห็ดได้ จึงได้ทดลองใช้แสงสีเทอร์คอยล์และแสงสีม่วงทดแทนแสงสีแดงและแสงสีเหลือง ปรับกรรมวิธีดังนี้ 1) แสงสีนํ้าเงิน 2) แสงสีชมพู 3) แสงสีเขียว 4) แสงสีเทอร์คอยล์ : 0 255 255 5) แสงสีม่วง : 178 102 255 6) แสงสีขาว เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อเลี้ยงเชื้อครบ 8 สัปดาห์ โดยการนำทั้งวัสดุเพาะและดอกเห็ดออกจากขวด บันทึกจำนวนดอกเห็ด/ขวด ขนาดของดอกเห็ดโดยวัดเส้นผ่าศูนย์กลาง (วัดตรงกึ่งกลางดอกเห็ด) และความยาวของดอกเห็ด น้ำหนักสด น้ำหนัก

แห้งดอกเห็ด และวัสดุเพาะเลี้ยงของแต่ละกรรมวิธี ด้วยการอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °ซ นาน 16 ชม.

3. การวิเคราะห์ปริมาณคอร์โดเซปิน และอะดีโนซีน

วิเคราะห์ปริมาณคอร์โดเซปิน และอะดีโนซีนในดอกเห็ดแห้งเข้าสีทองอบแห้ง โดยבודตัวอย่างให้เป็นผงแล้วส่งวิเคราะห์สารโดยใช้วิธี high performances liquid chromatography

L^* ใช้กำหนดค่าความสว่าง (lightness) $L = 0$ สีที่ได้จะมีดำเป็นสีดำ $L = 100$

สีที่ได้จะสว่างเป็นสีขาว

a^* ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว; a เป็น + วัตถุมีสีออกแดง a เป็น - วัตถุมีสีออกเขียว;

b^* ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน b เป็น + วัตถุมีสีออกเหลือง b เป็น - วัตถุมีสีออกน้ำเงิน

ผลการทดลองและวิจารณ์

การกระตุ้นการสร้าง stroma (ดอกเห็ด)

ผลการทดสอบ ครั้งที่ 1

การกระตุ้นดอกเห็ดแห้งเข้าโดยการให้แสงสีน้ำเงิน แสงสีชมพู แสงสีแดง แสงสีเขียว แสงสีเหลือง และแสงสีขาว นาน 3 สัปดาห์ พบว่า มีความแตกต่างของการเกิด stroma โดยขาดเพาะเลี้ยงที่อยู่ภายใต้แสงสีเหลืองและแสงสีแดง ไม่มีดอกเห็ดเกิดขึ้นเมื่อเทียบกับแสงสีอื่น อาจเนื่องมาจากที่ภายใต้สภาวะแสงสีแดงและแสงสีเหลืองมีอุณหภูมิสูงกว่าแสงสีอื่น โดยอุณหภูมิสูงถึง 32.4 และ 31.8 °ซ ตามลำดับ (Table 1) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงเกินไปไม่เหมาะสมต่อการเกิด stroma สอดคล้องกับการทดลองของ Hung *et al.* (2009) ที่รายงานว่า เห็ดแห้งเข้าสีทองจะหยุดการเจริญทางเส้นใยและการผลิตคอร์โดเซปินที่อุณหภูมิ 30 °ซ นอกจากนี้ ธัญญา และคณะ (2561) รายงานว่า เห็ดแห้งเข้าสีทองจะตายเมื่อเพาะที่อุณหภูมิ 30 °ซ

ผลการทดสอบ ครั้งที่ 2

หลังการปรับความเข้มแสงของไฟแสงสีเหลือง และแสงสีแดงเพื่อให้ค่าความร้อนลดลง

(HPLC) ที่ห้องปฏิบัติการของศูนย์ความเลิศด้านสมุนไพรและการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

วัดสีของดอกเห็ดด้วยเครื่องวัดสีหือ FRU Model WR-18 ซึ่งใช้ระบบสี CIE $L^*a^*b^*$ โดยระบบสี CIELAB เป็นระบบการวัดสีที่คำนึงถึงองค์ประกอบ 3 ประการ คือ แหล่งกำเนิดแสง (light source) วัตถุมีสี (color object) และผู้สังเกตการณ์ (observer) โดย

โดยความเข้มของแสงลดลงจาก 660 และ 497 Lux เป็น 151 และ 110 Lux พบว่า อุณหภูมิภายใต้แสงสีเหลืองและแสงสีแดงลดลงจากเดิม 3.9 และ 5.7 °ซ ตามลำดับ (Table 1) เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต พบว่า ขวดที่เลี้ยงภายใต้แสงสีแดงและแสงสีเหลืองไม่สามารถพัฒนาเป็นดอกเห็ดที่สมบูรณ์ได้ และไม่มีการเปลี่ยนสีของเส้นใยจากสีขาวเป็นสีเหลือง (Figure 1) แสดงว่า แสงสีแดงและแสงสีเหลือง ไม่สามารถกระตุ้นการเกิดดอกเห็ดได้ ซึ่งให้ผลตรงกันข้ามกับงานวิจัยของ Chao *et al.* (2019) ที่พบว่า แสงสีแดงกระตุ้นให้เกิดตุ่มดอกเห็ดแห้งเข้าสีทองมากและให้ค่าประสิทธิภาพการผลิต (biological efficiency) สูงเมื่อเทียบกับแสงสีเขียว แสงสีน้ำเงินและแสงสีขาว

สำหรับผลผลิต พบว่า น้ำหนักแห้ง น้ำหนักสดของวัสดุเพาะ น้ำหนักสดของดอกเห็ด และน้ำหนักแห้งของดอกเห็ด มีความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 2) โดยผลผลิตของดอกเห็ดที่เจริญภายใต้แสงสีเหลืองและแสงสีแดง ไม่มีพัฒนาการเป็นดอกเห็ดที่สมบูรณ์ มีน้ำหนักน้อยกว่าดอกเห็ดที่เจริญภายใต้แสงสีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าประสิทธิภาพการผลิตเพียง 38.9 และ 41.9% ตามลำดับ ในขณะที่ภายใต้แสง

Table 1 Light intensity and temperature under different LED color and adjust temperature for culture *Cordyceps militaris*

LED color	Exp. 1			Exp. 2 (reduce heat value)		
	Light intensity*	Lowest temp.**	Highest temp.** (°C)	Light intensity*	Lowest temp.** (°C)	Highest temp.** (°C)
	(Lux)	(°C)	(°C)	(Lux)	(°C)	(°C)
Blue	198	18.2	21.1	180	15.7	25
Pink	192	18.7	24.9	133	18.6	23.9
Red	660	18.4	32.4	151	17.6	26.7
Green	652	18.8	25.0	600	18.1	24.8
Yellow	497	18.7	31.8	110	18.4	27.9
White	691	18.3	23.5	600	18.3	20.6

*Avg. from 20 bottles

** 6 weeks light applying

สีน้ำเงินมีค่าประสิทธิภาพการผลิตมากถึง 79.1% (Table 2) จำนวนดอกเห็ดต่อขวดที่เจริญภายใต้แสงสีต่าง ๆ มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ย และพบว่า ภายใต้แสงสีเขียวมีจำนวนดอกเห็ดต่อขวดน้อยกว่าแสงสีอื่น ขณะที่ภายใต้แสงสีน้ำเงินและแสงสีชมพู มีจำนวนดอกเห็ดต่อขวดมากที่สุด 25 ดอก/ขวด (Table 3)

สีของเห็ดตั้งเป้าที่เพาะภายใต้แสงสีต่าง ๆ ตามค่าในระบบ CIE L*a*b* มีความแตกต่างที่ชัดเจนที่สุด คือ ค่า L ของเห็ดที่เพาะภายใต้แสงสีแดงและแสงสีเหลืองมีค่าสูง คือ 87.8 และ 79.2 ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่า เห็ดมีสีใกล้เคียงกับสีขาว (Table 3, Figure 1) จากการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ทำให้พบว่า แสงสีเหลืองและแสงสีแดง ไม่เหมาะสมสำหรับกระตุ้นการเกิดดอกเห็ดตั้งเป้าสีทอง

ผลการทดลอง ครั้งที่ 3 จากการใช้แสงสีม่วงและแสงสีเทอร์คอยล์แทนแสงสีแดงและแสงสีเหลือง พบว่าแสงสีเขียว มีค่าความเข้มของแสงสูงที่สุด 523 Lux รองลงมาคือ แสงสีขาว แสงสีเทอร์คอยล์ แสงสีฟ้า แสงสีม่วง และแสงสีชมพู มีค่าความเข้มแสง 496, 201, 156, 123 และ 80 lux ตามลำดับ ดอกเห็ดตั้งเป้าสีทองที่เจริญภายใต้

แสงสีเขียวมีน้ำหนักผลผลิตดอกเห็ดต่อขวดสูงที่สุด 10.95 กรัม/ขวด และมีประสิทธิภาพการผลิตสูงสุดถึง 68% แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับแสงสีขาว แต่แตกต่างจากแสงสีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยดอกเห็ดภายใต้แสงสีชมพู มีน้ำหนักผลผลิตต่อขวดน้อยที่สุด 8.45 กรัม/ขวด (Table 4) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Huang *et al.* (2020) ที่รายงานว่าแสงสีเขียวจะกระตุ้นให้เห็ดตั้งเป้าสีทองมีผลผลิตสูงสุด แสงที่ให้ผลรองลงมาคือ แสงสีขาวและแสงสีน้ำเงิน แต่ให้ผลตรงกันข้ามกับผลวิจัยของ Dong *et al.* (2013) ที่พบว่าเห็ดตั้งเป้าสีทองที่เจริญภายใต้แสงสีชมพูจะให้น้ำหนักแห้งของผลผลิตดอกเห็ดสูงที่สุดมากกว่าแสงสีอื่น นอกจากผลผลิตของดอกเห็ดต่างกันแล้วคุณลักษณะของดอกเห็ด เช่น ความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของดอกเห็ดของแต่ละกรรมวิธีก็มีความแตกต่างกัน

ดอกเห็ดที่เจริญภายใต้แสงสีน้ำเงิน แสงสีเขียว และแสงสีขาวมีความยาวของดอกเห็ดมากกว่าแสงสีชมพู แสงสีม่วงและแสงสีเทอร์คอยล์ แต่ดอกเห็ดที่เจริญภายใต้แสงสีชมพู แสงสีม่วง แสงสีเขียวและแสงสีเทอร์คอยล์ มีเส้นผ่าศูนย์กลางของดอกเห็ดมากกว่าเห็ดที่เจริญ



Figure 1 Growth of *Cordyceps militaris* under different LED color at 8-week-old when heat value was reduced

Table 2 Yield/bottle and biological efficiency (B.E.) of *Cordyceps militaris* cultivated under different LED color at 8-week-old

LED colour	Substrate (g./bottle)		Fruit bodies (g./bottle)		B.E.** (%)
	Fresh wt.*	Dried wt.*	Fresh wt.*	Dried wt.*	
Blue	35.7 abc	11.7 b	12.4 a	2.03 a	79.1 a
Pink	33.1 c	13.4 ab	10.2 a	1.58 ab	76.6 ab
Red	37.3 ab	15.7 ab	6.6 b	1.45 bc	41.9 c
Green	35.2 bc	16.7 a	10.3 a	1.65 ab	61.5 b
Yellow	38.9 a	14.5 ab	5.6 b	1.07 c	38.9 c
White	37.3 ab	16.9 a	11.7 a	1.99 a	69.6 ab
cv (%)	5.5	20.0	15.0	17.2	16.8

*Mean in the same column followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

$$**\% \text{ B.E.} = \frac{\text{fresh wt. mushroom}}{\text{dried wt. substrates}} \times 100$$

Table 3 Number of stroma/bottle, stroma size and color of stroma of *Cordyceps militaris* grew under different LED color

LED colour	Stroma yield			CIE L*a*b* (CIELAB)**		
	No. /bot. ^{1/}	Length ^{1/} (cm)	diameter ^{1/} (mm)	L	a	b
Blue	18-25	4.88	4.27	55.60 b	27.64 a	56.55 ab
Pink	14-25	4.2	5.52	53.20 b	26.54 a	60.53 a
Red	- ^{2/}	-	-	87.80 a	1.86 c	15.62 c
Green	11-16	4.16	6.11	65.70 b	15.77 b	48.61 b
Yellow	-	-	-	79.20 a	1.76 c	13.95 c
White	12-20	4.72	5.51	60.80 b	19.01 ab	54.56 ab
cv (%)				12.20	38.50	13.60

^{1/}Average from 5 bottles

^{2/}Abnormal fruit bodies, unable to be measured

Mean in the same column followed by a common letter are not significantly different at 5% level by DMRT

Note: L = Lightness value 0-100, where 0 = black, 100 = white

a = relative to green (-a*) towards red (+a*)

b = relative to blue (-b*) towards yellow (+b*)

**measured by colorimeter Model WR-18

ภายใต้แสงสีน้ำเงินและแสงสีขาว (Table 5) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Huang *et al.* (2020) ที่พบว่า ดอกเห็ดที่เจริญภายใต้แสงสีเขียวจะมีความยาวของดอกเห็ดมากกว่าแสงสีอื่น

สำหรับสีของดอกเห็ด พบว่า ค่าสีในระบบ CIE L*a*b* มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยค่า L ของเห็ดภายใต้สีเทอร์คอยล์จะแตกต่างจากแสงสีขาว แต่ไม่แตกต่างจากแสงสีอื่น ๆ (Table 5)

Table 4 Yield/bottle and biological efficiency (B.E.) of *Cordyceps militaris* grew under different LED color

LED colour	Substrate (g./bottle)		Fruit bodies (g./bottle)		B.E.* (%)
	Fresh wt.	Dried wt.	Fresh wt.*	Dried wt.*	
Blue	35.16	15.76	9.72 c	1.59 bc	61.70 b
Pink	33.00	15.91	8.45 e	1.57 c	53.20 c
Violet	35.34	15.87	10.22 b	1.77 ab	64.40 ab
Green	36.48	16.09	10.95 a	1.76 ab	68.10 a
Turquoise	35.48	16.23	9.05 d	1.54 c	55.90 c
White	35.47	16.13	10.70 a	1.88 a	66.40 ab
cv (%)	7.4	3.9	3.1	7.1	

*Mean in the same column followed by a common letter are not significantly different at 5% level by DMRT

Table 5 Number of stroma/bottle, stroma size and color of stroma of *Cordyceps militaris* when culture under different LED color

LED colour	Stroma yield			CIE L*a*b* (CIELAB)**		
	No./bottle	length* (cm.)	diameter*(mm.)	L	a	b
Blue	18-26	4.62 a	3.99 b	57.34 ab	23.69 ab	59.52 ab
Pink	12-23	3.82 bc	5.09 ab	55.78 ab	30.09 ab	56.07 ab
Violet	9-14	3.44 c	6.31 a	48.74 ab	25.43 ab	55.47 ab
Green	11-16	4.04 abc	5.79 a	50.98 ab	36.21 a	67.64 a
Turquoise	9-21	3.66 c	5.58 a	44.19 b	33.4 a	61.95 ab
White	17-30	4.32 ab	4.22 b	62.06 a	19.22 b	53.12 b
cv (%)		11.10	17.50	18.80	29.30	14.00

*Mean in the same column followed by a common letter are not significantly different at the 5% level by DMRT

Note: L = lightness value 0-100, where 0 = black, 100 = white

a = relative to green (-a*) towards red (+a*)

b = relative to blue (-b*) towards yellow (+b*)

**measured by colorimeter Model WR-18

Table 6 Effects of different LED color on cordycepin and adenosine content of *Cordyceps militaris* fruit body

LED color	Cordycepin(g./kg.)	Adenosine(g./kg.)
Blue	23.61	11.94
Pink	25.59	8.70
Violet	21.16	10.18
Green	23.40	12.19
Turquoise	26.05	12.68
White	19.00	10.06

หมายความว่า สีของดอกเห็ดถั่งเช่าสีทองที่เจริญภายใต้แสงสีต่าง ๆ นั้น มีสีใกล้เคียงกันถึงแม้ว่าจากการประเมินด้วยสายตาจะพบว่า สีของดอกเห็ดมีความแตกต่างกันก็ตาม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญของเห็ดถั่งเช่าสีทองที่เพาะภายใต้แสงสีต่าง ๆ พบว่า เห็ดที่เพาะภายใต้แสงสีเทอร์คอยล์มีปริมาณคอร์ไดเซบินสูงที่สุด 26.05 ก./กก. รองลงมาคือ ดอกเห็ดที่เจริญภายใต้แสงสีชมพู แสงสีน้ำเงิน แสงสีเขียว แสงสีม่วง และแสงสีขาว ตามลำดับ (Table 6) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Dong *et al.* (2013) ที่ผลิตเห็ดถั่งเช่าสีทองในอาหารเหลวพบว่า การผลิตคอร์ไดเซบินจะสูงภายใต้แสงสีน้ำเงิน แสงสีชมพู แสงสีขาว และแสงสีแดง ตามลำดับ สำหรับปริมาณอะดีโนซีน พบว่า ดอกเห็ดถั่งเช่าสีทองภายใต้แสงสีเทอร์คอยล์มีปริมาณอะดีโนซีนสูงที่สุด 12.68 ก./กก. รองลงมาคือ ดอกเห็ดที่เจริญภายใต้แสงสีเขียว แสงสีน้ำเงิน แสงสีม่วง และแสงสีขาวตามลำดับ แต่ปริมาณอะดีโนซีนของดอกเห็ดถั่งเช่าสีทองที่เจริญภายใต้แสงสีชมพูมีค่าต่ำที่สุด 8.70 ก./กก. ซึ่งผลที่ได้แตกต่างจากรายงานของ Dong *et al.* (2013) ที่พบว่า สารอะดีโนซีนจะผลิตมากภายใต้แสงสีแดง แสงสีชมพู ที่มีด แสงสีขาวและแสงสีน้ำเงิน ตามลำดับ

สรุปผลการทดลอง

แสงจากหลอดแอลอีดีสีต่าง ๆ มีผลต่อผลผลิตและปริมาณสารสำคัญในดอกเห็ดถั่งเช่าสีทอง พบว่า แสงสีแดงและสีเหลือง ไม่เหมาะสมต่อการกระตุ้นการเกิดดอกเห็ดถั่งเช่าสีทอง ดอกเห็ดถั่งเช่าสีทองที่เจริญภายใต้แสงสีเขียวมีน้ำหนักผลผลิตดอกเห็ดต่อขวดสูงที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการผลิตสูงถึง 68% แต่ดอกเห็ดภายใต้แสงสีชมพู มีน้ำหนักผลผลิตต่อขวดน้อยที่สุด ดอกเห็ดที่เจริญภายใต้แสงสีน้ำเงิน แสงสีเขียวและแสงสีขาวจะมีความยาวของดอกเห็ดมากกว่าแสง

สีอื่น ๆ แต่ดอกเห็ดที่เจริญภายใต้แสงสีม่วงมีเส้นผ่าศูนย์กลางของดอกเห็ดมากกว่าดอกเห็ดที่เจริญภายใต้แสงสีน้ำเงินและแสงสีขาว และพบว่า สีของดอกเห็ดถั่งเช่าสีทองที่เพาะภายใต้แสงสีขาว จะมีค่า L สูงที่สุด แต่ไม่ต่างจากแสงสีอื่น ๆ ยกเว้น แสงสีเทอร์คอยล์ เห็ดถั่งเช่าสีทองที่เจริญภายใต้แสงสีเทอร์คอยล์มีปริมาณสารคอร์ไดเซบินและสารอะดีโนซีนสูงที่สุด ในภาพรวมพบว่า การให้แสงสีเขียวในช่วงการกระตุ้นดอกเห็ดถั่งเช่าสีทองจะให้ทั้งผลผลิต สารคอร์ไดเซบิน และอะดีโนซีนสูงกว่าแสงสีอื่น

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ คุณนิภาภรณ์ นันตาคุณธนากร แก้วแก่น เจ้าหน้าที่จากมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ และพนักงานราชการของศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย ที่ช่วยปฏิบัติงานทดลองรวบรวมข้อมูลในระหว่างปฏิบัติงานทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- ธัญญา ทะพิงค์แก. 2555. การเพาะเห็ดถั่งเช่าเป็นอาชีพ. บริษัททูโพร พรินต์ติ้ง จำกัด, กรุงเทพมหานคร. 94 หน้า.
- ธัญญา ทะพิงค์แก มงคล ยะไชย และวรรณพร ทะพิงค์แก. 2561. ผลของอุณหภูมิในการเพาะเลี้ยงต่อผลผลิตและปริมาณสารคอร์ไดเซบินในเห็ดถั่งเช่าสีทอง. *ว. วิทย์. กษ.* 49:(พิเศษ 1): 172-174.
- Anonymous n.d. RGB Color Codes Chart. Available at: https://www.rapidtables.com/web/color/RGB_Color.html. Accessed: 5 August 2021
- Chao, S.C., S.L. Chang, H.C. Lo, W.K. Hsu, Y.T. Lin and T.H. Hsu. 2019. Enhanced production of fruiting body and bioactive ingredients of *Cordyceps militaris* with LED light illumination optimization. *J. Agr. Sci. Tech.* 21(2): 451-462.

- Choi, S.B., C.H. Park, M.K. Choi, D.W. Jun and S. Park. 2004. Improvement of insulin resistance and insulin secretion by water extracts of *Cordyceps militaris*, *Phellinus linteus*, and *Paecilomyces tenuipes* in 90% pancreatectomized rats. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 68: 2257-2264.
- Dai, G.W., T.T. Bao, G.F. Xu, R. Cooper and G.X. Zhu. 2001. CordyMax™ Cs-4 improves steady-state bioenergy status in mouse liver. *J. Altern Complement Med.* 7: 231-240.
- Das, S.K., M. Masuda and A. Sakurai. 2010. Medicinal uses of the mushroom *Cordyceps militaris* : current state and prospects. *Fitoterapia.* 81(8): 961-968.
- Do-Hee K., H.J. Choi, W.S. Jo and K.D. Moon. 2012. Quality characteristics of *Pleurotus eryngii* cultivated with different wavelength of LED lights. *Korean J Food Preserv.* 19(3): 354-360.
- Dong, J.Z., M.R. Liu, C. Lei, X.J. Zheng and Y. Wang. 2012. Effects of selenium and light wavelengths on liquid culture of *Cordyceps militaris* link. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 166(8): 2030-2036.
- Dong, J.Z., C. Lei, X.J. Zheng, X.R. Ai, Y. Wang and Q. Wang. 2013. Light wavelengths regulate growth and active components of *Cordyceps militaris* fruit bodies. *J. Food Biochem.* 37(5): 578-584.
- Huang, W., N. Cheng, H. He, D. Wang, X. Chen and X. Huang. 2020. Effects of light time, light intensity and light color on the growth and quality of *Cordyceps militaris*. *Asian J. Agric. Res.* 12(02): 62-64.
- Hung, L.T., S. Keawsompong, V.T. Hanh, S. Sivichai and N.L. Hywel-Jones. 2009. Effect of temperature on Cordycepin production in *Cordyceps militaris*. *Thai J. of Agric. Sci.* 42(4): 219-225.
- Jang, Myoung-Jun., Yun-Hae Lee, Young-Cheol Ju, Seong-Min Kim and Han-Mo Koo. 2013. Effect of color of light emitting diode on development of fruit body in *Hypsizygos marmoreus*. *Mycobiology.* 41(1): 63-66.
- Wong, Y.Y., A. Moon, R. Dufn, A. Barthelet-Barateig, H.A. Meijer, M.J. Clemens and C.H. de Moor. 2010. Cordycepin inhibits protein synthesis and cell adhesion through effects on signal transduction. *J. Biol. Chem.* 285(4): 2610-2621.
- Zhang, A.L., J.H., Lu., N. Zhang, D. Zheng, G.R. Zhang and L.R. Teng. 2010. Extraction, purification and anti-tumor activity of polysaccharide from mycelium of mutant *Cordyceps militaris*. *Chem. Res. Chin. Univ.* 26: 796-802.