บทความวิจัย (Research Article)

การให้แสงเสริมจากหลอด LED แก่กระชายดำที่ปลูกในโรงเรือน

Supplement of LED Light for Black Ginger Growing in Greenhouse

กัญตนา หลอดทองหลาง, เบญญา มะโนชัย* และปริยานุช จุลกะ

ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Kantana Lodthonglang, Benya Manochai* and Pariyanuj Chunlaka

Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkhen Campus,

Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

Received: July 18, 2019; Accepted: July 26, 2019

บทคัดย่อ

ศึกษาการให้แสงเสริมจากหลอด LED แก่กระชายดำที่ปลูกภายใต้สภาพโรงเรือน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 4 ทรีทเมนต์ คือ การให้แสงเสริมแสงขาว จำนวน 2 หลอด (2W) การให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 2 : 1 (2W1B) การให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 1 : 2 (1W2B) เปรียบเทียบกับการไม่ให้แสงเสริม (control) โดยเปิดแสงเสริมจำนวน 3 ชั่วโมง ก่อนเวลา 06:00 น. และ 3 ชั่วโมง หลัง 18:00 น. บันทึกข้อมูลด้านการเจริญเติบโตและตรวจสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ วิเคราะห์ปริมาณสารแอนโธไซยานิน สารประกอบฟีนอลิกรวม และปริมาณสาร 5,7-ไดเมทอกซิฟลาโวน ผลการทดลองพบว่าความสูงของทรงพุ่ม จำนวนต้นต่อกระถาง ความเขียวใบ น้ำหนักสดและแห้งของเหง้า และเปอร์เซ็นต์สารสกัดหยาบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนข้อมูลของสารสำคัญพบว่าสารประกอบฟีนอลิกรวมและสาร 5,7-ไดเมทอกซิฟลาโวนสูงที่สุดในกระชายดำที่ปลูกภายใต้สภาพที่ไม่ได้รับแสงเสริม และกระชายดำที่ปลูกภายใต้สภาพได้รับแสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 2 : 1 และ 1 : 2 ส่วนปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุดในกระชายดำที่ปลูกภายใต้สภาพที่ไม่ได้รับแสงเสริม ได้รับแสงเสริมสีขาว 2 หลอด และแสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 1 : 2

คำสำคัญ : แอนโทไซยานิน; สารประกอบฟีนอลิกรวม; 5,7-ไดเมทอกซิฟลาโวน

Abstract

Study on using supplemental LED light for black ginger cultivation under greenhouse condition. Completely randomized design (CRD) with 4 treatments, i.e. 2 white light LEDs (2W), LED white: blue light ratio 2: 1 (2W1B) and LED white: blue light ratio 1: 2 (1W2B) compared with planting non-LED,

**Corresponding author: benya.m@ku.th*

DOI: 10.14456/tjst.2020.9

supplemental light for 3 hours before 6 a.m. and 3 hours after 6 p.m. The plant growth, active compounds, antioxidant activity, anthocyanin, total phenolic compounds and 5,7-dimethoxyflavone were recorded. The results revealed that growth parameters, i.e. the plant height, number of clump, leaf greenness, fresh and dry weight of rhizome, and percentage of crude extract were not significantly different. The data of active compounds showed the best results of total phenolic compounds and 5,7-dimethoxyflavone content at non-LED light, supplemented with the mixture of white light tube: blue light tubes (2: 1) and (1: 2), anthocyanin highest at non-LED light, supplemented with 2 white light LEDs (2W) and the mixture of white light tube: blue light tubes (1: 2).

Keywords: anthocyanin; total phenolic compounds; 5,7-dimethoxyflavone

1. คำนำ

กระชายดำ (Black ginger; *Kaempferia parviflora* Wall. ex Baker) เป็นพืชสมุนไพรไทยที่มีศักยภาพเชิงพานิชย์ และเป็นหนึ่งในสมุนไพร Product Champion บรรจุในแผนแม่บทของชาติ ว่าด้วยการพัฒนาสมุนไพรไทยฯ เนื่องจากกระชายดำมีสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลาย เช่น แอนโธไซยานิน สารกลุ่มฟลาโวนอยด์และอนุพันธ์ที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ ได้แก่ 5,7-dimethoxy-flavone, 5,7,4′-trimethoxyflavone, 5,7,3′,4′-tetra methoxy-flavone และ 3,5,7,3′,4′-pentamethoxy-flavone เป็นต้น (อรัญญา, 2558) มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา เช่น ฤทธิ์ต้านการอักเสบ (Horigome *et al*., 2014) ฤทธิ์ต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด (Wattta napitayakul *et al*., 2008) มีสารสำคัญที่ออกฤทธิ์กลุ่ม methoxy-flavone มีฤทธิ์ต่อระบบทางเดินอาหาร (Rujjanawate *et al*., 2015) ฤทธิ์ต่อระบบภูมิคุ้มกัน (Tewtrakul and Subhadhirasakul, 2007) และมีฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ ได้แก่ ฤทธิ์ต่อไขมันและน้ำตาลในเลือด ฤทธิ์ต่อการเรียนรู้และความจำ ฤทธิ์ฆ่าเซลล์มะเร็ง ฤทธิ์ต้านการกลายพันธุ์ เป็นต้น (สมนึก, 2560)

กระชายดำกระจายพันธุ์ในแถบประเทศไทย พม่า และอินเดีย (Sirirugsa, 1991) มีลักษณะลำต้นเจริญเติบโตอยู่ใต้ดินและทำหน้าที่เก็บสะสมอาหาร (เหง้า) ฤดูปลูกโดยทั่วไปอยู่ในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม (ช่วงปลายฤดูร้อนถึงต้นฤดูฝน) เมื่อเข้าสู่ฤดูหนาวส่วนเหนือดินจะตายเข้าสู่ระยะพักตัว โดยลำต้นใต้ดินยังคงมีชีวิตอยู่ (สุวิทย์, 2554) รวมเป็นระยะเวลาประมาณ 8-10 เดือนต่อรอบการผลิต กระชายดำมักพบปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพผลผลิตที่มีการปลอมปนของเหง้าที่ไม่มีคุณภาพ เช่น ลักษณะขอบนอกของเนื้อในเหง้ามีสีเหลืองหรือมีสีเข้ม เฉพาะแกนกลางหรือเป็นเนื้อในเป็นสีเหลือง (เสริมสกุล และเชวง, 2548) ซึ่งอาจส่งผลต่อตัวยาหรือสารสำคัญในเหง้า เนื่องจากสภาพพื้นที่ในแต่ละแหล่งปลูกมีความแตกต่างกัน ทั้งในเรื่องของความอุดมสมบูรณ์ของดิน แหล่งน้ำ คุณภาพน้ำ สภาพภูมิอากาศ ตลอดจนความสูงจากระดับน้ำทะเล ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ส่งผลต่อคุณภาพกระชายดำ โดยเฉพาะสารสำคัญ เช่น ปริมาณเทอร์พีนอยด์ สารประกอบฟีนอลิกรวม (เสริมสกุล และคณะ 2551) จึงทำให้กระชายดำนิยมปลูกในพื้นที่ในแถบจังหวัดเพชรบูรณ์ เลย และพิษณุโลก เนื่องจากมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเพาะปลูก โดยเกษตรกรนิยมปลูกลงแปลงที่มีความลาดชันของพื้นที่เล็กน้อย พื้นที่การเพาะปลูกเป็นแปลงขนาดเล็กกระจัดกระจายไปในแต่ละพื้นที่

การผลิตกระชายดำให้ได้คุณภาพโดยคำนึงถึงเหง้าที่มีขนาดใหญ่ สีดำเข้ม และมีสารสำคัญที่คงที่ ต้องอาศัยเทคโนโลยีการผลิตที่ยังขาดแคลนอยู่มาก โดยเทคโนโลยีที่ทันสมัยในปัจจุบันที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตเหง้ากระชายดำให้มีคุณภาพ คือ การปลูกพืชโดยใช้แสงเทียมจากหลอดไดโอดเปล่งแสงหรือหลอดแอลอีดี (LED) ซึ่งแสงเป็นปัจจัยสำคัญที่พืชต้องใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง เพื่อให้ได้อาหารและพลังงานนำไปใช้ในการเจริญเติบโต แสงประมาณน้อยกว่า 5 % ของพลังงานแสงทั้งหมด พืชจะเปลี่ยนเป็นคาร์โบไฮเดรตในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร จะเป็นช่วงความยาวคลื่นที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง มีรายงานว่าการให้แสงสีน้ำเงินจากหลอด LED เพิ่มในช่วงกลางคืนจะมีผลทำให้เพิ่มปริมาณ anthocyanin และปริมาณน้ำตาลในผลองุ่นเพิ่มขึ้น (Kondo *et al*., 2014) ซึ่งแสงสีน้ำเงินจะเป็นช่วงคลื่นที่รงควัตถุสังเคราะห์แสงสามารถใช้ช่วงคลื่นนี้สังเคราะห์ด้วยแสงได้เช่นกัน

กษิดิ์เดช (2559) ศึกษาการให้แสงเสริมจากหลอด LED สีต่าง ๆ ในการเก็บรักษาเหง้าขมิ้นอ้อยด้วยการให้แสงเสริมสีขาว สีแดง สีน้ำเงิน และแสงแบบผสมสีแดงกับน้ำเงินสัดส่วน 1 : 5 เปรียบเทียบกับการเก็บรักษาแบบไม่ให้แสงเสริม เปิดแสงเสริมจำนวน 3 ชั่วโมง ก่อนเวลา 06:00 น. และ 3 ชั่วโมงหลัง 18:00 น. พบว่าการเก็บรักษาเหง้าขมิ้นอ้อยด้วยแสงเสริมสีขาวสามารถชะลอการสูญเสียน้ำหนักสด มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น และส่งเสริมการผลิตสารสำคัญ ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม สารบิสเดสเมทอกซีเคอร์คูมิน สารเดสเมททอกซีเคอร์คูมิน และสารเคอร์คูมินในเหง้าขมิ้นอ้อยได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการให้แสงเสริมแก่กระชายดำที่ปลูกในกระถางภายใต้สภาพโรงเรือน โดยการให้แสงเสริมสีแสงขาว แสงแบบผสมสีแดงกับน้ำเงินสัดส่วน 5 : 1 และแสงแบบผสมสีแดงกับน้ำเงินสัดส่วน 1 : 5 เปรียบเทียบกับการไม่ให้แสงเสริม หลอด LED แสงสีต่าง ๆ วัดความเข้มแสงของหลอด LED สีขาว สีแดง สีน้ำเงิน และแสงแบบผสมสีแดงกับน้ำเงินสัดส่วน 1 : 5 มีค่าเท่ากับ 59.63, 70.45, 105.78 และ 93.21 μmol m^{-2} s^{-1} ตามลำดับ ให้แสงเสริมจำนวน 3 ชั่วโมง ก่อนเวลา 06:00 น. และ 3 ชั่วโมงหลัง 18:00 น. พบว่าการปลูกด้วยการให้แสงเสริมสีขาวทำให้กระชายดำมีการแตกเหง้าใต้ดินที่ดีและมีสีของเนื้อที่เข้มกว่าการปลูกด้วยการให้แสงสีอื่น ๆ และพบว่าการปลูกด้วยการให้แสงแบบผสมสีแดงกับน้ำเงินในอัตราส่วน 1 : 5 ซึ่งมีอัตราส่วนของแสงสีน้ำเงินมาก ทำให้มีปริมาณสารฟลาโวนอยด์ซึ่งเป็นสารสำคัญในกระชายดำมากที่สุด ไม่ต่างจากการให้แสงสีขาว

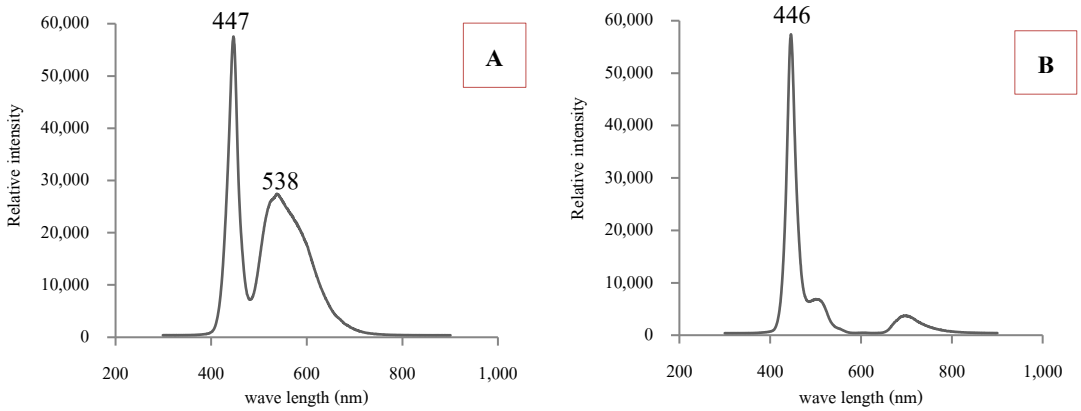
งานทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการใช้แสงจากหลอด LED เพื่อใช้สำหรับการผลิตพืช ซึ่งต้องใช้หลอดที่มีความเฉพาะเจาะจงสำหรับการผลิตพืชเท่านั้น ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นหากทดลองใช้หลอด LED ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดโดยทั่วไปมาประยุกต์ใช้กับการผลิตกระชายดำภายใต้โรงเรือน เพื่อเป็นแนวทางการส่งเสริมระบบการผลิตกระชายดำนอกพื้นที่ และเป็นแนวทางการผลิตกระชายดำคุณภาพดีทั้งด้านตัวยาและลักษณะกายภาพเป็นที่พอใจของผู้บริโภค จึงเป็นที่มาของการทดลองในครั้งนี้ คือ เพื่อศึกษาการใช้หลอด LED แบบทั่วไปประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตกระชายดำภายใต้โรงเรือน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่างพืช

เริ่มปลูกกระชายดำเดือนเมษายน พ.ศ. 2561 ในโรงเรือนภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร

กรุงเทพมหานคร โดยชั่งเหง้ากระชายดำที่ได้มาจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนสมุนไพร ตำบลนาอาน อำเภอเมือง จังหวัดเลย จำนวน 20 กรัม ปลูกในถุงพลาสติกดำ จนต้นกล้ามีอายุประมาณ 1 เดือน คัดเลือกต้นที่มีขนาดสม่ำเสมอปลูกลงกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 นิ้ว โดยใช้วัสดุปลูกเป็นดินปลูกสำเร็จรูปตราดินเกษตรชั้นดี มีส่วนผสมของใบก้ามปู ดินขุยไผ่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมักละเอียด ใยมะพร้าว และวัตถุดิบธรรมชาติอื่น ๆ หลังย้ายปลูกกระชายดำ 2 เดือน เปิดแสงไฟเสริมจำนวน 3 ชั่วโมงก่อนเวลา 06:00 น. และ 3 ชั่วโมงหลัง 18:00 น. ตามวิธีการของ กษิดิ์เดช (2559) หลอดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง คือ หลอดไฟ LED สีขาว ยี่ห้อ FSL (LED T8 FITTING 18W AC180-265 V) ความยาว 120 เซนติเมตร และหลอดไฟ LED สีน้ำเงิน ยี่ห้อ EVE รุ่น LED T8 Color IP65 ความยาว 120 เซนติเมตร นำไปวัดความยาวคลื่นแสงด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมแสง (THORLABS compact spectrometer ณ ห้องปฏิบัติการณ์ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ปรากฏความยาวคลื่นดังรูปที่ 1A และ 1B



รูปที่ 1 กราฟแสดงค่าสเปกตรัมแสงของหลอด LED สีขาว (A) และสีน้ำเงิน (B) ที่ใช้ในการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย 4 ทรีตเมนต์ จำนวน 11 ซ้ำ คือ การไม่ให้แสงเสริม (control) ให้แสงเสริมแสงขาวจำนวน 2 หลอด (2W) ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 2 : 1 (2W1B) ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 1 : 2 (1W2B) วัดความเข้มแสงภายในโรงเรือนด้วยเครื่อง Line quantum sensor รุ่น LI-191R-(LI-COR, USA) มีค่าเฉลี่ยตั้งแต่เวลา 06:00 ถึง 18:00 น. เท่ากับ 182.45 μmol m^{-2} s^{-1} และวัดความเข้มแสงของแต่ละทรีตเมนต์หลังจากเปิดแสงไฟเสริมที่เวลา 19:00 น. โดยความเข้มแสงของแสงเสริมแสงขาวจำนวน 2 หลอด แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 2 : 1 และ 1 : 2 มีความเข้มแสง 5.42±0.02, 5.63±0.15 และ 3.18±0.28 μmol m^{-2} s^{-1} ตามลำดับ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนตลอดการทดลองเฉลี่ย 29.3 องศาเซลเซียส และ 74.7 % ตามลำดับ เก็บเกี่ยวผลผลิตเหง้ากระชายดำเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 เก็บข้อมูลความสูง จำนวนต้นต่อกระถาง ความเขียวใบ (สุ่มวัดจำนวน 6 ใบต่อกระถาง ใบละ 3 ตำแหน่ง ด้วยเครื่อง Chlorophyll Meter SPAD-502Plus) ทุกเดือนตลอดการทดลอง น้ำหนักสดและแห้งของเหง้า เปอร์เซ็นต์สารสกัดหยาบ และตรวจสอบฤทธิ์ทาง

ชีวภาพโดยประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ การวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโธไซยานิน สารประกอบฟีนอลิกรวม และปริมาณสาร 5,7-dimethoxyflavone วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม R 1389 เวอร์ชัน 3.5.1

สกัดเหง้ากระชายดำด้วยเอทานอล อัตราส่วน 1 : 5 (w/v) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นแยกส่วนใสและนำไปวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิกรวม และปริมาณสาร 5,7-dimethoxyflavone

2.2 การหาปริมาณสารสกัดหยาบ

ใช้วิธีดัดแปลงจากวิธีของ ณพัฐอร และปิยะพัฒน์ (2558) โดยนำเหง้ากระชายดำมาอบแห้งและบดให้เป็นผงละเอียด นำมาสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลในอัตราส่วน 1 : 4 (w/v) ทิ้งไว้ 2 วัน ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปกรองแยกสารสกัดหยาบด้วยเครื่องกรองสุญญากาศผ่านกระดาษกรอง นำสารที่สกัดได้มาระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน ชั่งน้ำหนักของสารที่สกัดได้และคำนวณหาปริมาณสารสกัดหยาบ รายงานเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

2.3 ประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ใช้วิธี ABTS radical cation decolorization assay ตามวิธีของ Payet และคณะ (2005) และ Re และคณะ (1999) โดยเตรียมสารละลาย ABTS [2,2′-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid)] ด้วยการนำสารละลาย ABTS 7 มิลลิโมลาร์ ผสมกับสารละลาย 2.45 มิลลิโมล $K_2S_2O_8$ ในอัตราส่วน 1:0.5 (v/v) ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดอุณหภูมิห้องนาน 12-16 ชั่วโมง เจือจางสารละลาย ABTS ด้วยเอทานอล 30 เท่า และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ให้มีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.7±0.02 ผสมสารละลาย ABTS 280 ไมโครลิตร กับสารละลายตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร ใส่ลงไมโครเพลท ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย microplate reader ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโธไซยานิน

วิเคราะห์ปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดตามวิธีการของ Mizukami และคณะ (1988) โดยชั่งเหง้ากระชายดำสด 1 กรัม บดให้ละเอียด เตรียม 1 % HCl ใน เมทานอลปริมาตร 10 มิลลิลิตร เป็นตัวทำละลาย ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที เทส่วนใสใส่หลอดทดลองเก็บไว้ภายใต้สภาพมืด จากนั้นนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร และนำไปคำนวณหาปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดด้วยสมการ {[(27.208 x A_{530}) + 0.0591] x ปริมาตรตัวทำละลาย (mL)} x [(10 ÷ 1,000) x น้ำหนักสดตัวอย่าง g] โดย A_{530} คือ ค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร

2.5 วิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกรวม

วิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกรวมโดยวิธี total phenolic compound จากวิธีของ Gao และคณะ (2000) โดยใช้สารสกัด 0.1 มิลลิลิตร เติมลงในหลอดที่มีน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร และเติม Folin-Ciocalteu's phenol reagent 0.2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 นาที จากนั้นเติม 20 % โซเดียมคาร์บอเนต 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 60 นาที ในที่มืด นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก

2.6 วิเคราะห์ปริมาณสาร 5,7-dimethoxy flavone

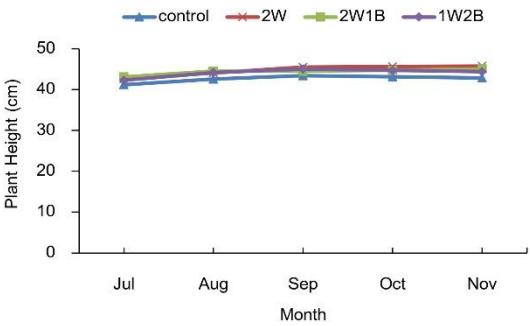
การวิเคราะห์ปริมาณสาร 5,7-dimethoxy flavone ดัดแปลงจากวิธีของ Ang และคณะ (2014)

โดยเปรียบเทียบกับปริมาณสารละลายมาตรฐาน 5,7-dimethoxyflavone ด้วยวิธี high-performance liquid chromatography (HPLC) ใช้เครื่อง Agilent model 1100 ที่มี Luna C18 ยี่ห้อ Phenomenex (ขนาด 25 เซนติเมตร x 4.6 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ไมโครมิลลิเมตร) ใช้ตัวทำละลาย คือ acetonitrite (40 %) และ 2 % acetic acid (60 %) (pH 2.4) อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งสารจะแยกที่ 262 นาโนเมตร และปริมาณ 5,7-dimethoxyflavone จะคำนวณด้วยการเปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐาน 5,7-dimethoxyflavone

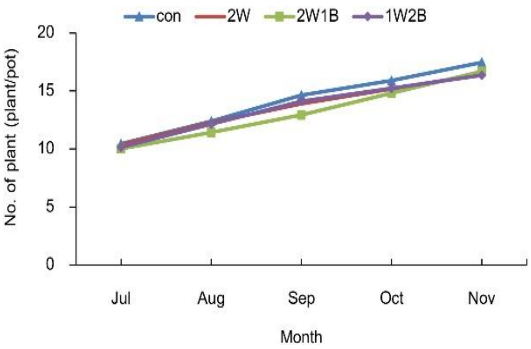
3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 การเจริญเติบโต

การให้แสงเสริมจากหลอด LED แบบต่าง ๆ ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตในด้านความสูงจำนวนต้นต่อกระถาง ความเขียวใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง โดยลักษณะการเจริญเติบโตพบว่าความสูงต้นเริ่มคงที่ในเดือนสิงหาคม (เดือนที่ 5 หลังการเพาะปลูก) มีค่า 42.58-44.52 เซนติเมตร ความสูงค่อนข้างคงที่เป็นระยะเวลา 4 เดือน หลังจากนั้นลำต้นบนดินเริ่มฟุบและตายลงในเดือนธันวาคม (รูปที่ 2) แสดงให้เห็นว่ากระชายดำมีการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินสูงสุดใช้ระยะเวลาประมาณ 4 เดือน หลังจากเพาะปลูก และมีระยะเวลาในการพัฒนาส่วนใต้ดินเป็นเวลาประมาณ 4 เดือน ก่อนจะเข้าสู่การพักตัว จำนวนต้นต่อกระถางพบว่าจำนวนต้นเพิ่มขึ้นแปรผันตามอายุพืช โดยเริ่มบันทึกผล (เดือนกรกฎาคม) จำนวนต้นมีค่าระหว่าง 10.03-10.45 ต้น และก่อนกระชายดำเข้าสู่การพักตัว (เดือนพฤศจิกายน) มีจำนวนต้นต่อกอ 16.36-17.48 ต้น (รูปที่ 3) การที่จำนวนต้นต่อกระถางของทุกปัจจัยการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าขนาดเหง้าที่ใช้ในการทดลองมีความสม่ำเสมอใกล้เคียงกันในทุกปัจจัยการทดลอง เนื่องจากส่วนเหนือดินเจริญมาจากตาที่อยู่บนเหง้า



รูปที่ 2 ความสูงของทรงพุ่มกระชายดำที่ปลูกภายใต้สภาพการให้แสงเสริมที่แตกต่างกันตลอดการทดลอง (control = ไม่ให้แสงเสริม, 2W = ให้แสงเสริมแสงขาวจำนวน 2 หลอด, 2W1B = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 2 : 1, 1W2B = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 1 : 2)



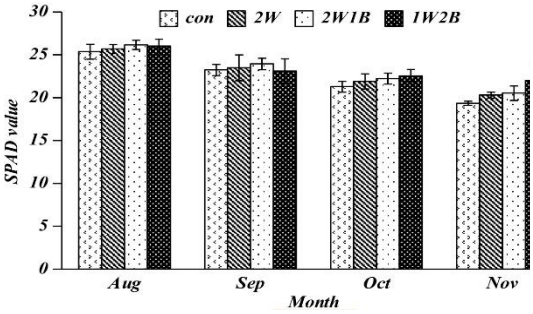
รูปที่ 3 จำนวนต้นต่อกระถางของกระชายดำที่ปลูกภายใต้สภาพการให้แสงเสริมที่แตกต่างกันตลอดการทดลอง (control = ไม่ให้แสงเสริม, 2W = ให้แสงเสริมแสงขาวจำนวน 2 หลอด, 2W1B = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 2 : 1, 1W2B = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 1 : 2)

ซึ่งเมื่อเหง้าถูกฝังลงในดินทำให้ไม่ได้รับแสง ดังนั้นการให้แสงเสริมจากหลอด LED สีต่าง ๆ จึงไม่มีผลต่อจำนวนต้นต่อกระถาง จำนวนต้นสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการสร้างอาหาร ถ้าต้นที่มีใบมากก็จะส่งผลต่อปริมาณอาหารสะสมในเหง้า แต่ทรีตเมนต์ที่ศึกษามีจำนวนต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ สอดคล้องกับผลของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง พบว่าไม่แสดงความแตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน โดยมีค่าน้ำหนักสด 59.97-69.60 กรัมต่อกระถาง และน้ำหนักแห้ง 18.41-22.10 กรัมต่อกระถาง (ตารางที่ 1) น่าจะเป็นผลจากจำนวนต้นต่อกอไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 1 น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณสารสกัดหยาบของกระชายดำที่ปลูกภายสภาพการให้แสงเสริมที่แตกต่างกันหลังเก็บเกี่ยว

Treatment	Fresh weight (g/pot)	Dried weight (g/pot)	Crude extract content (%)
control	69.60±5.86	22.10±1.65	3.2±0.22
2W	63.26±7.02	19.10±2.45	3.6±0.46
2W1B	61.09±2.74	18.41±0.56	3.6±0.26
1W2B	59.97±13.98	18.60±5.17	3.7±0.23
F-test	ns	ns	ns
CV (%)	13.33	15.28	8.73

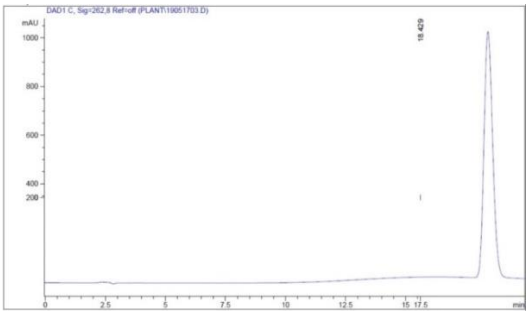
ns = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ; control = ไม่ให้แสงเสริม; 2W = ให้แสงเสริมแสงขาวจำนวน 2 หลอด; 2W1B = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 2 : 1; 1W2B = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 1 : 2



รูปที่ 4 ความเขียวใบของกระชายดำที่ปลูกภายใต้สภาพการให้แสงเสริมที่แตกต่างกันตลอดการทดลอง (control = ไม่ให้แสงเสริม, 2W = ให้แสงเสริมแสงขาวจำนวน 2 หลอด, 2W1B = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 2 : 1, 1W2B = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 1 : 2)

นอกจากนี้ค่าความเขียวเข้มของใบพบว่ามีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4) โดยในเดือนสิงหาคมมีค่าความเขียวใบมีค่า 25.36-26.17 แต่ในเดือนพฤศจิกายนเป็นช่วงที่เข้าสู่การพักตัว คือ ลำต้นบนดินเริ่มซีดเหลือง สอดคล้องกับผลการทดลอง คือ ความเขียวใบลดลงในเดือนพฤศจิกายนมีค่า 19.35-21.98 เนื่องจากเดือนพฤศจิกายนเป็นช่วงที่มีความยาววันสั้น ซึ่งในพืชหัวประเภทไรโซมมีรายงานว่าช่วงวันสั้นเป็นปัจจัยหลักที่ชักนำให้พืชเข้าสู่การพักตัว (Masuda *et al.*, 2006) เมื่อพืชเข้าสู่การพักตัวจะมีฮอร์โมน ABA สะสมในเหง้าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งใน switchgrass เป็นพืชที่มีลำต้นใต้ดินแบบเหง้าเช่นเดียวกับกระชายดำ พบว่าปริมาณ ABA ในเหง้าเริ่มสูงขึ้นในเดือนกันยายนและสูงที่สุดในเดือนพฤศจิกายนซึ่งเป็นเดือนที่พืชเข้าสู่ระยะการพักตัว

(Palmer *et al*., 2017) ซึ่ง ABA เป็นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการพักตัวของพืชและมีผลต่อการเสื่อม



รูปที่ 5 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน 5,7-dimethoxyflavone ที่ความยาวคลื่น 262 นาโนเมตร อัตราการไหล (flow rate) 1 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรสารสกัดที่ใช้ฉีดตัวอย่างที่ 20 ไมโครลิตร

การให้แสงด้วยหลอด LED แบบต่าง ๆ ทำให้พืชได้รับความยาวนานของวันยาวนานขึ้นเป็นจำนวน 18 ชั่วโมงต่อวัน แต่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินของลำต้นหรือทำให้พืชเข้าสู่การพักตัวช้าลง ถึงแม้ว่าเมื่อนำหลอด LED ที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดไปตรวจวัดความยาวคลื่น และพบว่า LED ที่ให้แสงสีขาวมีความยาวคลื่นในช่วง 400-700 nm และมีความยาวคลื่นสูงที่สุด คือ 447 nm อยู่ในช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน และ 538 nm ซึ่งเป็นช่วงคลื่นแสงสีเขียว ส่วนหลอดไฟ LED ที่ให้แสงสีน้ำเงินพบว่าความยาวคลื่นสูงสุด คือ 446 nm อยู่ในช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงินเช่นเดียวกัน (รูปที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบความยาวคลื่นของหลอดไฟ LED ที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดกับงานทดลองของ กษิดิ์เดช (2559) พบว่าความยาวคลื่นในหลอด LED ที่ให้แสงสีขาวมีค่าสเปกตรัมต่างกัน โดยหลอด LED แสงสีขาวที่ใช้ในการทดลองมีค่าสเปกตรัมของแสงสีแดงร่วมด้วย ส่วนค่าสเปกตรัมจากหลอด LED ที่ให้แสงสีน้ำเงินมีค่าสเปกตรัมไม่แตกต่างกันมาก ชราในใบ (Mao *et al*., 2017) จึงเป็นผลให้ความเขียวเข้มของใบลดลง

นัก นอกจากนี้ภายหลังจากการทดลองให้แสงโดยประยุกต์ใช้การวางหลอด LED ที่ให้แสงสีขาวและสีน้ำเงินสลับกัน เปรียบเทียบกับการไม่ให้แสงเสริม การให้แสงจากหลอดสีขาว เมื่อวัดความเข้มในช่วงเวลาที่ให้แสงพบว่ามีความเข้มแสงต่ำมาก แสงจากหลอด LED สีขาว (2W) มีความเข้มแสงเท่ากับ 5.42 μmol m^{-2} s^{-1} แสงจากหลอด LED ที่มีการผสมกันระหว่างหลอดแสงสีขาวจำนวน 2 หลอดและแสงสีน้ำเงินจำนวน 1 หลอด (2W1B) มีความเข้มแสงเท่ากับ 5.63 μmol m^{-2} s^{-1} ส่วนแสงจากหลอด LED ที่มีการผสมกันระหว่างหลอดแสงสีขาวจำนวน 1 หลอดและแสงสีน้ำเงินจำนวน 2 หลอด (2W1B) มีความเข้มแสงเท่ากับ 3.81 μmol m^{-2} s^{-1} แสดงให้เห็นว่าแสงจากหลอด LED ทางการค้าโดยทั่วไปให้ค่าพลังงานที่ต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับหลอด LED ที่ผลิตขึ้นมาสำหรับการปลูกพืชโดยเฉพาะ เปรียบเทียบกับการทดลองของ กษิดิ์เดช (2559) พบว่าแสงสีขาวมีความเข้มแสงประมาณ 59.63 μmol m^{-2} s^{-1} ในขณะที่หลอด LED แสงสีน้ำเงินมีความเข้มแสง 105.78 μmol m^{-2} s^{-1} แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของหลอดที่แตกต่างกัน โดยหลอด LED ที่จำหน่ายทางการค้าโดยทั่วไปไม่เหมาะกับการประยุกต์ใช้กับการผลิตกระชายดำ เนื่องจากให้ค่าพลังงานแสงต่ำจนไม่ส่งผลกระทบต่อพืช

3.2 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตกระชายดำที่อายุ 11 เดือน ผลการทดลองพบว่าการให้แสงเสริมจากหลอด LED แบบต่าง ๆ ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์สารสกัดหยาบ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสาร 5,7-dimethoxyflvone แต่มีผลต่อปริมาณแอนโธไซยานิน ปริมาณสารฟีนอลิครวม ($p < 0.05$) (ตารางที่ 2 และ 3) เปอร์เซ็นต์สารสกัดหยาบมีค่าระหว่าง

3.2-3.7 % (ตารางที่ 1) ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารสกัดหยาบของกระชายดำที่ปลูกกลางแจ้ง หรืองานทดลองของ Wattanasri และคณะ (2016) ที่กล่าวว่าเปอร์เซ็นต์สารสกัดหยาบจากเหง้ากระชายดำที่สกัดด้วยเอทธานอลมีค่า 5 % w/w อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์สารสกัดหยาบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของแสงเสริมสีน้ำเงินมากขึ้น (ตารางที่ 1) ซึ่งแสงสีน้ำเงินมีผลต่อ photosynthetic capacity จึงทำให้มีสารชีวมวลเพิ่มขึ้น (Hogewoning *et al*., 2010) แต่เนื่องจากความเข้มแสงของหลอดไฟ LED ที่ใช้ในการทดลองต่ำจึงทำให้ไม่แสดงความแตกต่างกันทางสถิติ

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระรายงานเป็นค่า EC_{50} ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการกวาดล้างอนุมูลอิสระให้ลดลงครึ่งหนึ่ง โดยการให้แสงเสริมจากหลอด LED แบบต่าง ๆ ไม่มีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเหง้ากระชายดำ มีค่า 20.69-25.00 mg_{FW}/mL ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นที่ไม่ได้รับแสงเสริมจากหลอด LED มีแนวโน้มแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเล็กน้อย (ตารางที่ 2) และให้ผลสอดคล้องกับปริมาณสาร 5,7-dimethoxyflavone วิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC พบว่าสารมาตรฐาน 5,7-dimethoxy flavone มี retention time ประมาณ18.4 นาที (รูปที่ 5) โดยใช้กราฟมาตรฐานที่ได้เป็นตัวเปรียบเทียบกับสารละลายกระชายดำที่ปลูกภายใต้แสงเสริมสีต่าง ๆ (รูปที่ 6) จากการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณสาร 5,7-dimethoxyflavone ของแต่ละทรีตเมนต์ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยมีปริมาณสาร 5,7-dimethoxyflavone เท่ากับ 0.042-0.053 mg/pot ต้นที่ไม่ได้รับแสงเสริมมีแนวโน้มให้ปริมาณสาร 5,7-dimethoxyflavone สูงกว่าเช่นกัน (ตารางที่ 3)

อย่างไรก็ตาม การให้แสงเสริมจากหลอด LED แบบต่าง ๆ มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีม่วงในเหง้ากระชายดำ ในต้นที่ไม่ได้รับแสง (control) และต้นที่ได้รับแสงผสมจากหลอด LED แบบ 1W2B ให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินไม่ต่างกัน มีค่า 2.02 และ 2.09 μg/100 g_{FW} ตามลำดับ รองลงมา คือ ต้นที่ได้รับแสงแบบ 2W ให้ปริมาณแอนโทไซยานิน 1.88 μg/100 g_{FW} ส่วนการให้แสงแบบ 2W1B กลับทำให้มีปริมาณแอนโทไซยานินต่ำที่สุด คือ 1.69 μg/100 g_{FW} ซึ่งต่างจาก control และ 1W2B (ตารางที่ 2) เนื้อสีภายในเหง้าสม่ำเสมอในทุกทรีตเมนต์ (รูปที่ 7) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมพบว่าต้นที่ไม่ได้รับแสงการให้แสงแบบ 1W2B และมีปริมาณฟีนอลิกสูงมีค่า 0.42 และ 0.43 g_{GAE}/100g_{FW} การได้รับแสง

ตางรางที่ 2 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารแอนโทไซยานินของเหง้ากระชายดำที่ปลูกภายใต้การให้แสงเสริมที่แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 5 เดือน

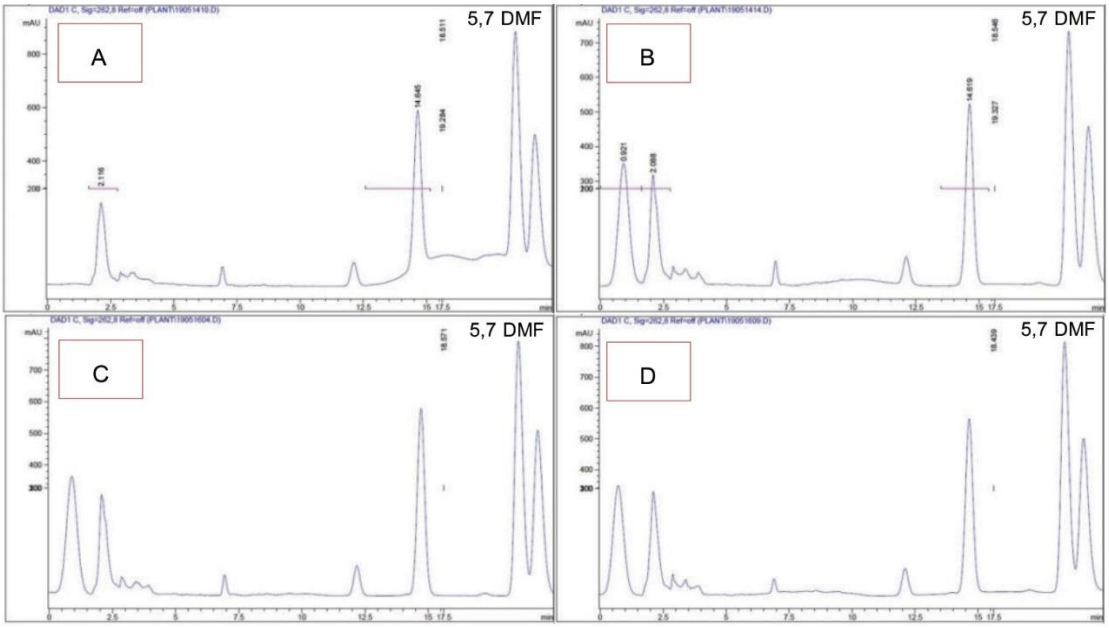
Treatment	EC_{50} (mg_{FW}/mL)	Total anthocyanin (μg/100g_{FW})
control	20.69±2.03	2.02±0.09 a
2W	23.46±1.50	1.88±0.17 ab
2W1B	23.81±0.68	1.69±0.15 b
1W2B	25.00±3.76	2.09±0.16 a
F-test	ns	*
CV (%)	9.86	7.52

ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's new multiple range test; * = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์; ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ; control = ไม่ให้แสงเสริม; 2W = ให้แสงเสริมแสงขาวจำนวน 2 หลอด; 2W1B = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 2 : 1; 1W2B = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 1 : 2

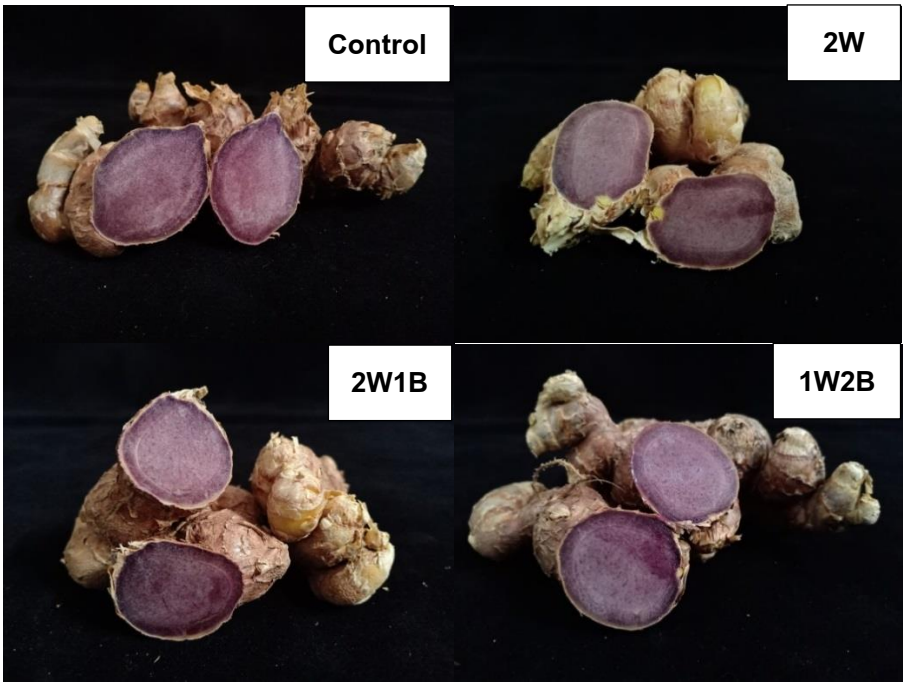
ตารางที่ 3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและ 5,7 dimethoxyflavone ของกระชายดำหลังได้รับแสงเสริมด้วยทรีตเมนต์ต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 5 เดือน

Treatment	Total phenolic compound ($g_{GAE}/100g_{FW}$)	5,7 Dimethoxyflavone (mg/pot)	5,7 Dimethoxyflavone ($mg/100mg_{FW}$)
control	0.42±0.03 a	0.053±0.010	0.075±0.005 a
2W	0.37±0.01 b	0.042±0.004	0.067±0.002 b
2W1B	0.40±0.01 ab	0.043±0.003	0.073±0.002 a
1W2B	0.43±0.02 a	0.043±0.015	0.073±0.001 a
F-test	*	ns	*
CV (%)	4.97	20.680	4.11

ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Duncan's new multiple range test; * = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์; ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ; control = ไม่ให้แสงเสริม; 2W = ให้แสงเสริมแสงขาวจำนวน 2 หลอด; 2W1B = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 2 : 1; 1W2B = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 1 : 2



รูปที่ 6 โครมาโตแกรมสาร 5,7-dimethoxyflavone ของเหง้ากระชายดำหลังจากปลูกภายใต้แสงเสริมสีต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่น 262 นาโนเมตร อัตราการไหล (flow rate) 1 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรสารสกัดที่ใช้ฉีดตัวอย่างที่ 20 ไมโครลิตร (A = ไม่ให้แสงเสริม, B = ให้แสงเสริมแสงขาวจำนวน 2 หลอด, C = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 2 : 1 และ D = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 1 : 2)



รูปที่ 7 สีเนื้อเหง้ากระชายดำที่ปลูกภายใต้สภาพการให้แสงเสริมที่แตกต่างกันหลังการเก็บเกี่ยว (control = ไม่ให้แสงเสริม, 2W = ให้แสงเสริมแสงขาวจำนวน 2 หลอด, 2W1B = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 2 : 1, 1W2B = ให้แสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 1 : 2)

แบบ 2W1B มีปริมาณฟีนอลิก 0.40 $g_{GAE}/100g_{FW}$ ซึ่งไม่ต่างกับทรีตเมนต์อื่น ๆ ส่วนการให้แสงแบบ 2W มีปริมาณฟีนอลิกรวมน้อยที่สุด คือ 0.37 $g_{GAE}/100g_{FW}$ (ตารางที่ 3)

ผลการทดลองเป็นที่น่าสังเกต คือ การให้แสงเสริมในสัดส่วนของแสงสีขาวมีผลต่อการสร้างสารสำคัญในเหง้ากระชายดำลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ได้รับแสงเสริม เนื่องมาจากสภาพวันสั้นจะชักนำให้พืชเข้าสู่การพักตัวและมีการสะสม ABA ซึ่งจะส่งเสริมการสังเคราะห์แอนโทไซยานิน (Karppinen *et al*., 2018) แต่การที่พืชได้รับแสงสีขาวเสริม 2W และ 2W1B อาจทำให้พืชเข้าสู่การพักตัวช้า ทำให้การสังเคราะห์แอนโทไซยานินยังไม่สมบูรณ์ จึงมีปริมาณน้อยกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ ส่วน 1W2B มีสัดส่วนของแสงสีน้ำเงินมากกว่า โดยมีรายงานว่าแสงสีน้ำเงินจะส่งเสริมการพักตัวในข้าวบาร์เล่ย์ที่เก็บเกี่ยวผลผลิตสด (Gubler *et al*., 2008)

4. สรุป

การปลูกกระชายดำภายใต้สภาพโรงเรือนโดยการให้แสงเสริม ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงของทรงพุ่ม จำนวนต้นต่อกระถาง ความเขียวใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของเหง้า และเปอร์เซ็นต์สารสกัดหยาบ แต่มีผลต่อฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและสาร 5,7-dimethoxyflavone สูงที่สุดในกระชายดำที่ปลูกภายใต้สภาพที่ไม่ได้รับแสงเสริมและกระชายดำที่ปลูกภายใต้สภาพได้รับแสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับสีน้ำเงินสัดส่วน 2 : 1 และ 1 : 2 ส่วนปริมาณแอนโทไซยานินสูงที่สุดในกระชายดำที่ปลูกภายใต้สภาพที่ไม่ได้รับแสงเสริม ได้รับแสงเสริมสีขาว 2 หลอดและแสงเสริมผสมระหว่างแสงสีขาวกับ

สีน้ำเงินสัดส่วน 1:2

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตร ห้องสรีรวิทยาการผลิตพืช 1 โรงเรือนภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำการวิจัย

6. รายการอ้างอิง

กษิดิ์เดช อ่อนศรี, 2559, ศึกษาการใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) กระตุ้นการผลิตสารสำคัญในขมิ้นอ้อยและกระชายดำ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ณพัฐอร บัวฉุน และปิยะพัฒน์ สุนทรศาสตร์, 2558, การพัฒนาโลชั่นจากสารสกัดหยาบชะเอมไทยที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, ว.วิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ 10(2): 97-106.

สมนึก บุญสุภา, 2560, กระชายดำ : สมุนไพรเพื่อบุรุษ, น. 185-221, ใน วีณา นุกูลการ และชุติมา เพ็ชรประยูร, สมุนไพร Champion Product, สำนักพิมพ์บุญศิริการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

เสริมสกุล พจนการุณ และเชวง แก้วรักษ์, 2548, การผลิต ปัญหาการผลิต และการตลาดกระชายดำของเกษตรกรผู้ปลูกกระชายดำ, น. 25-30, ใน ผลงานฉบับเต็มของนายเสริมสกุล พจนการุณ, สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3, ขอนแก่น.

เสริมสกุล พจนการุณ, สุกัญญา วงศ์พรชัย และศิริพร พจนการุณ, 2551, อิทธิพลของละติจูดและความสูงของพื้นที่ที่ปลูกที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมีด้านปริมาณเทอร์พีนอยด์ ฟีนอลิกทั้งหมด และความสามารถกำจัดอนุมูลอิสระของเหง้ากระชายดำ, ว. วิทยาศาสตร์เกษตร 39(3)(พิเศษ): 341-344.

สุวิทย์ วรรณศรี, 2554, เทคนิคการเพิ่มผลผลิตว่านกระชายดำ, รายงานวิจัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, เพชรบูรณ์.

อรัญญา ศรีบุศราคัม, 2558, จุลสารสมุนไพร, สำนักพิมพ์คณะรัฐมนตรีและราชกิจจานุเบกษา,กรุงเทพฯ.

Ang, L.F., Mun, F.Y., Yvonne, T.T.F., Peh, K.K. and Yusrida, D., 2014, HPLC method for simultaneous quantitative detection of quercetin and curcuminoids in traditional Chinese medicines, J. Pharmacopuncture 17(4): 36-49.

Gao, X., Maria, O., Niklas, J., Lars, B. and Viktor, T., 2000, Changes in antioxidant effects and their relationship to phytonutrients in fruits of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) during maturation, J. Agric. Food Chem. 48: 1485-1490.

Gubler, F., Trijntje, H., Peter, W. and John, J., 2008, Regulation of dormancy in barley by blue light and after-ripening: Effects on abscisic and gibberellin metabolism, Plant Physiol. 147: 886-896.

Hogewoning, S.W.H., Govert, T., Hans, M., Hendrink, P., Wim V.I. and Jeremy, H., 2010, Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light, J. Exp. Bot. 61: 3107-3117.

Horigome, S., Yoshida, I., Tsuda, A., Harada, T., Yamaguchi, A. and Yamazaki, K., 2014, Identification and evaluation of anti-

inflammatory compounds from *Kaempferia parviflora*, Biosci. Biotechnol. Biochem. 78: 851-860.

Karppinen, K., Pinja, T., Hely, H. and Laura, J., 2018, Abscisic acid regulates anthocyanin biosynthesis and gene expression associated with cell wall modification in ripening bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) fruits, Front. Plant Sci. 9: 1-17.

Kondo, S., Tomiyama, H., Rodyoung, A., Okawa, K., Ohara, H., Sugaya, S., Terahara, N. and Hirai, N., 2014. Abscisic acid metabolism and anthocyanin synthesis in grape skin are affected by light emitting diode (LED) irradiation at night, J. Plant Physiol. 171: 823-829.

Mao, C., Songchong, L., Bo, L., Bin, Z., Jiabin, S., Jianmei, H., Liqiong, L., Dandan, X., Xu, C. and Feng, M., 2017, A rice NAC transcription factor promotes leaf senescence via ABA biosynthesis, Plant Physiol. 174: 1747-1763.

Masuda, J.I., Toshihiro, U., Yukio, O. and Hiroshi, O., 2006, Short photoperiod induces dormancy in lotus (*Nelumbo nucifera*), Ann. Bot. 97: 39-45.

Mizukami, H., Kaomi, T. and Hiromu, O., 1988, Anthocyanin production in callus cultures of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.), Plant Cell Rep. 7: 553-556.

Palmer, N.A., Aaron, J.S., Erin, D.S., Christian, M.T., Paul, T., Soundararajan, M., Marty, S., Rebecca, C., Scott, E.S., Serge, J.E., Robert, B.M. and Gautam, S., 2017, Seasonal below-ground metabolism in switchgrass, Plant J. 92: 1059-1075.

Payet B., Alain, S.C.S. and Smadja, J., 2005, Assessment of antioxidant activity of cane brown sugars by ABTS and DPPH radical scavenging assays: determination of their polyphenolic and volatile constituents, J. Agric. Food Chem. 53: 10074-10079.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang M. and Rice-evans, C., 1999, Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay, Free Rad. Biol. Med. 26: 1231-1237.

Rujjanawate, C., Kanjanapothi, D., Amornlerd pison, D. and Pojanagaroon, S., 2005, Anti-gastric ulcer effect of *Kaempferia parviflora*, J. Ethnopharm. 102: 120-122.

Sirirugsa, P., 1991, Taxonomy of the genus kaempferia (Zingiberaceae) in Thailand, Thai Forest Bull. (Bot.) 19: 1-15.

Tewtrakul, S. and Subhadhirasakul, S., 2007, Anti-allergic activity of some selected plants in the Zingiberaceae family, J. Ethnopharm. 109: 535-538.

Wattanasri, P., Ngawhirunpat, T., Rojanarata, T., Nattapulwat, N. and Opanasopit, P., 2016, Development of *Kaempferia parviflora* extract-loaded microemulsions for skin permeation enhancement, Thai J. Pharm. Sci. 40: 37-40.

Wattanapitayakul, S.K., Chularojmontri, L., Herunsalee, A., Charuchongkolwongse, S., Chansuvanich, N., 2008, Vasorelaxation and antispasmodic effects of *Kaempferia parviflora* ethanolic extract in isolated rat organ studies, Fitoterapia 79: 214-216.