ผลของแสงแอลอีดีและการกระตุ้นตาดอกด้วยอุณหภูมิต่ำต่อการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงฮอร์โมนในสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80

Effects of LED Light and Vernalization on Growth and Development, and Hormonal Changes in Strawberry cv. Praratchatan 80

ยศธร เพ็ชรทอง และ ดรุณี นาพรหม*

Yossatorn Pechthong and Daruni Naphrom*

ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ. เชียงใหม่ 50200

Department of Plant and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand

**Corresponding author: Email: daruni.n@cmu.ac.th*

(Received: 3 January 2023; Accepted: 27 June 2023)

Abstract: Nowadays, plant factory systems under LED lighting are widely used to grow strawberry due to climate changes, which can lead to decreased productivity. This study aimed to investigate the effects of LED lighting and vernalization on growth, development and hormonal changes in the 'Praratchatan 80' strawberry. Two experiments were conducted. Experiment 1 examined, the effects of LED lighting on runner production, using a completely randomized designed (CRD) with five treatments, including a natural light control and four LED lighting periods (9, 12, 15 and 18 hours per day). The results indicated that the LED lighting periods had no effect on the days to produce runners and leaf width, but 15 and 18 hours LED lighting periods increased the number of runners, daughter plants, petioles, and chlorophyll content compared to other treatments. Meanwhile, a 9 hours LED lighting period resulted in the highest daughter plant height. Experiment 2 investigated the effects of LED lighting and vernalization on flowering and hormonal changes in the strawberry. The experiment design was factorial in completely randomized design of 3 lighting periods (6, 9 and 12 hours per day) and 2 temperature conditions (non vernalization and vernalization at 4 $^{\circ}$C for 2 weeks) compared to natural environment (control). The results showed no interaction between the two factors, and a 9 hour LED lighting period and vernalization led faster flowering and greater number of flowers significantly. These treatments also decrease auxin accumulation in the shoot while promoting cytokinins (zeatin and zeatin riboside) biosynthesis and accumulation, ultimately promoting flower induction and development in the strawberry.

Keywords: Auxin, cytokinin, flower induction, growth, LED, photoperiodism

Copyright @ Journal of Agriculture, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University. All rights reserved.

บทคัดย่อ: ปัจจุบันระบบโรงงานผลิตพืชภายใต้แสงแอลอีดีได้ถูกนำมาใช้ในการปลูกสตรอว์เบอร์รี เนื่องจากประสบปัญหาความแปรปรวนของภูมิอากาศ ซึ่งทำให้ผลผลิตของต้นสตรอว์เบอร์รีลดลง ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาให้แสงแอลอีดีและการกระตุ้นตาดอกด้วยอุณหภูมิต่ำต่อการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงฮอร์โมนในสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 โดยแบ่งเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ผลของระยะเวลาให้แสงแอลอีดีต่อการผลิตไหลของสตรอว์เบอร์รี วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 5 กรรมวิธี คือ แสงจากสภาพแวดล้อมธรรมชาติ (กรรมวิธีควบคุม) และการให้แอลอีดีที่จำนวนชั่วโมงต่างกัน 4 กรรมวิธี (9, 12, 15 และ 18 ชั่วโมงต่อวัน) พบว่า ทุกระยะเวลาการให้แสงแอลอีดีไม่มีผลต่อระยะเวลาเกิดไหล และความกว้างใบ แต่กรรมวิธีที่ให้แสงแอลอีดี 15 และ 18 ชั่วโมง ทำให้จำนวนเส้นไหล ต้นไหล ก้านใบ และค่าคลอโรฟิลล์ในใบสูงกว่าทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะเดียวกันการให้แสงแอลอีดี 9 ชั่วโมง ทำให้ต้นไหลมีความสูงมากที่สุด ส่วนการทดลองที่ 2 ผลของระยะเวลาให้แสงแอลอีดีและการชักนำตาดอกด้วยอุณหภูมิต่ำต่อการออกดอกและการเปลี่ยนแปลงฮอร์โมนของสตรอว์เบอร์รี วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลในสุ่มสมบูรณ์ คือ ระยะเวลาให้แสงแอลอีดี 3 วิธี (6, 9 และ 12 ชั่วโมงต่อวัน) และการให้สภาพอุณหภูมิต่างกัน 2 วิธี (ไม่กระตุ้นตาดอกด้วยอุณหภูมิต่ำ และกระตุ้นตาดอกด้วยอุณหภูมิต่ำ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์) เปรียบเทียบกับสภาพแวดล้อมธรรมชาติ (กรรมวิธีควบคุม) ผลการทดลองพบว่าทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน กรรมวิธีที่ให้แสงแอลอีดี 9 ชั่วโมง และการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิต่ำ ทำให้ต้นสตรอว์เบอร์รีออกดอกเร็ว และมีจำนวนดอกมากกว่าทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีดังกล่าวลดการสังเคราะห์และสะสมออกซิน (IAA) ในขณะที่ส่งเสริมการสร้างและสะสมไซโตไคนิน (zeatin และ zeatin riboside) ซึ่งสามารถชักนำการออกดอกและการพัฒนาดอกของต้นสตรอว์เบอร์รีได้

คำสำคัญ: ออกซิน ไซโตไคนิน การชักนำการออกดอก การเติบโต แอลอีดี การตอบสนองต่อช่วงแสง

บทนำ

สตรอว์เบอร์รี (*Fragaria x ananassa* Duch.) เป็นผลไม้เขตกึ่งร้อนที่สำคัญของประเทศไทย ความต้องการเพื่อบริโภคผลของสตรอว์เบอร์รีทั้งการรับประทานสดและเชิงอุตสาหกรรมการแปรรูปทั้งภายในประเทศและต่างประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Boonyakiat and Smitamana, 2003) ซึ่งปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมเป็นองค์ประกอบสำคัญในการผลิตสตรอว์เบอร์รีให้มีคุณภาพสูง ปัจจุบันพื้นที่ปลูกสตรอว์เบอร์รีในประเทศไทยประสบปัญหาความแปรปรวนของภูมิอากาศจากภาวะโลกร้อน ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเฉพาะการออกดอกของสตรอว์เบอร์รีที่ต้องการอากาศเย็นในการกระตุ้นตาดอก (vernalization) (Ikram *et al*., 2016) รวมถึงการระบาดและการเข้าทำลายของโรคและแมลง ส่งผลกระทบต่อการปลูกและการผลิตสตรอว์เบอร์รี ทำให้ผลผลิตลดลงและมีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชมากขึ้น (Pipattanawong *et al*., 2011)

เพื่อป้องกันความเสียหายจากสภาพภูมิอากาศที่แปรปรวน รวมถึงความต้องการในการผลิตสตรอว์เบอร์รีปลอดโรคที่สามารถผลิตได้ตลอดทั้งปี จึงเริ่มมีความสนใจการปลูกพืชโดยใช้ระบบโรงงานผลิตพืช (plant factory) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการผลิตพืชในระบบปิดหรือกึ่งปิดที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยใช้หลอดไฟ light-emitting diode (LED) เป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการสังเคราะห์แสง (National Science and Technology Development Agency, 2018) ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีหลอดแอลอีดีได้ถูกเริ่มนำมาเป็นแหล่งกำเนิดแสงสำหรับการเพาะปลูกพืชเพิ่มมากขึ้น โดยความยาวคลื่นแสงสีแดงและสีน้ำเงินของไฟแอลอีดีมักถูกเลือกใช้เพื่อส่งเสริมการสังเคราะห์แสงของพืช (Samuolienė *et al*., 2010) จากการศึกษาการปลูกสตรอว์เบอร์รีในโรงเรือนพลาสติกโดยใช้แสงแอลอีดีสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินเป็นแหล่งกำเนิดแสง พบว่า อัตราส่วนแสงแอลอีดีสีแดงมากกว่าแสงสีน้ำเงิน เช่น อัตราส่วน 7:3 ทำให้มีการ

เจริญเติบโตของต้นและผลผลิตสูงขึ้น (Choi *et al*., 2015; Hung *et al*., 2015)

อย่างไรก็ตามลักษณะทางสรีรวิทยาของสตรอว์เบอร์รีในการผลิตไหล และการชักนำการออกดอกอาจต้องการช่วงเวลาที่ได้รับแสง (photoperiod) ที่แตกต่างกัน โดยช่วงแสงที่เป็นสภาพวันยาวทำให้เกิดไหลและมีการเจริญทางกิ่งก้านสูงขึ้น ในทางกลับกันช่วงแสงที่เป็นสภาพวันสั้นสามารถกระตุ้นการออกดอกของต้นสตรอว์เบอร์รีได้ (Sønsteby *et al*., 2016) การชักนำการออกดอกของพืชถูกควบคุมโดยสมดุลของฮอร์โมนพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งฮอร์โมนในกลุ่มออกซิน (indole-3-acetic acid, IAA) และกลุ่มไซโตไคนิน (zeatin/zeatin riboside, Z/Zr) ซึ่งฮอร์โมนเหล่านี้ทำงานแตกต่างกันในการชักนำการออกดอก โดยสามารถทำงานร่วมกัน หรือเป็นปฏิปักษ์กัน (Campos-Rivero *et al*., 2017; Hanke *et al*., 2007) ในพืชกลุ่มวันสั้นเกิดการออกดอกได้ดีเมื่อบริเวณยอดมีการสะสมฮอร์โมนไซโตไคนิน คือ Z/Zr ปริมาณมาก ในขณะที่กลุ่มออกซิน คือ IAA หากมีปริมาณสูงมีผลยับยั้งการออกดอก (Kang *et al*., 2017)

การทดลองนี้ จึงศึกษาจำนวนชั่วโมงการให้แสงแอลอีดีที่เหมาะสมต่อการผลิตต้นไหล การกระตุ้นการออกดอก และการเปลี่ยนแปลงฮอร์โมนของต้นสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 ซึ่งองค์ความรู้ทางสรีรวิทยานี้จะมีประโยชน์อย่างมากในการใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน และเป็นแนวทางการพัฒนาในการผลิตสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 โดยใช้ระบบการผลิตแบบโรงงานผลิตพืชต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยครั้งนี้แบ่งเป็นสองการทดลอง ตามระยะของการเจริญเติบโตของสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 ได้แก่ ระยะการผลิตไหล และระยะการออกดอก โดยทดลองปลูกในโรงเรือนปลูกพืชแบบเปิด ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยใช้ตาข่ายสีดำ (สแลนกันแสง 100 เปอร์เซ็นต์) กั้นเป็นห้องปลูกขนาดความกว้าง 150 เซนติเมตร ความยาว 400 เซนติเมตร ติดตั้งระบบไฟแอลอีดีขนาดความยาว 120 เซนติเมตร จำนวน 4 หลอด ซึ่งให้แสงสีแดงร่วมกับแสงสีน้ำเงิน อัตราส่วน 60 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยมีความยาวคลื่นแสง 638 และ 450 นาโนเมตร ตามลำดับ ติดตั้งหลอดแอลอีดีอยู่สูงขึ้นจากปลายยอดพืชประมาณ 35 เซนติเมตร ความเข้มแสงที่ 22,000 ลักซ์ มีค่า photosynthetic photon flux density (PPFD) ที่ 428 μmol/m^2/s เริ่มให้แสงแอลอีดีในเวลา 06.00 นาฬิกา ส่วนกรรมวิธีควบคุมได้รับแสงจากสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ ความเข้มแสงที่ 15,000 ลักซ์ มีค่า PPFD ที่ 29 μmol/m^2/s ซึ่งมีความยาววันเฉลี่ยเท่ากับ 10.49 ชั่วโมง อุณหภูมิกลางวันเฉลี่ยที่ 35.25 องศาเซลเซียส กลางคืนเฉลี่ยที่ 27.63 องศาเซลเซียส

การทดลองที่ 1 ผลของระยะเวลาให้แสงแอลอีดีต่อการเกิดไหลและการเติบโตของไหลสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80

คัดเลือกต้นสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ อายุ 16 สัปดาห์ ที่มีความสมบูรณ์ ทำการทดลองปลูกในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว โดยใช้ดินผสมขุยมะพร้าวและแกลบดำในอัตราส่วน 2:1:1 โดยปริมาตร เป็นวัสดุปลูก โดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ประกอบด้วย 5 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ต้น ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 สภาพแวดล้อมจากธรรมชาติในโรงเรือน (กรรมวิธีควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ให้แสงแอลอีดีระยะเวลา 9 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 3 ให้แสงแอลอีดีระยะเวลา 12 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 4 ให้แสงแอลอีดีระยะเวลา 15 ชั่วโมง

กรรมวิธีที่ 5 ให้แสงแอลอีดีระยะเวลา 18 ชั่วโมง

บันทึกการเจริญเติบโตของต้นสตรอว์เบอร์รีทุก ๆ 10 วัน เป็นเวลา 40 วัน ได้แก่ ระยะเวลาในการเกิดไหล จำนวนเส้นไหล จำนวนต้นไหล ความสูงต้น จำนวนใบ และขนาดใบของต้นไหล

บันทึกข้อมูลค่าคลอโรฟิลล์ในใบของต้นไหลในวันที่ 40 ด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ SPAD-502 มี

หน่วยเป็น SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) ซึ่งค่าความเขียวใบเป็นหน่วยใช้เปรียบเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์โดยไม่ต้องทำลายตัวอย่างพืช

การทดลองที่ 2 ผลของระยะเวลาให้แสงแอลอีดีและการชักนำตาดอกด้วยอุณหภูมิต่ำต่อการออกดอกและการเปลี่ยนแปลงฮอร์โมนของสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80

คัดเลือกต้นสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ อายุ 12 สัปดาห์ ที่มีความสมบูรณ์ ทำการทดลองปลูกในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว โดยใช้ดินผสมขุยมะพร้าวและแกลบดำในอัตราส่วน 2: 1: 1 โดยปริมาตร เป็นวัสดุปลูก โดยวางแผนการทดลองแบบ factorial in completely randomized design (factorial in CRD) (3 x 2) + 1 ปัจจัยแรก คือ จำนวนชั่วโมงการให้แสงต่างกัน 3 วิธี และปัจจัยที่ 2 คือ ชักนำตาดอกด้วยอุณหภูมิต่ำก่อนทำการทดลอง มี 2 วิธี ได้แก่ 1) ไม่ได้ชักนำด้วยอุณหภูมิต่ำ (non vernalized) และ 2) ได้รับชักนำด้วยอุณหภูมิต่ำ (vernalized) เปรียบเทียบกับสภาพแวดล้อมธรรมชาติในโรงเรือน ประกอบด้วย 7 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ต้น ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 สภาพแวดล้อมจากธรรมชาติในโรงเรือน (กรรมวิธีควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ให้แสงแอลอีดีระยะเวลา 6 ชั่วโมง และไม่ได้รับอุณหภูมิต่ำ

กรรมวิธีที่ 3 ให้แสงแอลอีดีระยะเวลา 9 ชั่วโมง และไม่ได้รับอุณหภูมิต่ำ

กรรมวิธีที่ 4 ให้แสงแอลอีดีระยะเวลา 12 ชั่วโมง และไม่ได้รับอุณหภูมิต่ำ

กรรมวิธีที่ 5 ให้แสงแอลอีดีระยะเวลา 6 ชั่วโมง และได้รับอุณหภูมิต่ำ

กรรมวิธีที่ 6 ให้แสงแอลอีดีระยะเวลา 9 ชั่วโมง และได้รับอุณหภูมิต่ำ

กรรมวิธีที่ 7 ให้แสงแอลอีดีระยะเวลา 12 ชั่วโมง และได้รับอุณหภูมิต่ำ

โดยกรรมวิธีที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ (vernalized treatment) นำต้นสตรอว์เบอร์รีเข้าตู้ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (growth chamber) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ก่อนนำออกมาปลูกในโรงเรือน

บันทึกการออกดอกของสตรอว์เบอร์รีในวันที่ 0, 14, 21 และ 28 หลังกรรมวิธี ได้แก่ ระยะเวลาในการออกดอก และจำนวนดอก

การวิเคราะห์ปริมาณฮอร์โมนพืช

1. การเก็บตัวอย่าง (plant sampling) โดยเก็บตัวอย่างพืชบริเวณยอดของต้นสตอว์เบอรรีในแต่ละกรรมวิธีในวันที่ 0, 14, 21 และ 28 หลังกรรมวิธี จุ่มตัวอย่างพืชในไนโตรเจนเหลวทันทีเพื่อหยุดกระบวนการเมแทบอลิซึมในเนื้อเยื่อพืช จากนั้นทำตัวอย่างให้แห้งโดยใช้ freeze dryer และเก็บรักษาตัวอย่างพืชแห้งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

2. การสกัดฮอร์โมนจากเนื้อเยื่อพืชและการทำให้บริสุทธิ์(extraction and purification) โดยใช้ตัวอย่างพืช 100 มิลลิกรัม เติมไนโตรเจนเหลวแล้วบดให้ละเอียดเป็นผง และสกัดด้วย 1 มิลลิลิตร 0.5 % formic acid ใน H_2O : MeOH (3 : 7, v/ v) ที่ 4 องศาเซลเซียส สารสกัดถูกแยกโดยการหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ที่ 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ถ่ายโอนของเหลวเหนือตะกอน (supernatant) สกัดซ้ำอีก 1 ครั้ง นำ supernatant มารวมกัน จากนั้นระเหยแห้งในเครื่องหมุนเหวี่ยงแบบสุญญากาศจน MeOH แห้ง เติม H_2O + 0.5 % formic acid อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ปริมาตร 1 มิลลิลิตร สารสกัดถูกแยกโดยการ centrifuge จากนั้นถ่ายโอน supernatant และระเหยแห้ง เตรียม extraction cartridges (Oasis® HLB 1 cc [30 mg]) clean up โดยปรับสภาพด้วย 1 มิลลิลิตร 100 % MeOH + 0.1 % formic acid 2 ครั้ง แล้วโหลดสารสกัดผ่าน extraction cartridges ล้างตามด้วย H_2O + 0.5 % formic acid ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และชะฮอร์โมนโดยใช้สารละลาย 100 % MeOH + 0.1 % formic acid ปริมาตร 600 ไมโครลิตร ตามด้วย 100 % acetonitrile + 5 % ammonium 600 ไมโครลิตร จากนั้นทำให้แห้ง สารสกัดถูกละลายซ้ำใน 10 ไมโครลิตร 100 % MeOH + 1 % formic acid และถูกแยกส่วนโดย centrifuge ถ่ายโอน

supernatant เพื่อเข้ากระบวนการวิเคราะห์ปริมาณฮอร์โมนต่อไป ด้วยเทคนิค LC/MS (liquid chromatography / mass spectrometry) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Agar *et al*. (2006)

3. การตรวจวัดปริมาณฮอร์โมนพืช ได้แก่ zeatin, zeatin riboside และ IAA โดย LC/MS ด้วยเครื่อง Agilent 1260 infinity II แมสสเปกโตรมิเตอร์ระบบ Agilent Technology 6645 Q-TOF LC/MS การแยก LC ดำเนินการโดยคอลัมน์ Poroshell 120 SB C18 (2.1 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร 2.7 ไมครอน) การชะใช้ตัวทำละลาย A (0.1 % acetic acid ใน MeOH) และตัวทำละลาย B (0.1 % acetic acid ใน H_2O) ด้วยโปรแกรมเกรเดียนต์ A/B เชิงเส้นที่ 0 นาที: 10 % A; 4 นาที : 30 % A; 34 นาที : 60 % A; 40 นาที: 100 % A; และคงที่ไว้ 10 นาที อัตราการไหล 0.3 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้หัวฉีด 5 ไมโครลิตร การวิเคราะห์ MS ด้วยแรง Capillary 4500 V และแรงดันแฟกเตอร์ที่ 120 V แรงดันก๊าซแบบฝอยละออง (nebulizer) อยู่ที่ 25 psi อุณหภูมิก๊าซ 300 องศาเซลเซียส อัตราการไหล drying gas ที่ 10 ลิตรต่อนาที โดยดัดแปลงจากวิธีของ Susawaengsup *et al*. (2011)

ทั้งสองการทดลองวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ IBM SPSS Statistics 22 เพื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกรรมวิธี โดยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การทดลองที่ 1 ผลของระยะเวลาให้แสงแอลอีดีต่อการเกิดไหลและการเติบโตของไหลสตรอว์เบอร์รี

1.1 ระยะเวลาเกิดไหล จำนวนเส้นไหล และจำนวนต้นไหล

ระยะเวลาเกิดไหลจากการได้รับแสงแอลอีดีที่จำนวนชั่วโมงแตกต่างกัน พบว่า ทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยจำนวนวันในการเกิดไหลมีค่าระหว่าง 8.93 ถึง 9.80 วัน (Table 1) การให้แสงแอลอีดีทุกกรรมวิธีในระยะเวลา 20 วัน ทำให้เส้นไหลและต้นไหลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในระยะ 30 และ 40 วัน พบว่าการให้แสงแอลอีดี 15 และ 18 ชั่วโมง ทำให้เกิดจำนวนเส้นไหลและต้นไหลสูงกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ โดยมีจำนวนเส้นไหลเฉลี่ยที่ 7.00 และ 7.27 เส้น จำนวนต้นไหลเฉลี่ยที่ 12.27 และ 12.53 ต้น ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการให้แสงแอลอีดี 9 และ 12 ชั่วโมง และกรรมวิธีควบคุม ซึ่งให้จำนวนเส้นไหลเฉลี่ยเพียง 4.67, 5.47 และ 4.80 เส้น

Table 1. Days to produce runners after the treatments and chlorophyll contents at 40 days after the treatments

Treatments	Days to produce runners	Chlorophyll contents (SCMR)
1) Natural light (Control)	9.80	38.08c
2) LED 9 hours	9.47	38.89c
3) LED 12 hours	9.26	40.64b
4) LED 15 hours	8.93	42.12a
5) LED 18 hours	9.20	42.32a
CV (%)	8.71	1.63
LSD0.05	ns	*

ns = non significant, * = means with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$)

SCMR = SPAD Chlorophyll meter reading

(Figure 1A) และจำนวนต้นไหลเฉลี่ยเพียง 8.67, 10.20 และ 8.87 ต้น ตามลำดับ (Figure 1B) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Sønsteby *et al*. (2021) ที่พบว่า การผลิตไหลของต้นสตรอว์เบอร์รีเกิดขึ้นตลอดฤดูร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิสูง และมีช่วงแสงเป็นสภาพวันยาว ไหลเกิดจากตาที่อยู่โคนใบใหม่ และมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ส่วนการทดลองของ Durner (2015) ได้ให้สภาพวันสั้นกับสตรอว์เบอร์รีสองกลุ่ม คือ กลุ่มพันธุ์ที่ออกดอกในสภาพวันสั้นและกลุ่มพันธุ์ที่ออกดอกในสภาพวันยาว พบว่า สตรอว์เบอร์รีทั้งสองกลุ่ม มีอัตราการเกิดต้นไหลน้อยลงเมื่อได้สภาพวันสั้นที่มากขึ้น แต่จะมีการเกิดต้นไหลและจำนวนใบต่อต้นไหลมากขึ้นเมื่อพ้นสภาพวันสั้น

1.2 ความสูง จำนวนก้านใบ และความกว้างใบของต้นไหล

ความสูงต้นไหลที่ได้รับแสงแอลอีดีระยะเวลา 20 วัน ทุกกรรมวิธีทำให้ต้นสูงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งต่อมาในระยะเวลา 30 ถึง 40 วัน พบว่า กรรมวิธีควบคุม และกรรมวิธีที่ให้แสงแอลอีดี 9 ชั่วโมง ทำให้ต้นไหลมีความสูงเพิ่มขึ้นโดยมีความสูงเฉลี่ย 12.73 และ 12.92 เซนติเมตร ตามลำดับ มากกว่ากรรมวิธีที่ให้แสงแอลอีดี 12, 15 และ 18 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 9.95, 10.05 และ 9.87 เซนติเมตร ตามลำดับ (Figure 1C) สอดคล้องกับ Boonyakiat (2020) ที่รายงานว่า ความสูงของต้นพืชเพิ่มมากขึ้นและพยายามโน้มเข้าหาที่มีแสง หากปลูกในสภาพแสงที่ไม่เหมาะสมหรือมีปริมาณแสงไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์แสง ทำให้ต้นพืชมีลักษณะที่ยืดยาว เนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมนพืชกลุ่มออกซินมีผลิตมากที่ปลายยอดพืช ซึ่งด้านที่ได้รับแสงมีปริมาณออกซินน้อยกว่าด้านที่ไม่ได้รับแสง จึงทำให้อัตราการยืดเซลล์ของบริเวณที่ได้รับแสงน้อยกว่าด้านที่ไม่ได้รับแสง ปลายยอดพืชจึงเบนหรือยืดยาวเข้าหาแสง ซึ่งการที่ต้นสตรอว์เบอร์รีมีความสูงมากเกินไปอาจส่งผลทำให้ก้านใบของพืชเกิดการหักหรือเสียหายได้ง่าย (Pipattanawong, 2000) ต้นไหลที่ได้รับแสงแอลอีดีทุกกรรมวิธีในระยะเวลา 20 วัน มีจำนวนก้านใบเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งต่อมาในระยะเวลา 30 ถึง 40 วัน พบว่า กรรมวิธีที่ให้แสงแอลอีดี 15 และ 18 ชั่วโมง ทำให้จำนวนก้านใบเพิ่มขึ้นโดยมีจำนวนเฉลี่ย 8.93 และ 9.07 ก้านใบต่อต้น ตามลำดับ และยังมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีที่ให้แสงแอลอีดี 9, 12 ชั่วโมง และกรรมวิธีควบคุม ซึ่งให้ก้านใบเฉลี่ยเพียง 6.33, 7.60 และ 6.60 ก้านใบต่อต้น ตามลำดับ (Figure 1D) ความกว้างใบของต้นไหลสตรอว์เบอร์รีที่เกิดจากผลของแสงแอลอีดีที่ระยะเวลาต่างกันในระยะเวลา 40 วันหลังให้แสง พบว่า ต้นไหลทุกกรรมวิธีมีความกว้างใบเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.17 ถึง 4.26 เซนติเมตร (Figure 1E) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Hung *et al*. (2015) ที่พบว่า การให้แสงแอลอีดีสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินอัตราส่วน 7 : 3 เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน ส่งเสริมการพัฒนารากและก้านใบของต้นสตรอว์เบอร์รีเพิ่มขึ้น โดยลักษณะทางสรีรวิทยาของสตรอว์เบอร์รีจำเป็นต้องมีสภาพวันยาวเพื่อการเจริญทางลำต้น (vegetative growth) เช่นเดียวกันกับผลการทดลองของ Guttridge (1959) พบว่า แสงช่วงวันยาวทำให้ต้นไหลสตรอว์เบอร์รีเจริญเติบโตได้ดี เพิ่มจำนวนก้านใบของต้นไหลและใบใหญ่ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับต้นสตรอว์เบอร์รีที่ได้รับแสงช่วงวันสั้น

1.3 ค่าคลอโรฟิลล์ในใบของต้นไหล

ค่าคลอโรฟิลล์ในใบของต้นไหลหลังจากที่ได้รับแสงแอลอีดีที่ระยะเวลา 40 วัน พบว่า กรรมวิธีที่ให้แสงแอลอีดี 15 และ 18 ชั่วโมง ทำให้ค่าคลอโรฟิลล์ในใบของต้นไหลสูงเฉลี่ย 42.12 และ 42.32 SCMR ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีที่ให้แสงแอลอีดี 9, 12 ชั่วโมง และกรรมวิธีควบคุม ซึ่งมีค่าคลอโรฟิลล์ในใบเฉลี่ยเพียง 38.89, 40.64 และ 38.08 SCMR ตามลำดับ (Table 1) โดยคลอโรฟิลล์ในพืชซับแสงได้ดีที่ความยาวคลื่นประมาณ 420 ถึง 460 นาโนเมตร (ช่วงแสงสีน้ำเงิน) และ 630 ถึง 660 นาโนเมตร (ช่วงแสงสีแดง) (Fan *et al.,* 2013) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Choi *et al*. (2015) พบว่า การใช้แสงแอลอีดีสีแดงร่วมกับสีน้ำเงินที่ระยะเวลา 16 ชั่วโมง ช่วยส่งเสริมการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์

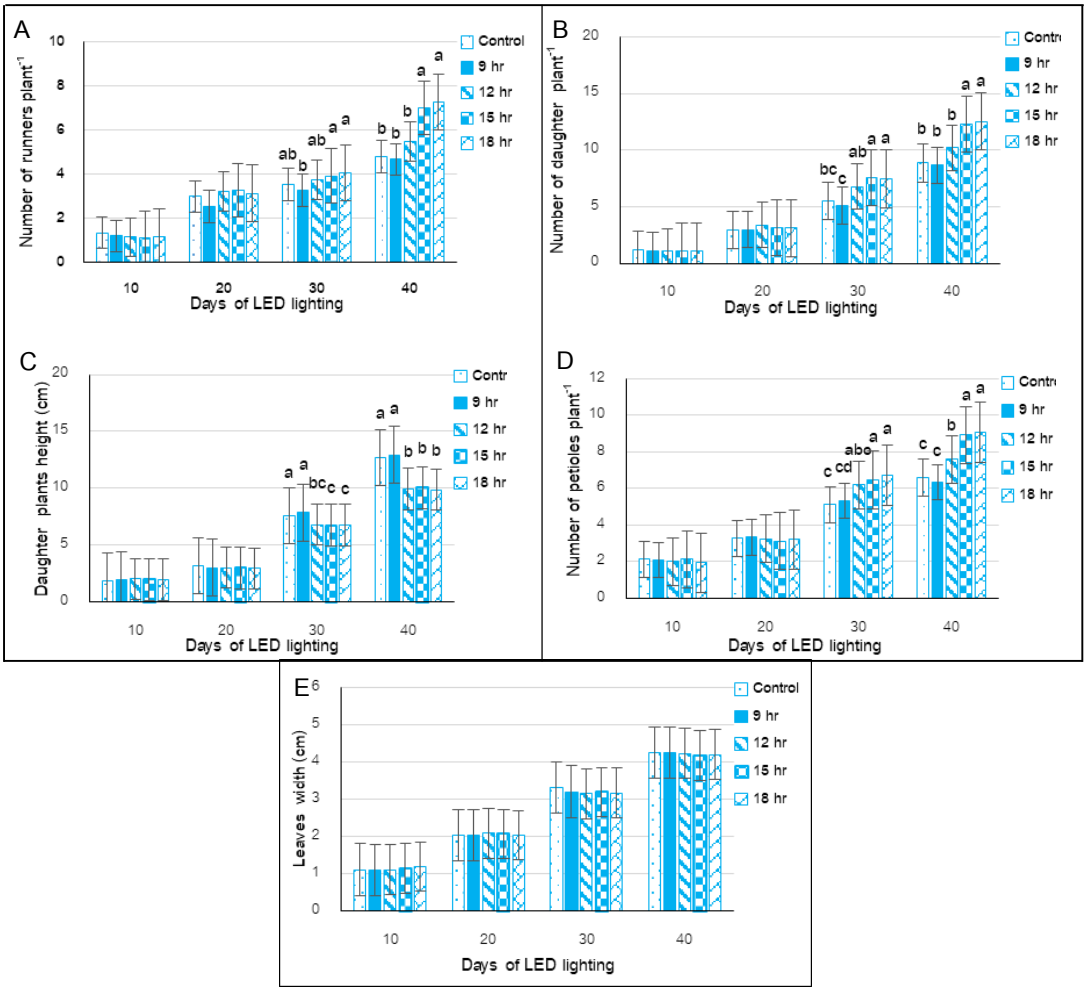


Figure 1. Number of runners (A), number of daughter plants (B), daughter plant height (C), number of petioles (D), and leaf width (E) at different LED lighting periods over 40 days

ในใบสตรอว์เบอร์รี เนื่องจากแสงสีน้ำเงินเป็นช่วงแสงที่มีความยาวคลื่นที่จำเป็นในการพัฒนาของคลอโรพลาสต์และการสร้างคลอโรฟิลล์ใน thylakoids ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของพืช (Senger, 1982)

2. การทดลองที่ 2 ผลของจำนวนชั่วโมงแสงแอลอีดีและการให้อุณหภูมิต่ำต่อการออกดอกและการเปลี่ยนแปลงฮอร์โมนของสตรอว์เบอร์รี

2.1 จำนวนวันที่เกิดดอก

จำนวนวันที่เกิดดอกของต้นสตรอว์เบอร์รีที่ได้รับทั้ง 2 ปัจจัย ไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน (ไม่ได้แสดงข้อมูล) พบว่า กรรมวิธีที่ให้แสงแอลอีดี 6 ชั่วโมง และ 9 ชั่วโมง ทำให้ต้นสตรอว์เบอร์รีเกิดดอกในจำนวนวันเฉลี่ย 9.97 และ 10.67 วัน ตามลำดับ มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีที่ให้แสงตามธรรมชาติ (กรรมวิธีควบคุม) และกรรมวิธีที่ให้แสงแอลอีดี 12 ชั่วโมง โดยทำให้พืชเกิดดอกในจำนวนวันเฉลี่ย 13.13 วัน และ 11.90 วัน ตามลำดับ (Figure 2A) ส่วนกรรมวิธีที่ต้นสตรอว์เบอร์รีได้รับการชักนำตาดอกด้วยอุณหภูมิต่ำก่อนปลูก ทำให้ต้นสตรอว์เบอร์รีเกิดดอกในจำนวนวันเฉลี่ย 9.80 วัน ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีที่ไม่ได้ชักนำตาดอกด้วยอุณหภูมิต่ำ

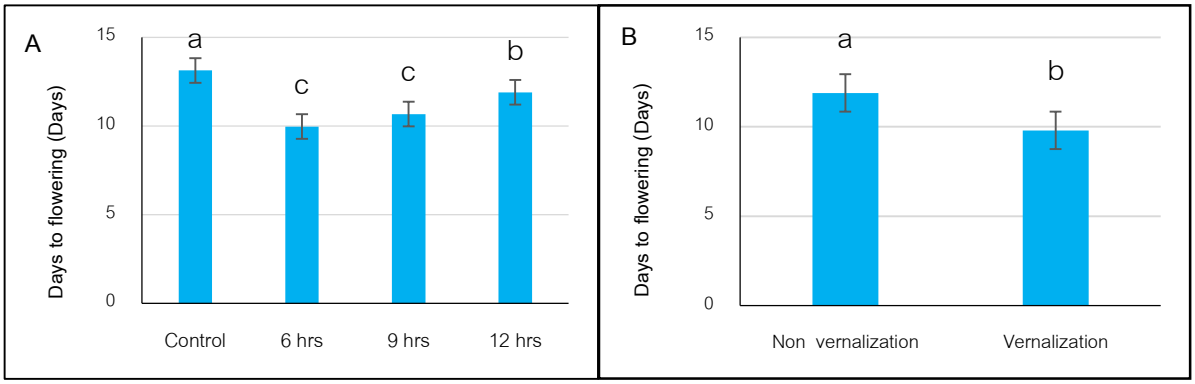


Figure 2. Days to flowering of strawberry as affected by LED lighting periods (A) and temperature conditions (B) after the treatments

โดยทำให้พืชเกิดดอกในจำนวนวันเฉลี่ย 11.89 วัน (Figure 2B) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Gallace and Lieten (2021) และ Rivero *et al.* (2021) ที่พบว่าลักษณะทางสรีรวิทยาของสตรอว์เบอร์รีในการสร้างตาดอกจำเป็นต้องมีผลมาจากทั้งช่วงแสงของสภาพวันสั้นและการสะสมอุณหภูมิต่ำเพื่อชักนำการออกดอก (vernalization) ในสภาวะอุณหภูมิต่ำ (vernalized state) มีผลต่อการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารทุติยภูมิ (secondary metabolites) แป้งและน้ำตาล ตลอดจนการส่งสัญญาณของฮอร์โมนพืช (plant hormone signal transduction) ซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดดอกและการพัฒนาของดอก (Shen *et al.* 2016) การวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า สามารถชักนำให้สตรอว์เบอร์รีเกิดดอกเร็วขึ้นได้ภายใต้ทั้งในช่วงแสงวันสั้นและได้รับการสะสมอุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไปแล้วต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส (Bradford *et al.,* 2010) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ikram *et al.* (2016) ที่พบว่า การนำต้นสตรอว์เบอร์รีไปไว้ที่อุณหภูมิต่ำ 4 องศาเซลเซียส เพื่อสะสมจำนวนชั่วโมงที่ได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 15 วัน สามารถทำให้ต้นสตรอว์เบอร์รีเกิดการออกดอกได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการให้แสงวันสั้นที่ 10 ชั่วโมงต่อวันเป็นเวลา 30 วัน สามารถกระตุ้นการออกดอกของต้นสตรอว์เบอร์รีได้เช่นกัน (Sønsteby *et al.*, 2016)

2.2 จำนวนการเกิดดอก

จำนวนการเกิดดอกของต้นสตรอว์เบอร์รีที่ได้รับทั้ง 2 ปัจจัย ไม่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน (ไม่ได้แสดงข้อมูล) โดยพบว่า ในระยะ 28 วัน กรรมวิธีที่ให้แสงแอลอีดี 9 ชั่วโมง ทำให้พืชเกิดจำนวนดอกต่อต้นเฉลี่ย 9.1 ดอก ซึ่งมีแนวโน้มจำนวนการเกิดดอกมากกว่าทุกกรรมวิธี โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (Figure 3A) ส่วนกรรมวิธีที่ได้รับอุณหภูมิต่ำทำให้ต้นสตรอว์เบอร์รีมีจำนวนดอกต่อต้นเฉลี่ย 9.22 ดอก ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีที่ได้รับสภาพอุณหภูมิตามธรรมชาติ โดยทำให้พืชมีจำนวนดอกต่อต้นเฉลี่ยเพียง 5.53 ดอก (Figure 3B) เนื่องจากการได้รับอุณหภูมิต่ำหรือสภาพวันสั้นทำให้ต้นสตรอว์เบอร์รีเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อบริเวณ vegetative primordia ไปเป็น floral primordia มากขึ้น ซึ่งส่งผลช่วยเพิ่มการออกดอกของต้นสตรอว์เบอร์รี (Butare, 2020) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ledesma *et al.* (2008) ที่พบว่าในสภาพวันสั้นต้นสตรอว์เบอร์รีที่ได้รับอุณหภูมิต่ำมีจำนวนการดอกต่อต้นมากกว่าต้นสตรอว์เบอร์รีที่ได้รับอุณหภูมิสูง

3.ปริมาณฮอร์โมนภายในพืช

3.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ zeatin และzeatin riboside

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ zeatin และ zeatin riboside เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และสอดคล้องกับการเกิดดอกของต้นสตรอว์เบอร์รี โดยพบว่า ในวันที่ 0

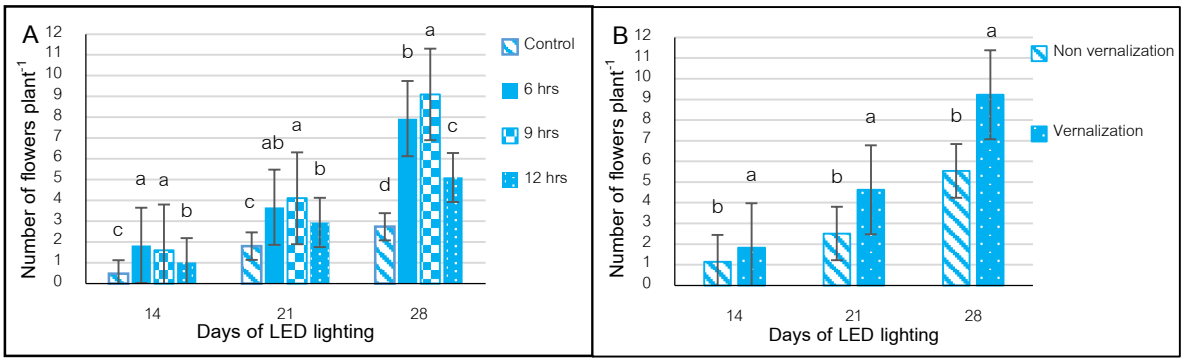


Figure 3. Number of flowers of strawberry as affected by LED lighting period (A) and temperature conditions (B)

ของทุกกรรมวิธี ปริมาณ zeatin อยู่ในระดับต่ำมากและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากนั้นช่วงเวลาระหว่างวันที่ 14 ถึง 28 พบว่า การให้แสงแอลอีดี 6 ชั่วโมง และ 9 ชั่วโมง ทำให้พืชมีปริมาณ zeatin เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เริ่มตั้งแต่ในวันที่ 14 และเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 28 โดยทั้งสองกรรมวิธีทำให้พืชมีปริมาณ zeatin สูงเฉลี่ย 4.21 และ 4.16 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Figure 4A) การชักนำตาดอกด้วยอุณหภูมิต่ำทำให้ปริมาณ zeatin เพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 21 ถึง 28 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการไม่ได้ชักนำตาดอกด้วยอุณหภูมิต่ำ (Figure 4B) เช่นเดียวกันกับปริมาณ zeatin riboside พบว่า ในวันที่ 0 ของทุกกรรมวิธีอยู่ในระดับต่ำมากและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากนั้นช่วงเวลาระหว่างวันที่ 14 ถึง 28 พบว่า การให้แสงแอลอีดี 6 ชั่วโมง และ 9 ชั่วโมง ทำให้พืชมีปริมาณ zeatin riboside เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจากการให้แสง 28 วัน ทั้งสองกรรมวิธีทำให้พืชมีปริมาณ zeatin riboside สูงเฉลี่ย 3.53 และ 3.50 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Figure 4C)

ส่วนกรรมวิธีชักนำตาดอกด้วยอุณหภูมิต่ำทำให้ปริมาณ zeatin riboside เพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 21 ถึง 28 ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีที่ไม่ได้ชักนำตาดอกก่อน (Figure 4D) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Hegele *et al.* (2004) ที่พบว่า ไซโตไคนินมีปริมาณต่ำในระยะที่พืชมีการเจริญทางกิ่งก้านเมื่อเทียบกับระยะการเกิดดอก โดยสารในกลุ่มไซโตไคนินมีผลในการกระตุ้นการสร้างตาดอกและชักนำการเกิดดอกเทียบกับระยะการเกิดดอก โดยสารในกลุ่มไซโตไคนินมีผลในการกระตุ้นการสร้างตาดอกและชักนำการเกิดดอก อีกทั้งมีรายงานในลำไย พบว่า การให้อุณหภูมิต่ำเพื่อชักนำตาดอกทำให้ไซโตไคนินในรูปไอโซเพนทีนิลอะดีนินและไอโซเพนทีนิลอะดีโนซีน (N^6(Δ^2 - isopentenyl) adenine/ N^6 (Δ^2 - isopentenyl) adenosine; iP/iPA) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ Z/Zr ส่งจากใบผ่านทางท่อลำเลียงอาหาร (phloem) ไปยังยอดเพื่อกระตุ้นการสร้างตาดอก (Sringarm *et al.*, 2009)

3.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิน (IAA)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ IAA มีการลดลงต่อเนื่องในทุกกรรมวิธี ตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 28 จากการให้แสง โดยพบว่า ในวันที่ 0 ปริมาณ IAA ของทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากนั้นในวันที่ 14 ถึงวันที่ 28 จากการให้แสง พบว่า กรรมวิธีการให้แสงธรรมชาติ (กรรมวิธีควบคุม) และกรรมวิธีที่ให้แสงแอลอีดี 12 ชั่วโมง มีแนวโน้มทำให้พืชมีปริมาณ IAA มากกว่าทุกกรรมวิธี โดยในวันที่ 28 จากการให้แสงทั้งสองกรรมวิธีทำให้พืชมีปริมาณ IAA เท่ากับ 16.29 และ 15.22 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Figure 4E) ซึ่งมากกว่าทุกกรรมวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ส่วนปัจจัยการชักนำตาดอกด้วยอุณหภูมิต่ำตั้งแต่วันที่ 0 ถึงวันที่ 28 พืชมีปริมาณ IAA ลดลงต่อเนื่องในทุกกรรมวิธี โดยในวันที่ 14 ถึงวันที่ 28 พบว่า กรรมวิธี

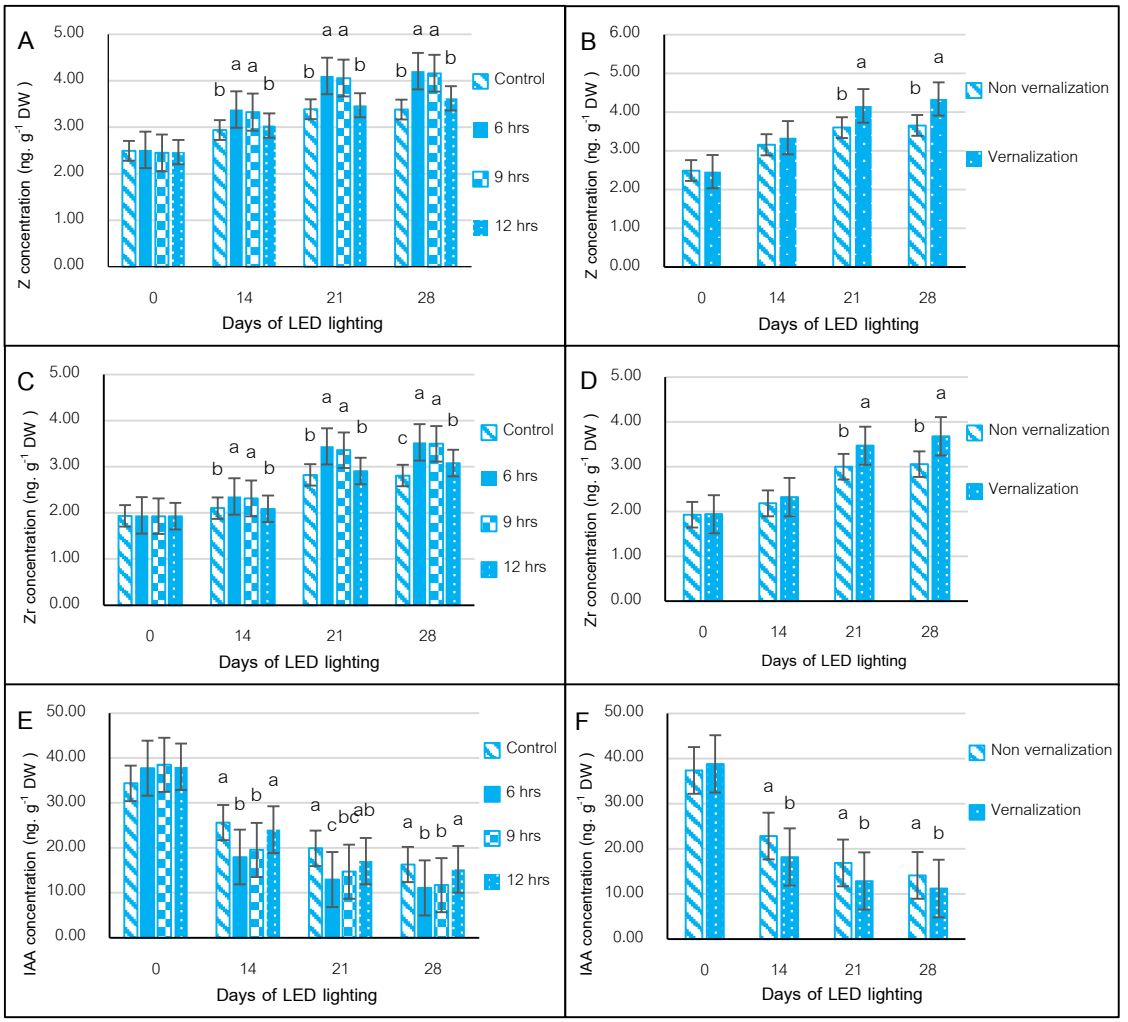


Figure 4. Changes of zeatin, zeatin riboside and IAA concentration in shoot as affected by LED lighting period (A, C, E) and temperature conditions (B, D, F)

ที่ได้รับสภาพอุณหภูมิตามธรรมชาติมีแนวโน้มทำให้พืชมีปริมาณ IAA มากกว่าพืชที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ ในวันที่ 28 พืชที่ได้รับสภาพอุณหภูมิตามธรรมชาติมีปริมาณ IAA เท่ากับ 14.11 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งมากกว่ากรรมวิธีที่พืชได้รับอุณหภูมิต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่มีปริมาณ IAA เพียง 11.22 นาโนกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง จากการรายงานของ Potchanasin *et al.* (2009) พบว่า การให้อุณหภูมิต่ำทำให้ระดับ IAA ลดลงอย่างต่อเนื่องในยอดของต้นลำไย นอกจากนี้ในพืชกลุ่มวันสั้นพบว่า เกิดการออกดอกได้ดีเมื่อบริเวณยอดสะสมฮอร์โมนไซโตไคนิน คือ สารกลุ่ม zeatin และ zeatin riboside จำนวนมาก ในขณะที่กลุ่มออกซินหากมีปริมาณสูงมีผลยับยั้งการออกดอกได้ดีเมื่อบริเวณยอดสะสมฮอร์โมนไซโตไคนิน คือ สารกลุ่ม zeatin และ zeatin riboside จำนวนมาก ในขณะที่กลุ่มออกซินหากมีปริมาณสูงมีผลยับยั้งการออกดอก (Kang *et al.*, 2017) เนื่องจากในช่วงตาดอกกำลังพัฒนาไซโตไคนินมีปริมาณสูงขึ้นส่วนออกซินและระดับ DNA methylation ลดลง ส่งผลให้การทำงานของ miR 167 เพิ่มขึ้น มีผลไปควบคุมการแสดงออกของปัจจัยการตอบสนองของออกซิน

(auxin response factors) ARF 6 และ ARF 8 ลดลง (Campos-Rivero *et al*., 2017)

สรุป

การให้แสงแอลอีดีที่ระยะเวลาต่าง ๆ ไม่มีผลต่อระยะเวลาเกิดไหลและความกว้างใบของต้นไหลสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 แต่การให้แสงแอลอีดีระยะเวลานาน 15 ชั่วโมง และ 18 ชั่วโมง ทำให้จำนวนเส้นไหล จำนวนต้นไหล จำนวนก้านใบ และค่าคลอโรฟิลล์ในใบของต้นไหลมากกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ นอกจากนี้ การให้แสงแอลอีดี 9 ชั่วโมง และการกระตุ้นตาดอกด้วยอุณหภูมิต่ำ 4 องศาเซลเซียส (vernalization) เป็นเวลา 2 สัปดาห์ สามารถชักนำการออกดอกและการพัฒนาของดอกของต้นสตรอว์เบอร์รีได้ โดยกรรมวิธีดังกล่าวสามารถลดการสังเคราะห์และสะสมออกซิน (IAA) ในขณะที่ส่งเสริมการสร้างและสะสมไซโตไคนิน (zeatin และ zeatin riboside) ในยอด ซึ่งสามารถชักนำการออกดอกและการพัฒนาดอกของต้นสตรอว์เบอร์รีให้เกิดเร็วขึ้นและมีจำนวนดอกมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนต้นสตรอว์เบอร์รีพันธุ์พระราชทาน 80 สำหรับใช้ในงานทดลอง ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

Agar, G., M. Turker, P. Battal and M.E. Erez. 2006. Phytohormone levels in germinating seeds of *Zea mays* L. exposed to selenium and aflatoxins. Ecotoxicology 15(5): 443-450.

Boonyakiat, D. 2020. Plant Physiology. Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai. 292 p. (in Thai)

Boonyakiat, D. and P. Smitamana. 2003. Strawberry. Final Report. National Science and Technology Development Agency, Bangkok. 48 p. (in Thai)

Bradford, E., J.F. Hancock and R.M. Warner. 2010. Interactions of temperature and photoperiod determine expression of repeat flowering in strawberry. Journal of the American Society for Horticultural Science 135(2): 102-107.

Butare, D. 2020. Effect of temperature on plant growth and yield in ever-bearing strawberry *Fragaria x ananassa,* cv. Florentina. M.S. Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. 34 p.

Campos-Rivero, G., P. Osorio-Montalvo, R. Sánchez-Borges, R. Us-Camas, F. Duarte-Aké and C. De-la-Peña. 2017. Plant hormone signaling in flowering: An epigenetic point of view. Journal of Plant Physiology 214: 16-27.

Choi, H.G., B.Y. Moon and N.J. Kang. 2015. Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. Scientia Horticulturae 189: 22-31.

Durner, E.F. 2015. Photoperiod affects floral ontogeny in strawberry *(Fragaria* × *ananassa* Duch.*)* plug plants. Scientia Horticulturae 194: 154-159.

Fan, X., J. Zang, Z. Xu, S. Guo, X. Jiao, X. Liu and Y. Gao. 2013. Effects of different light quality on growth, chlorophyll concentration and chlorophyll biosynthesis precursors of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris* L.). Acta Physiologiae Plantarum 35(9): 2721-2726.

Gallace, N. and P. Lieten. 2021. Winter manipulation of photoperiod and chill to enhance the perpetual flowering nature of 'Soprano'. Acta Horticulturae 1309: 333-340.

Guttridge, C.G. 1959. Evidence for a flower inhibitor and vegetative growth promoter in the strawberry. Annals of Botany 23(90): 351-360.

Hanke, M.V., H. Flachowsky, A. Peil and C. Hattasch. 2007. No flower no fruit-Genetic potentials to trigger flowering in fruit trees. Genes, Genomes and Genomics 1(1): 1-20.

Hegele,M., D. Naphrom, P. Manochai, A. Chattrakul, P. Sruamsiri and F. Bangerth. 2004. Effect of leaf age on the response of flower induction and related hormonal changes in longan trees after $KClO_3$ treatment. Acta Horticulturae 653: 41-49.

Hung, C.D., C.-H. Hong, H.-B. Jung, S.-K. Kim, N.V. Ket, M.-W. Nam, D.-H. Choi and H.-I. Lee. 2015. Growth and morphogenesis of encapsulated strawberry shoot tips under mixed LEDs. Scientia Horticulturae 194: 194-200.

Ikram, S., K.M. Qureshi and N. Khalid. 2016. Flowering and fruiting responses of strawberry to growth hormone and chilling grown under tunnel conditions. Pakistan Journal of Agricultural Sciences 53(4): 911-916.

Kang, J., Y. Lee, H. Sakakibara and E. Martinoia. 2017. Opinion cytokinin transporters: Go and stop in signaling. Trends in Plant Science 22(6): 455-461.

Ledesma, N.A., M. Nakata and N. Sugiyama. 2008. Effect of high temperature stress on the reproductive growth of strawberry cvs. 'Nyoho' and 'Toyonoka'. Scientia Horticulturae 116: 186-193.

National Science and Technology Development Agency. 2018. Plant factory. (Online). Available: https://www.nstda.or.th/home/performance_post/plant-factory (March 15, 2022). (in Thai)

Pipattanawong, N. 2000. Strawberry: New Economic Crops. Kasetsart University Press, Bangkok. 158 p. (in Thai)

Pipattanawong, N., W. Tacha, B. Thongyean and S. Tiwong. 2011. Strawberry cv. Pharachatan 80. Kasetsart Extension Journal 56(1): 22-28. (in Thai)

Potchanasin, P., K. Sringarm, P. Sruamsiri and K.F. Bangerth. 2009. Floral induction (FI) in longan (*Dimocarpus longan*, Lour.) trees: Part I. Low temperature and potassium chlorate effects on FI and hormonal changes exerted in terminal buds and sub-apical tissue. Scientia Horticulturae 122: 288-294.

Rivero, R., S.F. Remberg, O.M. Heide and A. Sønsteby. 2021. Environmental regulation of dormancy, flowering and runnering in two genetically distant everbearing strawberry cultivars. Scientia Horticulturae 290: 110515, doi: 10.1016/j.scienta.2021.110515.

Samuoliené, G., A. Brazaityté, A. UrbonaviČiÛté, G. Šabajevienė and P. Duchovskis. 2010. The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries. Zemdirbyste-Agriculture 97(2): 99-104.

Senger, H. 1982. The effect of blue light on plants and microorganisms. Photochemistry and Photobiology 35(6): 911-920.

Shen, J., Q. Xiao, H. Qiu, C. Chen and H. Chen. 2016. Integrative effect of drought and low temperature on litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) floral initiation revealed by dynamic genome-wide transcriptome analysis. Scientific Reports 6: 32005, doi: 10.1038/srep32005.

Sønsteby, A., K.A. Solhaug and O.M. Heide. 2016. Functional growth analysis of 'Sonata' strawberry plants grown under controlled temperature and daylength conditions. Scientia Horticulturae 211: 26-33.

Sønsteby, A., T.L. Woznicki and O.M. Heide. 2021. Effects of runner removal and partial defoliation on the growth and yield performance of 'Favori' everbearing strawberry plants. Horticulturae 7(8): 215, doi: 10.3390/horticulturae7080215.

Sringarm, K., P. Potchanasin, D. Naphrom and K.F. Bangerth. 2009. Floral induction (FI) in longan (*Dimocrapus longan,* Lour.) trees – The possible participation of endogenous hormones: II. Low temperature and potassium chlorate effects on hormone concentrations in and their export out of leaves. Scientia Horticulturae 122: 295-300.

Susawaengsup, C., M. Rayanakorn, S. Wongpornchai and S. Wangkarn. 2011. Investigation of plant hormone level changes in shoot tips of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) treated with potassium chlorate by liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. Talanta 85(2): 897-905.