ผลของกรดซาลิไซลิกต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและผลผลิตของพริกหัวเรือที่ปลูกในโรงเรือน
Effects of Salicylic acid on Photosynthesis and Yield of 'Hua-ruea' Chili (*Capsicum annuum* L.) Grown under Net House

สุดใจ ล้อเจริญ[1*] ปริยานุช จุลกะ[1/] ยิ่งยง ไพสุขศานติวัฒนา[1/]
Sudchai Locharoen[1/] Pariyanuj Chulaka[1/] Yingyong Paisooksantiwattana[1/]

Received 15 Jul 2019/Revised 17 Sept 2019/Accepted 11 Oct 2019

ABSTRACT

The main factor of climate inside net house that affects plant growth is high temperature. High temperature reduces photosynthesis and yield of chili. Exogenous application of salicylic acid (SA) can reduce plant stress grown under high temperature condition. The objective of this experiment was to study on physiological changes of chili grown in net house and to evaluate the effects of SA application on photosynthetic rate and yield of chili. The experiment was carried out from January to May, 2017. The SA concentrations of 10^{-5} or 10^{-7} M were foliar sprayed on leaves of chili cv. Hua-ruea during reproductive growth stage, and compared photosynthetic rate and yield with those sprayed with water (control). Results showed that photosynthesis and total yield of control plants were lower than SA treated plants when grown under high temperature condition. SA concentrations of 10^{-5} or 10^{-7} M increased stomatal conductance (gs), net photosynthetic rate (Pn), intercellular CO_2 concentration (Ci) and transpiration rate (E). SA treated plants gave higher total yield and value of Fv/Fm than those of control. In conclusion SA concentrations of 10^{-5} or 10^{-7} M increased the photosynthesis and total yield of chili grown under high temperature in the net house.

Key words: gas exchange, stomatal conductance, chlorophyll fluorescence, heat stress, vapor pressure deficit (VPD)

[1/] ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900
Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

* Corresponding author: locharoens@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจัยหลักของสภาพอากาศภายในโรงเรือนที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ อุณหภูมิสูง ซึ่งอุณหภูมิสูงส่งผลให้พริกมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและผลผลิตลดลง การให้สารละลายกรดซาลิไซลิกจากภายนอก สามารถลดสภาพเครียดให้กับพืชเมื่ออยู่ภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพริกที่ปลูกในโรงเรือน และประเมินผลของการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและผลผลิตของพริก ทำการทดลองในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2560 โดยให้สารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 10^{-5} หรือ 10^{-7} โมลาร์ ทางใบกับพริกในระยะเจริญพันธุ์เปรียบเทียบการสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณผลผลิตของพริกที่ได้รับการพ่นด้วยน้ำเพียงอย่างเดียว (ชุดควบคุม) ผลการทดลอง พบว่า พริกชุดควบคุมที่ปลูกในโรงเรือนมีการสังเคราะห์ด้วยแสงและผลผลิตต่ำกว่าพริกที่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิก การให้สารละลายกรดซาลิไซลิกทั้งสองความเข้มข้นสามารถเพิ่มค่านำไหลปากใบ (g_s) อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (P_n) ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างระหว่างเซลล์ (C_i) อัตราการคายน้ำ (E) เพิ่มปริมาณผลผลิตและรักษาระดับประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดได้สูงกว่าพริกในชุดควบคุม จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าสารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 10^{-5} หรือ 10^{-7} โมลาร์ มีผลทำให้พริกที่ปลูกภายในโรงเรือน มีการสังเคราะห์ด้วยแสงและได้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ: อัตราแลกเปลี่ยนก๊าซ, ค่านำไหลปากใบ คลอโรฟิลล์ ฟลูออเรสเซนต์, สภาพเครียดร้อน, แรงดึงคายระเหยน้ำ

บทนำ

การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเนื่องจากภาวะโลกร้อนในช่วงเวลาอนาคตของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553–2642 ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies พบว่าจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในที่ราบภาคกลาง ในเขตลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาและภาคอีสานตอนล่าง ระยะเวลาที่จะเกิดอากาศร้อนในรอบปีก็จะยืดยาวขึ้นเกือบทุกพื้นที่ของประเทศขณะที่ปริมาณน้ำฝนรายปีมีความผันผวนในช่วงต้น แต่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (ศุภกร และคณะ 2552) และสถิติสภาพภูมิอากาศในปี 2559 แสดงถึงอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีของประเทศไทยสูงกว่าค่าปกติ 1°ซ. และสูงกว่าในปี 2558 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2559) สถานการณ์ดังกล่าวกระทบต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมีเพื่อสร้างอาหารจากโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นคาร์โบไฮเดรต ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชทั้งระยะเจริญทางกิ่งก้านและระยะเจริญพันธุ์ แต่มีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิสูงเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในกลุ่มพืช C3 (C3 photosynthetic pathway) ในสภาพอุณหภูมิสูงและแสงแดดจัด การสังเคราะห์ด้วยแสงอาจถูกยับยั้ง (photoinhibition) ซึ่งจะทำให้ผลผลิตของพืช C3 ถูกกระทบอย่างหนัก (อภิชาติ, 2557)

พริกจัดอยู่ในกลุ่มพืช C3 สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี การปลูกพริกในโรงเรือน (net house) มักประสบปัญหาความเข้มแสง (photosynthetic photon ux; PPF) ต่ำกว่าการปลูกในแปลงเปิด แต่อุณหภูมิอากาศ (air temperature; T_{air}) และแรงดึงคายระเหยน้ำของอากาศ (vapor pressure deficit; VPD) สูงกว่า ซึ่ง T_{air} และ VPD จะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม PPF ที่เพิ่มขึ้น (Rodney *et al*., 2013) โดยสภาพอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพริกที่ปลูกในสภาพแปลงควรมี PPF สูงสุด 1200 mol $m^{-2}s^{-1}$ (สุทิน, 2547) แต่หาก PPF มีค่า 200 μmol $m^{-2}s^{-1}$ เป็นสาเหตุทำให้ดอกพริกร่วง เนื่องจากปริมาณน้ำตาลที่สะสมในดอกลดลง (Aloni *et al*., 2001) T_{air} ตอนกลางวันควรอยู่ระหว่าง 16-32°ซ. (Bosland and Votava, 2000)

หากสภาพอากาศมี T_{air} สูงกว่า 33°ซ. จะส่งผลให้การสังเคราะห์ด้วยแสงของพริกลดลง (Espinosa-Calderon *et al*., 2012) และในระยะที่ดอกพริกได้รับการผสมเกสรแล้ว หากได้รับ T_{air} ระหว่าง 33-36°ซ. ส่งผลให้การติดผลของพริก (Erickson and Markhart, 2001) น้ำหนักผลและคุณภาพของเมล็ดพริกลดลง (Pagamas and Nawata, 2008) VPD ที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ และการเจริญเติบโตของพริกอยู่ระหว่าง 0.3-2.1kPa ซึ่งสภาพอากาศที่มีค่า VPD ที่ต่ำจะส่งเสริมการเปิดปากใบได้มาก ทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดได้มาก และการเจริญเติบโตของต้นพริกมีมากกว่าต้นพริกที่ปลูกภายใต้สภาพอากาศที่มีค่า VPD ที่สูง (Zabri *et al*., 1997; Erickson and Markhart, 2001)

กรดซาลิไซลิกเป็นสารประกอบฟีโนลิกซึ่งพืชสามารถสังเคราะห์ได้เองจาก Shikimic acid pathway (Khan *et al*., 2015) เพื่อทำหน้าที่เป็นสื่อสัญญาณไปกระตุ้นให้ระบบภูมิคุ้มกันของพืชทำงาน (Systemic Acquired Resistance, SAR) โดยพืชจะสร้าง pathogenesis related protein (PRs) เมื่อมีเชื้อโรคเข้ารบกวน หรือเมื่อพืชได้รับสภาพเครียดจากสิ่งไม่มีชีวิต เช่น แสงแดด ความร้อน ความเค็ม มีผลทำให้พืชสร้างสารต้านอนุมูลอิสระชนิดที่เป็นเอนไซม์สูงขึ้น (Horvath *et al*., 2007) ส่งเสริมให้กิจกรรมทางสรีรวิทยาและชีวเคมีในพืชดีขึ้น อย่างไรก็ตามกรดซาลิไซลิกได้ถูกนำมาใช้เพื่อลดสภาพเครียดของพืชที่เกิดจากสิ่งไม่มีชีวิต โดยการให้จากภายนอกซึ่งสามารถกระตุ้นให้พืชมีผลผลิตเพิ่มขึ้นดังรายงานของ Yildirim and Dursun (2009) ที่มีการให้สารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 0.5 mM กับมะเขือเทศที่ปลูกภายใต้โรงเรือนในฤดูหนาวโดยการพ่นทางใบ ทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นมากกว่ามะเขือเทศที่ไม่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิก และการให้สารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 10^{-6}M ทั้งสิ้น 3 ครั้ง ทุก 2 สัปดาห์ กับพริกที่ปลูกในโรงเรือน และได้รับสภาพเครียดจากความเค็ม ทำให้มีปริมาณผลผลิตมากกว่าพริกที่ไม่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิก (Elwan and El-Hamahmy, 2009) นอกจากนี้ พบว่า สารละลายกรดซาลิไซลิกมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช จากการให้สารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 1.5 mM โดยพ่นทางใบให้กับพริก สามารถกระตุ้นเม็ดสีที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในใบได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีนอยด์ มีปริมาณเพิ่มขึ้นได้เมื่อได้รับสภาพเครียดจากรังสียูวีเอ และยูวีบี (Mahdavian *et al*., 2008) และจากการศึกษาของ Shi *et al*., (2006) การพ่นสารละลายกรดซาลิซาลิกที่ความเข้มข้น 1 mM ทางใบให้กับแตงกวาที่ได้รับอุณหภูมิสูง 40°ซ. เป็นเวลา 36 ชม. สามารถกระตุ้นให้ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (F_v/F_m) สูงขึ้นมากกว่าต้นแตงกวาที่ไม่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิก และต้นข้าวสาลีที่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 0.3 mM ไปแล้ว 3 วัน เมื่อได้รับสภาพเครียดร้อน พบว่า มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (net photosynthetic rate) สูงกว่าต้นข้าวสาลีที่ไม่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิก (Wang *et al*., 2014) จากรายงานดังกล่าวจะพบว่า การตอบสนองของพืชต่อการใช้สารละลายกรดซาลิไซลิก ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายกรดซาลิไซลิกและชนิดพืช ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพริกขี้หนูที่ปลูกในโรงเรือนที่มีอุณหภูมิสูงและประเมินผลของการให้สารละลายกรดซาลิไซลิกทางใบต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและผลผลิตของพริกขี้หนู

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเตรียมต้นพริก สถานที่ การบันทึกข้อมูลสภาพอากาศในการทดลองและการวางแผนการทดลอง

เตรียมต้นกล้าและย้ายปลูกพริกขี้หนูในเดือนพฤศจิกายน 2559 ถึงเดือนมกราคม 2560 โดยเพาะเมล็ดพริกขี้หนูผลใหญ่ พันธุ์หัวเรือ ศก. 13 (*Capsicum annuum* L. 'Hue-Rue SK.13')

ลงถาดเพาะขนาด 72 หลุม ใช้พีทมอสเป็นวัสดุปลูก เมื่อต้นกล้าอายุ 45 วันหลังเพาะเมล็ด ย้ายปลูกลงกระถางขนาด 8 นิ้ว (ปริมาตร 4 ลิตร) ซึ่งมีวัสดุปลูกเป็นกาบมะพร้าวสับผสมขุยมะพร้าว อัตราส่วน 2:3 โดยปริมาตร โดยให้ 1 กระถางมี 1 ต้น และจัดวางกระถางให้มีระยะห่างระหว่างกระถาง 30 ซม. ระยะห่างระหว่างแถว 60 ซม. ให้สารละลายธาตุอาหารสูตร Resh ดัดแปลงซึ่งนิยมใช้กับการปลูกพืชวงศ์พริกมะเขือ (Dittakit and Thongket, 2014) ด้วยระบบน้ำหยดโดยให้สารละลายปริมาตร 500 มล./ต้น ในระยะแรกจนกระทั่งต้นพริกเริ่มมีการแตกกิ่งชั้นแรก และมีดอกเกิดที่ข้อแรกจึงปรับปริมาตรสารละลายที่ให้เป็น 1,000-1,500 มล./ต้น/วัน

พริกทุกต้นถูกปลูกเลี้ยงภายใต้โรงเรือนตาข่ายหลังคาพลาสติก ณ แปลงทดลองปลูกพืชทดลอง ภาควิชาพืชสวนคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ ทำการทดลองระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม 2560 มีการติดตั้งเครื่องมือบันทึกสภาพอากาศภายในโรงเรือน (Watchdog 1450, Spectrum technologies Inc., USA) สูงจากพื้นดิน 2.5 ม. ตั้งเวลาให้เก็บข้อมูลทุก 15 นาที ตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยบันทึกข้อมูล ความเข้มแสง (photosynthetic photon ux; PPF) อุณหภูมิอากาศ (T_{air}) และความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (RH) เพื่อนำมาคำนวณค่าแรงดึงคายระเหยน้ำของอากาศ (VPD) จากสมการของ Murray (1967) ดังนี้

$$VPD = ((100-RH)/100) \times SVP$$

$$SVP = (610.7 \times 107.5T_{air}/(237.3+T_{air})) / 1000$$

เมื่อ RH= ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่บันทึกได้จากเครื่องเก็บข้อมูลสภาพอากาศ (%)

SVP= ค่า saturated vapor pressure (kPa)

T_{air} = ค่าอุณหภูมิอากาศที่บันทึกได้จากเครื่องเก็บข้อมูลสภาพอากาศ (°ซ.)

วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อคสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) ประกอบด้วย 3 กรรมวิธี คือ

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิก (ชุดควบคุม) ได้รับเพียงน้ำกลั่นในปริมาตร 50 มล./ต้น

กรรมวิธีที่ 2 ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 10^{-5}M ($SA10^{-5}$) ปริมาตร 50 มล./ต้น

กรรมวิธีที่ 3 ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 10^{-7}M ($SA10^{-7}$) ปริมาตร มล./ต้น

แต่ละกรรมวิธีมี 5 ซ้ำ ๆ ละ 1 ต้น นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT)

ตัดแต่งต้นพริกที่มีการเติบโตแตกกิ่งถึงชั้นที่ 6 เด็ดดอกที่บานแล้วที่เกิดตามข้อด้านล่างทิ้ง และให้สารละลายกรดซาลิไซลิก (Unileb, Ajax Finechem Pty Ltd.) ตามกรรมวิธีต่าง ๆ ทางใบกับต้นพริก ทุก 7 วัน ให้ซ้ำ 3 ครั้ง โดยเริ่มให้เมื่อต้นพริกมีอายุ 102 109 และ 116 วันหลังเพาะเมล็ด

2. ศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสง และประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด

ศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพริกเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 11:00 – 13:00 น. หลังจากได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิกตามกรรมวิธีต่าง ๆ แล้ว 3 วัน ที่ใบพริกแผ่ขยายเต็มที่ในตำแหน่งข้อใบที่ 4 (นับจากยอดลงมา) จำนวน 1 ใบต่อซ้ำ และการเก็บข้อมูลทุกครั้งใช้ใบตำแหน่งเดิม เมื่อต้นพริกมีอายุ 105 112 และ 119 วันหลังเพาะเมล็ด โดยบันทึกข้อมูลดังนี้

2.1 การสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพริก เก็บข้อมูลค่านำไหลปากใบ (stomatal conductance; g_s)

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (net photosyntheticrate; P_n) ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างระหว่างเซลล์ (intercellular CO_2 concentration; C_i) และอัตราการคายน้ำ (transpiration rate; E) โดยใช้เครื่องวัดอัตราแลกเปลี่ยนก๊าซระบบเปิด (Model LI-6400XT, LI-COR Inc., USA) และใช้หัววัดแบบกำหนดความเข้มแสงได้ (LED red/blue light source) ซึ่งปรับตั้งค่าความเข้มแสงไว้ที่ 1,200 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$ และควบคุมระดับความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ที่ 400 $\mu molCO_2mol^{-1}$ ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 60% อัตราเร็วของอากาศที่ไหลผ่านใบ (flow rate) เท่ากับ 500 $\mu mols^{-1}$ และบันทึกค่าเมื่อสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนรวม (total CV) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5

2.2 ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด เก็บข้อมูลหลังจากวัดการสังเคราะห์ด้วยแสงแล้วที่ใบเดียวกัน ด้วยเครื่องวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (Pocket PEA chlorophyll fluorimeter, Hansatech instruments Ltd., England) โดยการหนีบใบด้วย Dark leaf clip นาน 30 นาที ก่อนการวัดค่า maximum quantum efficiency of photosystem II (F_v/F_m) ซึ่งค่านี้เป็นสัดส่วนของปริมาณโฟตอนที่นำไปใช้ในกระบวนการ photochemistry เทียบกับปริมาณโฟตอนแสงทั้งหมดที่พืชดูดกลืนไว้ (สุนทรีและคณะ, 2544, Bjorkman and Demmig, 1987) โดยคำนวณมาจาก

$$F_v/F_m = F_m - F_0 / F_m$$

เมื่อ F_o = ค่าฟลูออเรสเซนต์ต่ำสุดที่เกิดขึ้นขณะที่ใบพืชอยู่ในสภาพมืดเมื่อให้ความเข้มแสงต่ำ (minimum uorescence)

F_m = ค่าฟลูออเรสเซนต์สูงสุดที่วัดได้ขณะที่ใบพืชอยู่ในสภาพมืดเมื่อให้ความเข้มแสงสูงเต็มที่ (maximum fluorescence)

3. การบันทึกข้อมูลผลผลิตพริก

ทำการเก็บเกี่ยวผลพริกที่มีสีแดงทั้งผล สุ่มผลพริก 10 ผล/ซ้ำ ของแต่ละกรรมวิธี เพื่อบันทึกข้อมูลดังนี้

3.1 จำนวนผลต่อต้น โดยเก็บเกี่ยวเมื่อผลมีสีแดงทั้งผลหลังได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิกตามกรรมวิธีต่าง ๆ จนกระทั่งต้นพริกมีอายุ 165 วันหลังเพาะเมล็ด

3.2 ขนาดผล โดยวัดความกว้างส่วนที่กว้างที่สุดของผล และความยาวผลตั้งแต่ขั้วผลถึงปลายผล

3.3 ชั่งน้ำหนักผลสด

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. สภาพอากาศในโรงเรือนการทดลอง และประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด

เมื่อพิจารณาจากค่า PPF ในโรงเรือนตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่า มักมีค่าไม่ต่ำกว่า 450 mol PPF $m^{-2}s^{-1}$ซึ่งไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตของพริก แต่ T_{air} และ VPD มีค่าสูงกว่า 32°ซ. และ 2.1 kPa ตามลำดับ (Figure 1) ซึ่งมากกว่าค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพริกภายใต้สภาพแวดล้อมดังกล่าว อาจส่งผลให้การสังเคราะห์ด้วยแสง และปริมาณผลผลิตของพริกลดต่ำลง ดังรายงานของ Espino-Calderon *et al.,* (2012) ที่พบว่า เมื่อสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 33°ซ. การสังเคราะห์ด้วยแสงของใบพริกจะเริ่มมีปัญหา และสภาพอากาศในวันที่เก็บข้อมูลช่วงเวลา 11:00 ถึง 13:00 น. ทั้ง 3 ครั้ง พบว่าเมื่อ PPF เพิ่มขึ้น ทำให้ T_{air} และ VPD เพิ่มสูงขึ้น โดยในวันที่ 7 มีนาคม 2560 มีค่า $PPFT_{air}$ และ VPD_{air} ต่ำที่สุด และวันที่ 20 มีนาคม 2560 มีค่าดังกล่าวสูงที่สุด (Table 1)

2. การสังเคราะห์ด้วยแสง และประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของใบพริกเมื่อได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิกความเข้มข้นต่าง ๆ

2.1 ผลของสารละลายกรดซาลิไซลิกต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง

เมื่อต้นพริกมีอายุ 105 112 และ 119 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่า ใบพริกชุดควบคุมมีค่า g_s และ P_n ต่ำกว่า ใบพริกที่ได้รับสารละลาย

Table 1 Mean of photosynthetic photon flux (PPF), air temperature (T_{air}) and vapor pressure deficit (VPD_{air}) from 11 am to 1 pm on the day of photosynthesis measurements

Date[1/]	PPF (mol $m^{-2}s^{-1}$)	T_{air} (C)	VPD_{air} (kPa)
March 7, 2017	568.6	35.6	3.1
March 13, 2017	570.5	36.7	3.1
March 20, 2017	647.8	37.2	3.4

[1/] On March 7, 2017, the chili plants age are 105 days after sowing
On March 13, 2017, the chili plants age are 112 days after sowing
On March 20, 2017, the chili plant ages are 119 days after sowing

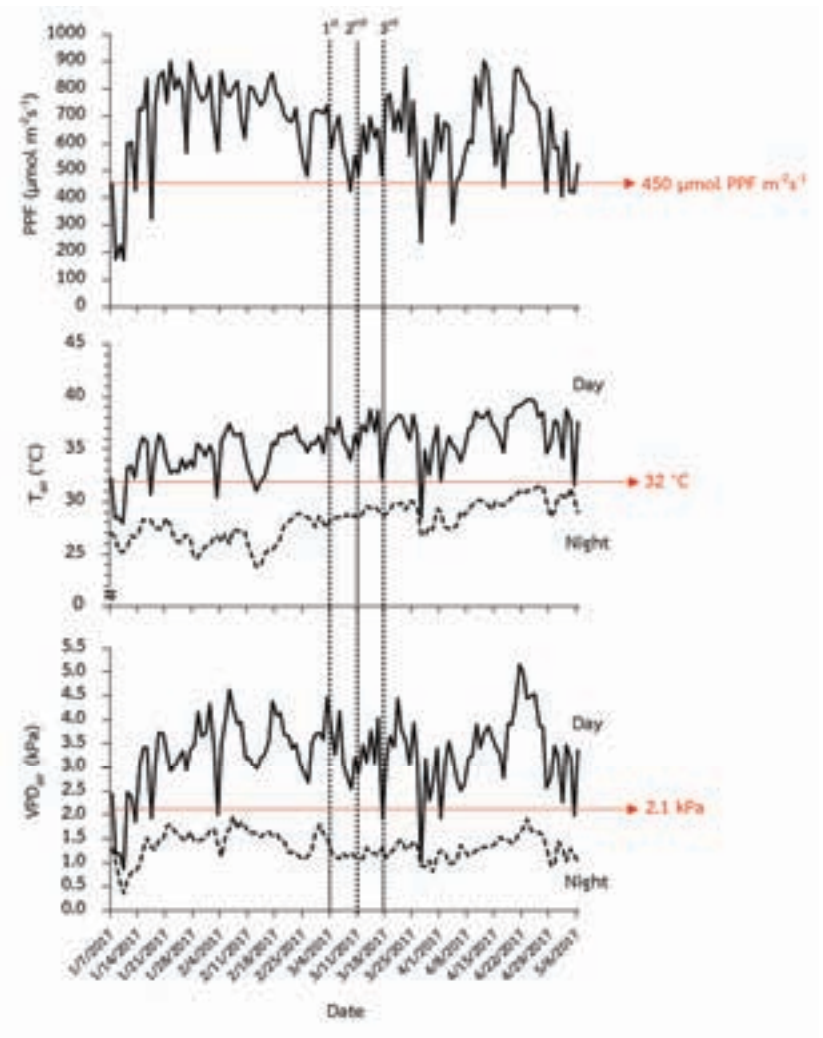

Figure 1 Photosynthetic photon flux (PPF), air temperature (T_{air}) and vapor pressure deficit (VPD) throughout the experiment inside net house. 1st = first time of salicylic acid application. 2nd = second time of salicylic acid application. 3rd = third time of salicylic acid application

กรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 10^{-5}และ 10^{-7}M โดยต้นพริกอายุ 105 วันหลังเพาะเมล็ด ในทุกกรรมวิธีมีค่า g_s และ P_n สูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ ต้นพริกอายุ 112 และ 119 วันหลังเพาะเมล็ด ตามลำดับ (Table 2) การใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 10^{-5}และ 10^{-7} M พ่นทางใบให้กับพริกสามารถเพิ่มค่า g_s ให้มากขึ้นในทุกอายุต้นพริก เนื่องจากสารละลายกรดซาลิไซลิกช่วยรักษาเสถียรภาพของเอนไซม์ Rubisco ที่เป็นเอนไซม์สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และส่งผลให้ปากใบเปิดได้นาน จึงรักษาระดับค่า g_sไว้ได้ (Khan *et al*., 2003) ซึ่ง g_s เป็นปัจจัยหลักของพืชที่ควบคุมการสังเคราะห์ด้วยแสงและส่งผลต่อ P_n หาก g_s มีค่าที่สูงแสดงว่า ปากใบเปิดได้กว้าง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถแพร่เข้าสู่ปากใบได้มาก ทำให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นได้มาก (สุนทรีย์และคณะ, 2544)

ค่า C_i ของใบพริก เมื่อต้นพริกมีอายุ 105 112 และ 119 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่า ใบพริกชุดควบคุมมีค่า C_iต่ำกว่า ใบพริกที่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 10^{-5}และ 10^{-7} M ซึ่งต้นพริกอายุ 105 วันหลังเพาะเมล็ด ในทุกกรรมวิธีมีค่า C_i สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ต้นพริกอายุ 112 และ 119 วันหลังเพาะเมล็ด (Table 3) แต่เมื่อพิจารณาค่า C_i ในใบพริกชุดควบคุมของต้นพริกอายุ 119 วันหลังเพาะเมล็ดมีค่า C_i มากกว่าต้นพริกอายุ 112 วันหลังเพาะเมล็ดแต่ P_n ต่ำกว่า (Table 2) แสดงให้เห็นว่าใบพริกในชุดควบคุมมีความสามารถในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง จึงมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่องว่างภายในใบสูง (สุทิน, 2547; Khan *et al*., 2003)

ค่า E ของใบพริก เมื่อต้นพริกอายุ 105 112 และ 119 วันหลังเพาะเมล็ด พบว่า ใบพริกชุดควบคุมมีค่า E ต่ำกว่า ใบพริกที่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 10^{-5} และ 10^{-7} M (Table 3) ค่า E มีความสัมพันธ์กับการเปิดปากใบ โดยพืชที่มีค่า E มาก เกิดจากปากใบเปิดได้มาก จึงคายน้ำได้มากด้วยเช่นกัน ซึ่งการคายน้ำเป็นการสูญเสียน้ำของพืช โดยการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวเป็นก๊าซ เป็นการช่วยให้พืชระบายความร้อน และลดความร้อนภายในเซลล์ (สุนทรีย์และคณะ, 2544)

Table 2 Mean of stomatal conductance (g_s) and net photosynthetic rate (P_n) in chili leaves after 3 days of application with different concentrations of salicylic acid solution

Treatment	g_s (mol H_2O $m^{-2}s^{-1}$)			P_n (mol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$)		
	105 DAS	112 DAS	119 DAS	105 DAS	112 DAS	119 DAS
Control	0.33 b	0.23 b	0.17 b	18.42 b	16.31 b	11.47 b
$SA10^{-5}$	0.49 a	0.39 a	0.32 a	21.92 a	20.29 a	18.37 a
$SA10^{-7}$	0.48 a	0.39 a	0.39 a	21.87 a	20.50 a	19.08 a
C.V. (%)	16.84	25.77	23.37	8.86	10.94	11.59

Each value was the mean of five replicates. Mean in the same column followed by a common letters are not significantly different at 5% level by DMRT. Control, $SA10^{-5}$ and $SA10^{-7}$ treatments are chili leaves applied with salicylic acid concentrations of 0, 10^{-5} and 10^{-7} M, respectively. 105, 112 and 119 DAS (days after sowing) are the age of chili plant at 105, 112 and 119 days after sowing on March 7, 13 and 20, 2017 respectively.

Table 3 Mean of intercellular CO_2 concentration (Ci) and transpiration rate (E) in chili leaves after 3 days of application with different concentrations of salicylic acid solution

Treatment	C_i (mol mol^{-1})			E (mmol H_2O $m^{-2}s^{-1}$)		
	105 DAS	112 DAS	119 DAS	105 DAS	112 DAS	119 DAS
Control	256.40 b	236.79 b	243.33 b	7.26 b	6.18 b	4.92 b
$SA10^{-5}$	277.24 a	262.75 a	256.07 a	9.81 a	8.29 a	6.68 a
$SA10^{-7}$	278.26 a	262.51 a	260.06 a	9.24 a	8.16 a	7.56 a
C.V. (%)	4.14	6.14	1.77	14.75	17.99	18.90

Each value was the mean of five replicates. Mean in the same column followed by a common letters are not significantly different at 5% level by DMRT. Control, SA10-5 and SA10-7 treatments are chili leaves applied with salicylic acid concentrations of 0, 10-5 and 10-7 M, respectively. 105, 112 and 119 DAS (days after sowing) are the age of chili plant at 105, 112 and 119 days after sowing on March 7, 13 and 20, 2017 respectively.

นอกจากนี้ พบว่า ทุกพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นพริกอายุ 105 วันหลังเพาะเมล็ด มีค่าสูงกว่าต้นพริกอายุ 112 และ 119 วันหลังเพาะเมล็ด เนื่องมาจากสภาพอากาศที่มี T_{air} ที่แตกต่างกัน โดยวันที่ 7 มีนาคม 2560 ซึ่งตรงกับระยะที่ต้นพริกมีอายุ 105 วันหลังเพาะเมล็ด มี T_{air} ต่ำที่สุด ที่ 35.6°ซ. (Table 1) ซึ่งสันนิษฐานได้ว่า ที่อุณหภูมิอากาศระดับนี้ส่งเสริมการทำงานของกรดซาลิไซลิก จึงทำให้ทุกพารามิเตอร์ของการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงกว่าในวันที่ 13 มีนาคม 2560 ซึ่งตรงกับระยะที่ต้นพริกมีอายุ 112 วันหลังเพาะเมล็ด และ 20 มีนาคม 2560 ซึ่งตรงกับระยะที่ต้นพริกมีอายุ 119 วันหลังเพาะเมล็ด มี T_{air} ที่ 36.7°ซ. และ 37.2°ซ.

VPD ในทุกวันที่เก็บข้อมูล มีค่าสูงกว่า 3 kPa (Table 1) ซึ่งเป็นอีกปัจจัยในการส่งผลให้ค่า g_s ของพริกทั้งในกรรมวิธีที่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิกและชุดควบคุม มีการเปิดปากใบได้มากน้อยต่างกันในแต่ละวัน โดยพบว่า ในวันที่ 20 มีนาคม 2560 ซึ่งตรงกับระยะที่พริกมีอายุ 119 วันหลังเพาะเมล็ด มีค่า g_s ต่ำที่สุด เป็นผลมาจากในวันนี้มีค่า VPD สูงที่สุด ใบพริกจึงปิดปากใบให้แคบลงเพื่อลดการคายน้ำ ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงลดต่ำลงด้วยเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ สุทิน (2547) ที่พบว่าการเพิ่มขึ้นของ VPD ในรอบวัน มีอิทธิพลต่อการเปิดปิดปากใบของพริก เมื่อ VPD สูงมากขึ้นใบพริกจะปิดปากใบแคบลงเพื่อลดการคายน้ำ อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่า การใช้สารละลายกรดซาลิไซลิกทำให้ใบพริกสามารถรักษาระดับการเปิดปากใบได้ดีกว่าใบพริกในชุดควบคุม

2.2 ผลของสารละลายกรดซาลิไซลิกต่อประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด

ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (F_v/F_m) ของใบพริก เมื่อต้นพริกมีอายุ 105 112 และ 119 วันหลังเพาะเมล็ดมีค่าใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างกรรมวิธี โดยใบพริกในชุดควบคุม แสดงค่า F_v/F_m ต่ำกว่า 0.80 ในทุกวันที่เก็บข้อมูล และพบว่า เมื่อต้นพริกอายุ 119 วันหลังเพาะเมล็ด ค่า F_v/F_mของทุกกรรมวิธีต่ำกว่า 0.80 (Table 4) ค่า F_v/F_m เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชที่ไม่เกี่ยวข้องกับปากใบ แต่สามารถเป็นตัวชี้วัดถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงสอง (photosystem II) ในพืชปกติที่ไม่ได้รับภาวะเครียดใด ๆ จะแสดงค่า F_v/F_m อยู่ระหว่าง 0.80-0.83 (Bjorkman and Demmig, 1987) แต่หากพืชแสดงค่าดังกล่าวน้อยกว่า 0.80 แสดงว่า พืชอยู่ในสภาพเครียด และประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงสองลดต่ำลง หรืออาจเกิดการยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสง (photoinhibition) จากการทดลองพบว่า เมื่อต้นพริกอายุ 105 และ 112 วันหลังเพาะเมล็ด ใบพริกได้รับ

สารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 10^{-5} และ 10^{-7}M มีค่า F_v/F_m เท่ากับ 0.80 แสดงให้เห็นว่าพืชไม่มีสภาพเครียด และการทำงานของระบบแสงสองเป็นปกติ แต่ใบพริกในชุดควบคุมมีค่า F_v/F_m ต่ำกว่า 0.80 จึงสันนิษฐานได้ว่าพริกในชุดควบคุมมีความเสียหายเกิดขึ้นในระบบแสงสอง และประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงลดลง (Krause and Weis, 1991) และพบว่าต้นพริกอายุ 119 วันหลังเพาะเมล็ด ในทุกกรรมวิธีมีค่า F_v/F_m ต่ำกว่า 0.80 แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองพบว่า สารละลายกรดซาลิไซลิกสามารถรักษาระดับของค่า F_v/F_m ให้สูงกว่าใบพริกในชุดควบคุม ซึ่งชี้ให้เห็นว่ากรดซาลิไซลิกมีประสิทธิภาพในการบรรเทาสภาพเครียดให้กับพริก

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาสภาพอากาศของวันที่เก็บข้อมูล ในวันที่ 7 มีนาคม 2560 ซึ่งตรงกับระยะที่ต้นพริกมีอายุ 105 วันหลังเพาะเมล็ด และ 13 มีนาคม 2560 ตรงกับระยะที่ต้นพริกมีอายุ 112 วันหลังเพาะเมล็ด มี T_{air} และ VPD ต่ำกว่าวันที่ 20 มีนาคม 2560 ซึ่งตรงกับระยะที่ต้นพริกมีอายุ 119 วันหลังเพาะเมล็ด จึงอาจเป็นปัจจัยให้การแสดงออกของค่า F_v/F_m ของต้นพริกอายุ 105 และ 112 วันหลังเพาะเมล็ด ทั้งในใบพริกที่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิก และใบพริกในชุดควบคุมสูงกว่าต้นพริกอายุ 119 วันหลังเพาะเมล็ด

3. ผลผลิตพริกเมื่อได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิกความเข้มข้นต่าง ๆ

ความกว้างผล (Figure 2A) ความยาวผล (Figure 2B) ของพริกในชุดควบคุมและที่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าน้ำหนักผล (Figure 2C) ของพริกในชุดควบคุมมากกว่าพริกที่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิกในทุกความเข้มข้น ซึ่งอาจเป็นเพราะมีจำนวนผลต่อต้นน้อยกว่า จากรายงานของ Marcelis and Hofman-eifer (1997) แสดงถึงการแข่งขันของผลพริกในลำดับข้อต่าง ๆ ของต้น เมื่อช่วยผสมเกสร ผลพริกในลำดับข้อที่สูงขึ้นไป (นับจากด้านล่าง) จะมีขนาด และน้ำหนักแห้งมากขึ้น เมื่อผลพริกในลำดับข้อที่ต่ำกว่าหลุดร่วงไปและพริกที่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิกทุกความเข้มข้นมีจำนวนผลต่อต้น (Figure 2D) มากกว่าพริกในชุดควบคุมเนื่องจากใบพริกที่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิกสามารถดำเนินการสังเคราะห์ด้วยแสง และสามารถขนส่งคาร์บอนในรูปของน้ำตาลซูโครสไปยังส่วนที่ไม่มีการสังเคราะห์ด้วยแสงหรือเกิดการสังเคราะห์ด้วยแสงได้น้อย เช่น ผล ดอก ราก (Osorio *et al.,* 2014) ทั้งนี้สามารถสันนิษฐานได้จากสภาพอากาศภายในโรงเรือนในระยะเวลาที่ต้นพริกให้ดอก และติดผล (4 มีนาคม 2560 ถึง 10 เมษายน 2560) มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยไม่สูงเกินกว่า 37°ซ. (Figure 1) จึงเป็นไปได้ว่าการสังเคราะห์ด้วยแสงของทุกกรรมวิธีเป็นเช่นเดียวกับการเก็บข้อมูลในวันที่ 7 และ 13 มีนาคม 2560 และสอดคล้องกับรายงานของ Javanmardi and Akbari (2016) ที่ให้สารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 2.2mM ทางใบกับมะเขือเทศในระยะติดผล พบว่า มีผลผลิตรวมมากกว่ามะเขือเทศที่ไม่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิกถึง 1.26 เท่า

Table 4 Mean of maximum efficiency of photosystem II (F_v/F_m) in chili leaves after 3 days applied with different concentrations of salicylic acid solution

Treatment	F_v/F_m		
	105 DAS	112 DAS	119 DAS
Control	0.79^{ns}	0.77^{ns}	0.75^{ns}
$SA10^{-5}$	0.80	0.80	0.78
$SA10^{-7}$	0.80	0.80	0.79
C.V. (%)	1.87	2.03	7.76

Each value was the mean of five replicates. ns = not significantly different at 5% level by DMRT Control, $SA10^{-5}$ and $SA10^{-7}$ treatments are chili leaves applied with salicylic acid concentrations of 0, 10^{-5} and 10^{-7} M, respectively. 105, 112 and 119 DAS (days after sowing) are the age of chili plant at 105, 112 and 119 days after sowing on March 7, 13 and 20, 2017 respectively

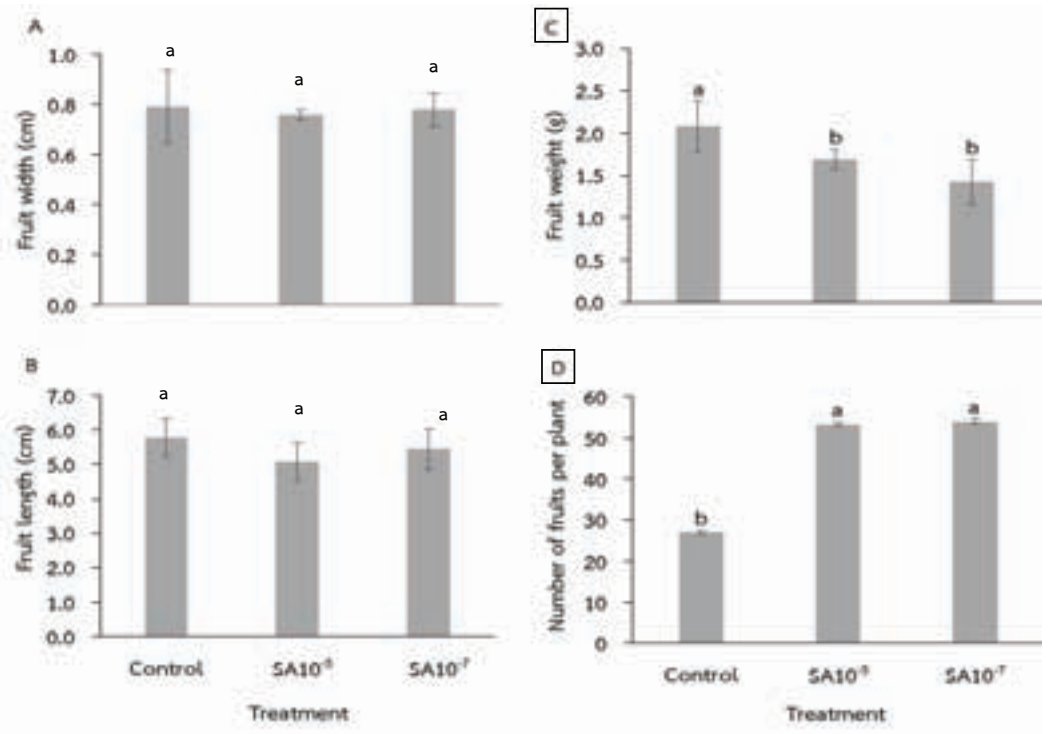

Figure 2 Fruit width (A), fruit length (B), fruit weight (C) and number of fruits per plant (D) of chili. Each value was mean of ve replicates. Vertical bar show mean S.D. Mean values with a letter in common are not significantly different at 5% level by DMRT. Control, $SA10^{-5}$ and $SA10^{-7}$ treatments are chili leaves applied with salicylic acid concentrations of 0, 10^{-5} and 10^{-7} M, respectively

สรุปผลการทดลอง

สภาพอากาศในโรงเรือนที่มีอุณหภูมิสูงส่งผลให้การสังเคราะห์ด้วยแสงและผลผลิตพริกในชุดควบคุมต่ำกว่าพริกที่ได้รับสารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 10^{-5} และ 10^{-7}M สารละลายกรดซาลิไซลิกสามารถกระตุ้นให้การสังเคราะห์ด้วยแสงของพริกสูงขึ้น รักษาระดับของประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดได้สูงกว่าพริกชุดควบคุมและมีจำนวนผลต่อต้นมากกว่าพริกชุดควบคุมที่ปลูกในสภาพแวดล้อมเดียวกัน การให้สารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 10^{-7} M มีความเหมาะสมในการให้กับพริกที่ปลูกในสภาพอุณหภูมิสูง เนื่องจากมีแนวโน้มในการส่งเสริมการสังเคราะห์ด้วยแสงและประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดในพริกที่สูงกว่าการให้สารละลายกรดซาลิไซลิกที่ความเข้มข้น 10^{-5} M อย่างไรก็ตามควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในการให้สารละลายกรดซาลิไซลิกโดยการเพิ่มจำนวนครั้งในการให้สารละลายซึ่งอาจส่งผลให้พริกมีการสังเคราะห์ด้วยแสง และผลผลิตเพิ่มขึ้นมากกว่าการให้เพียง 3 ครั้ง

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในการให้ทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการจัดสรรทุนการศึกษาระดับปริญญาเอก และศูนย์ความมั่งคงทางอาหาร (Food Security Center, FSC) ในการอนุเคราะห์เครื่อง Pocket PEA

เอกสารอ้างอิง

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2559. *สรุปสภาวะอากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2559.* แหล่งข้อมูล: http://www.tmd.go.th, สืบค้น: 17 มิถุนายน 2562.

ศุภกร ชินวรรโณ, วิริยะ เหลืองอร่าม, เฉลิมรัฐ แสงมณี และ จุฑาทิพย์ ธนกิตติ์เมธาวุฒิ. 2552. *รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ชุดโครงการ "การจำลองสภาพภูมิอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียง".* สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), กรุงเทพฯ. 517 หน้า.

สุทิน หิรัญอ่อน. 2547.สรีรวิทยาการเจริญเติบโตของพริกขี้หนูสายพันธุ์พ่อแม่ (83-168 และพริกช่อมข.) ลูกผสมตรง และลูกผสมสลับ. *วิทยานิพนธ์ปริญญาโท.* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 85 หน้า.

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์, คัทลียา ฉัตรเที่ยง, ธาดา ชัยสีหา, จิตรฤทัย ชูมาก, สุทิน หิรัญอ่อน, และภูริพงศ์ ดำรงวุฒิ. 2544. *อัตราสังเคราะห์แสงสุทธิ และคายน้ำในรอบวันของใบส้มเขียวหวาน*, น. 62-81. ใน *รายงานโครงการพัฒนาวิชาการข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาของส้มเขียวหวาน.* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

อภิชาติ วรรณวิจิตร. 2557. *โครงการสถานภาพงานวิจัยด้านเทคโนโลยีชีวภาพกับการปรับปรุงระบบการสังเคราะห์แสงภายใต้สภาวะโลกร้อน.* แหล่งที่มา: http://dna.kps.ku.ac.th, สืบค้น: 30 ธันวาคม 2557.

Aloni, B., M. Peet, M. Pharr and L. Karni. 2001. The effect of high temperature and high atmospheric CO_2on carbohydrate changes in bell pepper (*Capsicum annuum*) pollen in relation to its germination. *Physiol. Plant.*112 (4): 505-512.

Bjorkman, O. and B. Demmig. 1987. Photon yield of O_2 evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plant of diverse origins. *Planta.* 170(4): 489-504.

Bosland, P.W. and E.J. Votava. 2000. *Pepper: Vegetable and Spice Capsicums*. CABI Publishing, London.204 pages.

Dittakit, P. and T. Thongket. 2014. Increased nutrient solution concentration during early fruit development stages enhances pungency and phenylalanine ammonia-lyase activity in hot chili (*Capsicum annuum* L.). *AJABS* 9(1): 72-77.

Elwan, M.W.M. and M.A.M. El-Hamahmy. 2009. Improved productivity and quality associated with salicylic acid application in greenhouse pepper. *Sci.Hort.*122(4): 521-526.

Erickson, A.N. and A.H. Markhart. 2001. Flower production, fruit set, and physiology of bell pepper during elevated temperature and vapor pressure deficit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*126(6):697-702.

Espinosa-Calderon, A., I. Torres-Pacheco,J.A. Padilla-Medina, R.M. Chavaro-Ortiz, B. Xoconoste-Cazares, L. Gomez-Silva,R. Ruiz-Medrano and R.G. Guevara-Gonzalez. 2012. Relationship between leaf temperature and photosynthesis carbon in *Capsicum annuum* L. in controlled climates. *J. Sci. Ind. Res.* 71:528-533.

Horvath, E., G. Szalai and T. Janda. 2007. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signalling. *J. Plant Growth Regul.* 26(3): 290-300.

Javanmardi, J. and N. Akbari. 2016. Salicylic acid at different plant growth stages affects secondary metabolites and phisico-chemical parameters of

greenhouse tomato. *Adv. Hort. Sci.*30(3): 151-157.

Khan, M.I.R., M. Fatma, T.S. Per, N.A. Anjum and N. A. Khan. 2015. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Front. Plant Sci.* 6(462): 1-17.

Khan, W., B. Prithiviraj, and D.I. Smith. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *J. Plant Physiol.* 160(5): 485-492.

Krause, G.H. and E. Weis. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol.* 42: 313-349.

Marcelis, L.F.M. and L.R.B. Hofman-eijer. 1997. Effects of seed number on competition and dominance among fruits in *Capsicum annuum* L. *Ann. Botany* 79(6): 687-693.

Mahdavian, K., Kalantari, K.M., Ghorbanli,M. and M. Torkzade. 2008. The effects of salicylic acid on pigment contents in ultraviolet radiation stressed pepper plants. *Biol.Plantarum* 52(1): 170-172.

Murray, F.W. 1967. On the computation of saturation vapor pressure. *J. Appl. Meteorol. Clim.* 6:203-204.

Osorio, S., Y.G. Ruan, and A. R. Fernie. 2014. An update on soruce to sink carbon partitioning in tomato. *Front. Plant Sci.* Available at: https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00516 Accessed: June 13, 2018.

Pagamas, P. and E. Nawata. 2008. Sensitive stages of fruit and seed development of chili pepper (*Capsicum annuum* L. var. Shishito) exposed to high-temperature stress. *Sci. Hort.* 117 (1): 21-25.

Rodney, E.W., M.W. Stuart, B.Z. Chris and C.H. Thomas. 2013. Increased vapor pressure deficit due to higher temperature leads to greater transpiration and faster mortality during drought for tree seedlings common to the forest-grassland ecotone. *New Phytol.* 200(2): 366-374.

Shi, Q., Z. Bao, Z. Zhu, Q. Ying and Q. Qian. 2006. Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. *Plant Growth Regul.* 48:127–135

Wang, Y., H. Zhang, P. Hou. X. Su, P. Zhao and H. Zhao. 2014. Folia-applied salicylic acid alleviates heat and high light stress induced photoinhibition in wheat (*Triticum aestivum*) during the grain filling stage by modulating the *psb*A gene transcription and antioxidant defense. *Plant Growth Regul.* 73:289-297.

Yildirim, E. and A. Dursun. 2009. Effect of foliar salicylic acid applications on plant growth and yield of tomato under greenhouse conditions. *Acta Hortic.* 807(2): 395-400.

Zabri, A.W., S.W. Burrage and K.S. Chartzoulakis. 1997. The effects of vapor pressure deficit (VPD) and enrichment with CO_2 on water relations, photosynthesis, stomatal conductance and plant growth of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) grown by NFT. *Acta Hortic.* 449(2): 561-567.