



ผลของสาร 7, 8-dihydro-8alpha-20-hydroxyecdysone

ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของแตงโม

EFFECTS OF 7, 8-DIHYDRO-8ALPHA-20-HYDROXYECDYSONE
ON PLANT GROWTH AND CROP QUALITY OF WATERMELON

ศรุตพงศ์ มารยาท

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2564

ผลของสาร 7, 8-dihydro-8alpha-20-hydroxyecdysone

ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของแตงโม



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

EFFECTS OF 7, 8-DIHYDRO-8ALPHA-20-HYDROXYECDYSONE
ON PLANT GROWTH AND CROP QUALITY OF WATERMELON



SARUTPONG MARAYART

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Biology)

Faculty of Science, Srinakharinwirot University

2021

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญาานิพนธ์

เรื่อง

ผลของสาร 7, 8-dihydro-8alpha-20-hydroxyecdysone

ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของแตงโม

ของ

ศรุตพงศ์ มารยาท

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชมาภรณ์ แสงงาม) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอุษา คำสุข)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิวาพร ลงยันต์)

ชื่อเรื่อง	ผลของสาร 7, 8-dihydro-8alpha-20-hydroxyecdysone ต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพผลผลิตของแตงโม
ผู้วิจัย	ศรุตพงศ์ มารยาท
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2564
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขุมภรณ์ แสงงาม

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสาร 7, 8-dihydro-8 alpha -20-hydroxyecdysone (DHECD) ต่อการเจริญเติบโต การตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการ คุณภาพผลผลิต และปริมาณสารอาหารของแตงโม โดยแบ่งสาร DHECD ออกเป็น 3 ระดับความเข้มข้น คือ 0 (ชุดควบคุม), 0.1 และ 1 ไมโครโมลาร์ (μM) วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 5 ซ้ำ (4 ต้น/ซ้ำ) พันธุ์แตงโมพันธุ์ขอนแก่น พันธ์ออกดอกเพศเมีย 50 เบอร์เซ็นต์ ของต้นแตงโมทั้งหมด เก็บตัวอย่างต้นแตงโมทุก ๆ 7 วัน รวมทั้งหมด 42 วัน และพันธุ์แตงโม DHECD ซ้ำทุก ๆ 14 วัน เพื่อวัดการเติบโต ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง การสะสมปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ ผลการทดลองพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM สามารถส่งเสริมการเติบโต กระตุ้นประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง การสะสมปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง รวมทั้งการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นจึงนำสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มาทำการทดลองในตอนต่อไป โดยพันธุ์แตงโม DHECD ให้กับต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พันธ์ และพันธุ์กินรี ในวันที่ 42 ของการทดลองในต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พันธ์ ผลการทดลองพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มน้ำหนักสดส่วนต้นและน้ำหนักแห้งส่วนต้น คิดเป็น 1.20 และ 1.30 เท่า ตามลำดับ เพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ คิดเป็น 1.15, 1.13, 1.15 และ 1.10 เท่า ตามลำดับ และเพิ่มการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ คิดเป็น 1.17 เท่า นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มน้ำหนัก และเส้นรอบวงผลของผลแตงโม คิดเป็น 1.16 และ 1.04 เท่า ตามลำดับ ส่วนผลการทดลองในต้นแตงโมพันธุ์กินรีพบว่า สาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มน้ำหนักสดส่วนต้น และน้ำหนักแห้งส่วนต้น คิดเป็น 1.25 และ 1.23 เท่า ตามลำดับ และเพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม แคโรทีนอยด์ และการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ คิดเป็น 1.43, 1.32, 1.40, 1.18 และ 1.13 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มน้ำหนัก และเส้นรอบวงผลของผลแตงโม คิดเป็น 1.15 และ 1.07 เท่า ตามลำดับ ดังนั้นการใช้สาร DHECD จึงสามารถเพิ่มคุณภาพผลผลิตของแตงโมได้ ซึ่งเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของแตงโมต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ : แตงโม, การเติบโต, การตอบสนองทางสรีรวิทยา, คุณภาพผลผลิต, บราสซิโนสเตรอยด์

Title	EFFECTS OF 7, 8-DIHYDRO-8ALPHA-20-HYDROXYECDYSONE ON PLANT GROWTH AND CROP QUALITY OF WATERMELON
Author	SARUTPONG MARAYART
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2021
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Sukhumaporn Saeng-ngam

The purpose of this research is to study the effects of 7, 8-dihydro-8 alpha -20-hydroxyecdysone (DHECD) on the growth, some physiological responses, crop quality and the nutritional profiles of watermelon. The DHECD concentration was divided into three levels, including 0 (control), 0.1 and 1 micromolar (μM). The experimental design used Completely Randomized Design (CRD) with five replications (four plants/replication). The watermelon 'Sonya Plus' had a 50% anthesis stage of pistillate flower and was sprayed with DHECD treatment. The samples were collected every 7 days for a total of 42 days and repeatedly sprayed with DHECD every 14 days. The growth, photosynthetic efficiency, photosynthetic pigments and total soluble sugar content of the watermelon were measured. The results showed that 1 μM of DHECD increased growth, photosynthetic efficiency, photosynthetic pigments and total soluble sugar. Therefore, 1 μM of DHECD was used in the next experiment. The watermelon 'Sonya Plus' and 'Kinaree' were sprayed with DHECD. After 42 days of treatment, the results showed that 'Sonya Plus' DHECD increased the shoot fresh weight and shoot dry weight by 1.20 and 1.30 times, chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, total chlorophyll and carotenoid content by 1.15, 1.13, 1.15 and 1.10 times, respectively and increased total soluble sugar content by 1.17 times. Moreover, DHECD increased the fruit fresh weight and fruit circumference at 1.16 and 1.04 times, respectively. With regard to the 'Kinaree', the results showed that the 1 μM of DHECD increased shoot fresh weight and shoot dry weight at 1.25 and 1.23 times, respectively and also increased chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, total chlorophyll carotenoids and total soluble sugar content at 1.43, 1.32, 1.40, 1.18 and 1.13 times, respectively. Moreover, DHECD also increased fruit fresh weight and fruit circumference by 1.15 and 1.07 times, respectively. Therefore, DHECD application can increase fruit quality and is one choice for increasing the economic value of watermelons in the future.

Keyword : Watermelon, Growth, Physiological response, Crop quality, Brassinosteroid

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณภาคีวิชาชีพวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่มอบสถานที่ทำการวิจัยในครั้งนี้ และผศ. ดร. สุขุมภรณ์ แสงงาม อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทสำหรับการช่วยเหลือ ทั้งคำแนะนำ เงินสนับสนุนการวิจัย ตลอดจนกำลังใจตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

ศรุตพงศ์ มารยาท



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	3
ความสำคัญของการศึกษา.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยครั้งนี้.....	4
ขอบเขตการศึกษา.....	4
สมมติฐานในการวิจัย.....	5
สถานที่ทำการวิจัย.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
1. บราสสิโนสเตียรอยด์ (brassinosteroid; BRs).....	6
1.1 การสังเคราะห์บราสสิโนสเตียรอยด์ในพืช.....	8
1.2 การส่งสัญญาณของบราสสิโนสเตียรอยด์.....	10
1.3 ผลทางสรีรวิทยาของบราสสิโนสเตียรอยด์.....	12
1.4 การประยุกต์บราสสิโนสเตียรอยด์ไปใช้ในทางการเกษตร.....	13
2. สาร 7, 8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD).....	14

3. แดงโม	15
3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของแดงโม	15
3.2 พันธุ์ของแดงโม	16
3.3 การปลูกและดูแลต้นแดงโม	16
3.4 สารทางพฤกษเคมีที่สำคัญในแดงโม	18
3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มผลผลิตและการเจริญเติบโตของแดงโม	19
3.6 แดงโมพันธุ์ขอนแก่น พัสและกินรี	20
4. สรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและสารชีวเคมีที่สำคัญบางชนิด	21
4.1 ปริมาณรงควัตถุในใบ	21
4.2 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์	26
4.3 สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง	29
4.4 ปฏิกริยาไลพิดเปอร์ออกซิเดชัน	30
4.5 สารต้านอนุมูลอิสระ	33
4.6 สารประกอบฟีนอลิก	34
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	39
วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี	40
วิธีการ	41
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	87
สรุปผลการวิจัย	87
อภิปรายผลการศึกษาวิจัย	87
ข้อเสนอแนะ	102
บรรณานุกรม	103

ภาคผนวก..... 114

ประวัติผู้เขียน..... 125



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1	น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ (\pm ค่า SE) , ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$).....	115
ตาราง 2	ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ (\pm ค่า SE) , ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$).....	115
ตาราง 3	ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ (\pm ค่า SE) , ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)	116
ตาราง 4	ปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ (\pm ค่า SE) , ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$).....	117
ตาราง 5	น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ และ กินรี ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μ M (\pm ค่า SE) , เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$).....	118
ตาราง 6	ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ และ กินรี ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μ M (\pm ค่า SE) , เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$).....	118
ตาราง 7	ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ และ กินรี ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μ M (\pm ค่า SE) , เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)	119
ตาราง 8	ปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ และ กินรี ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μ M (\pm ค่า SE) , เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$).....	120

ตาราง 9 การเกิดปฏิกิริยาลิปิดเพอร์ออกซิเดชันของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ และ กินรี ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM (\pm ค่า SE), เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$).....	121
ตาราง 10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ และ กินรี ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM (\pm ค่า SE), เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)	122
ตาราง 11 น้ำหนักสดผล เส้นรอบวงผล และค่าความหวานของผลแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ และ กินรี ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM (\pm ค่า SE), เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)	123
ตาราง 12 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณไลโคปีนของผลแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ และ กินรี ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM (\pm ค่า SE), เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$).....	124

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 ความหลากหลายของโครงสร้างของบราสสิโนสเตียรอยด์	7
ภาพประกอบ 2 ขั้นตอนลำดับการเกิด sterol specific pathway	8
ภาพประกอบ 3 ขั้นตอนลำดับการเกิด BR-specific pathway	9
ภาพประกอบ 4 กลไกการสังเคราะห์ brassinolide ในพืช	9
ภาพประกอบ 5 โครงสร้างของ BRI1 ทั้ง 3 บริเวณ และตำแหน่ง BRs binding site	10
ภาพประกอบ 6 การส่งสัญญาณของ BR	12
ภาพประกอบ 7 ขั้นตอนการสังเคราะห์ DHECD ด้วยปฏิกิริยา hydrogenation	14
ภาพประกอบ 8 ระยะเวลาพัฒนาของผลแตงโม 4 ระยะ	17
ภาพประกอบ 9 โครงสร้างทางเคมีของไลโคปีน	19
ภาพประกอบ 10 ลักษณะรูปร่างผลของแตงโมพันธุ์ขอนแก่น (ก) และกินรี (ข)	20
ภาพประกอบ 11 โครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์ เอ และ บี	22
ภาพประกอบ 12 โครงสร้างทางเคมีของ β -carotene (ก) และ zeaxanthin (ข)	23
ภาพประกอบ 13 กระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์	24
ภาพประกอบ 14 กระบวนการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์	25
ภาพประกอบ 15 หลักการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง	27
ภาพประกอบ 16 ปฏิกิริยาการของน้ำตาลและสารละลายแอนโทแรน	30
ภาพประกอบ 17 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาไลพิดเปอร์ออกซิเดชัน	32
ภาพประกอบ 18 ปฏิกิริยาการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของสารต้านอนุมูลอิสระ	34
ภาพประกอบ 19 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มต่าง ๆ	36
ภาพประกอบ 20 กระบวนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก	37

ภาพประกอบ 21 นำหนักสดส่วนต้น \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของ
 ต้นแดงโมพันธุชอญ่า พลัด หลังได้รับการพันด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ, ตัวอักษร
 ภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) 52

ภาพประกอบ 22 นำหนักแห้งส่วนต้น \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE)
 ของต้นแดงโมพันธุชอญ่า พลัด หลังได้รับการพันด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ, ,
 ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$... 52

ภาพประกอบ 23 ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Fv/Fm) \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน
 (standard error; SE) ของต้นแดงโมพันธุชอญ่า พลัด หลังได้รับการพันด้วยสาร DHECD ความ
 เข้มข้นต่าง ๆ, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
 ($p < 0.05$) 53

ภาพประกอบ 24 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE)
 ของต้นแดงโมพันธุชอญ่า พลัด หลังได้รับการพันด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ, ,
 ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$).. 54

ภาพประกอบ 25 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE)
 ของต้นแดงโมสายพันธุชอญ่า พลัด หลังได้รับการพันด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ,
 ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$).. 56

ภาพประกอบ 26 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error;
 SE) ของต้นแดงโมพันธุชอญ่า พลัด หลังได้รับการพันด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ,
 ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$).. 57

ภาพประกอบ 27 ปริมาณแคโรทีนอยด์ \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE)
 ของต้นแดงโมพันธุชอญ่า พลัด หลังได้รับการพันด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ, ตัวอักษร
 ภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) 59

ภาพประกอบ 28 ปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard
 error; SE) ของต้นแดงโมพันธุชอญ่า พลัด หลังได้รับการพันด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น ต่าง
 ๆ, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)
 60

- ภาพประกอบ 29 น้ำหนักสดส่วนยอด \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นเต่างโมพันธุขอนแก่น พลับ และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) 62
- ภาพประกอบ 30 น้ำหนักแห้งส่วนยอด \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นเต่างโมพันธุขอนแก่น พลับ และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) 62
- ภาพประกอบ 31 ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Fv/Fm) \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นเต่างโมพันธุขอนแก่น พลับ และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)..... 63
- ภาพประกอบ 32 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นเต่างโมพันธุขอนแก่น พลับ และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE), เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)..... 64
- ภาพประกอบ 33 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของต้นเต่างโมพันธุขอนแก่น พลับ และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE), เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)..... 65
- ภาพประกอบ 34 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของต้นเต่างโมพันธุขอนแก่น พลับ และกินรี \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)..... 67
- ภาพประกอบ 35 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นเต่างโมพันธุขอนแก่น พลับ และกินรี \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) 68
- ภาพประกอบ 36 ปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นเต่างโมพันธุขอนแก่น พลับ และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)..... 69

ภาพประกอบ 37 ปริมาณ MDA ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้น
 แดงโมพันธุชอญ่า พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ ,
 เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05) 71

ภาพประกอบ 38 ปริมาณ H₂O₂ ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้น
 แดงโมพันธุชอญ่า พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ ,
 เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05) 72

ภาพประกอบ 39 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard
 error; SE) ของต้นแดงโมพันธุชอญ่า พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความ
 เข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p <
 0.05)..... 74

ภาพประกอบ 40 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard
 error; SE) ของต้นแดงโมสายพันธุชอญ่า พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความ
 เข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p <
 0.05)..... 76

ภาพประกอบ 41 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error;
 SE) ของต้นแดงโมสายพันธุชอญ่า พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น
 ต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05) .. 78

ภาพประกอบ 42 น้ำหนักสดผล ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของ
 แดงโมพันธุชอญ่า พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ ,
 เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05) 79

ภาพประกอบ 43 เส้นรอบวง ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของผล
 แดงโมพันธุชอญ่า พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ ,
 เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05) 80

ภาพประกอบ 44 ค่าความหวาน ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของผล
 แดงโมพันธุชอญ่า พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ ,
 เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05) 81

ภาพประกอบ 45 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE)ของผลแดงโมพันธุชอนญา พัลส์ และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)..... 82

ภาพประกอบ 46 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE)ของผลแดงโมสายพันธุชอนญา พัลส์ และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)..... 83

ภาพประกอบ 47 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE)ของผลแดงโมพันธุชอนญา พัลส์ และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) 84

ภาพประกอบ 48 ปริมาณไลโคปีน \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของผลแดงโมพันธุชอนญา พัลส์ และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) 85

ภาพประกอบ 49 ผลแดงโมพันธุชอนญา พัลส์ในชุดควบคุม (ซ้าย) และผลแดงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD (ขวา), scale bar = 5 ซม..... 85

ภาพประกอบ 50 ผลแดงโมพันธุกินรีในชุดควบคุม (ซ้าย) และผลแดงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD (ขวา), scale bar = 5 ซม. 86

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

บราสซิโนสเตรอยด์ (brassinosteroids; BRs) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นสเตียรอยด์ และจากผลการศึกษามาก่อนหน้านี้ได้รายงานไว้ว่า สารดังกล่าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชคล้ายกับสารบราสซิโนไลด์ (brassinolide; BL) ในพืชหลายชนิด BRs จะมีฤทธิ์ต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืช เช่น การชักนำให้เกิดการยืดยาวของเซลล์ นอกจากนี้สาร BRs ยังมีบทบาทในการทำงานร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชกลุ่มอื่น ๆ เช่น ไซโตไคนิน (cytokinins) เมื่อให้พืชได้รับไซโตไคนินร่วมกับสาร BRs มีผลชักนำให้พืชเกิดยอดมากขึ้นในสภาพปลอดเชื้อ (Verma, Malik, & Gupta, 2012)

บทบาททางของ BRs ที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในทางการเกษตร จากผลการศึกษาพบว่า BRs สามารถชักนำให้พืชเกิดกลไกทางสรีรวิทยาของพืช ที่เกี่ยวข้องกับทางด้านทนต่อสภาวะเครียดทางกายภาพได้ เช่น ความเครียดจากความแล้งและอุณหภูมิสูง เป็นต้น โดยพบว่าการใช้สาร 24-epibrassinolide (EBR/EBL) ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ และเพิ่มปริมาณโปรตีนรวมในต้นอ่อนข้าวโพดภายใต้อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส ได้นานเป็นระยะเวลา 9 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับ EBR (Yadava, Kaushal, Gautam, Parmar, & Singh, 2016) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาบทบาทของสาร biobras-16 ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพคล้ายกับ BRs สามารถเพิ่มกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ catalase (CAT) และ superoxide dismutase (SOD) ของต้นอ่อนข้าวพันธุ์ J-104 ที่ได้รับความเครียดจากความเค็มในสภาพปลอดเชื้อได้ (Núñez, Mazzafera, Mazorra, Siqueira, & Zullo, 2003) แต่อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้สาร BRs ทางทางการเกษตรในประเทศไทยยังไม่แพร่หลายมากนัก เนื่องจากต้นทุนการสังเคราะห์สารดังกล่าวค่อนข้างสูง ดังนั้นนักวิจัยทางด้านเคมีอินทรีย์สังเคราะห์และนักวิจัยทางด้านสรีรวิทยาของพืช จึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษารายละเอียดของสารที่มีโครงสร้างและคุณสมบัติคล้าย BRs หรือบราสซิโนสเตรอยด์ที่มี ได้แก่ 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) มาใช้ทดแทนสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มบราสซิโนสเตรอยด์ที่มีการนำเข้ามาจากต่างประเทศ เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มปริมาณของผลผลิตของพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจที่มีการเพาะปลูกในประเทศไทย เช่น ข้าว สับปะรด มะเขือเทศ พืชตระกูลผักกาด เช่น กรีนโอ๊ค ไม้ตัดดอก เช่น กัลลวยไม้ รวมทั้งไม้ผลที่มีการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ เช่น มะม่วง และ เมล่อน เป็นต้น ประกอบกับผลการศึกษา

บทบาทของสารในกลุ่ม BRs ทางด้านการเกษตรกรรมของประเทศไทย ในปัจจุบันยังมีการศึกษาอยู่น้อยและยังไม่ทราบกลไกการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อสาร DHECD เนื่องจากกระบวนการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชต่างชนิดกันนั้น จะมีกลไกที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้จากการศึกษาในครั้งนี้จะช่วยทำให้ผู้วิจัยได้ทราบถึงองค์ความรู้และเข้าใจกระบวนการทำงานของสาร DHECD ในการเพิ่มการเจริญเติบโตและกระบวนการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของพืชภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษได้อีกด้วย

สาร DHECD เป็นสารที่เกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี โดยเปลี่ยนมาจากสาร 20-hydroxyecdysone ที่สกัดได้จากเปลือกต้นไช้เน่า (*Vitex glabrata*) ซึ่งพบว่ามีสมบัติเป็นสาร phytoecdysone จากการนำสาร 20-hydroxyecdysone มาดัดแปลงโครงสร้างโดยเกิดปฏิกิริยา hydrogenation ได้เป็น 7,8-dihydro-8alpha-20-hydroxyecdysone (DHECD) ซึ่งเป็นสารที่มีโครงสร้างคล้ายกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่ม BRs จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าสาร DHECD สามารถส่งเสริมการเติบโตและคุณภาพผลผลิตในพืชหลายชนิด เช่น มะเขือเทศ, ผักกาดหอม และพริกชี้หนู ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะเครียด (Khamasuk, Sonjaroon, Suwanwong, Jutamane, & Suksamram, 2018; สุขุมภรณ์ แสงงาม, ธนบุญรัตน์ พลากุลมณฑล, คณิน คงเอียง, & อภิชาติ สุขสำราญ, 2561ก; สุขุมภรณ์ แสงงาม, ศรุตพงศ์ มารยาท, กานติมา ตาคำ, & อภิชาติ สุขสำราญ, 2561ข)

แตงโม (*Citrullus lanatus*) เป็นพืชวงศ์แตง (cucurbitaceae) ที่คนไทยนิยมนำมาบริโภคส่วนผล เนื่องจากผลแตงโมมีรสหวาน ฉ่ำน้ำ และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ในปัจจุบันแตงโมมีการใช้ประโยชน์หลากหลายรูปแบบนอกเหนือจากการบริโภคเป็นผลไม้ เช่น นำสารสกัดจากเนื้อผลมาเป็นส่วนผสมของเวชสำอาง เช่น ผลิตภัณฑ์บำรุงผิว เนื่องจากแตงโมมีสารสำคัญ เช่น วิตามินเอ, ไลโคพีน และ วิตามินซี สารเหล่านี้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ จึงสามารถชะลอกระบวนการเสื่อมชราของเซลล์ผิวได้ นอกจากนี้ผลแตงโมยังมีสรรพคุณทางสมุนไพรหลายประการ เช่น แก้วร้อนใน บำรุงกำลัง ขับปัสสาวะ แก้กระหายน้ำ และแก้อ่อนเพลีย (กนกพร อชะวงษา, 2558) การปลูกแตงโมในพื้นที่เพาะปลูกของประเทศไทย สามารถปลูกได้ทุกฤดูกาล แต่นิยมปลูกในช่วงฤดูแล้ง เนื่องจากฤดูฝนแตงโมจะเสี่ยงต่อการเกิดโรคทางใบอย่างรุนแรงและผลมีรสหวานไม่เท่ากับฤดูแล้ง พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกแตงโมจะมีสภาพเป็นดินร่วนปนทราย ซึ่งมีค่า pH ประมาณ 6.5 - 7.5 และดินมีการระบายน้ำดี (Reetu & Tomar, 2017; เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา & เกตุอร ราชบุตร, ม.ป.ป.) มีการรายงานว่าฤทธิ์ทางชีวภาพและสารสำคัญต่าง ๆ ของ

แตงโมจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ระยะเวลาพัฒนาของผล และสภาพแวดล้อมที่เพาะปลูก (สุพัตรา ทองทา, เพชรรัตน์ ไสว, & กล่าวขวัญ ศรีสุข, 2560)

ดังนั้นในการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาบทบาทของสาร DHECD ต่อกลไกการตอบสนองทางสรีรวิทยาและการเพิ่มคุณภาพของผลผลิตของแตงโมที่นิยมทางการค้า ได้แก่ พันธุ์ขอนแก่น พลับและกินรี เนื่องจากยังไม่มีการศึกษาผลของสาร DHECD ในแตงโมมาก่อนหน้านี้ และเพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการระบบการปลูกแตงโม โดยประยุกต์ใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชเพื่อเพิ่มผลผลิต และเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับกลุ่มเกษตรกรและกลุ่มผู้ใช้ประโยชน์จากองค์ความรู้ที่ได้จากผลการศึกษาในครั้งนี้ ต่อไปในอนาคตเพื่อให้ได้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นและมีคุณภาพที่ดีเป็นที่ต้องการของตลาดส่งออกของประเทศไทยต่อไป

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. ศึกษาบทบาทของสาร DHECD ต่อการเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาของแตงโมสายพันธุ์ขอนแก่น พลับและกินรี ได้แก่ ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ละลายน้ำ ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
2. ศึกษาบทบาทของสาร DHECD ต่อปริมาณสารทุติยภูมิบางชนิดของแตงโมสายพันธุ์ขอนแก่น พลับและกินรี ได้แก่ ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay, การสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฟลาโวนอยด์รวม
3. ศึกษาบทบาทของสาร DHECD ต่อคุณภาพผลผลิตของแตงโมสายพันธุ์ขอนแก่น พลับและกินรี ได้แก่ ค่าความหวาน, น้ำหนักผล, เส้นรอบวงผลและการสะสมสารทุติยภูมิบางชนิด ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และไลโคปีนในผลแตงโม

ความสำคัญของการศึกษา

สาร DHECD สามารถกระตุ้นการเติบโต ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง และลดการเกิดปฏิกิริยาไลปิดเปอร์ออกซิเดชันได้ในพืชหลายชนิด ซึ่งกระบวนการดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพและปริมาณผลผลิตของพืช ดังนั้นการทราบกลไกการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืช เพื่อส่งเสริมการเติบโตและคุณภาพผลผลิตของแตงโมจึงเป็นแนวทางหนึ่ง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในระบบการจัดการเพาะปลูกและการเพิ่มปริมาณของผลผลิตและคุณภาพของแตงโม เพื่อการต่อ

ยอดและการแปรรูปผลผลิตของแตงโมในด้านการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ และด้านเวชสำอางได้ในอนาคต

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยครั้งนี้

1. ทราบถึงบทบาทของสาร DHECD ต่อการเติบโตของแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลัสและกินรี ภายใต้สภาวะการเพาะปลูกในระบบโรงเรือนทดลอง
2. ทราบถึงบทบาทของสาร DHECD ต่อกลไกการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลัสและกินรี โดยทราบถึงการสะสมปริมาณของประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ละลายน้ำ ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ การสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฟลาโวนอยด์รวมในต้นแตงโม
3. ทราบถึงบทบาทของสาร DHECD ต่อค่าความหวานและการสะสมสารทุติยภูมิบางชนิด ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และไลโคปีนในผลผลิตของแตงโม

ขอบเขตการศึกษา

1. การเตรียมต้นพืชที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ แตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลัสและพันธุ์กินรี โดยการเตรียมดินปลูกพืชในสัดส่วน ดิน: กาบมะพร้าวสับ: ปุ๋ยคอก เท่ากับ 1: 1: 1 ใส่ลงในกระถางพลาสติกขนาด 9 นิ้ว การปลูกและบำรุงรักษาต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลัสและพันธุ์กินรีในดินผสมตั้งแต่ระยะต้นอ่อน ไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (อายุ 65 วัน นับจากเมล็ดงอก)
2. ศึกษาบทบาทของสาร DHECD ต่อการเติบโตทางลำต้น โดยศึกษาประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง และปริมาณรงควัตถุของแตงโมที่ได้รับสาร DHECD ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน
3. ศึกษาบทบาทของสาร DHECD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชในด้านการสะสมปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ มาลอนไดอัลดีไฮด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
4. ศึกษาบทบาทของสาร DHECD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชในด้านการต้านอนุมูลอิสระโดยศึกษาการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

5. ศักยภาพของสาร DHECD ต่อคุณภาพของผลผลิต ค่าความหวาน, น้ำหนักผล, เส้นรอบวงผล และการสะสมสารทุติยภูมิบางชนิด ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และไลโคปีนในผลแตงโม

สมมติฐานในการวิจัย

การใช้สาร DHECD ความเข้มข้นที่เหมาะสมจะสามารถเพิ่มการเติบโตของพืชได้ โดยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการ ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ดังนั้นการใช้สาร DHECD ในความเข้มข้นที่เหมาะสมจะสามารถทำให้คุณภาพผลผลิตของแตงโมเพิ่มขึ้นได้

สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาของพืช ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้นำเสนอหัวข้อต่อไปนี้

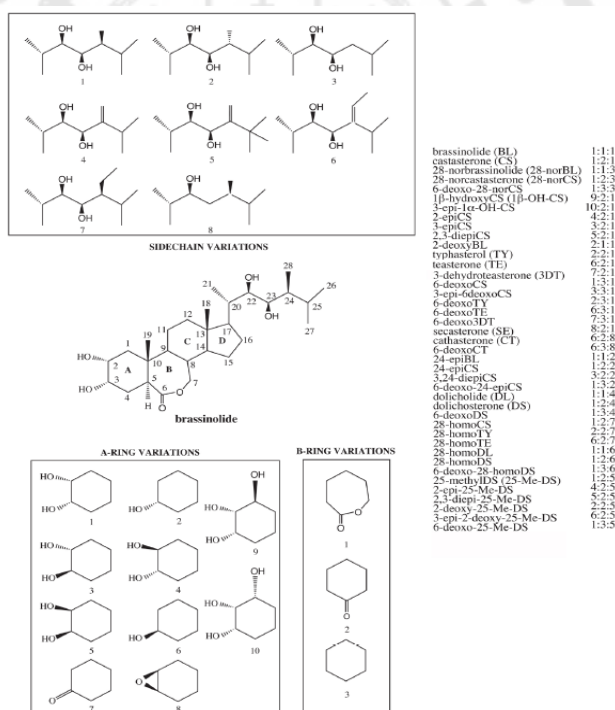
1. บราสสิโนสเตียรอยด์ (brassinosteroid; BRs)
2. 7, 8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD)
3. แดงโม
4. สรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและสารชีวเคมีที่สำคัญบางชนิด

1. บราสสิโนสเตียรอยด์ (brassinosteroid; BRs)

บราสสิโนสเตียรอยด์ (brassinosteroid; BRs) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นสเตียรอยด์ (steroid) และมีผลทางสรีรวิทยาเหมือนกับบราสสิโนไลด์ (brassinolide; BL) จากผลการทดสอบการแยกตัวของลำต้นถั่วตรงบริเวณใต้ส่วนยอด (bean second internode bioassay) พบว่า BRs มีบทบาททางสรีรวิทยาของพืชและยังมีผลในการทำงานร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชกลุ่มอื่น ๆ เช่น จิบเบอเรลลิน (gibberellins; GA) มีผลยับยั้งการทำงานของ BRs ทำให้พืชเข้าสู่ระยะเสื่อมชรา (senescence) ได้ช้าลง ส่วนออกซิน (auxins) และไซโตไคนิน (cytokinins) จะไปส่งเสริมการสังเคราะห์เอทิลีน (ethylene) ร่วมกับ BRs เป็นต้น (Arteca, 1996)

นักสรีรวิทยาพืชได้ค้นพบว่าละอองเรณู (pollen grain) เป็นแหล่งสะสมฮอร์โมนพืชหลายชนิด การศึกษาสารชนิดใหม่ เริ่มต้นเมื่อปี ค.ศ. 1960 โดยคณะกลุ่มนักวิชาการทางเกษตรในประเทศสหรัฐอเมริกา (USDA, กระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา) ได้เสนอว่าเป็น lipodal hormone ชนิดใหม่ และเรียกว่า brassins ซึ่งสกัดได้จากละอองเรณูของผักกาด (*Brassica napus* L.) ซึ่งไปมีผลส่งเสริมการเติบโตของพืชให้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Mitchell, Mandava, Worley, Plimmer, & Smith, 1970) ต่อมา มีการค้นพบว่า brassins มีผลทางสรีรวิทยาพืชในการเพิ่มผลผลิต และความแข็งแรงของเมล็ด (Mitchell & Gregory, 1972) หลังจากนั้นมีการศึกษาต่อจนพบว่า brassins คือ brassinolide ที่พบจากการสะสมในละอองเรณูของผักกาดและสกัด brassinolide เข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยนำมาทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีโดยใช้ X-ray diffraction technology พบว่ามีโครงสร้างทางเคมีเป็น (22R, 23R, 24S)-2 α , 3 α , 22, 23-tetrahydroxy-24-methyl-B-homo-7-oxa-5 α -chlorestan-6-one (Grove, Spencer, Rohwedder, Mandava, & Worley, 1979)

โครงสร้างทางเคมีของ BRs สามารถจำแนกได้ประมาณ 7 กลุ่ม โดยขึ้นอยู่กับ side chain ที่ต่ออยู่กับ steroid ring (ภาพประกอบ 1) ความหลากหลายของ side chain มักขึ้นอยู่กับจำนวนหมู่ hydroxyl ระหว่าง C-2 กับ C-2 และ C-2 กับ C-3 นอกจากนี้ยังมีหมู่ ketone และ lactone ที่ C-6 และ C-7 ซึ่งโดยรวมแล้วสามารถจำแนก BRs ได้ประมาณ 69 ชนิด แต่ brassinolide จะมีฤทธิ์ทางสรีรวิทยาของพืชได้ดีที่สุด เนื่องจากโครงสร้างของ brassinolide บริเวณ A และ B ring มักจะอยู่ในรูปของ *trans-isomer* เพราะมี α hydrogen ที่ C-5 และ B ring จะประกอบด้วยหมู่ 6-ketone หรือ 7-oxa-6-ketone และพบว่า A ring จะอยู่ในรูปของ *cis* α -oriented hydroxyl เนื่องจากมีหมู่ hydroxyl อยู่ที่ C-2 และ C-3 โดยที่ตำแหน่ง C-22, C-23 และ C-24 หมู่ *cis* α -oriented hydroxyl จะสร้างพันธะกับหมู่ α -oriented methyl หรือ ethyl ตามลำดับ ทำให้ BRs แต่ละชนิดมีผลทางสรีรวิทยาในระดับที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นที่เท่ากันอีกด้วย



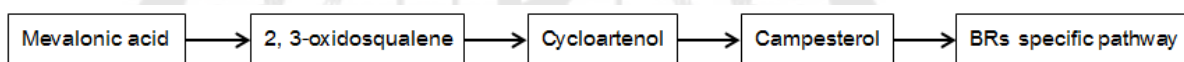
ภาพประกอบ 1 ความหลากหลายของโครงสร้างของบราสสิโนสเตียรอยด์

ที่มา: Clouse (2011)

1.1 การสังเคราะห์บราสสิโนสเตียรอยด์ในพืช

BRs เป็นสารที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม triterpenoids ซึ่งขั้นตอนการสังเคราะห์จะมีความเกี่ยวข้องกับ GA และกรดแอบไซซิก (abscisic acid; ABA) เนื่องจากมีสารตั้งต้นเหมือนกัน คือ mevalonic acid (MVA) การสังเคราะห์สารประเภท triterpenoids นั้นในพืชจะต้องผ่าน mevalonic acid pathway ร่วมกัน (ลิลลี่ และคณะ, 2556) สำหรับการสังเคราะห์ BRs ในพืชจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ประกอบไปด้วย sterol specific pathway และ BR-specific pathway

1.1.1 Sterol specific pathway คือ กระบวนการที่ MVA เปลี่ยนแปลงไปเป็น 2, 3-oxidosqualene โดยเกิดปฏิกิริยา condensation และ cyclization สารดังกล่าวมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะพืชจะนำไปสังเคราะห์สเตียรอยด์ และ triterpenoids ชนิดอื่น ๆ ต่อไป เช่น cholesterol, phytosterol, saponins และ cardenolides เป็นต้น สำหรับ 2, 3-oxidosqualene ที่สังเคราะห์ได้นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็น cycloartenol และ campesterol ต่อไป (ภาพประกอบ 2)



ภาพประกอบ 2 ขั้นตอนลำดับการเกิด sterol specific pathway

1.1.2 BR-specific pathway คือ กระบวนการที่ campesterol เปลี่ยนแปลงเป็น brassinolide โดยมีการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันของ sterol ทั้งหมด 6 กระบวนการตามลำดับ ดังนี้

1.1.2.1 การอิมตัวของพันธะคู่ที่ตำแหน่ง Δ^5

1.1.2.2 การสร้างหมู่ 6-oxo

1.1.2.3 การเติมหมู่ α -oriented hydroxyl ที่ตำแหน่ง C-22 และ C-23

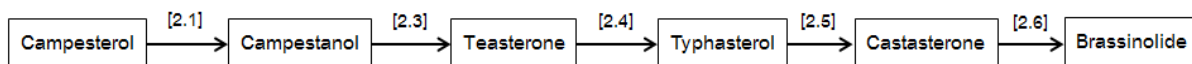
1.1.2.4 การเกิดปฏิกิริยา epimerization ของ 3β -hydroxyl ไปเป็น 3α - hydroxyl

1.1.2.5 การเติมหมู่ 2α -hydroxyl

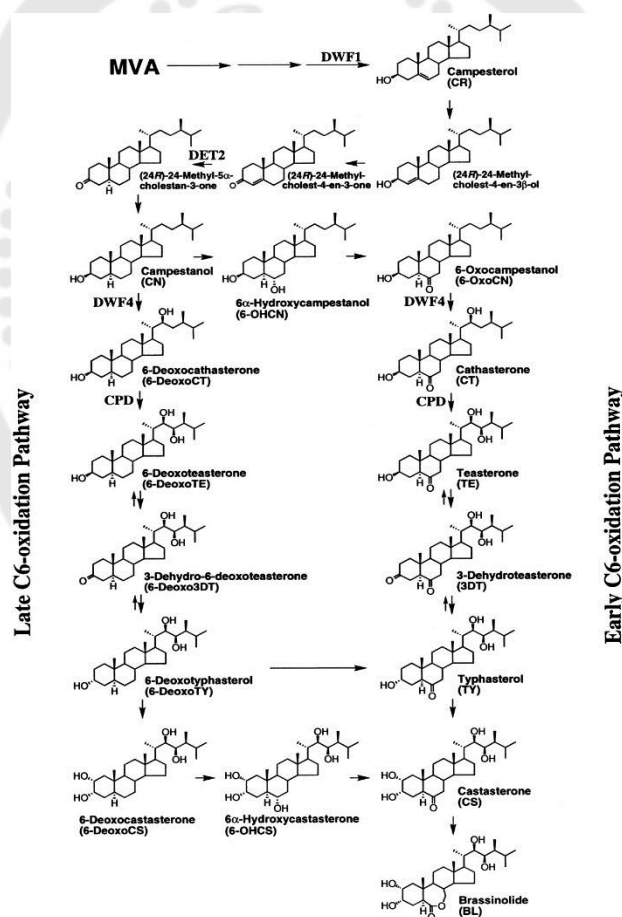
1.1.2.6 การเกิดปฏิกิริยา oxidation ที่ B ring

Campesterol ที่ได้จาก sterol specific pathway จะเกิดปฏิกิริยา reduction ได้เป็น campestanol จากนั้นจะมีการสร้างหมู่ 6-oxo กลายเป็น 6-oxocampestanol สารดังกล่าวจะถูกเร่งปฏิกิริยาการเติมหมู่ α -oriented hydroxyl ที่ตำแหน่ง C-22 และ C-23 ตามลำดับด้วยเอนไซม์

C-22 α -hydroxylase และ C-23 α -hydroxylase ตามลำดับ แล้วเปลี่ยนแปลงเป็น teasterone ต่อมาจะเกิดปฏิกิริยา epimerization ได้ typhasterol หลังจากนั้นสารดังกล่าวจะถูกเติมหมู่ 2 α -hydroxyl เปลี่ยนไปเป็น castasterone ซึ่ง castasterone เป็น BRs ที่พบในพืชที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพได้ใกล้เคียงกับ brassinolide มากที่สุด จากนั้น castasterone จะเกิดปฏิกิริยา oxidation ที่ B ring ของ sterol ได้เป็น brassinolide ในที่สุด (ภาพประกอบ 3 และ 4)



ภาพประกอบ 3 ขั้นตอนลำดับการเกิด BR-specific pathway



ภาพประกอบ 4 กลไกการสังเคราะห์ brassinolide ในพืช

ที่มา: Noguchi et al. (2000)

BRs ที่พืชสร้างขึ้นจะถูกลดฤทธิ์ทางชีวภาพซึ่งเป็นกลไกหนึ่งตามธรรมชาติ เพื่อควบคุมระดับความเข้มข้นให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช พืชสามารถลดกลไกดังกล่าวโดยเกิดปฏิกิริยา epimerization และอีกหลาย ๆ ปฏิกิริยา เช่น demethylation, acylation และ glycosylation เป็นต้น ซึ่งอาจเป็นการลดประสิทธิภาพหรือทำลายฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งหมดเลยก็ได้ (Davies, 2004; Dey, Harborne, & Bonner, 1997; Nes, 2011; คณพล จุฑามณี, 2561)

1.2 การส่งสัญญาณของบราสซิโนสเตียรอยด์

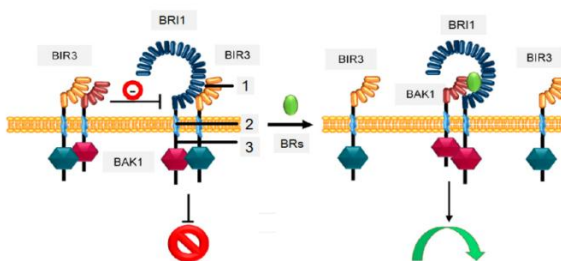
จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าโปรตีนตัวรับของ BRs (BRs receptor) ประกอบไปด้วย brassinosteroid insensitive 1 (BRI1) และ BRI1-associated receptor kinase (BAK1) โดยโปรตีนทั้ง 2 ชนิด จะฝังตัวอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ ส่วนตำแหน่ง BRs receptor binding site จะอยู่บริเวณ extracellular domain ของ BRI1

BRI1 สามารถแบ่งออกเป็น 3 บริเวณ ประกอบไปด้วย (ภาพประกอบ 5)

1. Extracellular domain ซึ่งมี leucine เป็น residue จำนวนมาก เรียกว่า leucine-rich repeat (LRR) receptor kinase บริเวณที่สามารถเกิด ligand formation กับ BAK1 จะเป็นส่วนที่ BRs มาจับ เพื่อส่งสัญญาณ (signalling) ในลำดับถัดไป ถ้าหากไม่มีโมเลกุลของ BRs BRI1 และ BAK1 จะไม่สามารถเกิด ligand formation ได้เนื่องจากโปรตีน BIR3 มาบดบังตำแหน่ง binding receptor ของ BAK1

2. Transmembrane domain เป็นบริเวณที่ฝังตัวกับเยื่อหุ้มเซลล์

3. Cytoplasmic serine/threonine kinase domain เป็นบริเวณที่มีการส่งสัญญาณไปยังโปรตีนชนิดอื่นต่อไป ถ้าหากมี BRs มาจับ binding site ของ BRI1 ส่วนของ cytoplasmic domain จะเกิดการเติมหมู่ฟอสเฟตให้กับโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการส่งสัญญาณและการแสดงออกของยีนในลำดับถัดไป



ภาพประกอบ 5 โครงสร้างของ BRI1 ทั้ง 3 บริเวณ และตำแหน่ง BRs binding site

ที่มา: Imkampe et al. (2017)

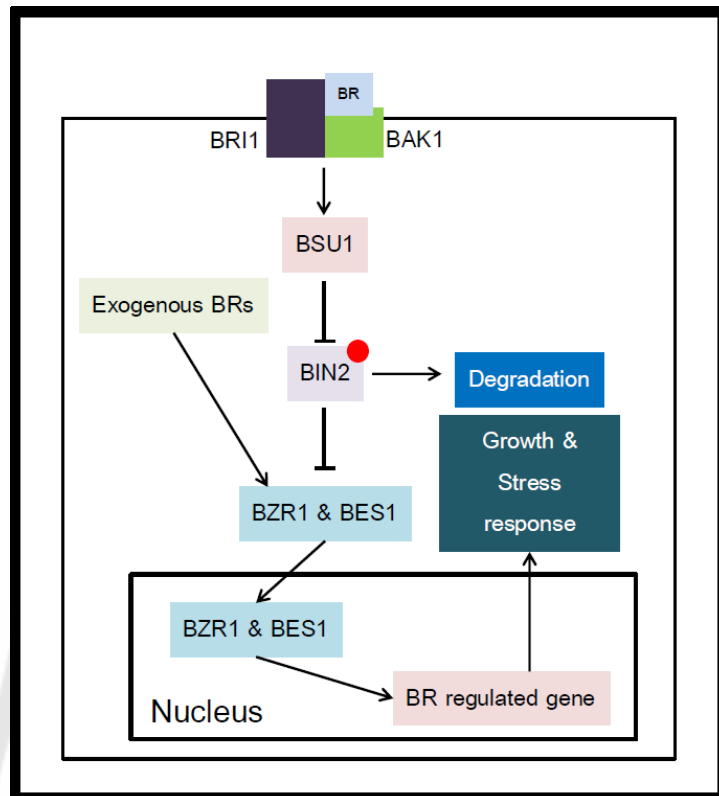
หลังจาก BRs มาจับ binding site ของ BRI1 และเกิด ligand formation กับ BAK1 จะเกิดการส่งสัญญาณภายในเซลล์ดังต่อไปนี้ (ภาพประกอบ 6)

1. BRI1 บริเวณ cytoplasmic domain จะเกิดกระบวนการ phosphorylation แล้วส่งสัญญาณไปยังโปรตีนในลำดับถัดไป ได้แก่ BR-signalling kinase 1 (BSK1) และ BRI1 suppressor 1 (BSU1) ตามลำดับ โดยมีเอนไซม์ phosphatase ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเติมหมู่ฟอสเฟต

2. BSU1 จะกำจัดหมู่ฟอสเฟต (dephosphorylation) ออกจากโมเลกุลของโปรตีน brassinosteroid insensitive 2 (BIN2) ทำให้ BIN2 ถูกทำลายโดย proteasome

3. เมื่อโปรตีน BIN2 ถูกทำลายไป โปรตีนอีก 2 ชนิด ได้แก่ brassinazole resistance 1 (BZR1) และ BRI1-EMS suppressor 1 (BES1) จะถูกกำจัดหมู่ฟอสเฟตออกไปโดยเอนไซม์ phosphatase หลังจากนั้นโปรตีน 2 ชนิดดังกล่าวจะลำเลียงเข้าไปภายในนิวเคลียส เพื่อควบคุมการแสดงออกของยีนเป้าหมายที่ถูกควบคุมโดย BRs (BRs target gene) หากไม่มีโมเลกุลของ BRs โปรตีน BIN2 จะเติมหมู่ฟอสเฟตให้กับ BZR1 และ BES1 ทำให้โปรตีน 2 ชนิดนี้ ถูกทำลายโดย 26S proteasome แทน

รายงานก่อนหน้านี้กล่าวว่า การให้ BRs จากภายนอก ไม่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มจำนวน BRs receptor ที่เยื่อหุ้มเซลล์ แต่กระตุ้นการสะสม BZR1 และ BES1 ให้เพิ่มขึ้น ซึ่งโปรตีนดังกล่าวมีหน้าที่กระตุ้นการทำงานของ DNA-binding protein ของยีนเป้าหมาย เช่น *PME41* ยีนดังกล่าวเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ Pectin methylesterases (PME) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา demethylesterification ปฏิกิริยา de-esterification จะส่งเสริมการนำ Ca^{2+} เข้ามาจับกับ pectin กลายเป็น calcium pectate ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของผนังเซลล์ชั้น middle lamella สารดังกล่าวส่งผลให้ผนังเซลล์มีความแข็งเกร็ง (stiffness) สูงขึ้น จากการศึกษาใน *Arabidopsis* ที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิต่ำพบว่า EBL ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถกระตุ้นการแสดงออกของยีน *PME41* เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เป็น *bzr1* mutant ในสถานะเดียวกัน นอกจากนี้ BZR1 ยังสามารถส่งเสริมการทำงานของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชกลุ่มอื่น ๆ ได้อีกด้วย โดย BZR1 มีบทบาทเกี่ยวข้องกับโปรตีนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของออกซินหลายชนิด เช่น Aux/IAA, PINs, TIR1 และ ARFs ดังนั้นการประยุกต์ใช้ BRs จึงมีส่วนช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตมากขึ้นได้ โดยอาศัยการทำงานร่วมกับฮอร์โมนพืชชนิดอื่น (Gou et al., 2012; Imkampe et al., 2017; Li, Zheng, Lin, Wang, & Sui, 2020; Qu et al., 2011; Tian, Lv, Ding, Bai, & Ding, 2017; Wang & He, 2004)



ภาพประกอบ 6 การส่งสัญญาณของ BR

1.3 ผลทางสรีรวิทยาของบราสซิโนสเตียรอยด์

จากรายงานผลการศึกษายาทบพาททางสรีรวิทยาของสารบราสซิโนสเตียรอยด์มีดังต่อไปนี้

1.3.1 กระตุ้นการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ได้ โดยใช้ความเข้มข้นที่ต่ำมาก ๆ ซึ่งพบว่าสามารถส่งเสริมการยืดยาวของ hypocotyl และ epicotyl BRs เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของผนังเซลล์ โดยส่งเสริมการคลายตัวของเส้นใย microfibril ทำให้เซลล์ขยายขนาดเพิ่มขึ้น สำหรับส่วนของราก BRs จะยับยั้งการเติบโตของราก เนื่องจาก BRs กระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีนจึงส่งผลต่อการพัฒนาของราก (Arteca, 1996; Taiz & Zeiger, 2010)

1.3.2 กระตุ้นการงอกของหลอดเรณู โดย BRs สามารถกระตุ้นการงอกของหลอดเรณูได้ทั้งในสภาวะปกติ และสภาวะเครียด เช่น อุณหภูมิสูง (ลิลลี่ กาวีต๊ะ, 2556)

1.3.3 กระตุ้นกระบวนการสุกแก่และเสื่อมชรา โดย BRs ความเข้มข้นสูงจะส่งเสริมการสังเคราะห์เอทิลีนจึงส่งผลให้ผลไม้สุกเร็วขึ้น จากการศึกษาพบว่า BRs กระตุ้นกิจกรรม

ของเอนไซม์ aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase (ACC synthase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอทิลีนขั้นตอนหนึ่ง (Arteca, 1996)

1.3.4 ส่งเสริมการเติบโตและเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เช่น การเพิ่มน้ำหนักของเมล็ดพืช, ข้าว, ข้าวโพด และข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น (Ali, 2017)

1.3.5 ควบคุมกระบวนการลอกคราบของแมลง เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของ BRs มีความคล้ายคลึงกับสาร ecdysteroid ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการลอกคราบของสัตว์ขาข้อ (arthropod) ชนิดต่าง ๆ ดังนั้น BRs สามารถควบคุมกระบวนการลอกคราบ ซึ่งส่งผลต่อกระบวนการเติบโตและพัฒนาการของสัตว์ขาข้อ ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสัตว์ขาข้ออาจถึงตาย BRs จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะพัฒนาไปเป็นสารกำจัดแมลงในทางการเกษตรได้ (Arteca, 1996)

1.4 การประยุกต์บราสสิโนสเตียรอยด์ไปใช้ในทางการเกษตร

การสกัด brassinolide จากพืช เพื่อนำมาใช้ในการเกษตรทำได้ยาก เนื่องจาก brassinolide มีปริมาณน้อยมากในพืช จึงมีการสังเคราะห์สารที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่เหมือนกับ brassinolide มาทดแทน โดย BRs สังเคราะห์ที่มีการใช้ในการเกษตรอย่างแพร่หลายคือ 24-epibrassinolide (EBL) สารดังกล่าวนี้สามารถเพิ่มผลผลิตของพืชเศรษฐกิจได้หลายชนิด เช่น ข้าว, ยาสูบ และแตงกวา เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาพบว่า ผลของ EBL จะเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย โดยเฉพาะปัจจัยทางกายภาพต่าง ๆ และสภาพของพืชเอง บทบาทของ BRs ในพืชเศรษฐกิจสามารถสรุปได้ดังนี้

1.4.1 เพิ่มคุณภาพและปริมาณผลผลิตของพืชเศรษฐกิจหลายชนิด เช่น มะเขือเทศ, พริกไทย และ มันฝรั่ง โดย BRs สามารถเพิ่มการติดผล จำนวนผลต่อต้น และน้ำหนัก เป็นต้น นอกจากนี้ BRs ชักนำการสะสมสารอินทรีย์บางชนิดให้มากขึ้น เช่น ปริมาณน้ำตาล ไลโคพีน และสารประกอบฟีนอลิกทั้งในสภาวะปกติและสภาวะเครียด (Ali, 2017; Ravindra & Nataraja, 2007) ส่งเสริมความต้านทานต่อเชื้อราก่อโรค เช่น *Phytophthora* sp. และ *Fusarium* sp. ในมันฝรั่ง นอกจากนี้ BRs ยังสามารถทำให้ยาสูบต้านทานต่อไวรัสที่ก่อโรคใบด่างในยาสูบ (tobacco mosaic virus) ได้ดีขึ้นอีกด้วย (Ali, 2017; คณพล จุฑามณี, 2561)

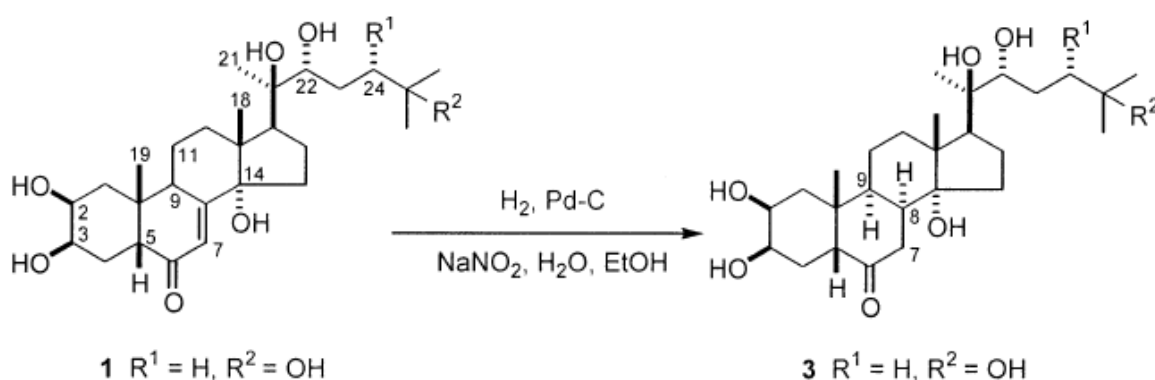
1.4.3 กระตุ้นกลไกที่เกี่ยวข้องกับการต้านทานต่อสภาวะเครียดทางกายภาพ เช่น ความแล้ง โดยพบว่า EBL ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มการสะสมน้ำตาลที่ละลายน้ำกับโพรตีนในใบพริกชี้หูภายใต้สภาวะแล้งได้ นอกจากนี้ EBL ยังมีบทบาทในการกระตุ้นกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น เพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในองุ่นระยะเก็บเกี่ยว และกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ superoxide dismutases (SOD) ในข้าวโพดภายใต้สภาวะ

คุณหมุมิสูง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลให้ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (lipid peroxidation) เกิดน้อยลง จึงช่วยให้เยื่อหุ้มเซลล์ยังคงสภาพอยู่ได้ตามปกติ (Ghorbani, Eshghi, & Haghi, 2017; Khamsuk et al., 2018; Yadava et al., 2016)

1.4.4 ชักนำให้เกิดอวัยวะในสภาพปลอดภัย โดย BRs กับไซโตไคนินสามารถชักนำให้เกิดยอดได้ แต่อย่างไรก็ตาม BRs ความเข้มข้นสูงจะกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีนทำให้อากาศภายในภาชนะเพาะเลี้ยงมีเอทิลีนอยู่อย่างหนาแน่น ส่งผลให้การชักนำยอดหยุดชะงักลง ส่วนรากนั้น BRs เพียงอย่างเดียวจะไม่สามารถชักนำให้เกิดรากได้ จำเป็นต้องทำงานร่วมกับสารอื่น ๆ เช่น triaccontanol (TRIA) เป็นต้น (Ali, 2017; Ravindra & Nataraja, 2007)

2. สาร 7, 8-dihydro-8alpha-20-hydroxyecdysone (DHECD)

การประยุกต์ใช้ BRs ทางการเกษตรในประเทศไทยยังไม่เป็นที่แพร่หลาย เนื่องจาก EBL ซึ่งเป็น BRs สังเคราะห์ที่ใช้ในการเกษตรมีราคาสูง เพราะกระบวนการสังเคราะห์มีหลายขั้นตอน (Khamsuk et al., 2018) จึงมีการนำสารชีวภาพต่าง ๆ มาดัดแปลงโครงสร้างให้คล้ายคลึงกับ brassinolide หรือ castasterone เพื่อลดต้นทุนสำหรับการสังเคราะห์สารให้เหมาะสมต่อการนำ BRs ไปใช้ในการเกษตร โดยพบว่าสาร 20-hydroxyecdysone (ECD) ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม phytoecdysone ที่สกัดได้จากเปลือกไม้ของต้นไซเน่า (*Vitex glabrata*) ด้วยปฏิกิริยา hydrogenation โดยมี Pd-C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในสารละลายเอทานอลที่มี NaNO_2 ได้เป็น 7,8-dihydro-8alpha-20-hydroxyecdysone หรือ DHECD (Suksamram, Tanachatchairatana, & Sirigam, 2002) ดังภาพประกอบ 7 ซึ่งสารดังกล่าวมีโครงสร้างคล้ายคลึงกับ castasterone ซึ่งเป็น BRs ที่พบในธรรมชาติ



ภาพประกอบ 7 ขั้นตอนการสังเคราะห์ DHECD ด้วยปฏิกิริยา hydrogenation

ที่มา: Suksamram et al. (2002)

การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชเศรษฐกิจหลายชนิด เช่น ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ผักกาดหอม และพริกชี้หนู พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง เพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดการสะสมไนเตรท กระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ และลดการเกิดปฏิกิริยาไลพิดเพอร์ออกซิเดชันได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่า สาร DHECD จะสามารถทำงานได้ดีในสภาวะที่พืชได้รับความเครียดทางกายภาพมากกว่าในสภาวะปกติ เช่น พริกที่ได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกับชุดควบคุมที่ได้รับสภาวะปกติ แต่สารดังกล่าวสามารถเพิ่มผลผลิตของพริกให้สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติได้ ถ้าหากพริกได้รับสภาวะแล้ง (Khamsuk et al., 2018; คุณพล จุฑามณี, 2561)

3. แดงโม

แดงโมเป็นพืชวงศ์แตง (cucurbitaceae) สกุล *Citrullus* และมีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Citrullus lanatus* (Thumb.)

3.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของแดงโม

แดงโมเป็นพืชล้มลุกที่มีลักษณะเป็นเถาเลื้อยแผ่ไปตามดิน ใบมีลักษณะแตกต่างไปจากพืชวงศ์แตงอื่น ๆ คือมีลักษณะเว้าลึก 3 – 4 หยัก ก้านใบยาว ทั้งเถาและใบมีขนปกคลุม นอกจากนี้ผิวใบยังมีลักษณะขรุขระ ดอกเดี่ยวแยกเพศอยู่บนต้นเดียวกัน โดยดอกเพศผู้มีก้านดอกเล็ก กลีบเลี้ยงเชื่อมติดกัน ส่วนปลายกลีบแหลมแยกออกเป็น 5 แฉก และมีสีเหลืองสด ถัดเข้ามาตรงกลางดอกจะเป็นเกสรเพศผู้หรือเพศเมีย เกสรเพศผู้มี 3 อัน ส่วนเกสรเพศเมียมีรังไข่ทรงกลมหรืออยู่ใต้ฐานรองดอก ผลมีหลายรูปร่างทั้งทรงกลม และรี โดยขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25 เซนติเมตร ผิวเรียบ สีเขียวแก่ หรืออ่อน เนื้อผลมีสีแดงสด หรือเหลือง รสหวาน ฉ่ำน้ำ ภายในมีเมล็ดสีดำรูปไข่เป็นจำนวนมาก (อินทรา ลิจันทรพร, นันทชนก นันทะไชย, ปาลิตา ตังอนุรักษ์, & อัญชลินทร์ สิงห์ดำ, 2556)

ส่วนเนื้อแดงโมมีสารอาหารอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระต่าง ๆ เช่น โลโคพีน แคโรทีนอยด์ วิตามิน ซี และสารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น ประโยชน์ของการบริโภคแดงโมมีหลายอย่างด้วยกัน เช่น ป้องกันโรคหัวใจ ความดันโลหิต และมะเร็ง (Ridwan, Abdul Razak, Adenan, & Md Saad, 2018) ฤทธิ์ทางชีวภาพและปริมาณสารสำคัญจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ระดับความสุก และสภาพแวดล้อมที่ใช้ปลูก จากผลการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้พบว่าส่วนต่าง ๆ ของแดงโม ทั้งเปลือกเขียว เปลือกขาว เนื้อผล และเมล็ด มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และการชักนำให้เซลล์เยื่อบุหลอดเลือดของมนุษย์ผลิตใน

ตริกออกไซด์เพิ่มขึ้นในระดับที่แตกต่างกันออกไป จึงส่งผลกระทบต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและป้องกันการเกาะตัวของเกล็ดเลือด รวมถึงลดความดันโลหิตโดยขยายหลอดเลือดให้กว้างขึ้น (สุพัตรา ทองทา et al., 2560)

3.2 พันธุ์ของแตงโม

พันธุ์แตงโมที่นิยมปลูกมี 3 สายพันธุ์ คือ (เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา & เกตุอร ราชบุตร , ม.ป.ป.)

3.2.1 ชูการ์เบบี้ หรือพันธุ์เบา ผลกลมมีสีเขียวคล้ำและมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 35-42 วัน นับจากวันที่ดอกเพศเมียบาน

3.2.2 ชาร์ลสตันแกรย์ หรือพันธุ์หนัก ผลกลมยาวขนาดใหญ่สีเขียวอ่อน มีลายที่ผิวผลและมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 42-45 วัน นับจากวันที่ดอกเพศเมียบาน

3.2.3 แตงโมเหลือง เป็นพันธุ์ลูกผสม ผลกลมสีเขียวอ่อนลายเข้มและมีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 42-45 วัน นับจากวันที่ดอกเพศเมียบาน

3.3 การปลูกและดูแลต้นแตงโม

3.3.1 การเตรียมดิน

แตงโมเป็นพืชที่หยั่งรากลึกมาก โดยประมาณ 1.2 เมตร ต้องการดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ ระบายน้ำดี และสามารถปลูกได้ในดินทุกสภาพ แต่ให้ผลผลิตดีที่สุดในสภาพดินร่วนปนทราย มีค่า pH ประมาณ 5.0-7.5 ฤดูกาลปลูกสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่ให้รสชาติดีในฤดูแล้งถึงฤดูฝนตอนต้น คือช่วงพฤศจิกายนถึงมิถุนายน เพราะในฤดูฝนจะเกิดโรคทางใบและรากได้ง่าย นอกจากนี้ผลแตงโมยังเน่าง่ายและไม่หวานเหมือนปลูกในช่วงฤดูแล้ง

3.3.2 การให้น้ำ

แตงโมต้องการดินที่มีความชุ่มชื้น โดยเฉพาะช่วงที่ผลกำลังเจริญเติบโต การให้น้ำในแปลงจะต้องให้อย่างทั่วถึง เพื่อไม่ให้ดินจับเป็นก้อนแข็งและขาดออกซิเจน ในดินร่วนปนทรายรากของแตงโมจะไม่ขาดอากาศ ถึงแม้ว่าดินจะขาดน้ำก็ตาม ซึ่งอากาศมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและดูดซึมธาตุอาหารของรากพืช ดังนั้นการปลูกแตงโมในดินเหนียวจะต้องให้น้ำมากกว่าดินทราย เพราะดินเหนียวมีเนื้อดินละเอียด จึงทำให้น้ำที่ผิวดินระเหยออกไปได้มาก

3.3.3 การดูแลและเก็บผลแตงโม

เมื่อดอกเพศเมียของแตงโมที่ได้รับการผสมเกสรแล้ว รังไข่จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นผล โดยระยะแรกจะเจริญเติบโตอย่างสม่ำเสมอติดต่อกัน ซึ่งระยะนี้แตงโมต้องการน้ำมาก เพราะน้ำมีความจำเป็นต่อการขยายขนาดของเซลล์ (นวรรตน์, 2558) ผลแตงโมที่แก่พร้อมเก็บ

เกี่ยวจะไม่แสดงลักษณะที่เห็นได้ชัดเจน ดังนั้นการพิจารณาว่าผลแดงโมแก่พร้อมเก็บเกี่ยวหรือไม่ จะมีวิธีคาดคะเน ดังนี้

3.3.3.1 คาดคะเนด้วยการนับอายุผลหลังได้รับการผสมเกสร

3.3.3.2 คาดคะเนด้วยการดูลักษณะที่พบได้ทั่วไป ได้แก่

1. สังเกตมือเกาะตรงบริเวณที่ใกล้กับขั้วผลมากที่สุด โดยเปลี่ยนเป็นสีเขียวและแห้งเป็นบางส่วนจากปลายมาถึงโคน

2. สังเกตด้วยการตีตึงเสียง ถ้าเสียงผสมกันระหว่างเสียงกังวานกับเสียงทึบ แสดงว่าผลแดงโมมีความแก่ร้อยละ 75

3. สังเกตจากสีของผล ถ้าหากสีจางลงแสดงว่าผลแดงโมเริ่มแก่

3.3.4 ระยะเวลาการพัฒนาของผลแดงโม

ระยะเวลาพัฒนาของผลแดงโมตั้งแต่ผสมเกสรจนถึงระยะเก็บเกี่ยวจะแบ่งออกเป็น 4 ระยะ ตามสีเนื้อของผลแดงโม (ภาพประกอบ 8) คือ 1. สีขาว (white) 2. สีขาวอมชมพู (white-pink) 3. สีชมพู (pink) 4. สีแดง (red-ripe) โดยระยะที่เนื้อผลมีสีแดง คือ ระยะเก็บเกี่ยว สีของเนื้อผลที่ต่างกัน เนื่องจากการสะสมสารจำพวกแคโรทีนอยด์ที่ไม่เท่ากันโดยเฉพาะไลโคปีน ซึ่งพบว่าระยะเนื้อสีแดงมีปริมาณไลโคปีนมากกว่าระยะเนื้อสีขาวไปจนถึงระยะเนื้อสีชมพูถึง 1,684.67 , 12.79 และ 1.8 เท่า ตามลำดับ (Grassi et al., 2013) หลังจากผสมเกสรประมาณ 7 วัน ผลแดงโมจะมีขนาดเท่ากับไข่ไก่ ซึ่งยังคงอยู่ระยะเนื้อผลสีขาว ระยะดังกล่าวผลแดงโมจะมีการเติบโตอย่างรวดเร็วจึงจำเป็นต้องได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอและเพียงพอและเกษตรกรจะแขวนผลกับบ่วงเชือก เพื่อให้ขั้วผลไม่รับน้ำหนักมากเกินไป (เฉลิมเกียรติ โกคาวัฒนา & เกตุอร ราชบุตร, ม.ป.ป.; ศราวุธ จันทะพรหม, 2558)



ภาพประกอบ 8 ระยะเวลาการพัฒนาของผลแดงโม 4 ระยะ

ที่มา: Grassi et al. (2013)

3.3.5 โรคและแมลงที่สำคัญ (เฉลิมเกียรติ และเกตุอร. ม.ป.ป. และ ศราวุธ. 2558)

3.3.5.1 โรคเหาเหียวจากเชื้อรา มีเชื้อก่อโรค คือ *Fusarium* sp. อาการที่สังเกตเห็นได้ชัดใบในเถาจะมีอาการซีดและเหียวจากบริเวณยอดไล่ลงมา มักเกิดช่วงที่ฝนตกติดต่อกันเป็นเวลานาน

3.3.5.2 โรคเหาเหียวจากแบคทีเรีย มีเชื้อก่อโรค คือ *Ralstonia solanacearum* อาการที่สังเกตเห็นได้ใบในเถาเหียวลงทีละใบ จากปลายเถามาหาโคนเถา แต่ใบจะยังคงเหียวอยู่ตามปกติ เนื่องจากแบคทีเรียไปอุดตันในท่อลำเลียงน้ำ (xylem) โรคเหาเหียวชนิดนี้จะมีแมลงพาหะ คือ แมลงเต่าแดง (*Aulacophora indica*) โดยติดเชื้อแบคทีเรียทางแผลที่ถูกแมลงกัดกิน

3.3.5.3 โรคราแป้ง มีเชื้อก่อโรค คือ *Erysiphe cichoracearum* และ *Sphaerotheca fuliginea* อาการที่สังเกตเห็นได้จะมีจุดสีเหลืองตรงบริเวณยอด, ลำต้น และแผ่นใบ นอกจากนี้ยังมีกลุ่มสปอร์สีขาวคล้ายแป้งปกคลุม จากนั้นใบจะแห้งกรอบไปในที่สุด

3.3.5.4 โรคราน้ำค้าง มีเชื้อก่อโรค คือ *Pseudoperonospora cubensis* อาการที่สังเกตเห็นได้แผ่นใบจะมีจุดรูปเหลี่ยมสีเหลืองและพบกลุ่มเชื้อราสีม่วงอมเทาอยู่ โรคระบาดอย่างรวดเร็ว เมื่อสภาพอากาศเย็นและชุ่มชื้น

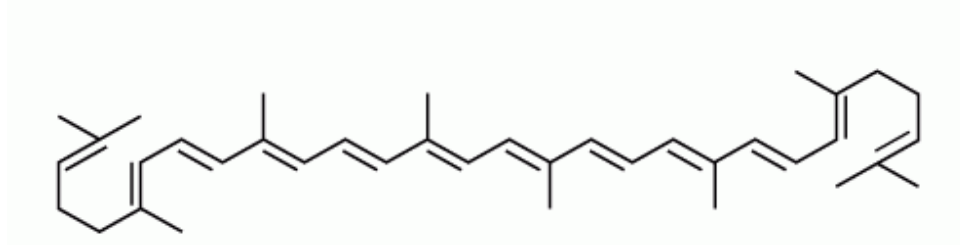
3.3.5.5 เพลี้ยไฟ (*Haplothrips floricola*) เป็นแมลงขนาดเล็กมาก เพลี้ยไฟจะดูดสารอาหารที่ยอดอ่อนและใต้ใบอ่อน ทำให้ยอดสั้นตั้งชูขึ้นและใบเล็ก ในช่วงฤดูแล้งการระบาดของเพลี้ยไฟจะรุนแรงยิ่งขึ้น

3.3.5.6 ตัวงเต่าแดง (*Aulacophora similis*) เป็นแมลงที่กัดกินใบอ่อนของแตงโมและเป็นพาหะของโรคเหาเหียวที่เกิดจากแบคทีเรีย

3.4 สารทางพิษเคมีที่สำคัญในแตงโม

แตงโมเป็นพืชชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาบริโภคเป็นผลไม้ จากการศึกษาพบว่าการบริโภคส่วนเนื้อของแตงโมนั้นให้ประโยชน์หลายประการ เนื่องจากอุดมไปด้วยสารทางชีวภาพที่สำคัญ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ สารต้านการอักเสบ และสารลดระดับไขมัน LDL อีกด้วย สารสำคัญที่พบในแตงโมมีหลายชนิด เช่น วิตามิน เอ และวิตามิน ซี โดยเฉพาะไลโคปีน (lycopene) ซึ่งเป็นสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (ภาพประกอบ 9) ปริมาณไลโคปีนในเนื้อแตงโมจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม สายพันธุ์ และระยะการพัฒนาของผล ฤทธิ์ทางชีวภาพของไลโคปีนนั้นนอกจากต้านอนุมูลอิสระแล้ว ยังสามารถชะลอการเสื่อมชราของเซลล์ ต้านการอักเสบ ช่วยลดระดับไขมันและน้ำตาลในเลือด นอกจากนี้ยังมีส่วนยับยั้งการเกิดโรคมะเร็ง โดยเฉพาะมะเร็งต่อมลูกหมาก ดังนั้นนอกจากบริโภคเนื้อแตงโมเป็นอาหารแล้ว ยังมีการนำสารสกัดแตงโมที่อุดมไปด้วยไลโคปีน

มาเป็นส่วนประกอบของเครื่องสำอางที่ช่วยให้ผิวหน้าดูสดใสและนุ่มเนียน (กนกพร อะทะวงษา, 2558; สุพัตรา ทองทา et al., 2560)



ภาพประกอบ 9 โครงสร้างทางเคมีของไลโคปีน

ที่มา: Cámara et al. (2013)

3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มผลผลิตและการเจริญเติบโตของแตงโม

การศึกษากุฎีทางชีวภาพของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เช่น จิบเบอเรลลิน (gibberellic acid; GA₃) สามารถเพิ่มความยาวและน้ำหนักสดของผลได้ จากการทดลองพบว่า GA₃ ความเข้มข้น 15 ppm สามารถเพิ่มความยาวและน้ำหนักสดของผลแตงโมพันธุ์ Shine beauty ได้ 1.20 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (น้ำกลั่น) นอกจากนี้ GA₃ ยังสามารถเพิ่มความยาวของเถาหลักได้อีกด้วย เพราะ GA₃ มีผลต่อความยืดยาวของเซลล์ โดยไปเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์มีความยืดหยุ่นมากขึ้น ทำให้เซลล์เกิดการยืดยาว แต่อย่างไรก็ตาม GA₃ กลับไม่มีผลต่อค่าความหวานของแตงโม (Sinojiya, Hitesh, Jethaloja, & Jat, 2015; คณพล จุฑามณี, 2561) สำหรับการเพิ่มธาตุอาหารนั้นก็สามารเพิ่มน้ำหนักสดของแตงโมและค่าความหวานได้ โดยพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับ P₂O₅ ความเข้มข้น 100 kg/ha มีน้ำหนักผลผลิตและค่าความหวานสูงขึ้น 1.18 และ 1.09 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่ได้เติม P₂O₅) เพราะฟอสฟอรัสส่งเสริมการดูดซึมนไนโตรเจนและแมกนีเซียม ธาตุ 2 ชนิดนี้เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ส่งผลให้การสังเคราะห์ด้วยแสงสูงขึ้นและชักนำให้ผลผลิตเติบโตมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ฟอสฟอรัสมีผลเชิงบวกกับกับโพแทสเซียมจึงทำให้ค่าความหวานสูงขึ้น (Martin, Robert, & Joshua, 2016) จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรวมของผลผลิตกับประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวก ดังนั้นการกระตุ้นกระบวนการเติบโตของพืชด้วยวิธีการต่าง ๆ จะสามารถเพิ่มปริมาณหรือน้ำหนักของผลผลิตได้ (Khamsuk et al., 2018)

3.6 แดงโมพันธุ์ซอญ่า พลัสและกินรี

3.6.1 แดงโมพันธุ์ซอญ่า มีผลทรงกลมรี (short oblong) เปลือกบางสีเขียวอ่อนลายครีมสันแท้สีเขียวเข้ม (ภาพประกอบ 8ก) เนื้อสีแดงสดและมีเมล็ดน้อย อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 60-65 วัน นับจากเมล็ดงอก

3.6.2 แดงโมพันธุ์กินรี มีผลทรงกลมรี ผิวสีเขียวเข้มลายดำชัดเจน (ภาพประกอบ 8ข) เนื้อสีแดงเข้มและแน่น เปลือกบางแต่แข็ง อายุเก็บเกี่ยว 60-65 วันนับจากเมล็ดงอก



ภาพประกอบ 10 ลักษณะรูปร่างผลของแดงโมพันธุ์ซอญ่า(ก) และกินรี(ข)

4. สรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและสารชีวเคมีที่สำคัญบางชนิด

4.1 ปริมาณรงควัตถุในใบ

รงควัตถุชนิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะมีความสามารถในการดูดซับพลังงานแสง และในสภาวะปกติหรือไม่ได้รับพลังงานแสง ระดับพลังงานของรงควัตถุเหล่านี้จะอยู่ในสภาวะพื้น (ground state) เปลี่ยนไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงขึ้น หรือสภาวะเร่งเร้า (excited state) และทำให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงานที่ต่ำกว่าไป โดยสิ่งมีชีวิตที่สามารถเกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้นจะต้องมีรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงประกอบด้วย (Taiz & Zeiger, 2010; ลิลลี่ กาวีตีเซ, 2556)

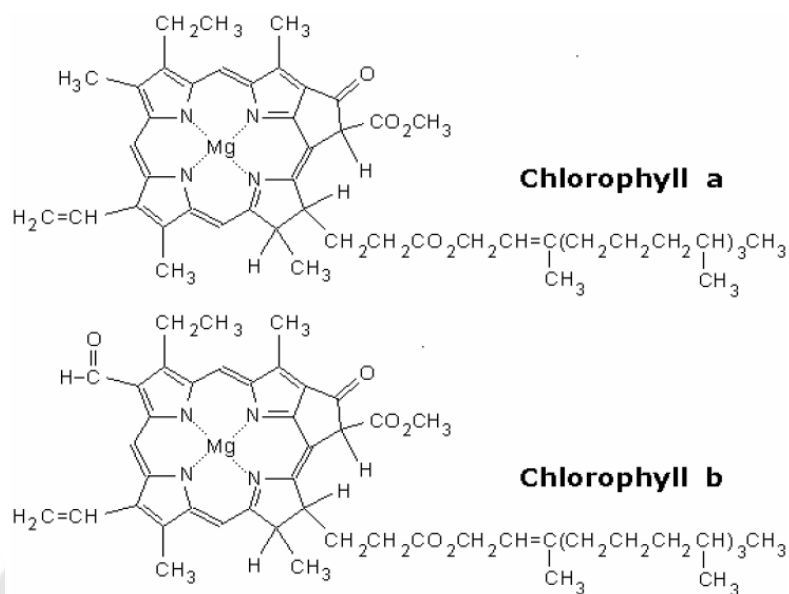
4.1.1 คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เป็นสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งแบ่งโครงสร้างหลักออกเป็น 2 ส่วน (ภาพประกอบ 11) คือ

1. Porphyrin เป็นส่วนที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวน และมีแมกนีเซียม (Mg) เป็นอะตอมกลาง porphyrin ทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานแสง ทำให้อิเล็กตรอนภายในโครงสร้างที่อยู่ในสภาวะพื้น (ground state) ไปสู่สภาวะเร่งเร้า (excited state) แล้วเกิดปฏิกิริยาการถ่ายทอดอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนในลำดับถัดไป คลอโรฟิลล์แต่ละชนิดจะมีหมู่แทนที่รอบวงแหวน และรูปแบบของพันธะในวงแหวนที่แตกต่างกันออกไป โดยในพืชจะพบคลอโรฟิลล์อยู่ 2 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a) และ คลอโรฟิลล์ บี (chlorophyll b)

2. Hydrocarbon tail เป็นส่วนที่มีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนสายยาว ทำหน้าที่ฝังตัวลงไปในเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ (thylakoid membrane)

4.1.1.1 คลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a) เป็นรงควัตถุหลักในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยหมู่แทนที่ในวงแหวน porphyrin จะเป็นหมู่เมทิล (methyl group) คลอโรฟิลล์ เอ มีสีเขียวอมน้ำเงิน และดูดกลืนพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่น 430 และ 662 นาโนเมตร

4.1.1.2 คลอโรฟิลล์ บี (chlorophyll b) เป็นรงควัตถุรองในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานไปยังคลอโรฟิลล์ เอ ที่เป็นศูนย์กลางปฏิกิริยา (reaction center) หมู่แทนที่ในวงแหวน porphyrin จะเป็นหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde) คลอโรฟิลล์ บี มีสีเขียวอมเหลือง และดูดกลืนพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่น 454 และ 643 นาโนเมตร



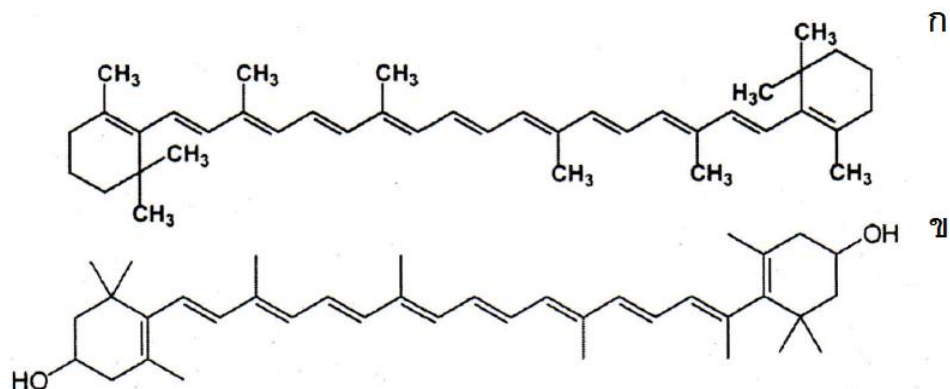
ภาพประกอบ 11 โครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์ เอ และ บี

ที่มา: Pérez, Teixeira da Silva, and Lao (2006)

4.1.2 แคโรทีนอยด์ (carotenoid) เป็นสารในกลุ่ม terpene (ภาพประกอบ 12) ที่มีสีแดง ส้ม และเหลือง แคโรทีนอยด์นั้นจะช่วยดูดกลืนพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่นช่วงที่คลอโรฟิลล์ เอ ไม่สามารถดูดกลืนได้ แต่อย่างไรก็ตามพลังงานที่ส่งไปให้กับคลอโรฟิลล์ เอ จะสามารถส่งไปได้เพียง 10% เท่านั้น หน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่งของแคโรทีนอยด์ คือ ป้องกันคลอโรฟิลล์ไม่ให้ถูกทำลายโดยแสงที่มีความเข้มสูง แคโรทีนอยด์แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

4.1.2.1 แคโรทีน (carotene) เป็นแคโรทีนอยด์ที่พบมากที่สุดในพื้นที่ มีสีเหลืองอมแดง, ส้ม และส้มอมแดง แคโรทีนมีหลายชนิด เช่น ไลโคพีน (lycopene) และ เบต้า-แคโรทีน (β -carotene) ซึ่งสารดังกล่าวจะดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 499 และ 475 นาโนเมตร โครงสร้างของแคโรทีนจะประกอบไปด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจน

4.1.2.2 แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) มีสีเหลือง แซนโทฟิลล์มีหลายชนิด เช่น ลูทีน (lutein) สารดังกล่าวนี้จะดูดกลืนพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่น 445 และ 473 นาโนเมตร โครงสร้างของแซนโทฟิลล์จะเหมือนกับแคโรทีน แต่จะต่างกันตรงที่ส่วนปลายโครงสร้างของแซนโทฟิลล์จะมีออกซิเจน เพราะแซนโทฟิลล์เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแคโรทีน



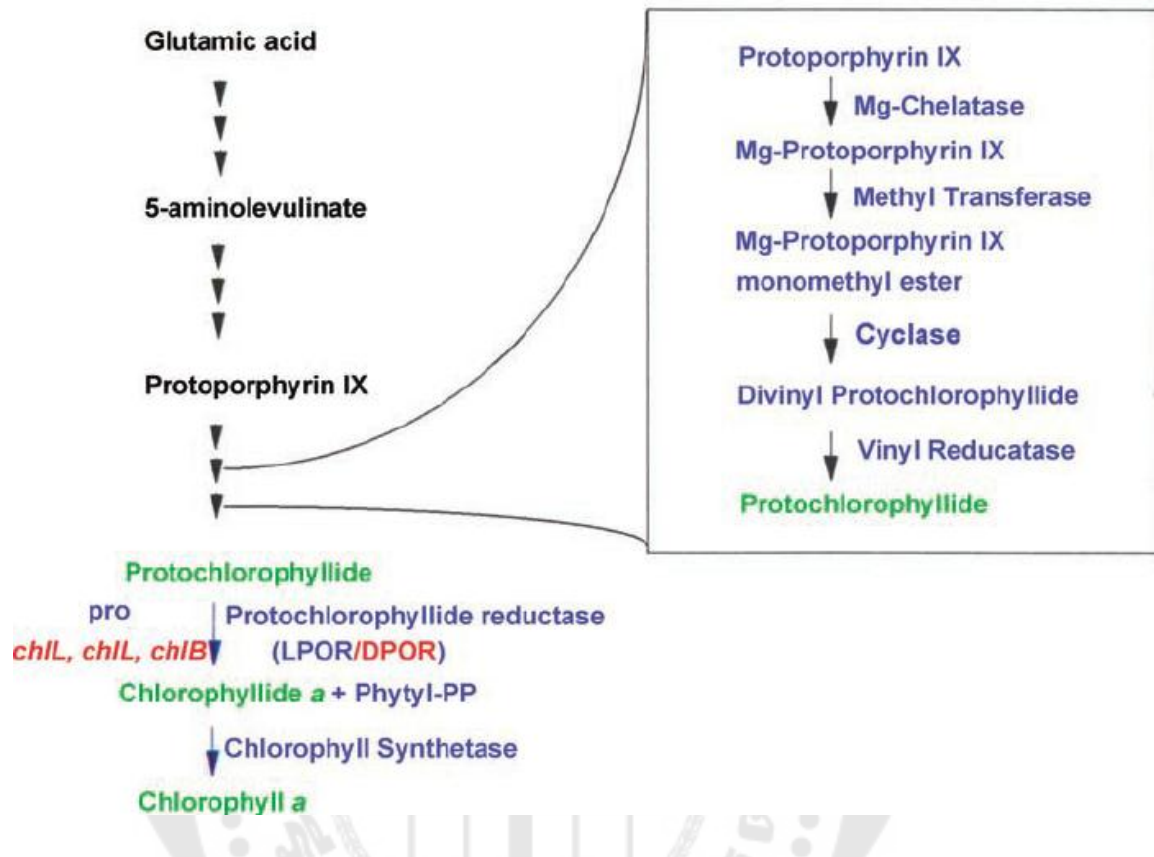
ภาพประกอบ 12 โครงสร้างทางเคมีของ β -carotene (ก) และ zeaxanthin (ข)

ที่มา: ลิลลี่ กาวีตี๊ะ (2556)

4.1.3 การสังเคราะห์รงควัตถุในใบ

4.1.3.1 การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ปฏิกริยาดังกล่าวมีกรดกลูตามิก (glutamic acid) เป็นสารตั้งต้น จากนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงของสารชีวเคมีต่าง ๆ หลายขั้นตอน จนได้เป็น protoporphyrin IX Mg^{2+} จะมาสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโควาเลนต์ (coordinate covalent bond) กับ protoporphyrin IX โดยมีไนโตรเจน 4 อะตอมเป็นลิแกนด์ และเอนไซม์ Mg chelatase ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา สารดังกล่าวเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น chlorophyllide แล้วสร้างพันธะโควาเลนต์กับ phytyl diphosphate (phytyl-PP) จนได้เป็นคลอโรฟิลล์ในที่สุด ดังภาพประกอบ 13 (Cheng, 2008)

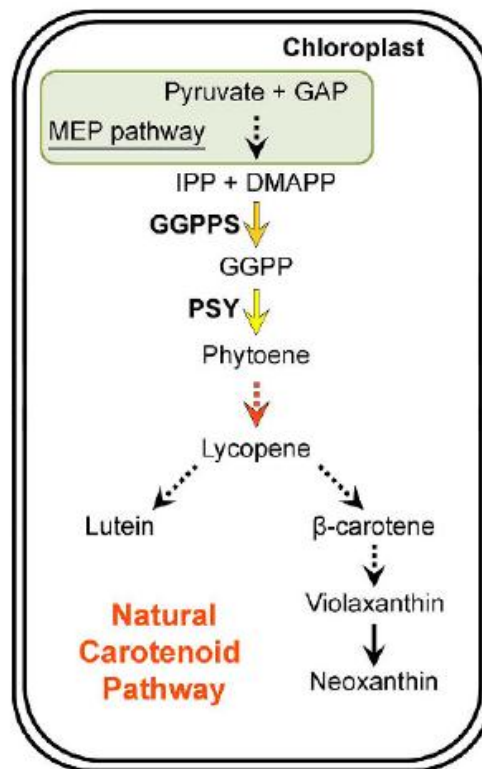
Chlorophyll Biosynthesis Pathway



ภาพประกอบ 13 กระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์

ที่มา: Cheng (2008)

4.1.3.2 การสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ ปฏิกิริยาดังกล่าวมีสารตั้งต้น คือ geranylgeranyl pyrophosphate (GGPP) จากนั้นจะผ่านกระบวนการหลายขั้นตอนแล้วได้เป็น lycopene และ lutein หรือ beta-carotene ตามลำดับ (ภาพประกอบ 12)



ภาพประกอบ 14 กระบวนการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์

ที่มา: Majer, Llorente, Rodríguez-Concepción, and Daròs (2017)

4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างรงควัตถุกับผลผลิต

จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าปริมาณรงควัตถุกับการเติบโตของพืชมีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากการเติบโตของพืชนั้น เซลล์จะต้องนำน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงไปใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักหรือสังเคราะห์สารชีวเคมีอื่น ๆ ต่อไป (Lin et al., 2013) การสะสมคลอโรฟิลล์ในใบพืชจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มแสง และระยะการพัฒนาของพืช โดยพบว่าพืชที่อยู่ในระยะสร้างตาดอกจะมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่าในระยะต้นอ่อน เพราะการสร้างอวัยวะสืบพันธุ์จำเป็นต้องสะสมอาหารเอาไว้มากกว่าในระยะอื่น ๆ เพื่อการสร้างผลและติดเมล็ด (Adedipe & Ormrod, 1975) นอกจากนี้จากการศึกษาผลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และผลผลิตของหญ้ากินนีมอมบาซา (*Panicum maximum* cv. Mombasa) พบว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนสามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชได้ เนื่องจากไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ หญ้ากินนีมอมบาซาที่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจนจะ

มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มมากขึ้น เพราะพืชใช้คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เมื่อพืชเกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดี พืชจะเติบโตและให้ผลผลิตที่มากขึ้นได้ (Taiz & Zeiger, 2010; Thussagunpanit et al., 2015; ทยานี แนนอน, จีติรัตน์ เฟิงสม, & นิตยา ผกามาศ, 2560)

4.1.5 บทบาทของบราสซิโนสเตียรอยด์กับปริมาณรงควัตถุ

BRs ความเข้มข้นที่เหมาะสมสามารถเพิ่มการสะสมรงควัตถุในพืชได้ โดยเฉพาะคลอโรฟิลล์ มีรายงานว่า BRs สามารถลดการสะสมไนเตรท (NO_3^-) ในใบพืชได้ เนื่องจาก BRs ไปกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ nitrate reductase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนไนเตรทไปเป็นสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ เช่น โปรตีน หรือคลอโรฟิลล์ได้ (สุขุมภรณ์ แสงงาม et al., 2561ข) ในสภาวะเครียดทางกายภาพ เช่น ความแล้ง อุณหภูมิสูง และความเค็ม เป็นต้น และยังพบว่า BRs สามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชได้อีกด้วย ซึ่งจากผลการศึกษาข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้รับความเครียดจากความร้อนเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยพ่นสาร EBR และ DHECD ความเข้มข้น 1 นาโนโมลาร์ พบว่า DHECD มีผลในการกระตุ้นการสะสมคลอโรฟิลล์รวมในใบข้าวมากกว่าต้นข้าวที่ไม่ได้รับ EBR หรือ DHECD ถึง 1.16 และ 1.12 เท่าตามลำดับ (Thussagunpanit et al., 2015) แต่อย่างไรก็ตามพืชที่ได้รับ BRs ที่มีความเข้มข้นสูงจนเกินไป การสะสมคลอโรฟิลล์จะลดลง เนื่องจาก BRs ไปกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีน สารดังกล่าวไปกระตุ้นกระบวนการเสื่อมชราของพืช (senescence) ให้เกิดเร็วขึ้น แล้วชักนำกระบวนการสลายคลอโรฟิลล์ภายในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ดังนั้นปริมาณคลอโรฟิลล์ภายในใบจึงลดลงตามไปด้วย (Ali, 2017; Arteca, 1996)

4.2 คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์

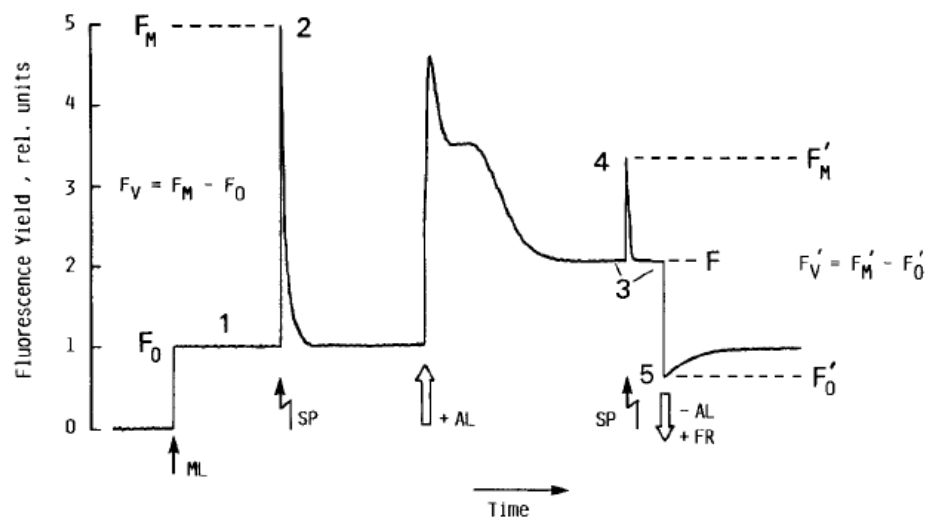
คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ คือ แสงสีแดงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 680 - 720 นาโนเมตร เป็นช่วงของคลื่นแสงที่มีพลังงานต่ำกว่าช่วงแสงที่พืชดูดกลืนได้ โดยการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีฟลูออเรสเซนซ์ไม่เกินร้อยละ 3 ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชนั้น เมื่ออิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์ในของระบบแสง (photosystem) ได้รับพลังงานแสงส่งผลให้เปลี่ยนระดับพลังงานจากสภาวะปกติไปสู่สภาวะเร่งเร้า ถ้าหากไม่มีตัวรับอิเล็กตรอนในลำดับถัดไป อิเล็กตรอนของคลอโรฟิลล์ในสภาวะเร่งเร้าจะมีการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาหลายรูปแบบ เช่น ความร้อน (heat) และคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Taiz & Zeiger, 2010) ดังนั้นรังสีฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของ

พืชได้ ถ้าหากพืชเกิดการปลดปล่อยรังสีฟลูออเรสเซนซ์ออกมาสูงกว่าปกติ แสดงว่าพืชมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ลดลง (Shimada, Kubo, Tominaga, & Yamamoto, 2017)

4.2.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วยคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์

ประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (maximum quantum efficiency of PSII; F_V/F_M) เป็นค่าที่บ่งบอกประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้การปลดปล่อยรังสีฟลูออเรสเซนซ์ของ PSII เมื่อใบพืชอยู่ในที่มืดเป็นเวลา 20 – 30 นาที จะไม่เกิดปฏิกิริยาการถ่ายทอดอิเล็กตรอนขึ้น ตัวรับอิเล็กตรอนที่อยู่ถัดจากศูนย์กลางปฏิกิริยาของ PSII หรือ quinone acceptor จะอยู่ในสถานะเปิด เมื่อให้พลังงานแสงที่มีความเข้มแสงต่ำ พลังงานส่วนเกินจะถูกปลดปล่อยออกมาเป็นรังสีฟลูออเรสเซนซ์ต่ำสุด (minimum fluorescence yield; F_0) จากนั้นให้พลังงานแสงที่มีความเข้มสูงขึ้นจนถึงจุดอิ่มแสงเป็นระยะเวลา 0.5 – 1 วินาที quinone acceptor จะอยู่ในสภาพ full reduced state ถ้ายังได้รับพลังงานแสงอย่างต่อเนื่องจนเกิดพลังงานส่วนเกินที่ปลดปล่อยออกมาเป็นรังสีฟลูออเรสเซนซ์สูงสุด (maximum fluorescence yield; F_M) ความแตกต่างของค่า F_0 และ F_M เรียกว่า variable fluorescence (F_V) ดังภาพประกอบ 15 ค่า F_V/F_M สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 1 (Murchie & Lawson, 2013)

$$F_V/F_M = (F_M - F_0) / F_M \quad (1)$$



ภาพประกอบ 15 หลักการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง

ที่มา: van Kooten and Snel (1990)

4.2.2 บทบาทของบราสซิโนสตีรอยด์กับคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์

จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า BRs สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้ โดยเฉพาะพืชที่อยู่ในสภาวะเครียดทางกายภาพ โดยพบว่าพริกขี้หนูและข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้รับสาร EBR และ DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีค่า F_v/F_m สูงกว่าชุดควบคุมในสภาวะแล้งและอุณหภูมิสูง (Khamsuk et al., 2018; Thussagunpanit et al., 2015) เนื่องจาก BRs มีบทบาทเกี่ยวข้องกับการยับยั้งกระบวนการลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมักจะเกิดมากขึ้น เมื่อพืชได้รับความเครียดจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความแล้ง และความเค็ม ผลของปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชันทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เกิดสูญเสียเสถียรภาพหรือสลายละลายภายในเซลล์รั่วไหลออกมาส่งผลให้เซลล์ตายในที่สุด นอกจากนี้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โปรตีนเชิงซ้อนทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ PSI, PSII, cytochrome b₆f complex และ ATP synthase รวมถึงตัวรับอิเล็กตรอนต่าง ๆ เช่น plastoquinone (PQ) จะฝังตัวอยู่ในเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ หากเยื่อหุ้มดังกล่าวสูญเสียเสถียรภาพจะทำให้โปรตีนเชิงซ้อนและตัวรับอิเล็กตรอนไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจึงเกิดขึ้นได้น้อยลง แต่อย่างไรก็ตามในสภาวะที่พืชอยู่ในสภาพปกติ BRs อาจไม่สามารถกระตุ้นประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีเท่ากับในสภาวะเครียด (Khamsuk et al., 2018; Taiz & Zeiger, 2010; นวรัตน์ อุดมประเสริฐ, 2558)

4.2.3 การประยุกต์ใช้คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์กับการตรวจสอบความเครียดของพืชระหว่างการเจริญเติบโต

การประเมินประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้หลักคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์สามารถตรวจสอบสภาพความเครียดของพืชในระหว่างการเจริญเติบโต รวมถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวในส่วนที่มีสีเขียว ข้อสำคัญของการใช้เทคนิคนี้คือ ไม่เป็นการทำลายตัวอย่างที่ศึกษา ดังนั้นการใช้คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์จึงเป็นที่แพร่หลายจากการศึกษาในต้นมะเขือเทศที่ดัดแปลงพันธุกรรมทนแล้งที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง พบว่าต้นมะเขือเทศดัดแปลงพันธุกรรมจะมีค่า F_v/F_m สูงกว่าพันธุ์ป่า เมื่อได้รับความเครียดจากความแล้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามะเขือเทศที่ดัดแปลงพันธุกรรมจะมีกลไกทางสรีรวิทยาที่รักษาประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่ให้เกิดลดลงส่งผลต่อการมีชีวิตของต้นมะเขือเทศ โดยรักษาความเต่งของเซลล์เอาไว้ให้มากที่สุด เช่น มีความหนาแน่นของปากใบลดลงหรือมีพื้นที่ใบลดลงเนื่องจากปากใบเป็นช่องทางที่พืชใช้คายน้ำ เมื่อพืชขาดน้ำจะแสดงอาการเหี่ยวจึงทำให้ค่า F_v/F_m ลดลง นอกเหนือจากภาวะแล้งแล้ว ยังมีภาวะขาดธาตุอาหารก็สามารถใช้

คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์สำหรับการประเมินความเครียดได้ จากการศึกษาในด้านสตรอบเบอร์ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ขาดธาตุเหล็กพบว่าค่า Fv/Fm จะลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาที่ขาดธาตุเหล็ก เพราะอาการขาดธาตุเหล็กของพืชนั้นจะแสดงอาการใบเหลือง (necrosis) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง (นางลักษณ์ พยัคฆศิรินาวัน, อุบลชินวัง, & สุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร, 2557)

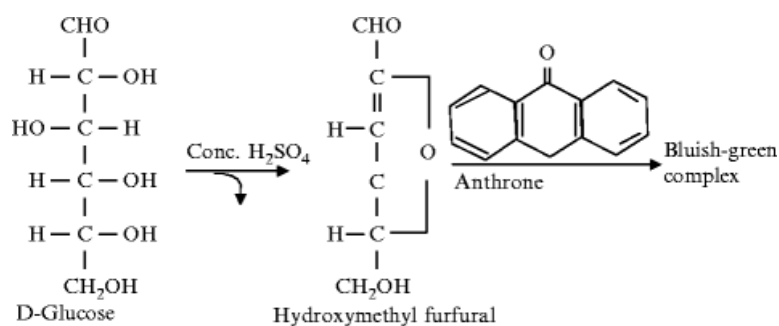
4.3 สารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำ เนื่องจากเป็นสารผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และเป็นสารชีวโมเลกุลที่เซลล์นำไปใช้เพื่อสังเคราะห์ ATP และการเติบโต รวมถึงเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ต่อไป

4.3.1 น้ำตาลรวมที่ละลายน้ำ (total soluble sugar)

น้ำตาล (sugar) เป็นสารชีวโมเลกุลที่เป็นสารประกอบประเภทแอลดีไฮด์ (aldehyde) หรือคีโตน (ketone) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) น้ำตาลมีหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานให้กับเซลล์และสารตั้งต้นในการสังเคราะห์สารชีวโมเลกุลชนิดอื่น ๆ เช่น กรดอะมิโน และสารประกอบฟีนอลิก นอกจากนี้น้ำตาลที่ละลายน้ำยังทำหน้าที่เป็นสารต้านแรงดันออสโมติก (osmoprotectant) เมื่อพืชได้รับความเครียดจากความแห้งหรือความเค็ม เซลล์พืชจะสะสมน้ำตาลที่ละลายน้ำมากขึ้น เพื่อลดค่าศักย์ (water potential) ภายในเซลล์ให้ต่ำลง ส่งผลให้น้ำภายนอกเซลล์สามารถออสโมซิส (osmosis) ผ่านเข้ามาภายในเซลล์ได้ (นวรรตน์ อุดมประเสริฐ, 2558; ลิลลี่ กาวีตี๊ะ, 2556)

4.3.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรวมอาศัยหลักการเกิดสีของน้ำตาลกับอนุพันธ์ของสารอะโรมาติกคีโตน เช่น แอนโทรน (anthrone) ในสภาวะที่เป็นกรด โดยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ได้แก่ เพนโทส (pentose) และเฮกโซส (hexose) ที่ทำปฏิกิริยากับกรดเข้มข้นจะสูญเสียน้ำ (dehydration) ออกจากโมเลกุลได้เป็นสารผลิตภัณฑ์ คือ เฟอฟูรัล (furfural) และไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรัล (hydroxymethylfurfural) ที่ไม่มีสี เมื่อสารเหล่านี้ทำปฏิกิริยากับสารละลายแอนโทรนจะเกิดสารประกอบสีน้ำเงินอมเขียว (bluish-green) ดังภาพประกอบ 16 ส่วนน้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) และ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ก็สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอนโทรนได้เช่นกัน เพราะกรดเข้มข้นสามารถทำลายพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว แล้วเข้าทำปฏิกิริยาต่อไปได้



ภาพประกอบ 16 ปฏิกิริยาการของน้ำตาลและสารละลายแอนโทรอน

ที่มา: Katoch (2011)

4.3.1.2 บทบาทของ BRs กับปริมาณน้ำตาลรวม พบว่า BRs สามารถเพิ่มการสะสมน้ำตาลในใบพืชหลายชนิด จากการศึกษาในพริกชี้หนูและข้าวปทุมธานี 1 ที่ได้รับ DHECD และ EBR ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในสภาวะแล้งและอุณหภูมิสูงตามลำดับ สารดังกล่าวสามารถเพิ่มปริมาณน้ำตาลรวมในใบได้ แต่อย่างไรก็ตามทั้ง DHECD และ EBR ไม่สามารถเพิ่มปริมาณน้ำตาลรวมในชุดการทดลองที่เป็นสภาวะปกติ เนื่องจาก BRs จะทำงานได้ดีเมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียดมากกว่าสภาวะปกติ (Khamsuk et al., 2018; Thussagunpanit et al., 2015)

4.4 ปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน

ความเครียดทั้งกายภาพและชีวภาพส่งผลให้เซลล์สะสมอนุมูลอิสระ (free radical) สารดังกล่าวจะมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone paired electron) อย่างน้อย 1 อิเล็กตรอน อนุมูลอิสระเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและไวต่อปฏิกิริยา ดังนั้นโมเลกุลข้างเคียงจะถูกอนุมูลอิสระดึงอิเล็กตรอนไป จนเกิดอนุมูลอิสระอย่างต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ อนุมูลอิสระที่มีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุลจะเรียกว่า reactive oxygen species (ROS) ซึ่งมีหลายชนิด เช่น hydrogen peroxide และ superoxide anion อนุมูลอิสระที่มีมากจนเกินไปภายในเซลล์ส่งผลให้เซลล์เกิด oxidative stress และทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ เช่น ลิพิด ให้เสื่อมสภาพผ่านปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน แล้วชักนำให้เซลล์เกิดกระบวนการตายต่อไป (Brieger, Schiavone, Miller, & Krause, 2012; Cornelli, 2009)

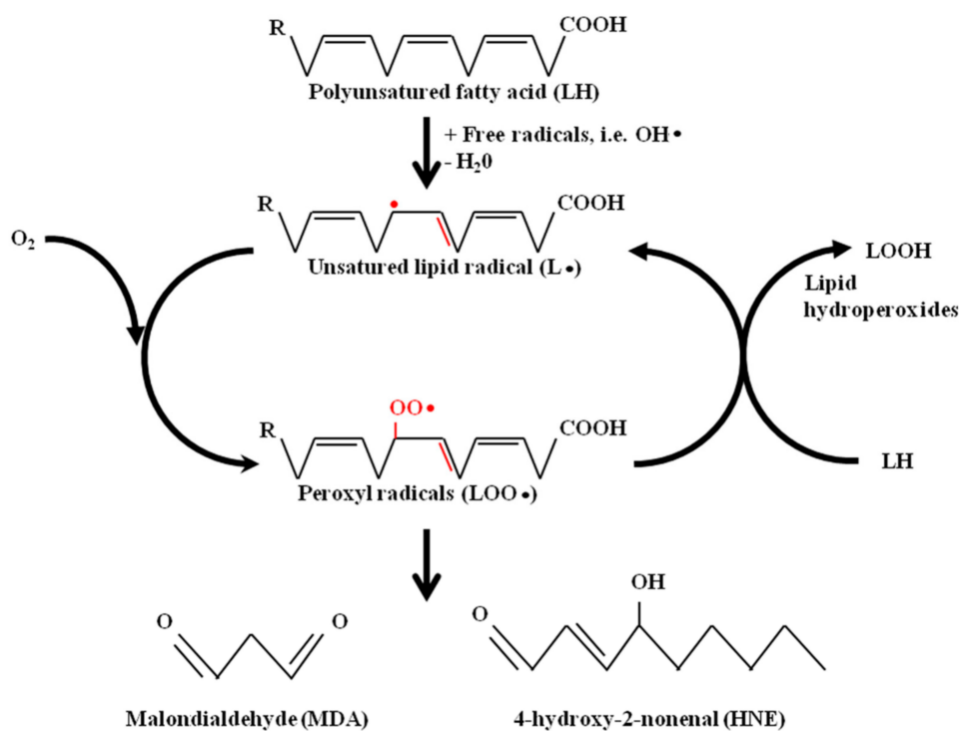
ปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชันแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน (ภาพประกอบ 17) ดังนี้ (Ayala, Muñoz, & Argüelles, 2014)

1. Initiation phase เริ่มจากอนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นส่วนประกอบของฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ของเยื่อหุ้มต่าง ๆ เกิดการสะสมอนุมูลอิสระภายในเซลล์มากขึ้น

2. Propagation phase โดยอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลอิสระชนิดใหม่ แล้วทำปฏิกิริยากับกรดไขมันไม่อิ่มตัวโมเลกุลอื่นอีกครั้ง ซึ่งเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่แบบนี้ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ จนได้ LOOH

3. Termination phase เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่ LOOH จะทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระภายในเซลล์จนได้สารผลิตภัณฑ์ที่เสถียร ส่วน ROS บางชนิด เช่น superoxide anion จะถูกเปลี่ยนเป็น hydrogen peroxide จากนั้นจะถูกรีดิวซ์ให้เป็นน้ำในที่สุด โดยเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX) และ catalase (CAT) ตามลำดับ

สารผลิตภัณฑ์หลักในปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน คือ LOOH แต่สารดังกล่าวยังสามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้อีก เช่น malondialdehyde (MDA), 2-alkenals, 4-hydroxyalkenals และ 4-hydroxynonenal, 4-HNE) โดย MDA เป็นผลิตภัณฑ์ที่พบมากที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยจึงนิยมวิเคราะห์ปริมาณ MDA เพื่อศึกษาการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันภายในเซลล์ โดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่าง MDA กับกรดไทโอบาร์บิทรอิก (thiobarbituric acid; TBA) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดง (Madhava Rao & Sresty, 2000)



ภาพประกอบ 17 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน

ที่มา: Barrera et al. (2018)

บทบาทของ BRs ต่อปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชันนั้นพบว่า BRs สามารถลดปริมาณ MDA และ H_2O_2 ได้ โดย BRs กระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ SOD และ CAT ได้ โดย EBR และ DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ลดปฏิกิริยาลิพิดเปอร์ออกซิเดชันในพริกชี้หนูที่ได้รับสภาวะขาดน้ำและต้นอ่อนข้าวโพด ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง เนื่องจาก BRs สามารถเพิ่มการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับ CAT และกระบวนการตอบสนองต่ออนุมูลอิสระต่าง ๆ รวมถึงการรักษาเสถียรภาพของเยื่อหุ้มอีกด้วย พืชที่ได้รับ BRs จะมีปริมาณ MDA และ H_2O_2 ลดน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับ BRs ผลของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ทำให้เยื่อหุ้มภายในเซลล์มีเสถียรภาพ ช่วยรักษากระบวนการทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ให้สามารถดำเนินต่อไปอย่างเป็นปกติ (Khamsuk et al., 2018; Yadava et al., 2016)

4.5 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่ทำหน้าที่ออกซิไดซ์อนุมูลอิสระให้กลายเป็นโมเลกุลที่เสถียร หรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ สารที่เป็นเอนไซม์ เช่น SOD, APX และ CAT และสารที่ไม่ใช่เอนไซม์ เช่น สารประกอบฟีนอลิก, วิตามิน ซี และแคโรทีนอยด์ กลไกการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระมีหลายแบบ ได้แก่ (บุหรัน พันธุสุวรรณค์, 2556)

1. กำจัดอนุมูลอิสระ (free radical scavenging)
2. ยับยั้งการทำงานของ singlet oxygen (singlet oxygen quenching)
3. จับไอออนของโลหะที่สามารถเร่งกระบวนการสังเคราะห์ ROS (metal chelation)
4. หยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ (chain breaking)
5. ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inhibition)

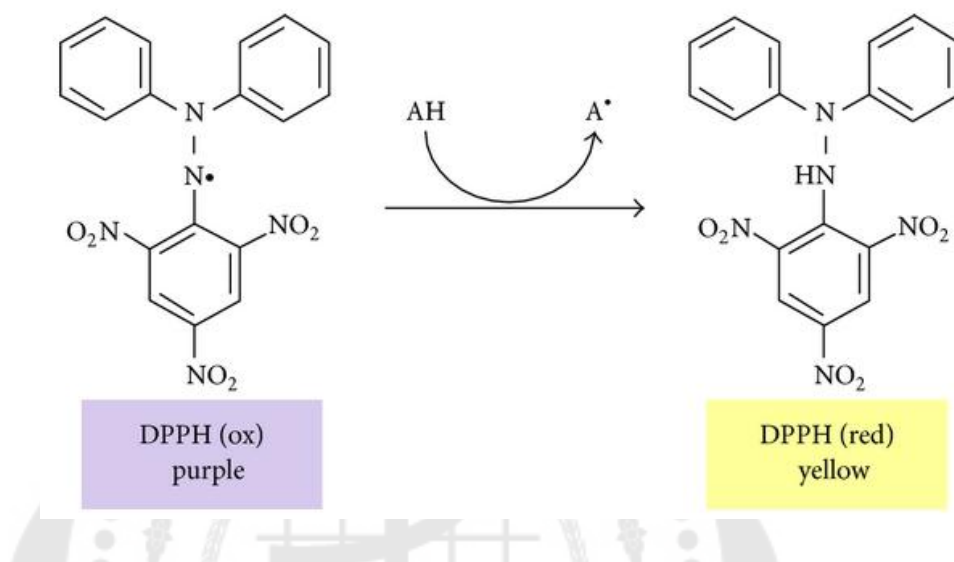
4.5.1 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในสารตัวอย่างมีหลากหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ คือ การกำจัดอนุมูลอิสระ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH) หรือ DPPH radical scavenging assay (DPPH assay) เป็นอนุมูลอิสระสังเคราะห์ที่เสถียร เมื่อ DPPH ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล จะมีสีม่วงเข้มที่มีค่าการดูดกลืนแสง 515 – 517 นาโนเมตร อนุมูลอิสระ DPPH จะทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระจนสีม่วงเข้มเกิดการฟอกจางสีเป็นสีเหลือง (ภาพประกอบ 18) ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลง ข้อดีของการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างด้วยวิธีนี้ คือ ง่าย สะดวก และรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามอนุมูลอิสระ DPPH ไม่ไวต่อปฏิกิริยาเหมือนกับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกาย และปฏิกิริยานั้นต้องเกิดขึ้นในเอทานอล ทำให้สารต้านอนุมูลอิสระบางชนิดเกิดการเสื่อมสภาพ ค่าที่วิเคราะห์ได้จึงใช้ได้เฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระบางกลุ่มเท่านั้น (กิตติพัฒน์ โสภิตธรรมคุณ & ปานทิพย์ รัตนศิลป์ภัลชาญ, 2560; บุหรัน พันธุสุวรรณค์, 2556)

4.5.2 บทบาทของบราสซิโนสเตรอยด์ต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า EBR กับ 28-homobrassinolide (HBL) ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 2 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในส่วนราก ลำต้น และใบของบอระเพ็ด โดยเฉพาะส่วนใบนั้น บอระเพ็ดที่ได้รับ EBR และ HBL ความเข้มข้น 2 ไมโครโมลาร์ มีค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าชุดควบคุมถึง 1.19 และ 1.27 เท่าตามลำดับ เนื่องจาก BRs กระตุ้นการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก นอกจากบอระเพ็ดแล้ว ยังมี

การศึกษาผลของ BRs ต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในพืชหลายชนิด ได้แก่ แรดิช, พรหมมิ และองุ่น พันธุ์ทอมสัน ซึ่งให้ผลการทดลองที่คล้ายกัน (Ghorbani et al., 2017; Raghu & Seeta, 2016) แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาบทบาทที่เกี่ยวข้องกับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระใน DHECD



ภาพประกอบ 18 ปฏิกริยาการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH ของสารต้านอนุมูลอิสระ

ที่มา: Teixeira, Gaspar, Garrido, Garrido, and Borges (2013)

4.6 สารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารทุติยภูมิที่พืชสร้างขึ้น ซึ่งมีหน้าที่ที่สำคัญหลายอย่าง เช่น ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และดูดกลืนแสง UV เพื่อดึงดูดแมลงผสมเกสร (pollinator) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะขึ้นอยู่กับจำนวนวงแหวนอะโรมาติก (aromatic ring) และหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) โดยเกิดการให้อิเล็กตรอนกับอนุมูลอิสระ เพื่อเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่เสถียรต่อไป สารประกอบฟีนอลิกสามารถพบได้ทุกส่วนในพืช โดยพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณและชนิดของสารประกอบฟีนอลิกที่แตกต่างกันออกไป (ภาพประกอบ 19)

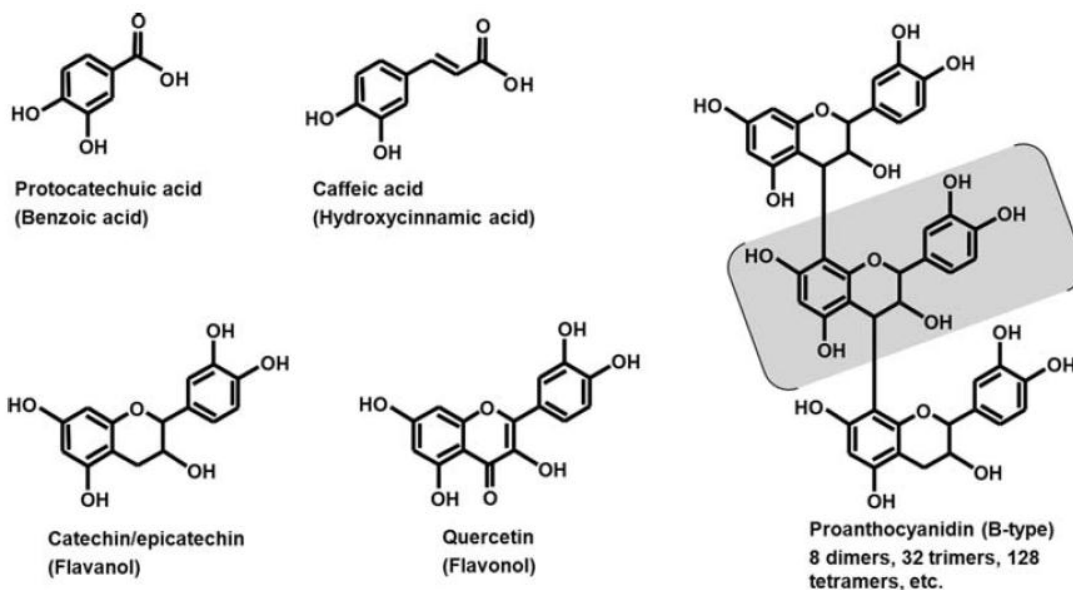
4.6.1 ประเภทของสารประกอบฟีนอลิก

4.6.1.1 กลุ่มฟีนอล (simple phenolic compound) มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน เนื่องจากเป็นอนุพันธ์ของฟีนอล เช่น กรดแกลลิก และกรดคาเฟอิก

4.6.1.2 กลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เป็นกลุ่มที่พบมากและมีความหลากหลายมากที่สุด พบโครงสร้างพื้นฐาน คือ flavan ring นอกจากโครงสร้างพื้นฐานแล้ว อาจมีหมู่ฟังก์ชันอื่น ๆ เช่น อีเทอร์, คีโตน, ไฮดรอกซิล และน้ำตาล ซึ่งมีผลต่อสภาพขั้วของสารด้วย สารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เช่น คาเทชิน (catechin) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ทางเภสัชวิทยาจัดฟลาโวนอยด์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระประสิทธิภาพสูง ช่วยป้องกันโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็งและโรคหัวใจ รวมถึงสามารถต่อต้านเชื้อแบคทีเรียได้ด้วย ฟลาโวนอยด์ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยให้ไฮโดรเจนแก่อนุมูลเหล่านั้น เพื่อยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ หรือส่งเสริมการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่น เช่น วิตามิน อี โดยให้อิเล็กตรอนกับวิตามิน อี เพื่อให้วิตามิน อี สามารถกลับไปทำหน้าที่ใหม่อีกครั้ง

4.6.1.3 ลิกนิน (lignin) เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่พบในผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิ (secondary cell wall) ของเซลล์พืช ทำหน้าที่เสริมสร้างความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์และเกี่ยวข้องกับกาเพิ่มประสิทธิภาพในการลำเลียงน้ำของพืชอีกด้วย ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ (polymer) ที่มีหน่วยย่อย (monomer) เป็นสารจำพวก phenylpropanoid alcohols 3 ชนิด ได้แก่ coniferyl, coumaryl และ sinapyl alcohol ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีสัดส่วนของหน่วยย่อยทั้ง 3 ชนิดที่แตกต่างกัน

4.6.1.3 แทนนิน (tannin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้กับพืชจากสัตว์กินพืชและเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากนี้แทนนินยังสามารถเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามหากร่างกายได้รับแทนนิน มากจนเกินไป จะเกิดผลกระทบต่อระบบทางเดินอาหาร โดยแทนนินไปจับกับโปรตีนด้วยพันธะไฮโดรเจน จึงรบกวนกระบวนการย่อยอาหารของร่างกาย แทนนินแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ hydrolyzable tannin ซึ่งมีหน่วยย่อยเป็น simple phenolic compound และมีบางส่วนจับกับน้ำตาล ทำให้สามารถละลายน้ำได้ ส่วนอีกชนิด คือ condensed tannin มีหน่วยย่อยเป็น flavonoid ซึ่งละลายน้ำได้น้อยมาก เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดแก่จะเกิดเป็น anthocyanidin ได้ (Dey et al., 1997; Havsteen, 2002; Taiz & Zeiger, 2010; Tungmunthum, Thongboonyou, Pholboon, & Yangsabai, 2018)

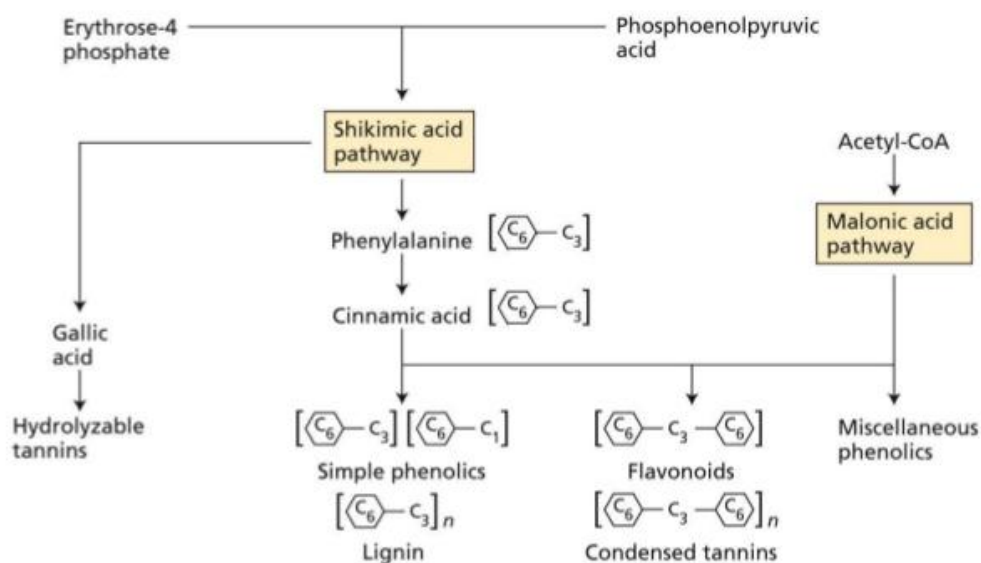


ภาพประกอบ 19 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกกลุ่มต่าง ๆ

ที่มา: Laguerre, Lecomte, and Villeneuve (2014)

4.6.2 กระบวนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก

การสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกในพืชจะผ่านทาง shikimic acid pathway โดยมีสารตั้งต้น คือ สารตัวกลาง (intermediate) ต่าง ๆ ใน glycolysis และ pentose phosphate pathway สารตั้งต้นดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงไปเป็น aromatic amino acid ได้แก่ phenylalanine, tyrosine และ tryptophan ซึ่ง phenylalanine จะเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด จากนั้น aromatic amino acid จะถูกกำจัดหมู่อะมิโน (amino group; $R-NH_2$) โดยมีเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase (PAL) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กิจกรรมของ PAL สามารถถูกกระตุ้นด้วยปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม เช่น ความเข้มแสง หรือการติดเชื้อจุลินทรีย์ จากนั้นจะมีการเติมหมู่ไฮดรอกซิลเข้ามาแทนหมู่อะมิโนที่ถูกกำจัดไปได้เป็น phenylpropanoids ซึ่งเป็นกลุ่มสารตั้งต้นในการสร้างสารประกอบฟีนอลิกชนิดอื่น ๆ ต่อไป ดังภาพประกอบ 20 (Taiz & Zeiger, 2010)



ภาพประกอบ 20 กระบวนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก

ที่มา: Taiz and Zeiger (2010)

4.6.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด 2 ชนิด ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) และ ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (total flavonoid content)

4.6.3.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารตัวอย่างนิยมใช้การทำปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบฟีนอลิกกับ Folin-Ciocalteu reagent โดยใช้หลักการให้อิเล็กตรอนของสารประกอบฟีนอลิกกับโมลิบดีนัมเตตระไอออน (molybdenum ion) ใน Folin-Ciocalteu reagent จะประกอบไปด้วยโซเดียมทังสเตต (sodium tungstate), โซเดียมโมลิบเดต (sodium molybdate) และกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) เมื่อได้รับอิเล็กตรอนจากสารประกอบฟีนอลิกไอออน Mo (VI) ซึ่งมีสีเหลืองจะเปลี่ยนเป็น Mo (V) ที่มีสีน้ำเงินแทน โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาพที่เป็นเบส จึงจำเป็นต้องเติม Na₂CO₃ เพื่อปรับค่า pH ในปฏิกิริยา ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกจะแปรผันตรงกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร (Agbor, Vinson, & Donnelly, 2014)

4.6.3.2 ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ในสารตัวอย่างนิยมใช้ aluminium chloride colorimetric assay โดยฟลาโวนอยด์ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไนไตรต์ (NaNO_2) หมู่ไฮดรอกซิลบนวงเบนซีนเกิดเปลี่ยนแปลงเป็นหมู่คาร์บอนิล จากนั้นอนุมูลอนุมูลอิสระจะไปจับกับหมู่คาร์บอนิลได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดงในสภาวะเบส โดยสารประกอบเชิงซ้อนสีแดงที่เกิดขึ้นจะวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร (Pekal & Pyrzyńska, 2014)

4.6.4 บทบาทของบราสซิโนสเตรอยด์ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า BRs สามารถเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในพืชหลายชนิด โดย EBR ความเข้มข้น 0.0.1, 1 และ 100 นาโนโมลาร์ ส่งเสริมการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกในต้นอ่อนผักกาดอายุ 7 วัน ที่ได้รับความเครียดจาก CuSO_4 ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ซึ่งต้นอ่อนผักกาดที่ได้รับ EBR มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมากกว่าชุดควบคุมทั้งในสภาวะที่ได้รับและไม่ได้รับ CuSO_4 ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ (Choudhary, Oral, Bhardwaj, Yu, & Tran, 2012) นอกจากนี้ HBL ความเข้มข้น 2 ไมโครโมลาร์ ก็สามารถเพิ่มปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในบอระเพ็ดทั้งส่วนของใบ, ลำต้น และราก ได้ถึง 1.45, 2.14 และ 1.74 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Raghu & Seeta, 2016) เนื่องจาก BRs เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีผลต่อกระบวนการต้านทานต่อสภาวะเครียดต่าง ๆ BRs จึงส่งเสริมกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเอนไซม์และเพิ่มการสะสมสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่เป็นเอนไซม์ ซึ่งก็คือสารประกอบฟีนอลิกได้ (Anwar et al., 2018)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. การเตรียมต้นพืชที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ แดงโมพันธุขอนแก่น พลับและพันธุกินรี โดยการเตรียมดินปลูกพืชในสัดส่วน ดิน: กาบมะพร้าวสับ: ปุ๋ยคอก เท่ากับ 1: 1: 1 ใส่ลงในกระถางพลาสติกขนาด 9 นิ้ว การปลูกและบำรุงรักษาต้นแดงโมพันธุขอนแก่น พลับและพันธุกินรีในดินผสม ตั้งแต่ระยะต้นอ่อน ไปจนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต (อายุ 65 วัน นับจากเมล็ดงอก)
2. ศึกษาผลของสาร DHECD ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ โดยการให้สาร DHECD ในวันที่ต้นแดงโมออกดอกเพศเมียร้อยละ 50 จากจำนวนต้นแดงโมทั้งหมด
3. ศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเติบโตทางลำต้น, ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง และปริมาณรงควัตถุของแดงโมที่ได้รับสาร DHECD ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน
4. ศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการสะสมปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ มาลอนไดอัลดีไฮด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
5. ศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay
6. ศึกษาผลของสาร DHECD ต่อคุณภาพของผลผลิต ค่าความหวาน และการสะสมสารทุติยภูมิบางชนิดในผลแดงโม ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิกรวม ฟลาโวนอยด์รวม ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และไลโคปีน

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. วัสดุและอุปกรณ์สำหรับปลูกพืช

- 1.1 เมล็ดแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พัสและพันธุ์กินรี
- 1.2 ดินผสมประกอบด้วย ดินร่วน กาบมะพร้าวสับ และปุ๋ยคอก (อัตราส่วน 1: 1: 1)
- 1.3 กระถางพลาสติกขนาด 9 นิ้ว

2. วัสดุและอุปกรณ์สำหรับวัดการเติบโตทางลำต้น ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง การตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการ และคุณภาพผลผลิตของแตงโม

- 2.1 สายวัด
- 2.2 เครื่องชั่งทศนิยม 1 ตำแหน่ง
- 2.3 เครื่อง hand refractometer
- 2.4 เครื่องคลอโรฟิลล์ฟลูออโรมิเตอร์ (Chlorophyll fluorometer; Hansatech Instrument, King's Lynn, UK)

3. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารทุติยภูมิของพืช

- 3.1 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง
- 3.2 เครื่องแก้วสำหรับตวงวัด ได้แก่ ปิเปต กระบอกตวง บีกเกอร์ และขวดปรับปริมาตร
- 3.3 ไมโครปิเปตขนาด 0.1, 1 และ 5 มิลลิลิตร
- 3.4 pH meter (Satorius PB-11)
- 3.5 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Visible spectrophotometer Unico S1200)
- 3.6 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุ ได้แก่ dimethyl sulfoxide (DMSO)
- 3.7 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ละลายน้ำได้
 - 3.7.1 สารละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 80
 - 3.7.2 สารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นร้อยละ 70
 - 3.7.3 สารละลายแอนโทรน (anthrone reagent) ที่ประกอบด้วยแอนโทรน น้ำหนัก 0.2 กรัม ละลายในกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นร้อยละ 70 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- 3.8 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์
 - 3.8.1 สารละลายกรดไตรคลอโรอะซีติก ความเข้มข้นร้อยละ 0.1
 - 3.8.2 สารละลายกรดไตรคลอโรอะซีติก ความเข้มข้นร้อยละ 20
 - 3.8.3 สารละลายกรดไทโอบาร์บิทูริก ความเข้มข้นร้อยละ 0.5
- 3.9 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ได้แก่

- 3.9.1 สารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก ความเข้มข้นร้อยละ 0.1
- 3.9.2 สารละลายโพแทสเซียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ (pH 7.0)
- 3.9.3 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์
- 3.10 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด
- 3.10.1 สารละลาย Folin-Ciocalteu ความเข้มข้นร้อยละ 10
- 3.10.2 สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นร้อยละ 10
- 3.10.3 สารละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 100
- 3.11 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด
- 3.11.1 สารละลายโซเดียมไนไตรท์ ความเข้มข้นร้อยละ 5
- 3.11.2 สารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10
- 3.11.3 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 4
- 3.11.4 สารละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 100
- 3.12 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH
- 3.12.1 สารละลาย 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์
- 3.12.2 สารละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 100
- 3.13 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน
- 3.13.1 สารละลายผสมประกอบด้วยเฮกเซน, เอทานอล และอะซีโตน ในอัตราส่วน 2: 1: 1 ต่อปริมาตร และ Butylated hydroxytoluene (BHT) ความเข้มข้นร้อยละ 0.05

วิธีการ

1. การเตรียมต้นแตงโม

แช่เมล็ดแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับและพันธุ์กินรี ในน้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำเมล็ดที่งอกปลูกลงในดินผสมที่มีส่วนผสมของดินร่วนต่อกาบมะพร้าวสับต่อปุ๋ยคอกในอัตราส่วน 1: 1: 1 รดน้ำวันละ 1 ครั้ง ภายในโรงเรือนที่มีช่องตาข่ายถี่ 20 ตา โดยให้ได้รับแสงจากธรรมชาติ จนกระทั่งแตงโมมีอายุ 30 วัน หรือออกดอกเพศเมียตำแหน่งข้อที่ 9 เป็นต้นไป จึงนำมาใช้ในการทดลอง และทำการผสมเกสรด้วยมือ (hand pollination) ในเวลา 9.00 – 11.00 น. โดยนำดอกเพศผู้ที่บ้านเต็มที่มาแต้มให้ทั่วบริเวณยอดเกสรเพศเมียที่บ้านเต็มทีในต้นเดียวกัน

2. การเตรียมสารละลาย DHECD

เตรียมสารละลาย DHECD ความเข้มข้น 1,000 ไมโครโมลาร์ แล้วนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ความเข้มข้น 3 ระดับความเข้มข้น คือ 0, 0.1 และ 1 ไมโครโมลาร์ โดยเลือกมาจากการทดลองเบื้องต้นก่อนหน้านี้ เพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

การทดลองที่ 1 การหาระดับความเข้มข้นของสาร DHECD ต่อการเติบโตทางลำต้น ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง และการตอบสนองทางสรีรวิทยาของแตงโม

1.1 การหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของสาร DHECD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของต้นแตงโม

ดำเนินการปลูกและดูแลต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัส ในสภาพโรงเรือนทดลอง ณ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตประสานมิตร กรุงเทพฯ (13°44'46.8"N 100°34'00.1"E) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 3 สิ่งทดลอง (treatment) สิ่งทดลองละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 4 ค่าสังเกต (1 ค่าสังเกตคือ แตงโม 1 ต้น) กำหนดให้สาร DHECD ที่ใช้ทดสอบมีความเข้มข้น ดังนี้

สิ่งทดลองที่ 1 แตงโมที่ได้รับสาร DHECD ที่ระดับความเข้มข้น 0 ไมโครโมลาร์ (ชุดควบคุม)

สิ่งทดลองที่ 2 แตงโมที่ได้รับสาร DHECD ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 ไมโครโมลาร์

สิ่งทดลองที่ 3 แตงโมที่ได้รับสาร DHECD ที่ระดับความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์

การให้สาร DHECD กับต้นแตงโมทำโดยเริ่มพ่นสาร DHECD ทางใบ เมื่อต้นแตงโมออกดอกเพศเมียร้อยละ 50 ของต้นแตงโมทั้งหมดที่ทำการปลูก โดยต้นแตงโมแต่ละต้นจะได้รับสาร DHECD ปริมาตร 80 มิลลิลิตร แล้วพ่นสาร DHECD แต่ละความเข้มข้น ซ้ำทุก ๆ 14 วัน ทำการเก็บข้อมูลและบันทึกค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง และเก็บตัวอย่างใบเพื่อวิเคราะห์การตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการ ของต้นแตงโมทุก ๆ 7 วัน เป็นเวลาทั้งหมด 42 วัน นับจากวันที่ให้สาร DHECD ครั้งแรก บันทึกความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในโรงเรือนตลอดระยะเวลาของการดำเนินการทดลอง

1.2 การเจริญเติบโตทางลำต้น

บันทึกน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นแตงโม โดยชั่งน้ำหนักส่วนที่อยู่เหนือดินทั้งหมดในวันสุดท้ายที่เก็บผลการทดลอง นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS (Statistic package for the social science) version 23.0

1.3 การวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง

ทำการวัดค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์ฟลูออโรมิเตอร์จากใบตำแหน่งที่ 8 – 10 นับจากปลายยอด โดยเตรียมใบในที่มืด ด้วยการใช้คลิปหนีบใบพืชเพื่อไม่ให้ได้รับแสง เป็นระยะเวลา 20 นาที เพื่อให้ตัวรับอิเล็กตรอนในระบบแสง 2 (photosystem II) สามารถเปิดรับอิเล็กตรอนได้สูงสุด และให้แสงที่มีความเข้มแสง 3,500 ไมโครโมล/ตารางเมตร/วินาที เป็นเวลา 0.8 วินาที ตัวรับอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะที่ถูกกระตุ้น สัดส่วนของค่าที่วัดได้เรียกว่าค่า maximum quantum yield (Fv/Fm) วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยโปรแกรม SPSS (Statistic package for the social science) version 23.0

1.4 ปริมาณรงควัตถุของใบ

ตัดเนื้อเยื่อใบพืชเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร ใบละ 5 ตำแหน่ง มาสกัดรงควัตถุโดยดัดแปลงจากวิธีของสุชุมารภรณ์ แสงงาม et al. (2561ข) โดยชั่งน้ำหนักใบพืช 0.1 กรัม แช่ในสารละลาย DMSO ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้บ่มสารละลายที่ได้ในอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ โดยนำสารสกัดที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 480, 649 และ 665 นาโนเมตรด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวมและแคโรทีนอยด์ จากสมการ (Arnon, 1949)

$$\text{Chlorophyll } a = [(12.19 \times A_{665}) - (3.14 \times A_{649})]$$

$$\text{Chlorophyll } b = [(21.99 \times A_{649}) - (5.32 \times A_{665})]$$

$$\text{Total chlorophyll} = \text{chl. } a + \text{chl. } b$$

$$\text{Carotenoids} = [(1000 \times A_{480}) - (2.14 \times \text{chl. } a) - (70.16 \times \text{chl. } b)]$$

เมื่อ A คือค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

1.5 การตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของแตงโม

การทดลองนี้ผู้วิจัยศึกษาการสะสมน้ำตาลทั้งหมดที่ละลายน้ำ

1.5.1 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

สุ่มตัวอย่างใบพืช น้ำหนัก 0.1 กรัม จากใบลำดับที่ 8 – 10 นับจากปลายยอด จุ่มตัวอย่างใบลงในไนโตรเจนเหลว แล้วเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำมา

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ละลายน้ำ โดยดัดแปลงวิธีของ Robbins and Pharr (1987) โดยบดตัวอย่างให้ละเอียด เติมสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร บ่มในหลอดทดลองที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที นำส่วนใสปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย แอนโทรนปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสาร (vortex mixer) นำสารละลาย ที่ได้ไปบ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หยุดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโน เมตร แล้วเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกลูโคสความเข้มข้น 7.5, 15, 30, 60, 120 และ 240 มิลลิกรัม/ลิตร คำนวณปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในหน่วยมิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด วิเคราะห์ความ แปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเจริญเติบโตและ กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการ ปริมาณสารทุติยภูมิบางชนิด และ คุณภาพของผลผลิตของผลแดงโม

จากผลการทดลองหาระดับความเข้มข้นของสาร DHECD ที่เหมาะสมต่อการ ตอบสนองทางสรีรวิทยาของแตงโมในการทดลองที่ 1 พบว่าสาร DHECD ที่ระดับความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีผลทำให้แตงโมมีการเจริญเติบโตและมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ดี ที่สุด ดังนั้นในการทดลองที่ 2 ผู้วิจัยจึงเลือกใช้สาร DHECD ที่ระดับความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มาใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของสาร DHECD ต่อการเจริญเติบโตและการ ตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการและการเพิ่มคุณภาพของผลผลิตแตงโม ที่นิยมปลูกทาง การค้า ได้แก่ พันธุ์ซอนญา พลัสและพันธุ์กินรี ดังนี้

2.1 การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบาง ประการของต้นแตงโม

การวางแผนการทดลอง

ดำเนินการปลูกและดูแลต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัสและพันธุ์กินรี ในสภาพ โรงเรือนทดลอง ณ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขต ประสานมิตร กรุงเทพฯ (13°44'46.8"N 100°34'00.1"E) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 4 สิ่งทดลอง (treatment) สิ่งทดลองละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 4 ค่าสังเกต (1 ค่าสังเกตคือ แตงโม 1 ต้น) ดังนี้

สิ่งทดลองที่ 1 แตงโมพันธุ์ซอนญา พลัสที่ได้รับสาร DHECD ที่ระดับความเข้มข้น 0 ไมโครโมลาร์ (ชุดควบคุม)

สิ่งทดลองที่ 2 แดงโมพันธุ์ขอนแก่นที่ พลัสได้รับสาร DHECD ที่ระดับความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์

สิ่งทดลองที่ 3 แดงโมพันธุ์กินรีที่ได้รับสาร DHECD ที่ระดับความเข้มข้น 0 ไมโครโมลาร์ (ชุดควบคุม)

สิ่งทดลองที่ 4 แดงโมพันธุ์กินรีที่ได้รับสาร DHECD ที่ระดับความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์

การให้สาร DHECD กับต้นแดงโมทำโดยเริ่มพ่นสาร DHECD ทางใบ เมื่อต้นแดงโมออกดอกเพศเมียร้อยละ 50 ของต้นแดงโมทั้งหมดที่ทำการปลูก โดยต้นแดงโมแต่ละต้นจะได้รับสาร DHECD ปริมาตร 80 มิลลิลิตร แล้วพ่นสาร DHECD แต่ละความเข้มข้น ซ้ำทุก ๆ 14 วัน ทำการเก็บข้อมูลและบันทึกค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง และเก็บตัวอย่างใบเพื่อวิเคราะห์การตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการ ของต้นแดงโมทุก ๆ 7 วัน เป็นเวลาทั้งหมด 42 วัน นับจากวันที่ให้สาร DHECD ครั้งแรก บันทึกความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในโรงเรือนตลอดระยะเวลาของการดำเนินการทดลอง

2.1.1 การเจริญเติบโตทางลำต้น

บันทึกน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นแดงโมในวันสุดท้ายที่เก็บผลการทดลอง นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS (Statistic package for the social science)

2.1.2 การวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง

ทำการวัดค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยใช้ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องคลอโรฟิลล์ฟลูออโรมิเตอร์ จากใบตำแหน่งที่ 8 – 10 นับจากปลายยอด โดยเตรียมใบในที่มืด ด้วยการใช้คลิปหนีบใบพืชเพื่อไม่ให้ได้รับแสง เป็นระยะเวลา 20 นาที เพื่อให้ตัวรับอิเล็กตรอนในระบบแสง 2 (photosystem II) สามารถเปิดรับอิเล็กตรอนได้สูงสุด และให้แสงที่มีความเข้มแสง 3,500 ไมโครโมล/ตารางเมตร/วินาที เป็นเวลา 0.8 วินาที ตัวรับอิเล็กตรอนจะเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะที่ถูกกระตุ้น สัดส่วนของค่าที่วัดได้เรียกว่าค่า maximum quantum yield (Fv/Fm) วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

2.1.3 ปริมาณรงควัตถุของใบ

ตัดเนื้อเยื่อใบพืชเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร ใบละ 5 ตำแหน่ง มาสกัดรงควัตถุโดยดัดแปลงจากวิธีของ สุขุมภรณ์ แสงงาม et al. (2561ข) โดยชั่งน้ำหนักใบพืช 0.1 กรัม แช่ในสารละลาย DMSO ปริมาตร 5 มิลลิตร ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้บ่มสารละลายที่ได้ในอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ ตามสมการของ Arnon (1949) โดยนำสารสกัดที่ได้มาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 480, 649 และ 665 นาโนเมตรด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงรุ่น Unico S1200 visible spectrophotometer นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ จากสมการ

$$\text{Chlorophyll } a = [(12.19 \times A_{665}) - (3.14 \times A_{649})]$$

$$\text{Chlorophyll } b = [(21.99 \times A_{649}) - (5.32 \times A_{665})]$$

$$\text{Total chlorophyll} = \text{chl. } a + \text{chl. } b$$

$$\text{Carotenoids} = [(1000 \times A_{480}) - (2.14 \times \text{chl. } a) - (70.16 \times \text{chl. } b)]$$

เมื่อ A คือค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

2.1.4 การตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของแตงโม

การทดลองนี้ผู้วิจัยศึกษาการสะสมน้ำตาลทั้งหมดที่ละลายน้ำ ลิปิดเพอร์ออกซิเดชัน การสะสมสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

2.1.5 ปริมาณน้ำตาลรวมทั้งหมดที่ละลายน้ำได้

สุ่มตัวอย่างใบพืช น้ำหนัก 0.1 กรัม จากใบลำดับที่ 8 – 10 นับจากปลายยอด กลุ่มตัวอย่างใบลงในไนโตรเจนเหลว แล้วเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ละลายน้ำ โดยดัดแปลงวิธีของ Robbins and Pharr (1987) โดยบดตัวอย่างให้ละเอียด เติมสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 10 มิลลิตร บ่มในหลอดทดลองที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที บั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที นำส่วนใสปริมาตร 0.5 มิลลิตร ไปทำปฏิกิริยากับสารละลายแอนโทรนปริมาตร 4.5 มิลลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสาร นำสารละลายที่ได้ไปบ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หยุดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

แล้วเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกลูโคสความเข้มข้น 7.5, 15, 30, 60, 120 และ 240 มิลลิกรัม/ลิตร คำนวณปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในหน่วยมิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

2.1.6 การเกิดลิตินเปอร้ออกซิเดชั่น สามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์

2.1.6.1 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde; MDA)

สุ่มตัวอย่างใบน้ำหนัก 0.5 กรัม จากใบลำดับที่ 8-10 นับจากปลายยอด จุ่มตัวอย่างใบลงในไนโตรเจนเหลว แล้วเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณ MDA โดยดัดแปลงวิธีของ Madhava Rao and Sresty (2000) โดยบดตัวอย่างให้ละเอียด เติมสารละลายกรดไตรคลอโรอะซีติก (trichloroacetic Acid; TCA) ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร บ่มทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที บั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสที่ได้ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ไปทำปฏิกิริยากับกรดไทโอบาร์บิทูริก (thiobarbituric acid; TBA) ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ที่ละลายใน TCA ความเข้มข้นร้อยละ 20 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที แล้วหยุดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที นำสารละลายที่ได้ไปบั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 และ 600 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณ MDA ในสารตัวอย่าง โดยใช้ค่า extinction coefficient เท่ากับ 155 มิลลิโมลาร์⁻¹ เซนติเมตร⁻¹ คำนวณปริมาณ MDA ในหน่วยไมโครโมล/กรัม น้ำหนักสด วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

2.1.6.2 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide; H₂O₂)

สุ่มตัวอย่างใบน้ำหนัก 0.5 กรัม จากใบลำดับที่ 8-10 นับจากปลายยอด จุ่มตัวอย่างใบลงในไนโตรเจนเหลว แล้วเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณ H₂O₂ โดยดัดแปลงวิธีของ Velikova, Yordanov, and Edreva (2000) โดยบดตัวอย่างให้ละเอียด เติมสารละลาย TCA ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร บ่มทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที บั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ไปผสมกับสารละลายโพแทสเซียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ (pH = 7) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และสารละลายโพแทสเซียมไอโอดัด ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 390 นาโนเมตร แล้วเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 0.22,

0.44, 0.88, 1.75, 3.5, 7 และ 14 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร คำนวณปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในหน่วยไมโครโมล/กรัม น้ำหนักสด วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

2.1.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

2.1.7.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

สุ่มตัวอย่างใบน้ำหนัก 0.5 กรัม จากใบลำดับที่ 8-10 นับจากปลายยอด จุ่มตัวอย่างใบลงในไนโตรเจนเหลว แล้วเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric method ดัดแปลงโดย Chan, Lim, Chong, Tan, and Wong (2010) โดยบดตัวอย่างให้ละเอียด-เติมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 100 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร บ่มทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย Folin-Ciocalteu ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร นำไปบ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร แล้วเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 12.5, 25, 50, 100, 200, 400 และ 800 มิลลิกรัม/ลิตร และคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัม น้ำหนักสด วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

2.1.7.2 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์

สุ่มตัวอย่างใบน้ำหนัก 0.5 กรัม จากใบลำดับที่ 8-10 นับจากปลายยอด จุ่มตัวอย่างใบลงในไนโตรเจนเหลว แล้วเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี aluminium chloride colorimetric method ดัดแปลงโดย Zhishen, Mengcheng, and Jianming (1999) โดยบดตัวอย่างให้ละเอียด เติมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 100 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร บ่มทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ไปทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไนไตรท์ความเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 0.075 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ 6 นาที จากนั้นเติมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 0.15 มิลลิลิตร ต่อมาตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบกำหนดเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และนำกลิ่นปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร นำไปบ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที

จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร แล้วเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานคาเทชิน ความเข้มข้น 7.8, 15.6, 31.3, 125 และ 250 มิลลิกรัม/ลิตร และคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัม น้ำหนักสด วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

2.1.7.3 ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

สุ่มตัวอย่างใบน้ำหนัก 0.5 กรัม จากใบลำดับที่ 8 -10 นับจากปลายยอด จุ่มตัวอย่างใบลงในไนโตรเจนเหลว แล้วเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay ดัดแปลงโดย Pham, Morales, Pitaksuteepong, and Hemstapat (2017) โดยบดตัวอย่างให้ละเอียด เติมน้ำกลั่นความเข้มข้นร้อยละ 100 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร บ่มทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.9 มิลลิลิตร นำไปบ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร แล้วคำนวณหา ร้อยละการยับยั้งตามสมการ แล้วเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานทรอลลอกซ์ ความเข้มข้น 3.1, 6.3, 12.5, 25, 50, 100 และ 200 มิลลิกรัม/ลิตร และคำนวณหาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในหน่วย มิลลิกรัมสมมูลทรอลลอกซ์/กรัม น้ำหนักสด วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

$$\text{ร้อยละการยับยั้ง} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100$$

A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากสารละลาย DPPH ผสมกับเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 100

$$A_{\text{sample}} = \text{ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากสารละลาย DPPH ผสมกับสารสกัด}$$

ตัวอย่าง

2.2 การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อคุณภาพของผลผลิตของแตงโม

2.2.1 น้ำหนัก เส้นรอบวง และความหวานของผล

บันทึกน้ำหนักสดและเส้นรอบวงผลแตงโมในวันสุดท้ายที่บันทึกผลการทดลอง จากนั้นนำเนื้อสีแดงบริเวณตรงกลางของผลมาคั้นเอาน้ำ นำน้ำคั้นที่ได้มาวัดค่าความหวานด้วยเครื่อง hand refractometer วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

2.2.2 ปริมาณสารทุติยภูมิบางชนิดของผลแดงโม

2.2.2.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูล

อิสระ

เก็บตัวอย่างเนื้อแดงโมน้ำหนัก 1 กรัม ในแต่ละชุดการทดลอง แล้วดำเนินการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ เช่นเดียวกับข้อ 2.1.7.1 – 2.1.7.3

2.2.2.2 ปริมาณไลโคปีน

สุ่มตัวอย่างเนื้อแดงโมน้ำหนัก 0.5 กรัม โดยเก็บเฉพาะบริเวณใจกลางของผล แล้วจุ่มตัวอย่างเนื้อแดงโมลงในไนโตรเจนเหลว จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีนโดยดัดแปลงวิธีของ Fish, Perkins-Veazie, and Collins (2002) บดตัวอย่างให้ละเอียดแล้วเติมสารละลายผสมประกอบด้วยเฮกเซน, เอทานอล และอะซีโตน ในอัตราส่วน 2: 1: 1 ต่อปริมาตร และ Butylated hydroxytoluene (BHT) ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ปริมาตร 4 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสที่ได้ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ไปผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาทีอีกครั้ง แล้วนำสารละลายส่วนบนไปวัดวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 503 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณไลโคปีนในสารตัวอย่าง โดยใช้ค่า extinction coefficient เท่ากับ 17.2×10^4 โมลาร์⁻¹ เซนติเมตร⁻¹ วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT)

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามกระบวนการและขั้นตอนต่าง ๆ โดยมีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 1 การหาระดับความเข้มข้นของสาร DHECD ต่อการเติบโตทางลำต้น ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง และการตอบสนองทางสรีรวิทยาของแตงโม

1.1 การเติบโตทางลำต้น

1.1.1 น้ำหนักสดส่วนยอด

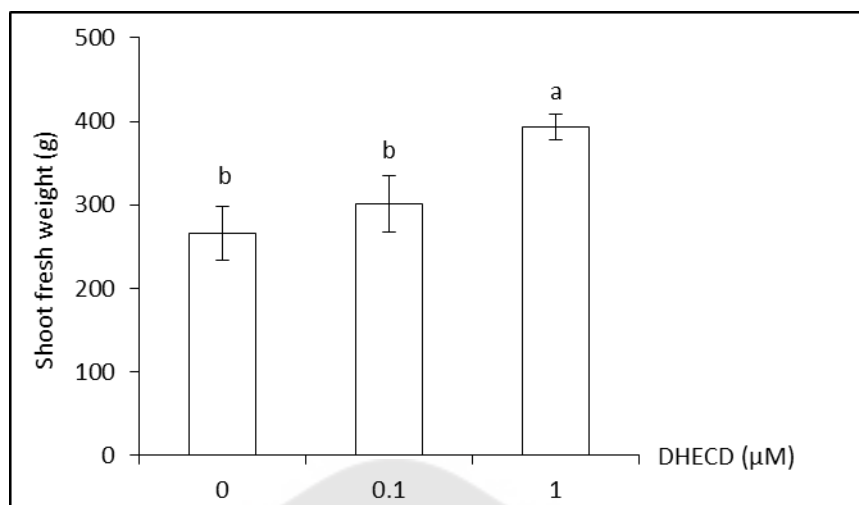
จากผลการทดลองพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีน้ำหนักสดส่วนยอด (393.36 กรัม) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (265.72 กรัม) และต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD 0.1 μM (300.88 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยคิดเป็น 1.48 และ 1.31 เท่าตามลำดับ ในขณะที่ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM มีน้ำหนักสดส่วนยอดไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (ภาพประกอบ 21)

1.1.2 น้ำหนักแห้งส่วนยอด

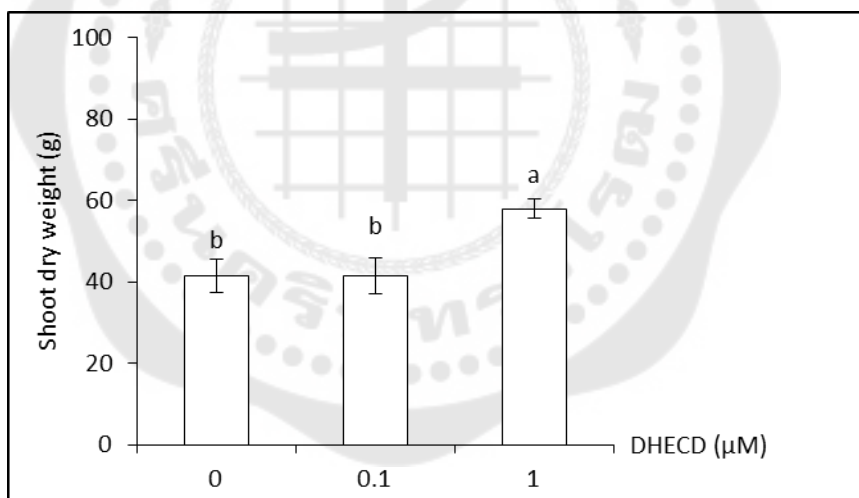
จากผลการทดลองพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีน้ำหนักแห้งส่วนยอด (58.00 กรัม) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (41.49 กรัม) และต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM (41.45 กรัม) ถึง 1.40 และ 1.40 เท่าตามลำดับ แต่ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM มีน้ำหนักแห้งส่วนยอดของต้นแตงโมไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (ภาพประกอบ 22)

1.2 การวัดประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสง

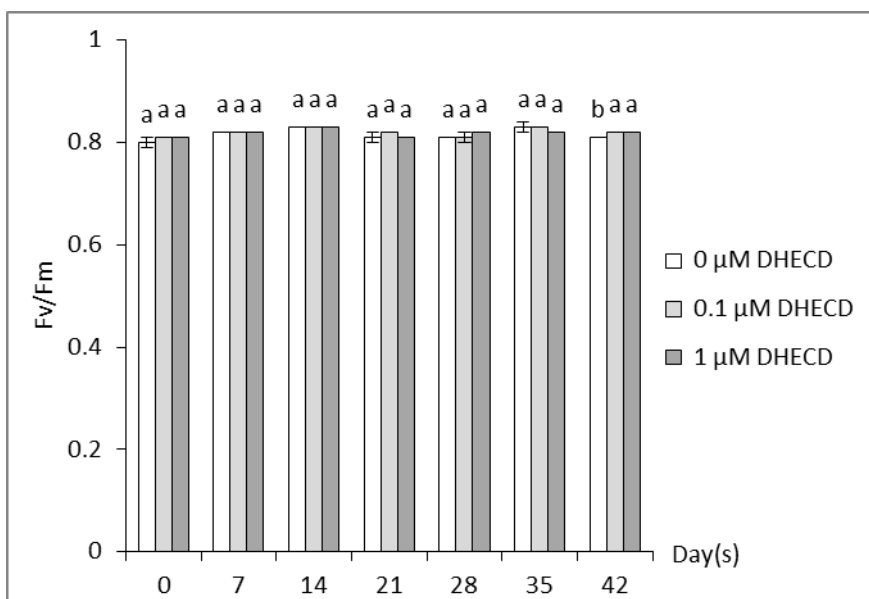
จากการผลการทดลองพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 และ 1 μM ทำให้ต้นแตงโมมีค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (chlorophyll fluorescence; Fv/Fm) มากกว่าค่า Fv/Fm ของต้นแตงโมในชุดควบคุม 1.01 และ 1.01 เท่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ตามลำดับ ในวันที่ 42 หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 และ 1 μM ในวันที่อื่น ๆ พบว่ามีค่า Fv/Fm ไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (ภาพประกอบ 23)



ภาพประกอบ 21 น้ำหนักสดส่วนต้น \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพประกอบ 22 น้ำหนักแห้งส่วนต้น \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ, , ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพประกอบ 23 ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Fv/Fm) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัส หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

1.3 ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

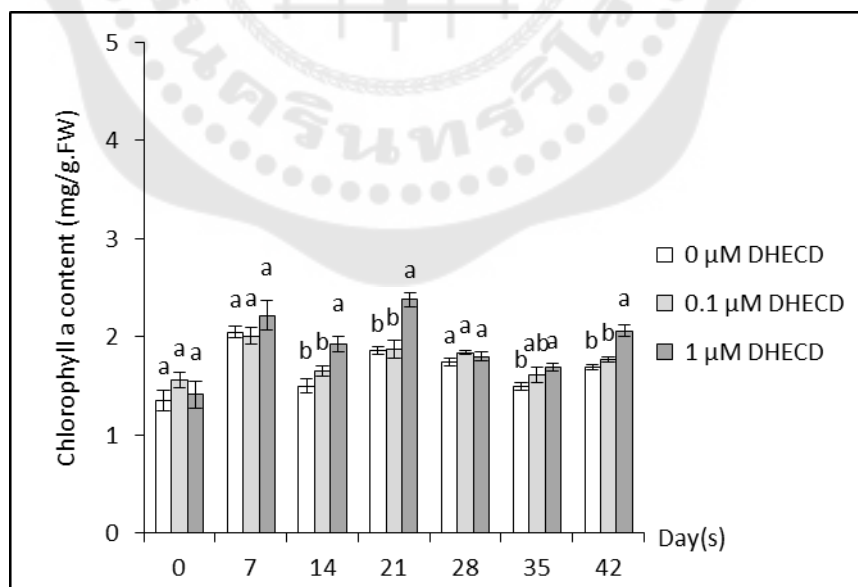
1.3.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ในวันที่ 7 ของการทดลองพบว่า ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ไม่แตกต่างกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่พบในต้นแตงโมในชุดควบคุมและต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM ในวันที่ 14 ของการทดลองพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM เพิ่มการสะสมคลอโรฟิลล์ เอ ในต้นแตงโม (1.93 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) ได้ 1.27 และ 1.17 เท่าตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (1.50 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) และชุดการทดลองที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM (1.65 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) แต่ในชุดการทดลองที่ต้นแตงโมได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM พบว่า ต้นแตงโมมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ส่วนผลการทดลองของวันที่ 21 พบว่ามีแนวโน้มเดียวกับวันที่ 14 ซึ่งได้มีการพ่นสาร DHECD ให้กับต้นแตงโมในชุดการทดลองซ้ำเป็นครั้งที่สอง โดยสาร DHECD ที่ระดับความเข้มข้น 1 μM เพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นแตงโม (2.38 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.86 มิลลิกรัม/

กรัมน้ำหนักสด) และต้นแตงโมที่ได้รับการปนสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM (1.87 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) ได้ถึง 1.28 และ 1.27 เท่าตามลำดับ แต่ในวันที่ 28 พบว่า ต้นแตงโมที่ได้รับการปนด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นดังกล่าว มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ไม่แตกต่างกัน

เมื่อต้นแตงโมในชุดการทดลองได้รับการปนสาร DHECD ซ้ำครั้งที่ 3 ในวันที่ 28 ของการทดลองพบว่า วันที่ 35 ต้นแตงโมที่ได้รับการปนด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มขึ้น (1.69 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) 1.13 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.49 กรัม/กรัม น้ำหนักสด) และในส่วนของต้นแตงโมที่ได้รับการปนด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (1.61 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในแต่ละชุดการทดลอง

ในวันที่ 42 ของการทดลองพบว่า ต้นแตงโมที่ได้รับการปนด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 2.06 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มขึ้นคิดเป็น 1.22 และ 1.16 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมที่อยู่ในชุดควบคุม (1.69 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) และต้นแตงโมที่ได้รับการปนด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM (1.77 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) ตามลำดับ ในขณะที่ต้นแตงโมในชุดการทดลองที่ได้รับการปนด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (ภาพประกอบ 24)



ภาพประกอบ 24 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE)

ของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ หลังได้รับการปนด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , ,
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

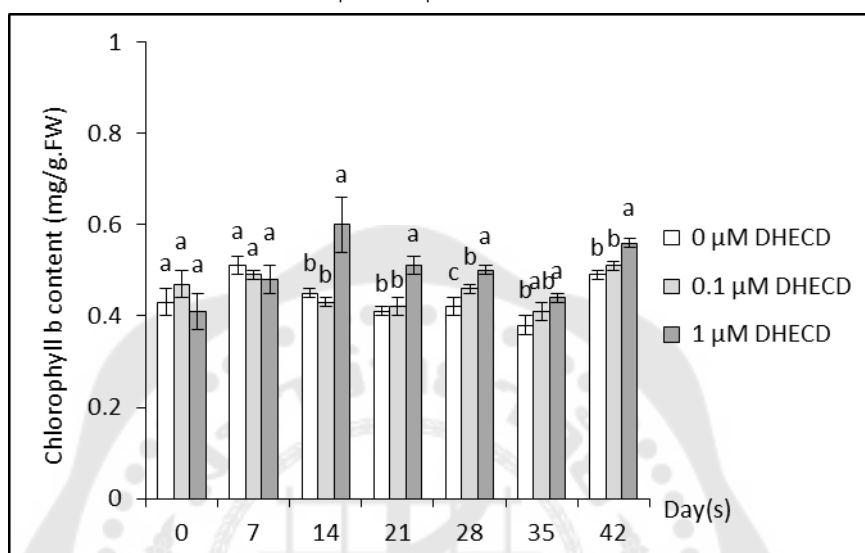
1.3.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี

ในวันที่ 7 ของการทดลองพบว่า ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 และ 1 μM มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม ในวันที่ 14 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีการเพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (0.60 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในต้นแตงโมได้มากกว่าชุดควบคุม (0.45 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) และต้นแตงโมที่ได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM (0.43 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมากกว่าถึง 1.33 และ 1.40 เท่า ตามลำดับ ส่วนต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม

เมื่อทำการพ่นสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สองให้กับต้นแตงโมในชุดการทดลองพบว่า ผลการทดลองในวันที่ 21 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (0.51 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (0.41 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) และต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM (0.42 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ถึง 1.24 และ 1.21 เท่า ตามลำดับ ส่วนต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM นั้นมีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม ในวันที่ 28 ของการทดลองพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM เพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (0.50 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ในต้นแตงโมได้ถึง 1.19 และ 1.09 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมชุดในควบคุม (0.42 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) และต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM (0.46 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) นอกจากนี้สาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM ยังสามารถเพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในต้นแตงโมได้มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ถึง 1.10 เท่า อีกด้วย และเมื่อพ่นสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สามให้กับต้นแตงโมจากผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่า ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (0.44 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมชุดควบคุม (0.38 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ถึง 1.16 เท่า ส่วนต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM นั้นมีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (0.41 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในทุกชุดการทดลอง

ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 42) พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM เพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (0.56 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด)

ในต้นแตงโมได้มากกว่าชุดควบคุม (0.49 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) และต้นแตงโมที่ได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM (0.51 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ถึง 1.14 และ 1.10 เท่า ตามลำดับ (ภาพประกอบ 25) แต่ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม



ภาพประกอบ 25 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นแตงโมสายพันธุ์ขอนแก่น พลับ หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

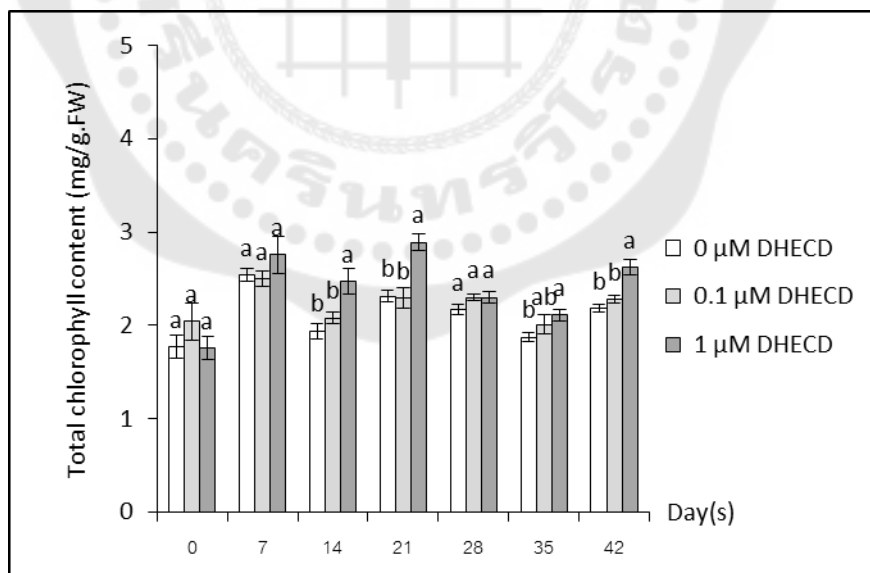
1.3.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม

ในวันที่ 7 หลังต้นแตงโมได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมไม่แตกต่างกันทุกระดับความเข้มข้น ในวันที่ 14 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (2.47 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.94 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) และต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM (2.08 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ถึง 1.27 และ 1.19 เท่า ตามลำดับ ส่วนต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM นั้นมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมไม่แตกต่างกับชุดควบคุม

เมื่อมีการพ่นสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สองให้กับต้นแตงโม ผลการทดลองในวันที่ 21 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีการเพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (2.89 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากขึ้น 1.25 และ 1.26 เท่า ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (2.31 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) และต้นแตงโมที่ได้รับการ

พ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM (2.29 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) แต่ในวันที่ 28 ของการทดลองพบว่า ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ทุกระดับความเข้มข้น มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมไม่แตกต่างกับแตงโมในชุดควบคุม

เมื่อต้นแตงโมได้รับสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม ในวันที่ 35 ของการทดลองพบว่า ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (2.11 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.87 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ถึง 1.13 เท่า ส่วนต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (2.01 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมทุกชุดการทดลอง และในวันที่ 42 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีการเพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (2.62 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) ในต้นแตงโมมากกว่าต้นแตงโมชุดควบคุม (2.18 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) และต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM (2.28 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ถึง 1.20 และ 1.15 เท่า ตามลำดับ ในขณะที่ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (ภาพประกอบ 26)



ภาพประกอบ 26 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลัส หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

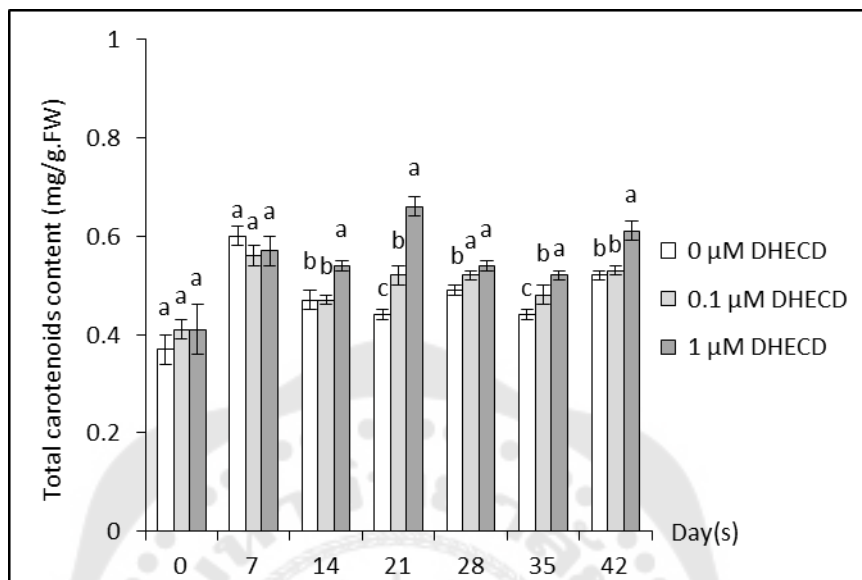
1.3.4 ปริมาณแคโรทีนอยด์

ในวันที่ 7 ของการทดลองพบว่าต้นแตงโมในทุกชุดการทดลองมีปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างกัน ส่วนผลการทดลองในวันที่ 14 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ (0.54 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) สูงกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (0.47 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) และต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM (0.47 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) คิดเป็น 1.15 และ 1.15 เท่าตามลำดับ ส่วนต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM มีการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม เมื่อทำการพ่นสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สอง ในวันที่ 21 ของการทดลองพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีการเพิ่มการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นแตงโมได้ (0.66 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าชุดควบคุม (0.44 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) และต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM (0.52 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) โดยคิดเป็น 1.50 และ 1.27 เท่าตามลำดับ นอกจากนี้ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM มีปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ถึง 1.18 เท่า

ในวันที่ 28 ของการทดลองพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 และ 1 μM มีการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ (0.52 และ 0.54 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (0.49 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ถึง 1.06 และ 1.10 เท่า ตามลำดับ ส่วนต้นแตงโมในชุดการทดลองที่มีการพ่นสาร DHECD ทั้งสองความเข้มข้นพบว่า มีปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างกัน

เมื่อพ่นสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สามให้กับต้นแตงโม ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่า ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ (0.52 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ได้มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (0.44 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยคิดเป็น 1.18 เท่า ส่วนต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM มีปริมาณแคโรทีนอยด์ (0.48 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ไม่แตกต่างกันกับต้นแตงโมในทุกชุดการทดลอง และในวันที่ 42 ของการทดลองพบว่า สาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM เพิ่มการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นแตงโม (0.61 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าชุดควบคุม (0.52 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) และสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM (0.53 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) โดยคิดเป็น 1.17 และ 1.15 เท่า ตามลำดับ ในขณะที่ต้น

แตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM มีปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (ภาพประกอบ 27)



ภาพประกอบ 27 ปริมาณแคโรทีนอยด์ \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นแตงโมพันธุ์ซอญ่า พลับ หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

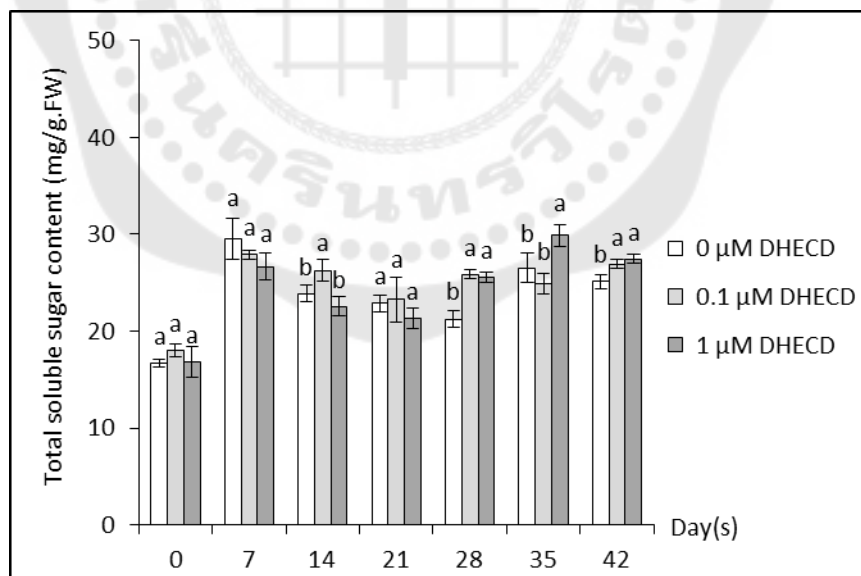
1.4 การตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของแตงโม

1.4.1 ปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้

ในวันที่ 7 ของการทดลองพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ทุกความเข้มข้นมีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม หลังการทดลองในวันที่ 14 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีการสะสมน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ในปริมาณที่ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม แต่ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำ (26.29 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (23.88 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) และต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM (22.55 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยคิดเป็น 1.10 และ 1.17 เท่า ตามลำดับ

เมื่อต้นแตงโมได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สอง (ในวันที่ 14) ผลการทดลองในวันที่ 21 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มี

ปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกับต้นเตงโมในทุกชุดการทดลอง และผลการทดลอง วันที่ 28 พบว่าต้นเตงโมที่ได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 และ 1 μM มีการเพิ่มการสะสม ปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ในต้นเตงโม (25.88 และ 25.55 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ได้ มากกว่าชุดควบคุม (21.25 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดย คิดเป็น 1.22 และ 1.22 เท่า ตามลำดับ หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (ในวันที่ 28) ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่าต้นเตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ (29.87 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้น เตงโมในชุดควบคุม (26.51 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) และต้นเตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM (24.92 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ถึง 1.13 และ 1.20 เท่า ตามลำดับ ส่วนต้นเตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 μM มีการสะสม ปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกับต้นเตงโมในชุดควบคุม และในวันสุดท้ายของการ ทดลอง (ในวันที่ 42) พบว่าต้นเตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 และ 1 μM มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำ (26.94 และ 27.47 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นเตงโมในชุดควบคุม (26.51 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.07 และ 1.09 เท่า ตามลำดับ (ภาพประกอบ 28)



ภาพประกอบ 28 ปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นเตงโมพันธุ์ขอนแก่น หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น ต่าง ๆ , ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากผลการทดลองที่ 1 พบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น $1 \mu\text{M}$ มีผลทำให้ต้นแตงโมมีการเติบโตส่วนลำต้น ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้มากกว่าชุดควบคุม ดังนั้นจึงนำสาร DHECD ความเข้มข้นดังกล่าว มาใช้เพื่อศึกษาของสาร DHECD ต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการ ปริมาณสารทุติยภูมิบางชนิด และคุณภาพของผลผลิตของผลแตงโมในการทดลองที่ 2 ต่อไป

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการ ปริมาณสารทุติยภูมิบางชนิด และคุณภาพของผลผลิตของผลแตงโม

2.1 การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของต้นแตงโม

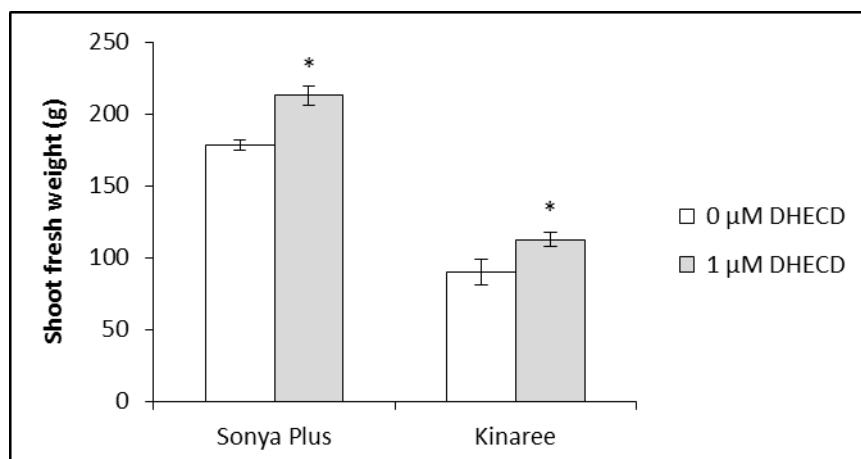
2.1.1 การเติบโตทางลำต้น

2.1.1.1 น้ำหนักสดส่วนยอด

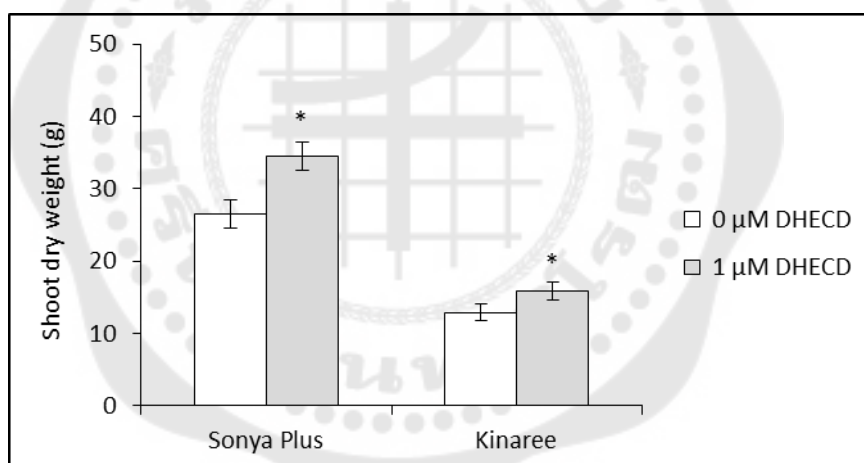
จากผลการทดลองพบว่าต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น $1 \mu\text{M}$ มีน้ำหนักสด (212.75 กรัม) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (178.00 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยคิดเป็น 1.20 เท่า และต้นแตงโมสายพันธุ์กินรีที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น $1 \mu\text{M}$ มีน้ำหนักสด (112.50 กรัม) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (90.00 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยคิดเป็น 1.25 เท่า (ภาพประกอบ 29)

2.1.1.2 น้ำหนักแห้งส่วนยอด

จากผลการทดลองพบว่าต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น $1 \mu\text{M}$ มีน้ำหนักแห้ง (34.50 กรัม) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (26.50 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยคิดเป็น 1.30 เท่า และต้นแตงโมสายพันธุ์กินรีที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น $1 \mu\text{M}$ มีน้ำหนักแห้ง (15.82 กรัม) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (12.85 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยคิดเป็น 1.23 เท่า (ภาพประกอบ 30)



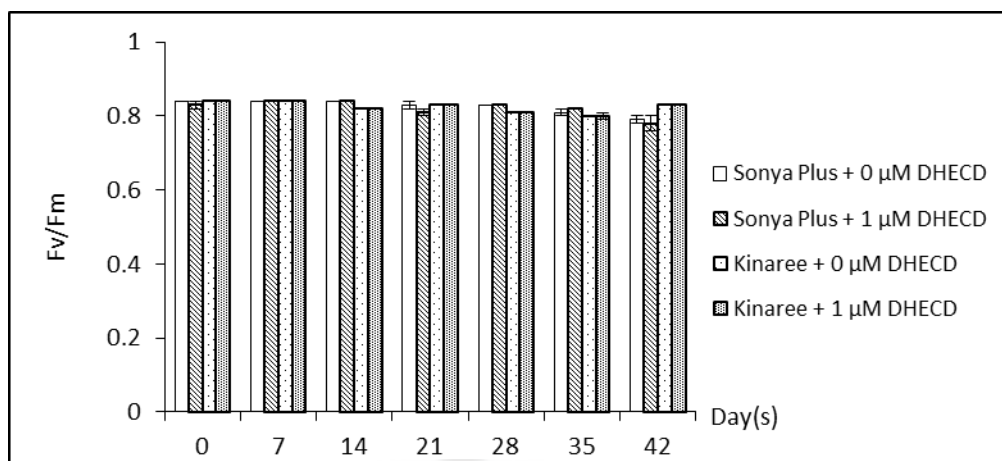
ภาพประกอบ 29 น้ำหนักสดส่วนยอด \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นแตงโมพันธุ์ซอนญ่า พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพประกอบ 30 น้ำหนักแห้งส่วนยอด \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นแตงโมพันธุ์ซอนญ่า พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.1.2 การวัดประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง

จากผลการทดลองพบว่าต้นแตงโมพันธุ์ซอนญ่า พลัสและกินรีที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีค่า F_v/F_m ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (ภาพประกอบ 31) ตลอดระยะเวลาของการทดลอง



ภาพประกอบ 31 ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Fv/Fm) ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

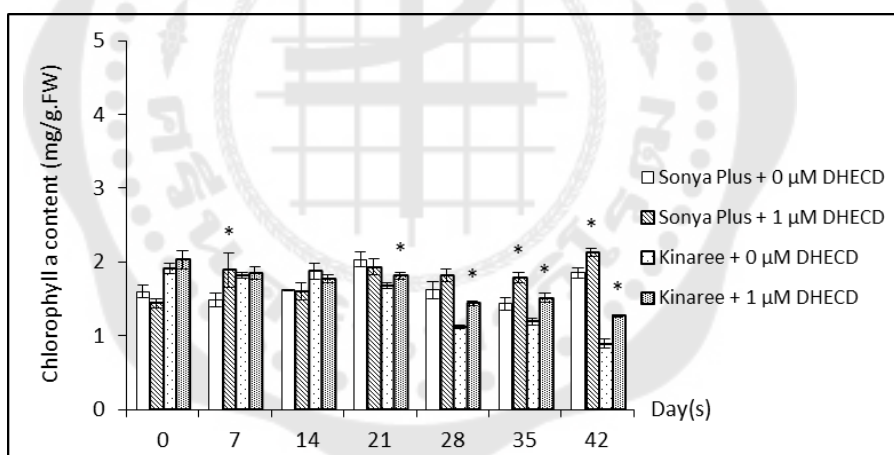
2.1.3 ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

2.1.3.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

ในวันที่ 7 ของการทดลองพบว่า ต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัสที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (1.89 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) มากกว่าชุดควบคุม (1.48 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.28 เท่า และวันที่ 14 มีการพ่นสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สองพบว่าในวันที่ 14 21 และ 28 ต้นแตงโม ในชุดการทดลองที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สามในวันที่ 28 พบว่าในวันที่ 35 ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (1.78 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.43 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.24 เท่า และในวันที่ 42 ของการทดลองพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (2.13 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.85 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.15 เท่า

ส่วนต้นแตงโมพันธุ์กินรี ในวันที่ 7 และ 14 หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ไม่

แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม เมื่อได้รับสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สอง (วันที่ 14) ในวันที่ 21 ของการทดลองพบว่ามีการเพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในต้นแตงโม (1.81 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) ได้มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.68 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) คิดเป็น 1.08 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในวันที่ 28 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (1.44 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.12 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ถึง 1.29 เท่า และหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (วันที่ 28) ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (1.51 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) มากกว่าชุดควบคุม (1.19 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด) ถึง 1.27 เท่า ส่วนวันสุดท้ายของการทดลองพบว่าการเพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในต้นแตงโมได้ 1.27 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด ส่วนต้นแตงโมในชุดควบคุมมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เพียง 0.89 มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักสด ซึ่งคิดเป็น 1.43 เท่า (ภาพประกอบ 32)



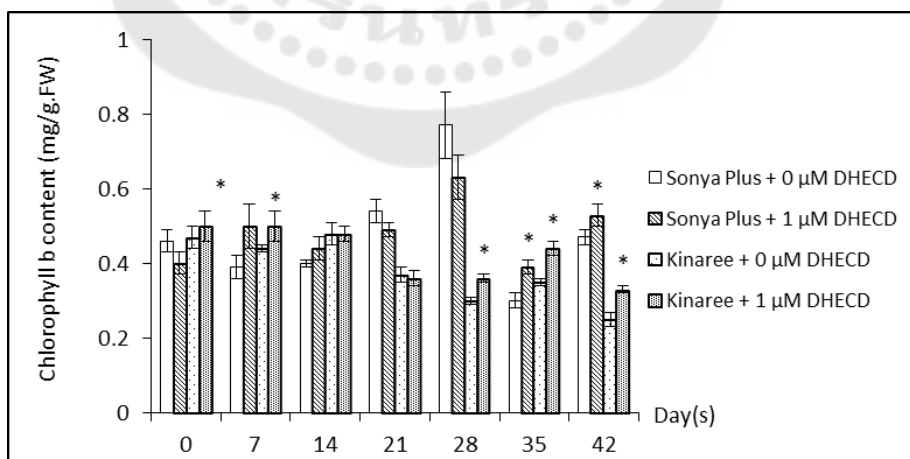
ภาพประกอบ 32 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัส และกินารีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ, \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE), เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.1.3.2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี

ในวันที่ 7 ถึง 28 ของการทดลองพบว่า ต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัส ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μ M มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม แต่หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (วันที่ 28) ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณ

คลอโรฟิลล์ บี (0.39 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าชุดควบคุม (0.30 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) โดยคิดเป็น 1.30 เท่า และในวันที่ 42 พบว่าสาร DHECD เพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (0.53 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ได้มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (0.47 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ถึง 1.13 เท่า

ส่วนผลการทดลองในแตงโมพันธุ์กินรีพบว่า ในวันที่ 7 ของการทดลองมีการเพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (0.50 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (0.44 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ถึง 1.14 เท่า ในขณะที่วันที่ 14 และ 21 ของการทดลองพบว่า ต้นแตงโมในชุดการทดลองที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมคลอโรฟิลล์ บี ในปริมาณที่ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม ส่วนในวันที่ 28 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (0.36 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (0.30 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) โดยคิดเป็น 1.20 เท่า และเมื่อต้นแตงโมได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่าสาร DHECD ทำให้ต้นแตงโมมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี 0.44 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ต้นแตงโมในชุดควบคุมมีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี 0.35 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด โดยเพิ่มขึ้นเป็น 1.26 เท่า และในวันที่ 42 ของการทดลองพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมคลอโรฟิลล์ บี (0.33 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ซึ่งมากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (0.25 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยคิดเป็น 1.32 เท่า (ภาพประกอบ 33)

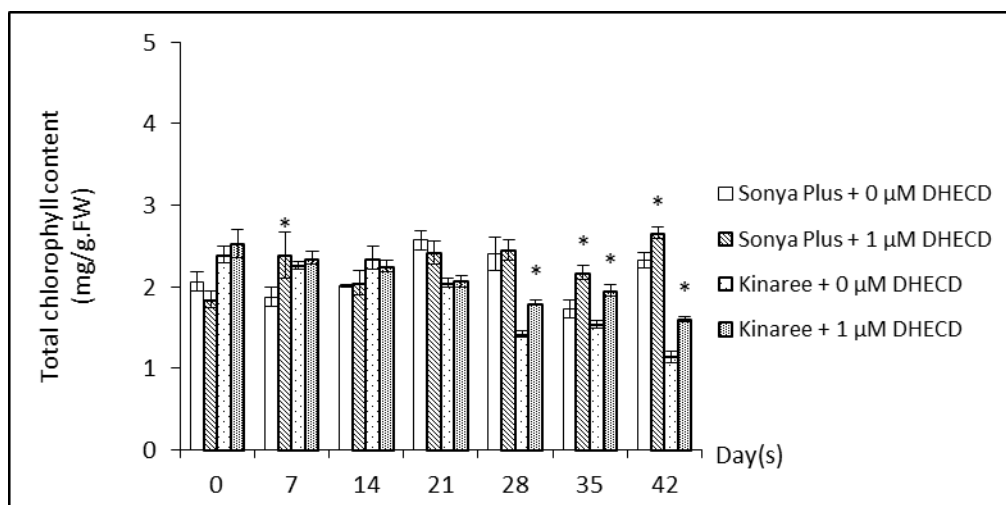


ภาพประกอบ 33 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ, ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE), เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.1.3.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม

ในวันที่ 7 ของการทดลองพบว่าต้นแตงโมพันธุ์ชอนญา พืชที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (2.39 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.87 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.28 เท่า แต่ในวันที่ 14, 21 และ 28 พบว่าสาร DHECD ทำให้การสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในต้นแตงโมไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (วันที่ 28) ในวันที่ 35 ของการทดลองพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (2.17 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.72 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ถึง 1.26 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในวันที่ 42 โดยพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (2.66 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (2.32 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) คิดเป็น 1.15 เท่า

ส่วนผลการทดลองในต้นแตงโมพันธุ์กินรีพบว่าวันที่ 7 ถึง 21 ของการทดลอง ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวมไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม ในวันที่ 28 สาร DHECD เพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในต้นแตงโม (1.80 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ได้ถึง 1.27 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.42 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม ในวันที่ 35 ของการทดลองพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับสาร DHECD มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (1.95 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.54 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยคิดเป็น 1.27 เท่า ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับผลการทดลองในวันที่ 42 โดยพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (1.60 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.14 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ถึง 1.40 เท่า (ภาพประกอบ 34)



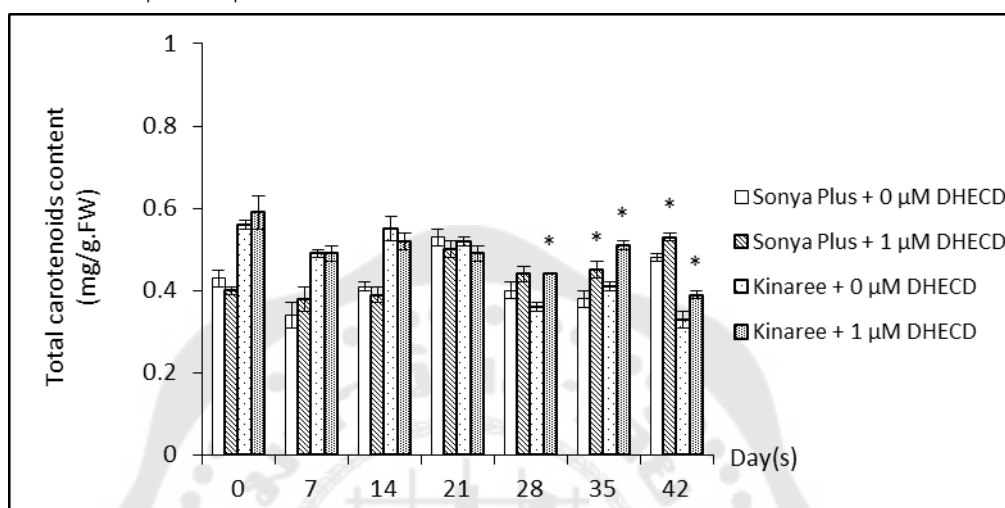
ภาพประกอบ 34 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัส และกินรี ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.1.3.4 ปริมาณแคโรทีนอยด์

ในวันที่ 7 ถึง 28 ของการทดลองในต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัส พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม และหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (วันที่ 28) ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ (0.45 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (0.38 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) โดยคิดเป็น 1.18 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในวันที่ 42 พบว่ามีการเพิ่มการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นแตงโมได้ 0.53 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ต้นแตงโมในชุดควบคุมมีปริมาณแคโรทีนอยด์ 0.48 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด ซึ่งคิดเป็น 1.10 เท่า

ส่วนผลการทดลองในต้นแตงโมพันธุ์กินรีพบว่าวันที่ 7 ถึง 21 ต้นแตงโมทั้งสองชุดการทดลองมีปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างกัน ในวันที่ 28 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ (0.44 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (0.36 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยคิดเป็น 1.22 เท่า และหลังจากต้นแตงโมได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (วันที่ 28) ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสม

ปริมาณแคโรทีนอยด์ (0.51 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (0.41 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) คิดเป็น 1.24 เท่า และในวันที่ 42 พบว่ามีการเพิ่มการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นแตงโม (0.39 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ได้ถึง 1.18 เท่า (ภาพประกอบ 35) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (0.33 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด)



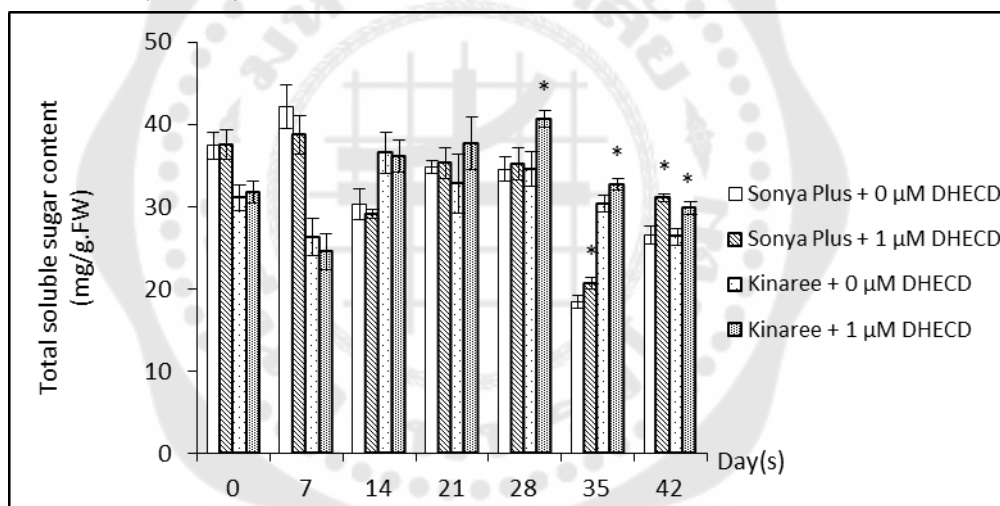
ภาพประกอบ 35 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลัส และกินรี ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.1.4 การตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของต้นแตงโม

2.1.4.1 ปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้

จากผลการทดลองพบว่าในวันที่ 7 ถึง 28 ของการทดลองต้นแตงโมสายพันธุ์ขอนแก่น พลัสที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม และหลังจากได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (วันที่ 28) ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่ามีการเพิ่มการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำในต้นแตงโม (20.70 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ได้ถึง 1.12 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (18.44 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในวันที่ 42 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ (31.10 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (26.52 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.17 เท่า

ส่วนผลการทดลองในต้นแตงโมสายพันธุ์กินรีพบว่า วันที่ 7 ถึง 21 หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ต้นแตงโมทั้งสองชุดการทดลองมีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกัน แต่ในวันที่ 28 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ (40.70 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (34.54 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) คิดเป็น 1.18 เท่า และหลังจากได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (วันที่ 28) ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่า ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ (32.68 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (30.34 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) คิดเป็น 1.08 เท่า และในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 42) พบว่ามีการเพิ่มการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ในต้นแตงโม (29.84 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) คิดเป็น 1.13 เท่า (ภาพประกอบ 36) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (26.34 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด)



ภาพประกอบ 36 ปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นแตงโมพันธุ์ซอนญ่า พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

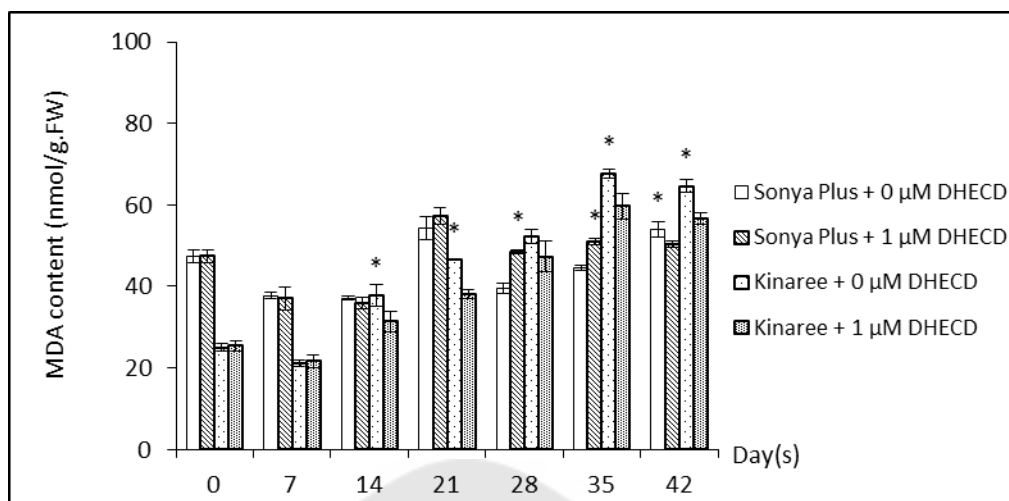
2.1.4.2 การเกิดปฏิกิริยาไลพิดเปอร์ออกซิเดชัน

2.1.4.2.1 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde; MDA)

ในวันที่ 7 ถึง 21 ของการทดลองพบว่า ในต้นแตงโมสายพันธุ์ซอนญ่า พลัส-ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD พบว่ามีการสะสมปริมาณ MDA ไม่

แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม โดยหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สอง (วันที่ 14) พบว่าต้นแตงโมมีการสะสมปริมาณ MDA เพิ่มขึ้น (48.57 นาโนโมล/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.23 เท่า โดยเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (39.55 นาโนโมล/กรัมน้ำหนักสด) เมื่อต้นแตงโมได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (วันที่ 28) ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่ามีการเพิ่มการสะสมปริมาณ MDA (51.09 นาโนโมล/กรัมน้ำหนักสด) ถึง 1.15 เท่า โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (44.59 นาโนโมล/กรัมน้ำหนักสด) แต่ผลการทดลองในวันสุดท้ายกลับพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณ MDA (50.35 นาโนโมล/กรัมน้ำหนักสด) ลดลง 0.93 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (53.95 นาโนโมล/กรัมน้ำหนักสด)

ส่วนผลการทดลองในต้นแตงโมสายพันธุ์กินรีพบว่า ในวันที่ 7 ของการทดลองต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณ MDA ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม แต่ในวันที่ 14 พบว่า ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณ MDA (31.40 นาโนโมล/กรัมน้ำหนักสด) น้อยกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (37.77 นาโนโมล/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 0.83 เท่า หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สอง (วันที่ 14) ในวันที่ 21 พบว่ามีการลดการสะสมปริมาณ MDA ในต้นแตงโม (38.18 นาโนโมล/กรัมน้ำหนักสด) คิดเป็น 0.82 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (46.52 นาโนโมล/กรัมน้ำหนักสด) แต่ผลการทดลองในวันที่ 28 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณ MDA ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม แต่หลังจากได้รับสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (วันที่ 28) โดยพบว่าในวันที่ 35 ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณ MDA (59.73 นาโนโมล/กรัมน้ำหนักสด) น้อยกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (67.76 นาโนโมล/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 0.88 เท่า และในวันสุดท้ายของการทดลองพบว่ามีผลการลดการสะสมปริมาณ MDA ในต้นแตงโม (56.76 นาโนโมล/กรัมน้ำหนักสด) คิดเป็น 0.88 เท่า (ภาพประกอบ 37) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (64.53 นาโนโมล/กรัมน้ำหนักสด)



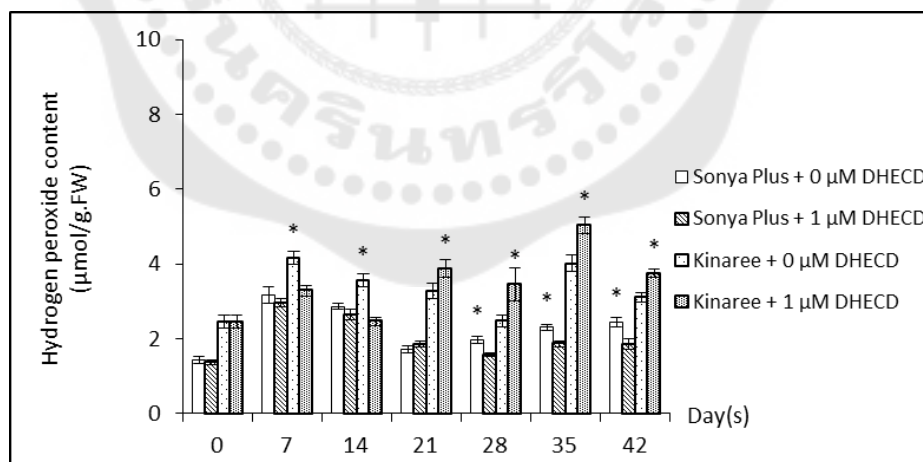
ภาพประกอบ 37 ปริมาณ MDA \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.1.4.2.2 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide; H_2O_2)

ในวันที่ 7 ถึง 21 ของการทดลองพบว่า ต้นแตงโมสายพันธุ์ซอนญา พลัส ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม แต่ในวันที่ 28 พบว่ามีการลดการสะสมปริมาณ H_2O_2 ในต้นแตงโม (1.58 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) ได้ 0.81 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.96 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) หลังจากที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (วันที่ 28) ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่า ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 (1.87 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) น้อยกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (2.30 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 0.81 เท่า และในวันสุดท้ายของการทดลองมีการลดการสะสมปริมาณ H_2O_2 ในต้นแตงโม (1.85 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) ได้ 0.76 เท่า

เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (2.44 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) และในวันที่ 42 ของการทดลองพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 (1.85 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) น้อยกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (2.44 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ถึง 0.76 เท่า ส่วนการทดลองในต้นแตงโมสายพันธุ์กินรีพบว่าวันที่ 7 หลังได้รับสาร DHECD ต้นแตงโมมีการสะสมปริมาณสาร

H_2O_2 (3.29 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) ลดลง 0.79 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (4.15 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในวันที่ 14 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 (2.47 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) น้อยกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (3.55 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 0.70 เท่า เมื่อมีการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สอง (วันที่ 14) ผลการทดลองในวันที่ 21 พบว่า ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 (3.87 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (3.27 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.18 เท่า ในวันที่ 28 ของการทดลองพบว่า ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD เพิ่มการสะสมปริมาณ H_2O_2 (3.45 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) สูงขึ้น 1.40 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (2.47 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) หลังจากได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (วันที่ 28) ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 (5.03 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (4.01 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.25 เท่า และผลการทดลองในวันสุดท้าย (วันที่ 42 ของการทดลอง) พบว่ามีการเพิ่มการสะสมปริมาณ H_2O_2 ในต้นแตงโม (3.74 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด) ถึง 1.20 เท่า (ภาพประกอบ 38) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (3.11 ไมโครโมล/กรัมน้ำหนักสด)



ภาพประกอบ 38 ปริมาณ $H_2O_2 \pm$ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

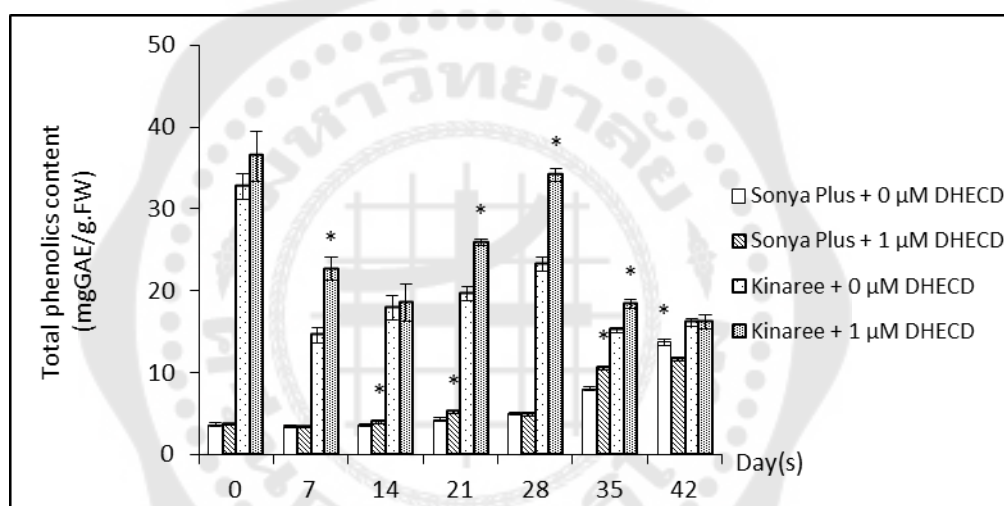
2.1.4.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

2.1.4.3.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

ผลการทดลองในต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับ พบว่าวันที่ 7 หลังจากต้นแตงโมได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม แต่ในวันที่ 14 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (4.03 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (3.61 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.12 เท่า หลังจากต้นแตงโมได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สอง (วันที่ 14) ผลการทดลองในวันที่ 21 พบว่ามีการเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในต้นแตงโม (5.17 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด) 1.21 เท่า โดยเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (4.28 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด) แต่ในวันที่ 28 กลับพบว่าต้นแตงโมทั้งสองชุดการทดลองมีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่แตกต่างกัน เมื่อได้รับสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (วันที่ 28) ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (10.55 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (8.06 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.31 เท่า แต่ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 42 ของการทดลอง) พบว่ามีการลดการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในต้นแตงโม (11.72 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด) คิดเป็น 0.85 เท่า โดยเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (13.74 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด)

ส่วนผลการทดลองในต้นแตงโมพันธุ์กินรีพบว่า วันที่ 7 ของการทดลองมีการเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในต้นแตงโม (22.67 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด) ได้ 1.56 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (14.57 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด) แต่ผลการทดลองในวันที่ 14 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม หลังจากต้นแตงโมได้รับสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สอง (วันที่ 14) ผลการทดลองในวันที่ 21 พบว่าต้นแตงโมมีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (25.89 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด) มากขึ้น 1.32 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (19.64 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด) ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับผลการทดลองในวันที่ 28 ซึ่งพบว่าต้นแตงโมที่

ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (34.14 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (23.28 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.47 เท่า หลังต้นแตงโมได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (วันที่ 28) พบว่าในวันที่ 35 มีการเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในต้นแตงโม (18.42 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด) 1.21 เท่า โดยเปรียบเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของต้นแตงโมในชุดควบคุม (15.22 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสด) แต่ในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 42 ของการทดลอง) พบว่าต้นแตงโมทั้งสองชุดการทดลองมีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่แตกต่างกัน (ภาพประกอบ 39)



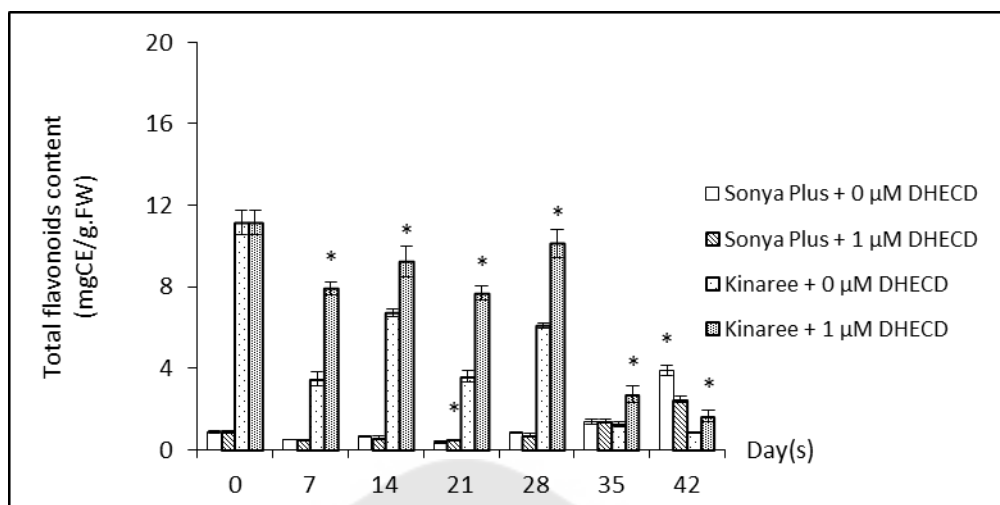
ภาพประกอบ 39 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัส และกินารีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.1.4.3.2 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์

ผลการทดลองในต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัส พบว่าในวันที่ 7 และ 14 ของการทดลองต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม หลังจากต้นแตงโมได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สอง (วันที่ 14) ผลการทดลองในวันที่ 21 พบว่ามีการเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในต้นแตงโม (0.49 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) ได้

1.32 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (0.37 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) แต่ผลการทดลองในวันที่ 28 และ 35 พบว่า ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม และวันสุดท้ายของการทดลองพบว่าการลดการสะสมปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในต้นแตงโม (2.47 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) ถึง 0.63 เท่า โดยเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (3.89 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด)

ส่วนผลการทดลองในต้นแตงโมพันธุ์กินรีพบว่า ในวันที่ 7 หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ต้นแตงโมมีการสะสมปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ (7.91 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) มากขึ้น 2.27 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (3.48 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) ในวันที่ 14 ของการทดลองพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ (9.24 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (6.72 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.38 เท่า หลังได้รับสาร DHECD ครั้งที่สอง (วันที่ 14) ในวันที่ 21 ของการทดลองพบว่าการเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในต้นแตงโม (7.68 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) ได้ 2.13 เท่า ซึ่งเปรียบเทียบกับปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ของต้นแตงโมในชุดควบคุม (3.61 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) ผลการทดลองในวันที่ 28 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ (10.11 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (6.08 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) คิดเป็น 1.66 เท่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) หลังจากที่ต้นแตงโมได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ครั้งที่สาม (วันที่ 28) ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่าการเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ในต้นแตงโม (2.73 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) ได้ 2.17 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.26 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) และในวันที่ 42 ของการทดลองพบว่า ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ (1.66 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (0.86 มิลลิกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.93 เท่า (ภาพประกอบ 40)

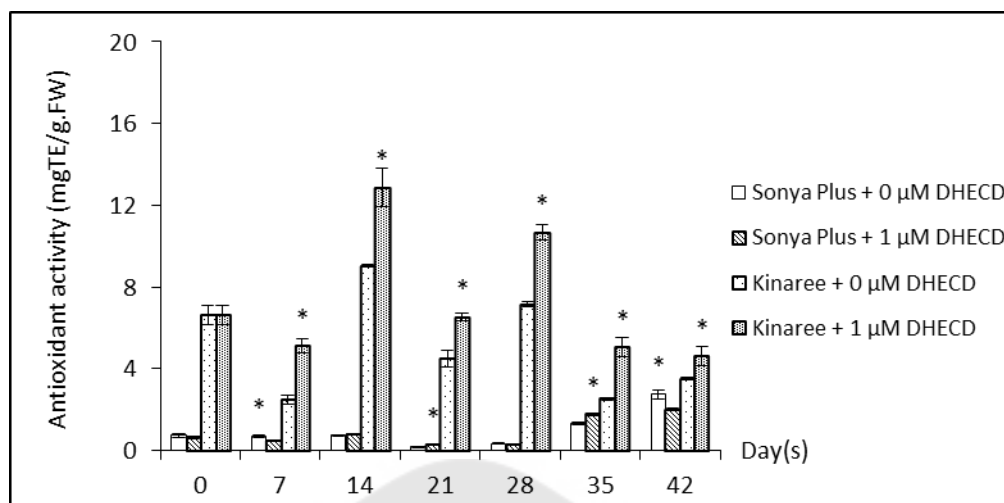


ภาพประกอบ 40 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นแตงโมสายพันธุ์ซอนญา พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.1.4.3.3 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

ผลการทดลองในต้นแตงโมสายพันธุ์ซอนญา พลัส พบว่าในวันที่ 7 และ 14 หลังจากได้รับสาร DHECD ต้นแตงโมมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สอง (วันที่ 14) ผลการทดลองในวันที่ 21 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (0.26 มิลลิกรัมสมมูลทอรอลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (0.18 มิลลิกรัมสมมูลทอรอลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) คิดเป็น 1.44 เท่า แต่ในวันที่ 28 พบว่าต้นแตงโมมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระไม่แตกต่างกับต้นแตงโมในชุดควบคุม หลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (วันที่ 28) ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่ามีการเพิ่มฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในต้นแตงโม (1.78 มิลลิกรัมสมมูลทอรอลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) ได้ 1.34 เท่า โดยเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (1.33 มิลลิกรัมสมมูลทอรอลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) แต่ในวันสุดท้ายของการทดลองกลับพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (2.00 มิลลิกรัมสมมูลทอรอลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 0.72 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (2.76 มิลลิกรัมสมมูลทอรอลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด)

ส่วนการทดลองในต้นแตงโมพันธุ์กินรีพบว่า ในวันที่ 7 ของการทดลอง ต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (5.12 มิลลิกรัมสมมูลทรอลลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (2.47 มิลลิกรัมสมมูลทรอลลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 2.07 เท่า ผลการทดลองในวันที่ 14 พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีการเพิ่มฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในต้นแตงโม (12.87 มิลลิกรัมสมมูลทรอลลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) ได้ถึง 1.43 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (9.03 มิลลิกรัมสมมูลทรอลลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) และหลังจากต้นแตงโมได้รับสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สอง (วันที่ 14) ผลการทดลองในวันที่ 21 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (6.53 มิลลิกรัมสมมูลทรอลลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (4.52 มิลลิกรัมสมมูลทรอลลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.44 เท่า ในวันที่ 28 ของการทดลองพบว่า สอดคล้องกับผลการทดลองในวันที่ 21 โดยต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (10.67 มิลลิกรัมสมมูลทรอลลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (7.14 มิลลิกรัมสมมูลทรอลลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) คิดเป็น 1.49 เท่า หลังจากได้รับสาร DHECD ซ้ำครั้งที่สาม (วันที่ 28) ผลการทดลองในวันที่ 35 พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (5.06 มิลลิกรัมสมมูลทรอลลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม (2.52 มิลลิกรัมสมมูลทรอลลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) คิดเป็น 2.01 เท่า และผลการทดลองในวันสุดท้าย (วันที่ 42 ของการทดลอง) พบว่ามีการเพิ่มฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในต้นแตงโม (4.62 มิลลิกรัมสมมูลทรอลลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด) ได้ 1.31 เท่า (ภาพประกอบ 41) เมื่อเปรียบเทียบกับต้นแตงโมในชุดควบคุม (3.52 มิลลิกรัมสมมูลทรอลลอกซ์/กรัมน้ำหนักสด)



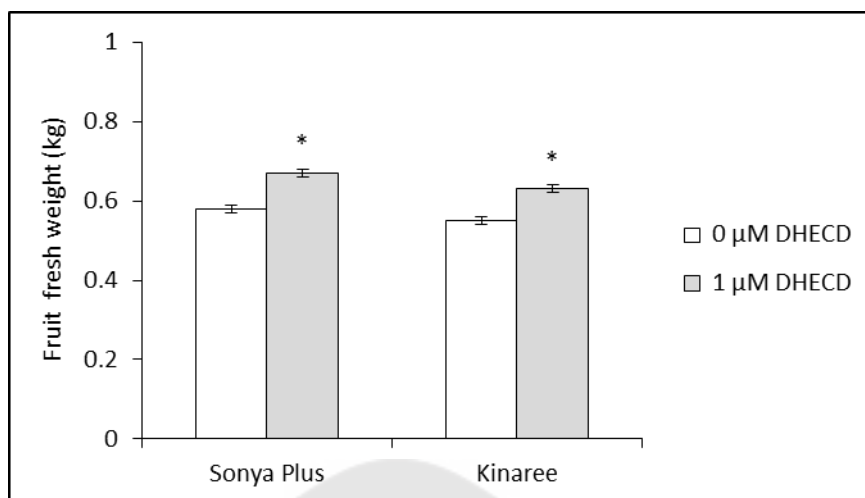
ภาพประกอบ 41 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของต้นแตงโมสายพันธุ์ขอนแก่น พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.2 การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อคุณภาพผลผลิตของแตงโม

2.2.1 น้ำหนัก เส้นรอบวง และความหวานของผลแตงโม

2.2.1.1 น้ำหนักของผลแตงโม

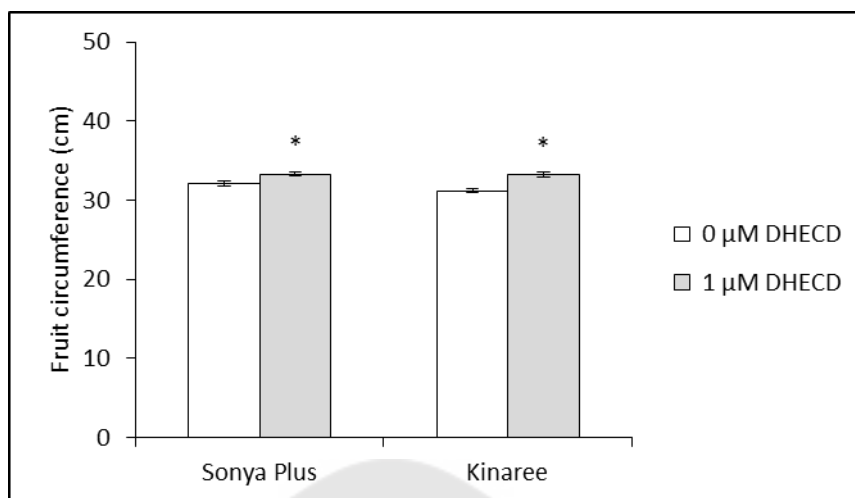
จากผลการทดลองพบว่าต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลัสที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD พบว่าผลแตงโมมีน้ำหนักสด (0.67 กิโลกรัม) มากกว่าผลแตงโมในชุดควบคุม (0.58 กิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.16 เท่า ส่วนผลการทดลองในต้นแตงโมสายพันธุ์กินรีพบว่า มีแนวโน้มของน้ำหนักผลในทิศทางเดียวกันกับแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลัส (ภาพประกอบ 42) โดยสาร DHECD เพิ่มน้ำหนักผลแตงโม (0.63 กิโลกรัม) ได้ 1.15 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับผลแตงโมในชุดควบคุม (0.55 กิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพประกอบ 42 น้ำหนักสดผล ± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.2.1.2 เส้นรอบวงผลแตงโม

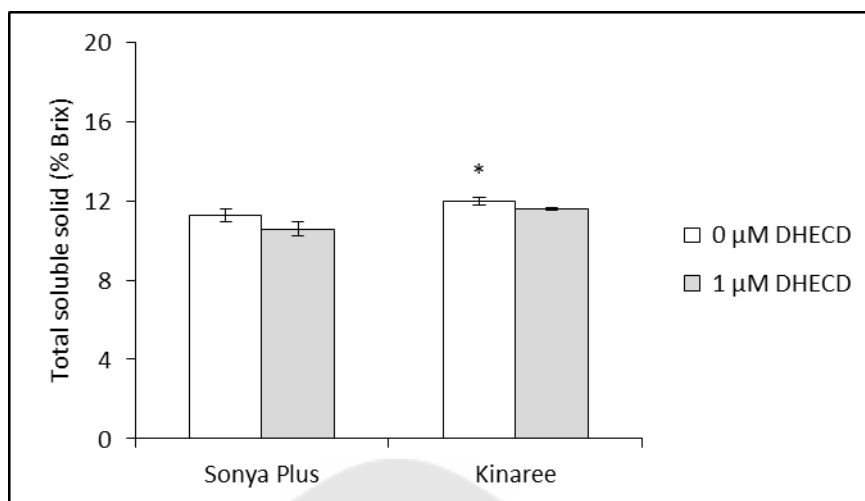
จากผลการทดลองในต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัสพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีเส้นรอบวงผล (33.28 เซนติเมตร) มากกว่าผลแตงโมในชุดควบคุม (32.08 เซนติเมตร) อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คิดเป็น 1.04 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในต้นแตงโมพันธุ์กินรี โดยพบว่ามี การเพิ่มเส้นรอบวงผล (33.23 เซนติเมตร) ได้ 1.07 เท่า (ภาพประกอบ 43, 49 และ 50) เมื่อเปรียบเทียบกับผลแตงโมในชุดควบคุม (31.20 เซนติเมตร)



ภาพประกอบ 43 เส้นรอบวง \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของผล
 แดงโมพันธุ์ซอนญา พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ ,
 เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.2.1.3 ความหวานของผลแดงโม

จากผลการทดลองในต้นแดงโมพันธุ์ซอนญา พลัสพบว่า ผลแดงโม
 ทั้งสองชุดการทดลองมีความหวานไม่แตกต่างกัน ส่วนผลการทดลองในต้นแดงโมพันธุ์กินรีพบว่ามี
 การลดความหวานของผลแดงโม (11.58 %Brix) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น
 0.97 เท่า (ภาพประกอบ 44) เมื่อเปรียบเทียบกับความหวานของผลแดงโมในชุดควบคุม (11.98
 %Brix)

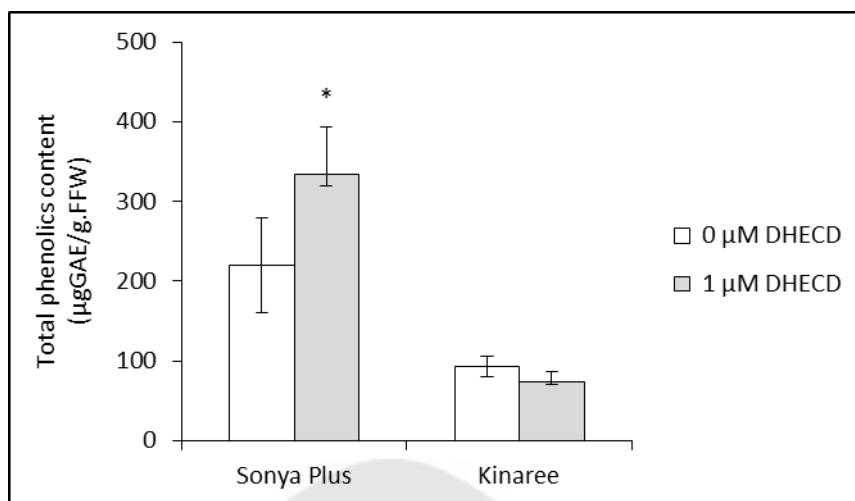


ภาพประกอบ 44 ค่าความหวาน \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของผล
 แดงโมพันธุ์ซอนญา พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ ,
 เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.2.2 ปริมาณสารทุติยภูมิบางชนิดในผลแดงโม

2.2.2.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

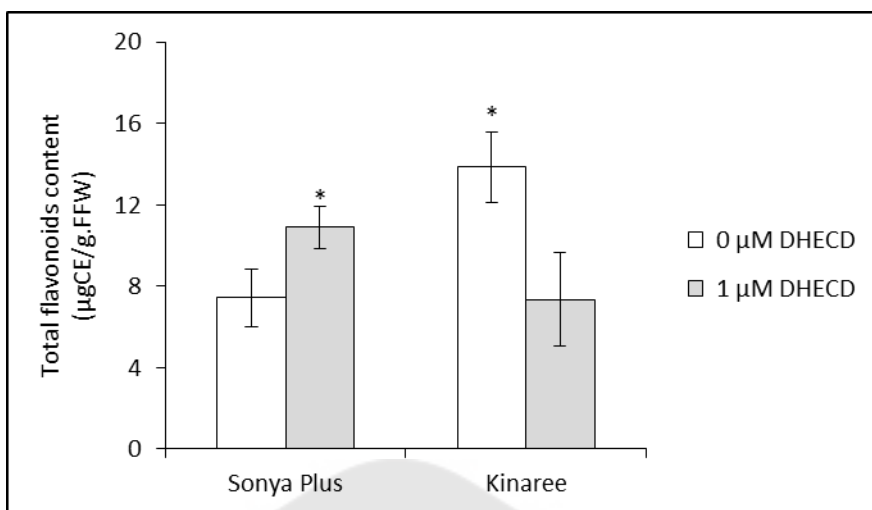
ผลการทดลองในต้นแดงโมสายพันธุ์ซอนญา พลัสพบว่าการเพิ่ม
 การสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในผลแดงโม (333.66 ไมโครกรัมสมมูลกรดแกลลิก/กรัม
 น้ำหนักสดผล) ได้ 1.52 เท่า โดยเปรียบเทียบกับผลแดงโมในชุดควบคุม (219.66 ไมโครกรัมสมมูล
 กรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสดผล) แต่ผลการทดลองในต้นแดงโมสายพันธุ์กินรีพบว่าต้นแดงโมที่
 ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (74.69 ไมโครกรัมสมมูล
 กรดแกลลิก/กรัมน้ำหนักสดผล) น้อยกว่าผลแดงโมในชุดควบคุม (93.01 ไมโครกรัมสมมูลกรดแกล
 ลิก/กรัมน้ำหนักสดผล) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 0.80 เท่า (ภาพประกอบ 45)



ภาพประกอบ 45 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของผลแดงโพลีฟีนอลิกของพันธุ์ซอนญา พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.2.2.2 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์

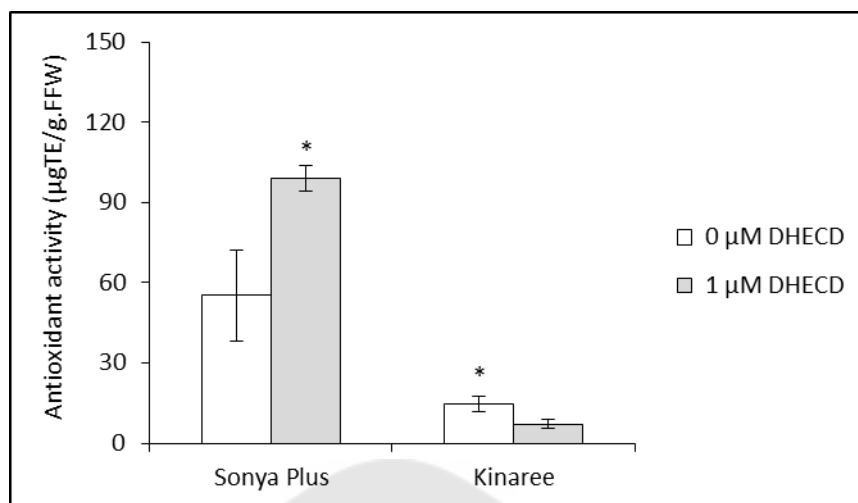
ผลการทดลองในต้นแดงโพลีฟีนอลิกของพันธุ์ซอนญา พลัสพบว่าการเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ (10.89 ไมโครกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสดผล) ได้ 1.46 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับผลแดงโพลีฟีนอลิกในชุดควบคุม (7.44 ไมโครกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสด) แต่ผลการทดลองของต้นแดงโพลีฟีนอลิกของพันธุ์กินรีพบว่าการลดการสะสมปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ (7.34 ไมโครกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสดผล) 0.53 เท่า (ภาพประกอบ 46) เมื่อเปรียบเทียบกับผลแดงโพลีฟีนอลิกในชุดควบคุม (13.84 ไมโครกรัมสมมูลคาเทชิน/กรัมน้ำหนักสดผล)



ภาพประกอบ 46 ปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของผลแต่งโมสายพันธุ์ซอนญา พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.2.2.3 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

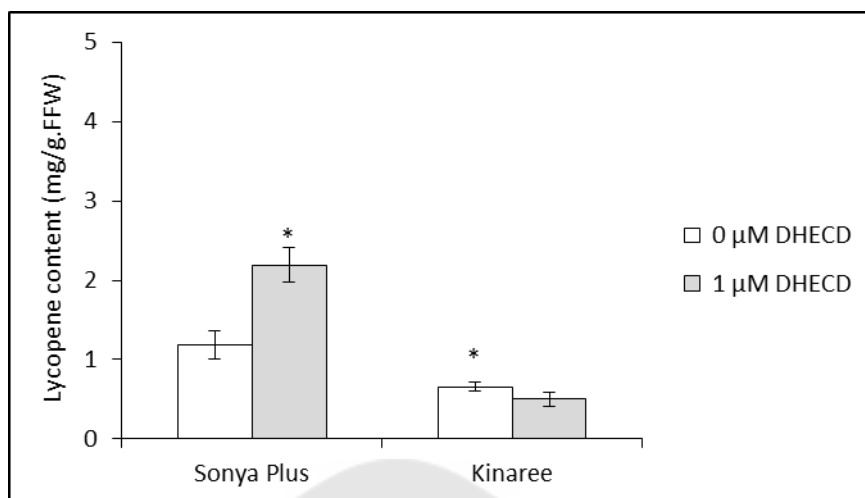
จากการทดลองในต้นแต่งโมพันธุ์ซอนญา พลัสพบว่าการเพิ่มฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในผลแต่งโม (98.99 ไมโครกรัมสมมูลทอรอลอกซ์/กรัมน้ำหนักสดผล) ได้ 1.80 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับผลแต่งโมในชุดควบคุม (55.32 ไมโครกรัมสมมูลทอรอลอกซ์/กรัมน้ำหนักสดผล) ในขณะที่ผลการทดลองในต้นแต่งโมพันธุ์กินรีพบว่า ต้นแต่งโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (7.19 ไมโครกรัมสมมูลทอรอลอกซ์/กรัมน้ำหนักสดผล) น้อยกว่าผลแต่งโมในชุดควบคุม (14.52 ไมโครกรัมสมมูลทอรอลอกซ์/กรัมน้ำหนักสดผล) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คิดเป็น 0.50 เท่า (ภาพประกอบ 47)



ภาพประกอบ 47 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของผลแดงโมพันธุซอญ่า พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่างๆ, เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.2.2.4 ปริมาณไลโคปีน

จากการทดลองในต้นแดงโมพันธุซอญ่า พลัสพบว่าการเพิ่มการสะสมปริมาณไลโคปีน (2.19 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสดผล) ได้ 1.84 เท่า โดยเปรียบเทียบกับผลแดงโมในชุดควบคุม (1.19 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสดผล) ในขณะที่ผลการทดลองในต้นแดงโมพันธุกินรีพบว่าการลดการสะสมปริมาณไลโคปีน (0.50 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสดผล) ถึง 0.76 เท่า (ภาพประกอบ 48) เมื่อเปรียบเทียบกับผลแดงโมในชุดควบคุม (0.66 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสดผล)



ภาพประกอบ 48 ปริมาณไลโคปีน \pm ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error; SE) ของผลแตงโมพันธุ์ซอนญ่า พลัส และกินรีหลังได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ , เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพประกอบ 49 ผลแตงโมพันธุ์ซอนญ่า พลัสในชุดควบคุม (ซ้าย) และผลแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD (ขวา), scale bar = 5 ซม.



ภาพประกอบ 50 ผลแตงโมพันธุ์นิรในชุดควบคุม (ซ้าย) และผลแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD (ขวา), scale bar = 5 ซม.



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มการเติบโต การสะสมปริมาณรงควัตถุ น้ำตาลรวมที่ละลายน้ำ สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ นอกจากนี้ยังสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาไลโปเปอร์ออกซิเดชันได้ด้วย ในส่วนของผลนั้นสาร DHECD สามารถเพิ่มการเติบโตของแตงโมทั้ง 2 สายพันธุ์ แต่การสะสมปริมาณสารทุติยภูมิกลับพบว่าสาร DHECD สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณสารทุติยภูมิได้ในแตงโมสายพันธุ์ขอนแก่นฯ พลัสเท่านั้น

อภิปรายผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 การหาระดับความเข้มข้นของสาร DHECD ต่อการเติบโตทางลำต้น ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง และการตอบสนองทางสรีรวิทยาของแตงโม

1.1 การเติบโตส่วนลำต้น

ผลการทดลองที่ได้พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนต้นมากกว่าชุดควบคุม จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าสาร DHECD สามารถเพิ่มการเติบโตในส่วนลำต้นของพืชหลายชนิด เช่น ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูง และพริกขี้หนูพันธุ์ TVRC 758 ที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง (Khamsuk et al., 2018; Thussagunpanit et al., 2015) เนื่องจากสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มบราสซิโนสตีรอยด์ที่ระดับความเข้มข้นต่ำส่งเสริมการทำงานของสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มออกซิน ซึ่งมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการขยายขนาดของเซลล์ โดยส่งเสริมการทำงานของโปรตีน expansin และทำให้ผนังเซลล์เกิดการคลายตัวและเซลล์พืชจะขยายขนาดต่อไปได้ จึงทำให้เซลล์พืชมีการเพิ่มขึ้นของปริมาตรตามไปด้วย (Taiz & Zeiger, 2010) นอกจากนี้สารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มบราสซิโนสตีรอยด์ทั้ง DHECD และ 24-epibrassinolide (EBR) ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้อีกด้วย (คณพล จุฑามณี, 2561) โดยกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่พืชสังเคราะห์น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งพืชใช้เป็นอาหารและสารตั้งต้นในกระบวนการทางสรีรวิทยาอื่น ๆ เซลล์ที่ได้รับอาหารอย่างเพียงพอจะมีการเจริญเติบโตและมีพัฒนาการที่สมบูรณ์ (ลิลลี่ กาวีตะ, 2556) ส่งผลให้พืชที่ได้รับสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มบราสซิโนสตีรอยด์มีน้ำหนักและปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น โดยสอดคล้องกับการ

ทดลองในข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูง พบว่าสาร DHECD และ EBR ความเข้มข้น 1 นาโนโมลาร์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวได้ ทำให้น้ำหนักรวงข้าวเพิ่มขึ้น (Thussagunpanit et al., 2015) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลของสาร DHECD ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 0.01, 0.1 และ 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในใบผักกาดหอมสายพันธุ์กรีนไอศได้ และในข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูงพบว่าสาร DHECD และ EBR ความเข้มข้น 1 นาโนโมลาร์สามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ได้เช่นกัน (Thussagunpanit et al., 2015; สุขุมภรณ์ แสงงาม et al., 2561ข) ซึ่งคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จากการศึกษาในผักกาดหอมที่ถูกลดปริมาณโพแทสเซียมในสารละลายธาตุอาหารพบว่าต้นผักกาดหอมที่มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สูง จะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่สูงขึ้น เนื่องจากพืชมีรงควัตถุที่รับพลังงานแสง และนำพลังงานแสงไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการเติบโตและน้ำหนักต้นที่สูงขึ้นตามไปด้วย (G. Zhang, Johkan, Hohjo, Tsukagoshi, & Maruo, 2017)

1.2 ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง

จากผลการทดลองพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 และ 1 ไมโครโมลาร์ มีค่า Fv/Fm มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่าสาร DHECD และ EBR ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มค่า Fv/Fm ในพริกขี้หนูพันธุ์ TVRC 758 ที่ได้รับความเครียดจากความแล้งได้ (Khamsuk et al., 2018) นอกจากนี้สาร DHECD ความเข้มข้น 1 นาโนโมลาร์ สามารถเพิ่มค่า Fv/Fm ในข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูงอีกด้วย (Thussagunpanit et al., 2015) แต่อย่างไรก็ตามพืชที่เติบโตในสภาพแวดล้อมปกติ สาร DHECD และ EBR ไม่มีผลต่อค่า Fv/Fm (Khamsuk et al., 2018) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในต้นเสาวรสพันธุ์ Ruby Star และ Summer Queen ที่พบว่าต้นเสาวรสที่ไม่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูงมีค่า Fv/Fm คงที่ตลอดการทดลอง (Shimada et al., 2017) และจากการทดลองในต้น *Leymus chinensis* ที่ได้รับสาร EBR ความเข้มข้น 0.1 ppm (0.2 ไมโครโมลาร์) ภายใต้สภาวะพรางแสง 50 และ 70% จากแสงตามธรรมชาติ ผลการทดลองพบว่าต้น *Leymus chinensis* ในชุดควบคุมและชุดที่ได้รับสาร EBR มีค่า Fv/Fm ที่ไม่แตกต่างกันในสภาวะที่ได้รับแสงเท่ากัน (A. J. Yang et al., 2018) ค่า Fv/Fm เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ใช้หลักการคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ จึงไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนักหากพืชไม่ได้รับความเครียด เนื่องจากคลอโรฟิลล์

ฟลูออเรสเซนซ์จะเกิดมากขึ้น หากระบบแสงของพืชทำงานได้ไม่เป็นปกติ (Khamsuk et al., 2018; Taiz & Zeiger, 2010) แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าสารควบคุมการเติบโตในกลุ่ม brassinoid เตียรอยด์ความเข้มข้นสูงจะสามารถชักนำให้พืชสังเคราะห์ฮอร์โมนเอทิลีนมากขึ้น ซึ่งสารดังกล่าวชักนำให้พืชเกิดกระบวนการหายใจและเร่งให้เซลล์พืชเข้าสู่ระยะเสื่อมชรา (senescence) ได้เร็วขึ้น (Arteca, 1996) จากการทดลองในกล้วยไม้เข็มบีเดียม (*Cymbidium elegans*) พบว่าเนื้อเยื่อกล้วยไม้จะตอบสนองต่อความเข้มข้นของสาร EBR ได้ไม่เกินระดับความเข้มข้น 4 ไมโครโมลาร์ โดยเนื้อเยื่อกล้วยไม้ที่ได้รับสาร EBR ความเข้มข้น 6 ไมโครโมลาร์จะไม่มีการตอบสนองและเกิดการหลั่งสารสีน้ำตาลออกมาในอาหารเพาะเลี้ยง เมื่อเซลล์ได้รับความเป็นพิษจะมีการสังเคราะห์ฮอร์โมนเอทิลีนออกมา ทำให้การเติบโตของเนื้อเยื่อหยุดชะงัก (Ali, 2017; Ravindra & Nataraja, 2007) เมื่อพืชที่ได้รับความเครียดจะมีการสังเคราะห์ฮอร์โมนเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสภาวะดังกล่าวจะกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase (ACC synthase) ภายในเซลล์พืชจึงมีการสะสม ACC เป็นจำนวนมาก ซึ่งสารดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงเป็นเอทิลีนต่อไป (คณพล จุฑามณี, 2561; นวรัตน์ อุดมประเสริฐ, 2558) ดังนั้นจากผลการทดลองที่พบในงานวิจัยนี้สาร DHECD ความเข้มข้น 0.1 และ 1 ไมโครโมลาร์ อาจส่งผลในการเพิ่มค่า Fv/Fm ในต้นแตงโมเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะปกติ และอาจจะส่งผลต่อการได้การตอบสนองต่อเอทิลีนที่สังเคราะห์ขึ้นของเซลล์ จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า ต้นแตงกวาที่ได้รับสาร brassinolide (BL) ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์มีการสังเคราะห์เอทิลีนในปริมาณที่ใกล้เคียงกับต้นแตงกวาที่ไม่ได้รับการ BL แต่ได้รับความเครียดจากความเค็มและความแล้ง (Wei et al., 2015)

1.3 ปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

จากผลการทดลองพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทั้งคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในพืชหลายชนิด เช่น ต้นผักกาดหอมพันธุ์กรีนไอศที่พบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 0.01, 0.1 และ 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้ (สุขุมารณ์ แสงงาม et al., 2561ข) และข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูงก็พบว่าสาร DHECD และ EBR ความเข้มข้น 1 นาโนโมลาร์ สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ได้เช่นกัน (Thussagunpanit et al., 2015) ซึ่งมีรายงานว่าผลของสาร brassinoid เตียรอยด์ที่ศึกษาในผักกาดหอมพันธุ์กรีนไอศที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร ผลการทดลองพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถลดการสะสมปริมาณไนเตรทได้ และสาร HBL ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถ

กระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ nitrate reductase ในต้นมันฝรั่งได้ เอนไซม์ดังกล่าวมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการเปลี่ยน nitrate เป็น nitrite ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการนำไนโตรเจนไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม เช่น สังเคราะห์สารชีวโมเลกุลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นสาร DHECD อาจมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการนำไนโตรเจนไปสังเคราะห์เป็นสารชีวเคมีอื่น ๆ ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบได้ (Campbell, 1999; Stewart, Gracia, Hegarty, & Specht, 1990; สุขุมภรณ์ แสงงาม et al., 2561ข) นอกจากนี้สารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่ม brassinosteroid อื่น ๆ ยังสามารถเพิ่มการสะสมปริมาณรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้อีกด้วย จากการศึกษาในต้นถั่วเหลืองที่ได้รับการพ่นด้วยสาร EBR ความเข้มข้น 0.001 และ 0.1 ไมโครโมลาร์ พบว่ามีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และ บี รวมถึงแคโรทีนอยด์ในส่วนของใบเลี้ยงเพิ่มขึ้น (Cevahir, Yentür, Eryilmaz, & Yilmazer, 2008) และต้น *Wolffia arrhiza* ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่เติมสาร EBR ความเข้มข้น 0.01, 0.1 และ 1 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์มากกว่าต้น *Wolffia arrhiza* ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารเพียงอย่างเดียว (Chmur & Bajguz, 2021) เนื่องจากสาร EBR กระตุ้นการแสดงออกของยีนและกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์รงควัตถุ (Siddiqui, Hayat, & Bajguz, 2018) และ EBR ยังสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาไลปิดเพอร์ออกซิเดชันภายในเซลล์ได้ โดยการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น superoxide dismutase (SOD) จากการทดลองก่อนหน้านี้พบว่าสาร EBR ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ SOD และลดการสะสมปริมาณ malondialdehyde (MDA) ในต้นข้าวโพดลูกผสม PMH 3 ที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูง (45 °C) เป็นระยะเวลา 9 ชั่วโมงได้ หรือเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของบอระเพ็ด (*Tinospora cordifolia*) โดยพบว่าต้นบอระเพ็ดที่ได้รับการพ่นด้วยสาร EBR และ HBL ความเข้มข้น 2 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่าชุดควบคุม คิดเป็น 1.41 และ 1.45 เท่า ตามลำดับ ซึ่งสารดังกล่าวมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ จึงมีส่วนช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไลปิดเพอร์ออกซิเดชันได้ (Khamsuk et al., 2018; Raghu & Seeta, 2016; Thussagunpanit et al., 2015; Yadava et al., 2016) จึงทำให้พืชที่ได้รับสาร EBR มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์มากขึ้น

1.4 ปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้

จากผลการทดลองพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในต้นข้าวสาลีพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูง โดยพบว่าสาร DHECD และ EBR

ความเข้มข้น 1 นาโนโมลาร์ สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำในส่วนใบได้ (Thussagunpanit et al., 2015) เช่นเดียวกับผลการทดลองที่พบในพริกชี้หนุสายพันธุ์ TVRC 758 ที่ได้รับความเครียดจากความแล้งพบว่าสาร DHECD และ EBR ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ช่วยเพิ่มการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ ในขณะที่พบว่าต้นพริกชี้หนุที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และ EBR ภายใต้สภาวะปกติกลับมีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำที่ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (Khamsuk et al., 2018) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในต้นแตงกวาสายพันธุ์ Changlu No.1 ที่ได้รับสาร EBR ความเข้มข้น 0.1 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำไม่แตกต่างกับชุดควบคุม แต่ในชุดการทดลองที่ต้นแตงกวาได้รับการรดชึนนามิกความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ควบคู่กับสาร EBR พบว่าต้นแตงกวามีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำมากกว่าต้นแตงกวาที่ได้รับการรดชึนนามิกเพียงอย่างเดียว (P. Yang, Nawaz, Li, Bai, & Li, 2019) เนื่องจากสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มบราสซิโนสเตียรอยด์จะมีผลทางสรีรวิทยาต่อเมื่อพืชได้รับความเครียด แต่อย่างไรก็ตามหากพืชที่เติบโตในสภาวะปกติได้รับสารบราสซิโนสเตียรอยด์ซ้ำหลาย ๆ ครั้งก็อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาได้เช่นกัน (Khamsuk et al., 2018) จากการศึกษาในต้นพริกชี้หนุที่ปลูกในสภาวะปกติโดยให้สาร Biobras-16 ความเข้มข้น 12 ppm (27 ไมโครโมลาร์) ทุก ๆ 3 สัปดาห์ ติดต่อกัน 10 ครั้ง ผลการทดลองพบว่าต้นพริกชี้หนุมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมากกว่าชุดควบคุม คิดเป็น 1.33 เท่า (Serna, Hernandez, & Amoros, 2012) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ โดยพบว่าต้นแตงโมมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงและการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำมากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม คิดเป็น 1.01 และ 1.09 เท่า (ภาพประกอบ 23 และ 28) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารบราสซิโนสเตียรอยด์ส่งผลต่อการช่วยทำให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชเกิดได้อย่างเหมาะสม จึงทำให้มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้มากขึ้น โดยปริมาณน้ำตาลที่สะสมภายในเซลล์ จึงมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Thussagunpanit et al., 2015; ลิลลี่ กาวีตะ, 2556) นอกจากนี้ยังมีรายงานเพิ่มเติมอีกว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มบราสซิโนสเตียรอยด์สามารถส่งเสริมกระบวนการ phloem loading และลำเลียงอาหารไปยังบริเวณที่ได้รับสารบราสซิโนสเตียรอยด์ จากการทดลองในต้นอ่อนแตงกวาสายพันธุ์ Tokiwajibai ที่ได้รับสาร EBR ความเข้มข้น 0.1 ppm (0.2 ไมโครโมลาร์) ทางราก พบว่ามีการลำเลียงน้ำตาลซูโครสที่ติดฉลากด้วย ^{14}C จาก primary leaf ไปยังบริเวณลำต้นที่อยู่เหนือใบเลี้ยง (epicotyl) มากกว่าชุดควบคุมถึง 2.52 เท่า จากผลการทดลองขั้นต้นจึงแสดงให้เห็นว่าสารบราสซิโนส

เต็ยรอยด์ จึงมีบทบาทส่งเสริมการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ โดยการเพิ่มอัตราการลำเลียงอาหารจากแหล่งสร้างไปยังบริเวณที่ได้รับสารบราสซิโนส เต็ยรอยด์ (Nakajima & Toyama, 1999; Sasse, 2003; Thussagunpanit et al., 2015)

การทดลองที่ 2 การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเจริญเติบโตและกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการ ปริมาณสารทุติยภูมิบางชนิด และคุณภาพของผลผลิตของผลแตงโม

2.1 การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของต้นแตงโม

2.1.1 การเติบโตส่วนยอด

จากผลการทดลองพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนต้นของต้นแตงโมสายพันธุ์ซอนญา พลัส และกินรีได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ โดยพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 นาโนโมลาร์ สามารถชักนำให้เกิดการเพิ่มน้ำหนักแห้งของฟางข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 1 ภายใต้สภาวะปกติและสภาวะอุณหภูมิต่ำ (Sonjaroon et al., 2018) และต้นผักกาดหัวที่ได้รับการพ่นด้วยสาร 28-homobrassinolide (HBL) และ EBR ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากขึ้น ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะเครียดจาก $ZnSO_4$ ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ (Ramakrishna & Rao, 2015) ด้วยเช่นกัน เนื่องจากมีรายงานว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มบราสซิโนส เต็ยรอยด์สามารถเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ carbonic anhydrase, nitrate reductase และอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงทั้งหมดได้ ซึ่งเป็นไปตามการผลทดลองที่พบในต้นมันฝรั่ง โดยพบว่าสาร HBL ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงทั้งหมด และกิจกรรมของเอนไซม์ carbonic anhydrase ได้ 1.26, 1.32, 1.74 และ 1.39 เท่า ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Hayat, Ahmad, Mobin, & Hussain, 2000) และจากการทดลองในต้นอ่อนข้าวสาลีที่แช่ในสาร HBL เป็นเวลา 8 ชั่วโมงนั้น ผลการทดลองพบว่าสาร HBL ความเข้มข้น 3 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ carbonic anhydrase และ nitrate reductase โดยคิดเป็น 1.77 และ 1.46 เท่า ตามลำดับ ซึ่งบทบาทของสารบราสซิโนส เต็ยรอยด์ที่มีต่อกิจกรรมของเอนไซม์ nitrate reductase นั้น สอดคล้องกับผลการทดลองก่อนหน้านี้ โดยพบว่าต้นผักกาดหอมสายพันธุ์กรีนไฮคี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณไนเตรทน้อยกว่าชุดควบคุมถึง 0.48 เท่า ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวเกี่ยวข้องกับการนำไนเตรทไปสังเคราะห์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น กรดอะมิโน และคลอโรฟิลล์ (สุขุมารณ์ แสงงาม et al., 2561) นอกจากนี้

ยังมีรายงานว่าบทบาทของสารบราสซิโนสตีรอยด์มีความเกี่ยวข้องกับการยืดยาวของเซลล์ โดยส่งเสริมการทำงานของโปรตีน aquaporin ซึ่งเป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของน้ำระหว่างเซลล์ และยังส่งเสริมฤทธิ์ทางสรีรวิทยาของออกซิน ทำให้โปรตีน expansin ทำงานได้ดียิ่งขึ้น เมื่อผนังเซลล์เกิดการคลายและมีน้ำออสโมซิสเข้าไปภายในเซลล์ จึงทำให้เซลล์เกิดการยืดยาวและมีมวลมากขึ้น และส่งผลให้พืชมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Ali, 2017; Sasse, 2003; Taiz & Zeiger, 2010)

2.1.2 ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง

จากผลการทดลองพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ไม่มีผลต่อค่า Fv/Fm ของต้นแตงโมทั้งสายพันธุ์ซอนญา พลัส และกินรีตลอดการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองก่อนหน้านี้ที่พบว่าต้นพริกขี้หนูสายพันธุ์ TVRC 758 ที่ได้รับสาร DHECD และ EBR ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในสภาวะปกติ มีค่า Fv/Fm ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (Khamsuk et al., 2018) และจากการทดลองในต้น *Leymus chinensis* ก็พบว่าสาร EBR ความเข้มข้น 0.2 ไมโครโมลาร์ ไม่มีผลต่อค่า Fv/Fm เช่นกัน (A. J. Yang et al., 2018) เนื่องจากมีรายงานว่าสารบราสซิโนสตีรอยด์จะมีผลต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง หากพืชอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมและสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชดังกล่าวจะมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการส่งเสริมกลไกที่พืชใช้ต้านทานต่อความเครียดต่าง ๆ เป็นหลัก (Khamsuk et al., 2018; Rezaei, Saeidi-Sar, Ebadi, & Abbaspour, 2018) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในต้นเมล่อนสายพันธุ์ Baiyuxiang ที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูง โดยพบว่าสาร EBR ความเข้มข้น 0.05 - 1.5 ppm (0.1 - 3 ไมโครโมลาร์) ไม่มีผลต่อค่า Fv/Fm ของต้นเมล่อนที่ปลูกในสภาวะปกติ (Y. P. Zhang, Yang, & Chen, 2014)

2.1.3 ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

จากผลการทดลองพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ, คลอโรฟิลล์ บี, คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานในต้นข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูง โดยพบว่าสาร DHECD และ EBR ความเข้มข้น 1 นาโนโมลาร์ สามารถกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าวที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูงได้ และสาร DHECD ความเข้มข้น 0.01, 0.1 และ 1 ไมโครโมลาร์ ยังสามารถส่งเสริมให้เกิดการเพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในผักกาดหอมสายพันธุ์กรีนไอศที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ได้อีกด้วย (สุขุมภรณ์ แสงงาม et al., 2561ข) เนื่องจากสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มบราสซิโนสตีรอยด์สามารถส่งเสริมกิจกรรม

ของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์รงควัตถุ (Siddiqui et al., 2018) นอกจากนี้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ยังมีบทบาทเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาไลพิดเปอร์ออกซิเดชัน ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาที่ส่งเสริมการเสื่อมสภาพของรงควัตถุ โดยสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะกระตุ้นการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอนไซม์ chlorophyllase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการเสื่อมสภาพของคลอโรฟิลล์ (Alché, 2019; Taiz & Zeiger, 2010) และจากผลการทดลองในต้นแตงโมพันธุ์ซอนญา พลัสและกินรี พบว่า สาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์สามารถส่งเสริมให้เกิดการลดการสะสมปริมาณ MDA ได้ สารดังกล่าวเป็นสารผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาไลพิดเปอร์ออกซิเดชัน ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองในต้นข้าวโพดสายพันธุ์ PMH 3 ที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูง พบว่าสาร EBR ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์สามารถลดการสะสมปริมาณ MDA ได้ โดยการส่งเสริมกิจกรรมของเอนไซม์ SOD จึงทำให้ปริมาณ reactive oxygen species (ROS) ที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาไลพิดเปอร์ออกซิเดชันนั้นลดลง (Brieger et al., 2012; Yadava et al., 2016) ดังนั้นสารบราสสิโนสเตียรอยด์จึงมีบทบาทเกี่ยวกับการเพิ่มการสะสมปริมาณรงควัตถุผ่านทางกระตุ้นการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์รงควัตถุ และป้องกันไม่ให้รงควัตถุเกิดการเสื่อมสภาพ

2.1.4 ปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำ

จากผลการทดลองพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำในต้นแตงโมสายพันธุ์ซอนญา พลัสและกินรีได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในต้นพริกขี้หนูสายพันธุ์ TVRC 758 ที่ได้รับความเครียดจากความแห้ง ผลการทดลองพบว่าต้นพริกขี้หนูที่ได้รับสาร DHECD และ EBR ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น (Khamsuk et al., 2018) เนื่องจากสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มบราสสิโนสเตียรอยด์สามารถกระตุ้นประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ซึ่งตรงกับผลการทดลองในต้นพริกขี้หนู โดยพบว่าการพ่นสาร Biobras-16 ความเข้มข้น 27 ไมโครโมลาร์ ทุก ๆ 3 สัปดาห์ สามารถเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงทั้งหมดของพริกขี้หนูที่ปลูกในสภาวะปกติได้ (Sema et al., 2012) กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่พืชใช้สังเคราะห์น้ำตาล (ลิลลี่ กาวีตะ, 2556) จึงทำให้พืชที่ได้รับการบราสสิโนสเตียรอยด์มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีรายงานอีกว่าสารบราสสิโนสเตียรอยด์ยังเพิ่มการลำเลียงอาหารไปยังแหล่งรับ โดยพบว่าต้นแตงกวาที่ได้รับสาร EBR ความเข้มข้น 0.2 ไมโครโมลาร์ พบว่ามีการลำเลียงสารละลายซูโครสที่ติดฉลากด้วย ^{14}C จาก primary leaf ไปสะสมยัง epicotyl มากกว่าชุดควบคุม (Nakajima & Toyama, 1999) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในต้นแตงโม

พันธุ์ชองญา พลัส และกินรี โดยพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ต้นแดงโมทั้ง 2 สายพันธุ์ได้

2.1.5 ปฏิกริยาอ็อกซิเดชันออกซิเดชัน

จากผลการทดลองในต้นแดงโมพันธุ์ชองญา พลัส พบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณ MDA ในต้นแดงโมได้ แต่ในวันสุดท้ายของการทดลองกลับมีการสะสมปริมาณ MDA ที่ลดลง ส่วนผลการทดลองในต้นแดงโมพันธุ์กินรีพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์สามารถลดการสะสมปริมาณ MDA ได้ เนื่องจากมีรายงานว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มบราสซิโนสตีรอยด์สามารถกระตุ้นการสังเคราะห์เอทิลีนได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในต้นแดงกวาพันธุ์ Jihong no.2 โดยพบว่าต้นแดงกวาที่ได้รับสาร BL ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีการสังเคราะห์เอทิลีนมากกว่าต้นแดงกวาในชุดควบคุม เอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่ส่งเสริมการเกิดอนุมูลอิสระภายในเซลล์ เมื่อเซลล์มีการสะสมปริมาณอนุมูลอิสระมากเกินไป จะส่งผลให้เซลล์เกิด oxidative stress และปฏิกริยาอ็อกซิเดชันต่อไป (Wei et al., 2015) แต่มีรายงานกล่าวว่าพืชที่ได้รับความเครียดจากปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพ สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มบราสซิโนสตีรอยด์สามารถกระตุ้นกลไกที่พืชใช้ต้านอนุมูลอิสระได้ เช่น กระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ที่ใช้กำจัดอนุมูลอิสระ (antioxidant enzyme) และเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เป็นต้น จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าสาร EBR ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ SOD และลดการสะสมปริมาณ MDA ในต้นข้าวโพดพันธุ์ PMH 3 ที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลา 9 ชั่วโมงได้ และต้นบอระเพ็ดที่ได้รับการพ่นด้วยสาร EBR และ HBL ความเข้มข้น 2 ไมโครโมลาร์ พบว่าต้นบอระเพ็ดมีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากขึ้น ทั้งในส่วนใบ ลำต้น และราก (Raghu & Seeta, 2016; Yadava et al., 2016) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถส่งเสริมการเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในต้นแดงโมพันธุ์ชองญา พลัส และกินรีได้ แต่อย่างไรก็ตามผลของสาร DHECD ต่อการสะสมปริมาณ MDA ในต้นแดงโมทั้ง 2 พันธุ์ที่พบว่ามีผลแตกต่างกัน เนื่องจากสายพันธุ์ของพืชจะมีผลต่อการตอบสนองกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่แตกต่างกัน (เฉลิมชัย วงศ์วัฒน์, ม.ป.ป) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในผักกาด (*Brassica oleracea*) ที่พบว่าผักกาดแต่ละสายพันธุ์มีการตอบสนองต่อสาร EBR ความเข้มข้น 1 พิโคโมลาร์ที่แตกต่างกัน โดยกะหล่ำดอก (*Brassica oleracea* var *botrytis*) และบรอกโคลี (*Brassica oleracea* var *italica*) มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวมลดลง ในขณะที่กะหล่ำปลี (*Brassica*

oleracea var *capitata*) มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวมเพิ่มขึ้น (K, Sirhindi, & Kumar, 2016) ส่วนผลของสาร DHECD ต่อการสะสมปริมาณ H_2O_2 พบว่ามีความตรงกันข้ามกับการสะสมปริมาณ MDA โดยพบว่าต้นแตงโมพันธุ์ซอญ่า พลับ ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 น้อยกว่าชุดควบคุมตลอดการทดลอง แต่ในต้นแตงโมสายพันธุ์กินรีพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ลดการสะสมปริมาณ H_2O_2 ในช่วงแรก แต่กลับเพิ่มการสะสมปริมาณ H_2O_2 ในช่วงหลังของการ มีรายงานว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มบราสซิโนสเตียรอยด์สามารถลดการสะสมปริมาณ H_2O_2 ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในต้นพริกชี้หนุ่ยสายพันธุ์ TVRC 758 ที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง โดยพบว่าต้นพริกชี้หนุ่ยที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และ EBR ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 น้อยกว่าชุดควบคุม (Khamsuk et al., 2018) และต้นแตงกวาสายพันธุ์ Jihong no.2 ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ที่มี NaCl ความเข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์ พบว่าสาร BL ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์สามารถลดการสะสมปริมาณ H_2O_2 ได้เช่นกัน (Wei et al., 2015) เนื่องจากสารบราสซิโนสเตียรอยด์มีความเกี่ยวข้องกับกลไกที่พืชได้กำจัด H_2O_2 โดยการกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ catalase (CAT) และ ascorbate peroxidase (APX) จากการศึกษาในต้นแตงกวาที่ได้รับความเครียดจากปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ ความแล้ง ความเค็ม และอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง ($4^{\circ}C$) พบว่าต้นแตงกวาที่ได้รับสาร EBR ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีกิจกรรมของเอนไซม์ CAT และ APX มากกว่าต้นแตงกวาในชุดควบคุมภายใต้สภาวะเดียวกัน (Wei et al., 2015) นอกจากนี้ยังมีรายงานอีกว่าสารบราสซิโนสเตียรอยด์สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช่เอนไซม์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในต้นแตงโมสายพันธุ์ซอญ่า พลับ ที่พบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถกระตุ้นการเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและกรดแอสคอร์บิกได้ จึงทำให้เนื้อผลมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากขึ้น จากรายงานก่อนหน้านี้นี้พบว่าประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด จะขึ้นอยู่กับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัด (Marayart, Konmun, & Saeng-ngam, 2020; ศรุตพงศ์ มารยาท & สุขุมภรณ์ แสงงาม, 2564) แต่อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าสารบราสซิโนสเตียรอยด์ความเข้มข้นสูงจะสามารถกระตุ้นกระบวนการหายใจและการสังเคราะห์เอทีเอ็นได้ จึงทำให้เซลล์มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในต้นแตงกวาที่ได้รับสาร BL โดยพบว่าต้นแตงกวาที่ได้รับสาร BL ความเข้มข้น 0.5 - 10 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 มากกว่าชุดควบคุมภายใต้สภาวะปกติ (Wei et al., 2015) จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่า H_2O_2 มีบทบาทเกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อความเครียด โดย

กระตุ้นกลไกที่พืชใช้ต้านทานต่อความเครียดที่พืชได้รับ (Niu & WeibiaoLiao, 2016; Wei et al., 2015) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในต้นแตงโมสายพันธุ์กินรีที่พบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถส่งเสริมให้เกิดการเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์ได้

2.1.6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ

จากผลการทดลองในต้นแตงโมสายพันธุ์ซอนงู่า พลับ และกินรีพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของต้นแตงโมได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในพืชหลายชนิด เช่น ต้นบอระเพ็ด โดยพบว่าต้นบอระเพ็ดที่ได้รับสาร EBR และ HBL ความเข้มข้น 2 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ทั้งในส่วนของราก ลำต้น และใบ (Raghu & Seeta, 2016) นอกจากนี้ยังมีรายงานในต้นมะเขือเทศพันธุ์ Hezuo 903 ที่ได้รับความเครียดจากสาร phenanthrene ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มักปนเปื้อนในดิน (ชนิษฐา สมตระกูล, จำปี ไชย เมืองคุณ, ดวงอนงค์ ผลผล, & วราภรณ์ ชูฉาย, 2013) โดยพบว่าสาร EBR ความเข้มข้น 0.1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระให้มากขึ้น ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะเครียดจากการได้รับสาร phenanthrene ความเข้มข้น 300 ไมโครโมลาร์ (Ahammed et al., 2013) เนื่องจากการศึกษาก่อนหน้าพบว่าสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มบราสซิโนสเตียรอยด์มีความเกี่ยวข้องกับการส่งเสริมกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน โดยพบว่าต้นแตงกวาที่ได้รับสาร EBR ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีการสังเคราะห์เอทิลีนในปริมาณที่ใกล้เคียงกับต้นแตงกวาในชุดควบคุมที่ได้รับความเครียดทางกายภาพ (Wei et al., 2015) ซึ่งฮอร์โมนเอทิลีนเป็นฮอร์โมนที่พืชใช้ตอบสนองต่อความเครียด และเร่งกระบวนการเสื่อม (senescence) โดยพืชที่ได้รับเอทิลีนจะมีการสะสมอนุมูลอิสระมากขึ้น (คณพล จุฑามณี, 2561; นวรัตน์ อุดมประเสริฐ, 2558) กระบวนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกมีความเกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระภายในเซลล์ โดยพบว่าสารอนุมูลอิสระจะกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ phenylalanine ammonia lyase (PAL) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยน phenylalanine ไปเป็นกรดซินนามิก (cinnamic acid) สารดังกล่าวจะถูกนำไปสังเคราะห์เป็นสารประกอบฟีนอลิกอื่น ๆ ต่อไปได้ (Taiz & Zeiger, 2010; ศรุตพงศ์ มารยาท & สุขุมภรณ์ แสงงาม, 2564) นอกจากนี้ยังมีรายงานอีกว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของพืชจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับสารต้านอนุมูลอิสระ

ในงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับสารสกัดส่วนน้ำจากใบสตรอเบอร์รี่พบว่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างจะมากขึ้นตามปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ละลายอยู่ในสารตัวอย่าง (Marayart et al., 2020) แต่อย่างไรก็ตามผลการทดลองในวันที่ 42 ของต้นแตงโมสายพันธุ์ขอนแก่น พลับ พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลง เนื่องจากสาร DHECD อาจมีบทบาทต่อการชักนำสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มอื่น ๆ เช่น เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระทำงานได้ดีขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองในต้นแตงกวาพันธุ์ Jinyan No.4 ที่ได้รับเชื้อ *Fusarium oxysporum* โดยพบว่าต้นแตงกวาที่ได้รับสาร EBR มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าชุดควบคุม ในขณะที่เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น SOD และ APX กลับมีกิจกรรมที่เพิ่มขึ้น (Ding, Shi, & Zhou, 2009) ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับผลการทดลองในส่วนของ การเกิดปฏิกริยาไลพิดเปอร์ออกซิเดชัน จากผลการทดลองพบว่าในวันที่ 42 ของการทดลอง ต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณ MDA และ H_2O_2 น้อยกว่าชุดควบคุม จึงมีความเป็นไปได้ว่าสาร DHECD ไปมีผลต่อสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มอื่นแทน

2.2 การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อคุณภาพผลผลิตของแตงโม

2.2.1 น้ำหนัก เส้นรอบวง และความหวานของผล

จากผลการทดลองพบว่าต้นแตงโมสายพันธุ์ขอนแก่น พลับและกินรี ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีน้ำหนักผลและเส้นรอบวงผลเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในพืชหลายชนิด เช่น พริกขี้หนูพันธุ์ TVRC 758 ที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง พบว่าสาร DHECD และ EBR ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตในพริกขี้หนูที่ได้รับความเครียดจากความแล้งได้ (Khamsuk et al., 2018) และยังสามารถเพิ่มน้ำหนักสดของงุ่นพันธุ์ทอมสัน ผลการทดลองพบว่าสาร EBR ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 ppm (0.4, 0.8 และ 1.2 ไมโครโมลาร์) สามารถเพิ่มน้ำหนักผลและขนาดของผลได้ (Ghorbani et al., 2017) เนื่องจากสารบราสซิโนสเตียรอยด์สามารถส่งเสริมกระบวนการยืดยาวของเซลล์ได้ โดยสารดังกล่าวจะกระตุ้นการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับโปรตีน ATPase โดยกระบวนการยืดยาวของเซลล์นั้น จะมีการลำเลียงโปรตอนภายในเซลล์ ไปยังผนังเซลล์ผ่านทางโปรตีน ATPase โดยโปรตอนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนที่เชื่อมระหว่าง cellulose microfibril แต่ละโมเลกุลให้ออกจากกัน ส่งผลให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงน้อยลง น้ำจากภายนอกเซลล์สามารถออสโมซิสเข้ามาภายในเซลล์ได้มากขึ้น เซลล์จึงเกิดการยืดยาวขึ้นและมีปริมาตรมากขึ้น

ตามไปด้วย (Sasse, 2003; Taiz & Zeiger, 2010) ในส่วนของความหวานของผลนั้น จากผลการทดลองพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ไม่มีผลต่อค่าความหวานในผลแตงโมสายพันธุ์ซอนญา พลัส ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในต้นน้อยหน่า (*Annona squamosa*) พบว่าต้นน้อยหน่าที่ได้รับการพ่นด้วยสาร brassinolide ความเข้มข้น 0.5 และ 1.0 ppm (1 และ 2 ไมโครโมลาร์) มีค่าความหวานและปริมาณ reducing sugars ในส่วนผล ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (Mostafa & Kotb, 2018) จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าการใช้ brassinosteroid เพื่อเพิ่มค่าความหวานในผลไม้ อาจต้องใช้ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มจิบเบอเรลลิน (gibberellins; GAs) เนื่องจาก GAs เพิ่มความสามารถในการรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตในรูปของน้ำตาลของผลไม้ได้ ส่วนสาร brassinosteroid จะส่งเสริมอัตราการลำเลียงอาหารมายังส่วนที่เป็นแหล่งรับ จากเหตุผลดังกล่าวนี้การใช้สาร brassinosteroid ควบคู่กับ GAs จะสามารถเพิ่มค่าความหวานในผลไม้ได้ (Nakajima & Toyama, 1999; Wang & He, 2004) แต่อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่าแตงโมสายพันธุ์กีนรีที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีค่าความหวานในผลแตงโมลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม เนื่องจากมีรายงานว่าสาร brassinosteroid สามารถชะลอการสุกในผลไม้บางชนิด เช่น มะเฟือง และพุทราจีนได้ (X. Zhu et al., 2021; Z. Zhu, Zhang, Qin, & Tian, 2010) ในระหว่างที่ผลไม่กำลังเกิดกระบวนการสุก (ripening) จะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา โดยเกิดการย่อยสลายแป้งให้กลายเป็นน้ำตาล ส่งผลให้ผลไม่เกิดความหวาน ดังนั้นผลไม่ที่ถูกชะลอการสุกจะมีปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำน้อยกว่าผลไม่ที่สุกตามปกติ (คนพล จุฑามณี, 2561) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในต้นมะเฟือง พบว่าสาร EBR ความเข้มข้น 2.8 ppm (5.8 ไมโครโมลาร์) ลดการสะสมปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลรวมได้ในผลมะเฟืองได้ (X. Zhu et al., 2021)

2.2.1 ปริมาณสารทุติยภูมิบางชนิดของผลแตงโม

จากผลการทดลองพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในผลแตงโมสายพันธุ์ซอนญา พลัสได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในพืชหลายชนิด พบว่าสาร EBR ความเข้มข้น 0.6 ppm (1.2 ไมโครโมลาร์) สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในผลองุ่นสายพันธุ์ทอมสันได้ (Ghorbani et al., 2017) และจากงานวิจัยในสตรอเบอร์รี่พบว่าสาร EBR ความเข้มข้น 1 และ 4 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และแอนโทไซยานินในผลสตรอเบอร์รี่พันธุ์ Sabrosa ได้อีกด้วย (Zahedipour-Sheshglani & Asghari, 2020) เนื่องจากสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มบ

ราชสีโนสเดี่ยวรอยด์ความเข้มข้นต่ำสามารถกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ PAL และ polyphenol oxidase (PPO) ได้ ซึ่งเอนไซม์ที่กล่าวมามีความเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก และการประกอบฟลาโวนอยด์ จากเหตุผลข้างต้นสอดคล้องกับการทดลองในสตรอเบอร์รี่พันธุ์ Sabrosa โดยพบว่าต้นสตรอเบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร EBR ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL และ PPO ในส่วนผลมากกว่าต้นสตรอเบอร์รี่ในชุดควบคุม (Zahedipour-Sheshglani & Asghari, 2020) นอกจากนี้สารบราสสีโนสเดี่ยวรอยด์ยังสามารถชักนำการเกิดอนุมูลอิสระภายในเซลล์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่าต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พลับที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณ MDA มากกว่าชุดควบคุม ทำให้อนุมูลอิสระไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกให้เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ผลแตงโมมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกแล้ว สารบราสสีโนสเดี่ยวรอยด์อาจมีผลต่อการสะสมปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่น เช่น กรดแอสคอร์บิก ร่วมด้วย โดยจากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณกรดแอสคอร์บิกในส่วนผลเพิ่มขึ้น (ศรุตพงศ์ มารยาท & สุขุมภรณ์ แสงงาม, 2564) ดังนั้นสาร DHECD จึงสามารถเพิ่มการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ แต่อย่างไรก็ตามผลการทดลองในต้นแตงโมพันธุ์กินรีกลับพบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลง เนื่องจากมีรายงานว่าในบางครั้งสารบราสสีโนสเดี่ยวรอยด์ความเข้มข้นสูงสามารถลดการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในต้นองุ่นพันธุ์ Cinsault ผลการทดลองพบว่าแคลลัสที่เพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร MS (Murashige & Skoog 1962) ที่เติมสาร EBR ความเข้มข้น 1 ppm (2 ไมโครโมลาร์) มีการสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง (Babalik, 2021) เนื่องจากสารบราสสีโนสเดี่ยวรอยด์ชักนำให้พืชเกิดความเครียดออกซิเดชัน (oxidative stress) จากการทดลองในต้นแตงกวาพันธุ์ Jinyan No.4 พบว่าการให้สาร EBR ความเข้มข้น 0.1 ไมโครโมลาร์ กับต้นแตงกวาที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ต้นแตงกวามีการสะสมปริมาณ H_2O_2 มากกว่าชุดควบคุม ในขณะที่ต้นแตงกวาที่ได้รับการพ่นด้วยสาร brassinazole สารยับยั้งการทำงานของบราสสีโนสเดี่ยวรอยด์ ความเข้มข้น 4 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 น้อยกว่าชุดควบคุม จึงแสดงให้เห็นว่าสารบราสสีโนสเดี่ยวรอยด์สามารถทำให้พืชเกิดการสะสมอนุมูลอิสระมากขึ้น (Xia et al., 2009) และพืชที่มีการสะสมอนุมูลอิสระที่มาก

เกินไปจะทำให้การสะสมปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกลดลง จากการทดลองในผลพลัม (*Pranus domestica*) ที่เก็บในอุณหภูมิ 1 °C เป็นระยะเวลา 40 วัน พบว่าผลพลัมมีการสะสมปริมาณ MDA การรั่วไหลของอิออน และอาการบาดเจ็บจากความเย็นเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาของการทดลอง ในขณะที่การสะสมปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจะเริ่มลดลงตั้งแต่วันที่ 20 ของการทดลองเป็นต้นไป (Sogvar, Rabiei, Razavi, & Gohari, 2020) ในส่วนของปริมาณไลโคปีนนั้น จากผลการทดลองพบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณไลโคปีนในผลแตงโมสายพันธุ์ซอนงู่า พลัสได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในต้นมะเขือเทศพันธุ์ Yuanbao พบว่าผลมะเขือเทศที่แช่ในสาร brassinolide (BL) ความเข้มข้น 3 และ 5 ไมโครโมลาร์ เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าผลมะเขือเทศมีการสะสมปริมาณไลโคปีนมากขึ้นเนื่องจาก บราสซิโนสตีรอยด์สามารถเพิ่มการแสดงออกของยีน *phytoene synthase 1 (PYS1)* ซึ่งเป็นยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไลโคปีน และลดการแสดงออกของยีน *golden 2-like (GLK2)* ทำให้การพัฒนาของคลอโรพลาสต์ถูกรบกวน จึงส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในผลมะเขือเทศลดลงตามไปด้วย (T. Zhu et al., 2015) แต่อย่างไรก็ตามผลการทดลองในผลแตงโมพันธุ์กินรี พบว่าสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ลดการสะสมปริมาณไลโคปีน เนื่องจากสารบราสซิโนสตีรอยด์ชักนำพืชเกิดการสะสมอนุมูลภายในเซลล์มากขึ้น เช่น H_2O_2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ พบว่าต้นแตงโมที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 มากกว่าต้นแตงโมในชุดควบคุม และจากการศึกษาในต้นแตงกวาพันธุ์ Jihong no. 2 พบว่าต้นแตงกวาที่ได้รับการพ่นด้วยสาร BL ความเข้มข้น 0.1 ไมโครโมลาร์ มีการรั่วไหลของอิออน ไม่แตกต่างกับต้นแตงกวาที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง, ความเค็ม และอุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง (Wei et al., 2015) การรั่วไหลของอิออนเกิดจากปฏิกิริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการสะสมอนุมูลอิสระที่มากจนเกินไปภายในเซลล์ งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการสะสมปริมาณไลโคปีนในมะเขือเทศพันธุ์ IIHR-2200 ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง (36 ± 2 °C) ผลการทดลองพบว่าต้นมะเขือเทศที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูงมีการสะสมปริมาณไลโคปีนน้อยกว่าชุดควบคุม (Vijayakumar et al., 2021) ดังนั้นต้นแตงโมพันธุ์กินรีที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ อาจมีการสะสมปริมาณไลโคปีนลดลงเนื่องจากต้นแตงโมมีการสะสมอนุมูลอิสระที่มากจนเกินไป

จากผลการทดลองข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่า สาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีบทบาทส่งเสริมการเติบโตในส่วนของลำต้น กระตุ้นการสะสมรงควัตถุที่สำคัญใน

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้ อีกทั้งสามารถลดการสะสมสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไลโปเพอร์ออกซิเดชันได้ด้วย นอกจากนี้สาร DHECD ยังสามารถเพิ่มคุณภาพผลผลิตได้เช่นกัน โดยการเพิ่มน้ำหนักและเส้นรอบวงของผลแตงโม ดังนั้นการประยุกต์ใช้สาร DHECD จึงมีส่วนช่วยให้ผลแตงโมมีมูลค่าทางเศรษฐกิจที่สูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในการเพิ่มคุณภาพของผลผลิตของการปลูกแตงโม แต่อย่างไรก็ตามควรมีการนำไปใช้ ในการทดลองในพื้นที่ทางเกษตร เพื่อให้ได้ผลการทดลองในสภาพแวดล้อมของการเพาะปลูกในพื้นที่เกษตรกรรมต่อไป



บรรณานุกรม

- Adedipe, N. O., & Ormrod, D. P. (1975). Effects of Light Intensity on Growth, and Chlorophyll, Carbohydrate and Phosphorus Contents of the Cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*, 167(4), 301-309.
- Agbor, G. A., Vinson, J. A., & Donnelly, P. E. (2014). Folin-Ciocalteau Reagent for Polyphenolic Assay. *International Journal of Food Science, Nutrition and Dietetics*, 3(8), 147-156.
- Ahammed, G. J., Choudhary, S. P., Chen, S., Xia, X., Shi, K., Zhou, Y., & Yu, J. (2013). Role of brassinosteroids in alleviation of phenanthrene-cadmium co-contamination-induced photosynthetic inhibition and oxidative stress in tomato. *Journal of experimental botany*, 64(1), 199-213.
- Alché, J. D. (2019). A concise appraisal of lipid oxidation and lipoxidation in higher plants. *Redox Biol*, 23, 101136.
- Ali, B. (2017). Practical applications of brassinosteroids in horticulture—Some field perspectives. *Scientia Horticulturae*, 225, 15-21.
- Anwar, A., Liu, Y., Dong, R., Bai, L., Yu, X., & Li, Y. (2018). The physiological and molecular mechanism of brassinosteroid in response to stress: a review. *Biological Research*, 51(46), 15.
- Anon, D. I. (1949). COPPER ENZYMES IN ISOLATED CHLOROPLASTS. POLYPHENOLOXIDASE IN BETA VULGARIS. *Plant physiology*, 24(1), 1-15.
- Arteca, R. N. (1996). *Plant growth substances : Principles and applications*. New York: Chapman & Hall.
- Ayala, A., Muñoz, M. F., & Argüelles, S. (2014). Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2014, 360438-360438.
- Babalik, Z. (2021). Increasing of Phenolic Compounds by Brassinosteroid Applications in Immobilized Cell Suspension Cultures of *Vitis vinifera* L. cv. Cinsault. *Journal of*

- Agricultural Sciences*, 27(3), 298 - 303.
- Barrera, G., Pizzimenti, S., Daga, M., Dianzani, C., Arcaro, A., Cetrangolo, G. P., Giordano, G., Cucci, M. A., Graf, M., & Gentile, F. (2018). Lipid Peroxidation-Derived Aldehydes, 4-Hydroxynonenal and Malondialdehyde in Aging-Related Disorders. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 7(8), 102.
- Brieger, K., Schiavone, S., Miller, F. J., Jr., & Krause, K. H. (2012). Reactive oxygen species: from health to disease. *Swiss Med Wkly*, 142, w13659.
- Cámara, M., de Cortes Sánchez-Mata, M., Fernández-Ruiz, V., Cámara, R. M., Manzoor, S., & Caceres, J. O. (2013). Chapter 11 - Lycopene: A Review of Chemical and Biological Activity Related to Beneficial Health Effects R. Atta ur *Studies in Natural Products Chemistry* (Vol. 40, pp. 383-426): Elsevier.
- Campbell, W. H. (1999). Nitrate Reductase Structure, Function and Regulation: Bridging the Gap between Biochemistry and Physiology. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50, 277-303.
- Cevahir, G., Yentür, S., Eryilmaz, F., & Yılmaz, N. (2008). Influence of Brassinosteroids on Pigment Content of *Glycine max* L. (Soybean) Grown in Dark and Light. *Journal of Applied Biological Sciences*, 2(1), 23-28.
- Chan, E. W. C., Lim, Y. Y., Chong, K. L., Tan, J. B. L., & Wong, S. K. (2010). Antioxidant properties of tropical and temperate herbal teas. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(2), 185-189.
- Cheng, Q. (2008). Perspectives in biological nitrogen fixation research. *J Integr Plant Biol*, 50(7), 786-798.
- Chmur, M., & Bajguz, A. (2021). Brassinolide Enhances the Level of Brassinosteroids, Protein, Pigments, and Monosaccharides in *Wolffia arrhiza* Treated with Brassinazole *Plants* 2021, 10(7), 1311.
- Choudhary, S. P., Oral, H. V., Bhardwaj, R., Yu, J.-Q., & Tran, L.-S. P. (2012). Interaction of brassinosteroids and polyamines enhances copper stress tolerance in *Raphanus sativus*. *Journal of experimental botany*, 63(15), 5659-5675.
- Clouse, S. D. (2011). Brassinosteroids. *The arabidopsis book*, 9, e0151-e0151.

- Cornelli, U. (2009). Antioxidant use in nutraceuticals. *Clin Dermatol*, 27(2), 175-194.
- Davies, P. J. (2004). *Plant hormones : Biosynthesis, signal transduction, action!* Dordrecht ; Boston: Kluwer Academic.
- Dey, P. M., Harborne, J. B., & Bonner, J. F. (1997). *Plant biochemistry*. San Diego: Academic Press.
- Ding, J., Shi, K., & Zhou, Y.-H. (2009). Effects of Root and Foliar Applications of 24-Epibrassinolide on Fusarium Wilt and Antioxidant Metabolism in Cucumber Roots. *HORTSCIENCE*, 44(5), 1340–1345.
- Fish, W. W., Perkins-Veazie, P., & Collins, J. K. (2002). A Quantitative Assay for Lycopene That Utilizes Reduced Volumes of Organic Solvents. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(3), 309-317.
- Ghorbani, P., Eshghi, S., & Haghi, H. (2017). Effects of brassinosteroid (24-epibrassinolide) on yield and quality of grape (*Vitis vinifera* L.) Thompson Seedless. *Vitis*, 56, 113-117.
- Gou, X., Yin, H., He, K., Du, J., Yi, J., Xu, S., Lin, H., Clouse, S. D., & Li, J. (2012). Genetic evidence for an indispensable role of somatic embryogenesis receptor kinases in brassinosteroid signaling. *PLoS Genet*, 8(1), e1002452.
- Grassi, S., Piro, G., Lee, J. M., Zheng, Y., Fei, Z., Dalessandro, G., Giovannoni, J. J., & Lenucci, M. S. (2013). Comparative genomics reveals candidate carotenoid pathway regulators of ripening watermelon fruit. *BMC Genomics*, 14, 781.
- Grove, M. D., Spencer, F. G., Rohwedder, W. K., Mandava, N. B., & Worley, J. F. (1979). A unique plant growth promoting steroid from *Brassica napus* pollen. *Nature*, 281, 2.
- Havsteen, B. H. (2002). The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacol Ther*, 96(2-3), 67-202.
- Hayat, S., Ahmad, A., Mobin, M., & Hussain, A. (2000). Photosynthetic Rate, Growth, and Yield of Mustard Plants Sprayed with 28-Homobrassinolide. *Photosynthetica*, 38(3), 469-471.
- Imkampe, J., Halter, T., Huang, S., Schulze, S., Mazzotta, S., Schmidt, N., Manstretta, R.,

- Postel, S., Wierzba, M., Yang, Y., van Dongen, W., Stahl, M., Zipfel, C., Goshe, M. B., Clouse, S., de Vries, S. C., Tax, F., Wang, X., & Kemmerling, B. (2017). The Arabidopsis Leucine-Rich Repeat Receptor Kinase BIR3 Negatively Regulates BAK1 Receptor Complex Formation and Stabilizes BAK1. *Plant Cell*, 29(9), 2285-2303.
- K, S. K. N., Sirhindi, G., & Kumar, S. (2016). Comparative Influence of Brassinosteroids Correspondents (24-Epibl and 28-Homobl) on the Morpho-physiological Constraints of *Brassica oleracea* (Cabbage, Cauliflower and Broccoli). *Biochemistry & Physiology*, 5(1).
- Katoch, R. (2011). Carbohydrate Estimations R. Katoch *Analytical Techniques in Biochemistry and Molecular Biology* (pp. 67-76). New York, NY: Springer New York.
- Khamsuk, O., Sonjaroon, W., Suwanwong, S., Jutamanee, K., & Suksamrarn, A. (2018). Effects of 24-epibrassinolide and the synthetic brassinosteroid mimic on chili pepper under drought. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(6), 106.
- Laguerre, M., Lecomte, J., & Villeneuve, P. (2014). The physico-chemical basis of phenolic antioxidant activity. *Lipid Technology*, 26.
- Li, S., Zheng, H., Lin, L., Wang, F., & Sui, N. (2020). Roles of brassinosteroids in plant growth and abiotic stress response. *Plant Growth Regulation*.
- Lin, K.-H., Huang, M.-Y., Huang, W.-D., Hsu, M.-H., Yang, Z.-W., & Yang, C.-M. (2013). The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Scientia Horticulturae*, 150, 86-91.
- Madhava Rao, K. V., & Sresty, T. V. (2000). Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. *Plant Sci*, 157(1), 113-128.
- Majer, E., Llorente, B., Rodríguez-Concepción, M., & Daròs, J. A. (2017). Rewiring carotenoid biosynthesis in plants using a viral vector. *Sci Rep*, 7, 41645.
- Marayart, S., Konmun, H., & Saeng-ngam, S. (2020). OPTIMAL TIMING for INFUSION

STRAWBERRY LEAVES in HERBAL TEA APPLICATION. *Proceedings of The 7th International Conference on Advanced Pharmaceutical Research.*

- Martin, M., Robert, M. G., & Joshua, O. O. (2016). The effect of different phosphorous levels on yield and quality of watermelon (*Citrullus lanatus* Thumb.) Matsumara & Nakai} grown in the Kenya Coastal region. *Annals of Biological Research*, 7(5), 12-17.
- Mitchell, J. W., & Gregory, L. E. (1972). Enhancement of overall plant growth, a new response to brassins. *Nat New Biol*, 239(95), 253-254.
- Mitchell, J. W., Mandava, N., Worley, J. F., Plimmer, J. R., & Smith, M. V. (1970). Brassins-- a new family of plant hormones from rape pollen. *Nature*, 225(5237), 1065-1066.
- Mostafa, L. Y., & Kotb, H. R. M. (2018). Effect of Brassinosteroids and Gibberellic acid on parthenocarpic fruit formation and fruit quality of Sugar Apple *Annona squamosa* L. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 7(4), 1341-1351.
- Murchie, E. H., & Lawson, T. (2013). Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *Journal of experimental botany*, 64(13), 3983-3998.
- Nakajima, N., & Toyama, S. (1999). Effects of Epibrassinolide on Sugar Transport and Allocation to the Epicotyl in Cucumber Seedlings. *Plant Production Science*, 2(3), 165-171.
- Nes, W. D. (2011). Biosynthesis of cholesterol and other sterols. *Chem Rev*, 111(10), 6423-6451.
- Niu, L., & WeibiaoLiao. (2016). Hydrogen Peroxide Signaling in Plant Development and Abiotic Responses:Crosstalk with Nitric Oxide and Calcium. *Frontiers in Plant Science*, 7.
- Noguchi, T., Fujioka, S., Choe, S., Takatsuto, S., Tax, F. E., Yoshida, S., & Feldmann, K. A. (2000). Biosynthetic pathways of brassinolide in Arabidopsis. *Plant Physiol*, 124(1), 201-209.
- Núñez, M., Mazzafera, P., Mazorra, L. M., Siqueira, W. J., & Zullo, M. A. T. (2003).

- Influence of a Brassinosteroid Analogue on Antioxidant Enzymes in Rice Grown in Culture Medium with NaCl. *Biologia Plantarum*, 47(1), 67-70.
- Pekal, A., & Pyrzynska, K. (2014). Evaluation of Aluminium Complexation Reaction for Flavonoid Content Assay. *Food Analytical Methods*, 7(9), 1776-1782.
- Pérez, M., Teixeira da Silva, J., & Lao, M. (2006). *Floriculture, ornamental and plant biotechnology*. Middlesex: Global Science Books, Ltd.
- Pham, P. P., Morales, N., Pitaksuteepong, T., & Hemstapat, R. (2017). Antioxidant activity of mulberry stem extract: A potential used as supplement for oxidative stress-related diseases. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 39(3), 407-414.
- Qu, T., Liu, R., Wang, W., An, L., Chen, T., Liu, G., & Zhao, Z. (2011). Brassinosteroids regulate pectin methylesterase activity and AtPME41 expression in Arabidopsis under chilling stress. *Cryobiology*, 63(2), 111-117.
- Raghu, K., & Seeta, R. R. S. (2016). Effect of brassinosteroids on antioxidants content and radical scavenging activity of *Tinospora cordifolia* (Willd.) Miers ex Hook. F & Thoms. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 4(5), 117-121.
- Ramakrishna, B., & Rao, S. S. R. (2015). Foliar application of brassinosteroids alleviates adverse effects of zinc toxicity in radish (*Raphanus sativus* L.) plants. *Protoplasma*, 252(2), 665-677.
- Ravindra, B., & Nataraja, K. (2007). Brassinosteroids Influences in vitro Regeneration Using Shoot Tip Sections of *Cymbidium elegans* Lindl. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6.
- Reetu, & Tomar, M. (2017). Watermelon: A Valuable Horticultural Crop with Nutritional Benefits. *Popular Kheti*, 5(2), 5-9.
- Rezaei, H., Saeidi-Sar, S., Ebadi, M., & Abbaspour, H. (2018). The effect of spraying of methyl jasmonate and Epi-brassinolide on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and leaf stomatal traits in black mustard (*Brassica nigra* L.) under salinity. *Journal of Plant Process and Function*, 7.
- Ridwan, R., Abdul Razak, H. R., Adenan, M. I., & Md Saad, W. M. (2018). Development of

- Isocratic RP-HPLC Method for Separation and Quantification of L-Citrulline and L-Arginine in Watermelons. *Int J Anal Chem*, 2018, 4798530.
- Robbins, N. S., & Pharr, D. M. (1987). Regulation of photosynthetic carbon metabolism in cucumber by light intensity and photosynthetic period. *Plant Physiol*, 85(2), 592-597.
- Sasse, J. M. (2003). Physiological Actions of Brassinosteroids: An Update. *Journal of Plant Growth Regulation*, 22, 276-288.
- Serna, M., Hernandez, F., & Amoros, A. (2012). Brassinosteroid analogues effects on the yield and quality parameters of greenhouse-grown pepper (*Capsicum annuum* L.). *Plant Growth Regulation*, 68(3).
- Shimada, A., Kubo, T., Tominaga, S., & Yamamoto, M. (2017). Effect of Temperature on Photosynthesis Characteristics in the Passion Fruits 'Summer Queen' and 'Ruby Star'. *The Horticulture Journal*, 86.
- Siddiqui, H., Hayat, S., & Bajguz, A. (2018). Regulation of photosynthesis by brassinosteroids in plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(3).
- Sinojiya, A., Hitesh, K., Jethaloja, B., & Jat, G. (2015). Effect of Plant Growth Regulators on Growth, Flowering, Yield and Quality of Watermelon (*Citrullus lantus* Thunb) cv. Shine Beauty. *Environment and Ecology*, 33, 1774-1778.
- Sogvar, O. B., Rabiei, V., Razavi, F., & Gohari, G. (2020). Phenylalanine Alleviates Postharvest Chilling Injury of Plum Fruit by Modulating Antioxidant System and Enhancing the Accumulation of Phenolic Compounds. *Food technology and biotechnology*, 58(4), 433-444.
- Sonjaroon, W., Jutamane, K., Khamsuk, O., Thussagunpanit, J., Kaveeta, L., & Suksamrarn, A. (2018). Impact of brassinosteroid mimic on photosynthesis, carbohydrate content and rice seed set at reproductive stage under heat stress. *Agriculture and Natural Resources*, 52(3), 234-240.
- Stewart, G. R., Gracia, C. A., Hegarty, E. E., & Specht, R. L. (1990). Nitrate reductase activity and chlorophyll content in sun leaves of subtropical Australian closed-forest (rainforest) and open-forest communities. *Oecologia*, 82(4), 544-551.

- Suksamrarn, A., Tanachatchairatana, T., & Sirigarn, C. (2002). Stereoselective catalytic hydrogenation of D7-6-ketosteroids in the presence of sodium nitrite. *Tetrahedron*, 58, 6033-6038.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* (5). Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Teixeira, J., Gaspar, A., Garrido, E. M., Garrido, J., & Borges, F. (2013). Hydroxycinnamic Acid Antioxidants: An Electrochemical Overview. *BioMed Research International*, 2013, 251754.
- Thussagunpanit, J., Jutamane, K., Sonjaroon, W., Kaveeta, L., Chai-Arree, W., Pankean, P., & Suksamrarn, A. (2015). Effects of brassinosteroid and brassinosteroid mimic on photosynthetic efficiency and rice yield under heat stress. *Photosynthetica*, 53(2), 312-320.
- Tian, H., Lv, B., Ding, T., Bai, M., & Ding, Z. (2017). Auxin-BR Interaction Regulates Plant Growth and Development. *Front Plant Sci*, 8, 2256.
- Tungmunnithum, D., Thongboonyou, A., Pholboon, A., & Yangsabai, A. (2018). Flavonoids and Other Phenolic Compounds from Medicinal Plants for Pharmaceutical and Medical Aspects: An Overview. *Medicines (Basel, Switzerland)*, 5(3), 93.
- van Kooten, O., & Snel, J. F. H. (1990). The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynthesis Research*, 25(3), 147-150.
- Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: Protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, 151(1), 59-66.
- Verma, A., Malik, C. P., & Gupta, V. K. (2012). *In Vitro* Effects of Brassinosteroids on the Growth and Antioxidant Enzyme Activities in Groundnut. *ISRN Agronomy*, 2012, 356485.
- Vijayakumar, A., Shaji, S., Beena, R., Sarada, S., Sajitha Rani, T., Stephen, R., Manju, R. V., & Viji, M. M. (2021). High temperature induced changes in quality and yield parameters of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and similarity coefficients among genotypes using SSR markers. *Heliyon*, 7(2), e05988.
- Wang, Z. Y., & He, J. X. (2004). Brassinosteroid signal transduction--choices of signals

- and receptors. *Trends Plant Sci*, 9(2), 91-96.
- Wei, L., Deng, X.-G., Zhu, T., Zheng, T., Li, P.-X., Wu, J.-Q., Zhang, D.-W., & Lin, H.-H. (2015). Ethylene is involved in brassinosteroids induced alternative respiratory pathway in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings response to abiotic stress. *Frontiers in Plant Science*, 6(982).
- Xia, X.-J., Wang, Y.-J., Zhou, Y.-H., Tao, Y., Mao, W.-H., Shi, K., Asami, T., Chen, Z., & Yu, J.-Q. (2009). Reactive oxygen species are involved in brassinosteroid-induced stress tolerance in cucumber. *Plant physiology*, 150(2), 801-814.
- Yadava, P., Kaushal, J., Gautam, A., Parmar, H., & Singh, I. (2016). Physiological and Biochemical Effects of 24-Epibrassinolide on Heat-Stress Adaptation in Maize (*Zea mays* L.). *Natural Science*, 8, 171-179.
- Yang, A. J., Anjum, S. A., Wang, L., Song, J. X., Zong, X. F., Lv, J., Zohaib, A., Ali, I., Yan, R., Zhang, Y., Dong, Y. F., & Wang, S. G. (2018). Effect of foliar application of brassinolide on photosynthesis and chlorophyll fluorescence traits of *Leymus chinensis* under varying levels of shade. *Photosynthetica*, 56(3), 873-883.
- Yang, P., Nawaz, M. A., Li, F., Bai, L., & Li, J. (2019). Brassinosteroids Regulate Antioxidant System and Protect Chloroplast Ultrastructure of Autotoxicity-Stressed Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Seedlings. *Agronomy* 2019, 9(5).
- Zahedipour-Sheshglani, P., & Asghari, M. (2020). Impact of foliar spray with 24-epibrassinolide on yield, quality, ripening physiology and productivity of the strawberry. *Scientia Horticulturae*, 268, 109376.
- Zhang, G., Johkan, M., Hohjo, M., Tsukagoshi, S., & Maruo, T. (2017). Plant Growth and Photosynthesis Response to Low Potassium Conditions in Three Lettuce (*Lactuca sativa*) Types. *The Horticulture Journal*, 86(2), 229-237.
- Zhang, Y. P., Yang, S. J., & Chen, Y. Y. (2014). Exogenous 24-epibrassinolide ameliorates high temperature-induced inhibition of growth and photosynthesis in *Cucumis melo*. *Biologia Plantarum*, 58(2).
- Zhishen, J., Mengcheng, T., & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food*

Chemistry, 64(4), 555-559.

Zhu, T., Tan, W.-R., Deng, X.-G., Zheng, T., Zhang, D.-W., & Lin, H.-H. (2015). Effects of brassinosteroids on quality attributes and ethylene synthesis in postharvest tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 100, 196-204.

Zhu, X., Chen, Y., Li, J., Ding, X., Xiao, S., Fan, S., Song, Z., Chen, W., & Li, X. (2021). Exogenous 2,4-Epibrassinolide Treatment Maintains the Quality of Carambola Fruit Associated With Enhanced Antioxidant Capacity and Alternative Respiratory Metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 12(908).

Zhu, Z., Zhang, Z., Qin, G., & Tian, S. (2010). Effects of brassinosteroids on postharvest disease and senescence of jujube fruit in storage. *Postharvest Biology and Technology*, 56(1), 50-55.

กนกพร อะทะวงษา. (2558). แต่งโมผลไม้คลายร้อน. สืบค้นจาก <https://pharmacy.mahidol.ac.th>
กิตติพัฒน์ โสภิตธรรมคุณ, & ปานทิพย์ รัตนศิลป์ภัลชาญ. (2560). การสกัดและวิธีวัดความสามารถ
การต้านอนุมูลอิสระในพืชสมุนไพร. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวเฉียวเฉลิมพระ
เกียรติ, 87, 89-94.

ชนิษฐา สมตระกูล, จำปี ไชย เมืองคุณ, ดวงอนงค์ ผลาผล, & วราภรณ์ ฉุยฉาย. (2013). ผลความ
เป็นพิษร่วมต่อพืชของพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่อ ข้าวโพดหวาน (*Zea mays*
L. var sacharata Bailey) ถั่วพุ่ม (*Vigna sinensis*) และฟักทอง (*Cucurbita moschata*)
Combine-Phytotoxic วารสารวิทยาศาสตร์ มข., 41, 431-442.

คณพล จุฑามณี. (2561). การตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อฮอร์โมนพืช. ปทุมธานี: ภาควิชา
พฤกษศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา, & เกตุอร ราชบุตร. (ม.ป.ป.). การปลูกแต่งโม จุลสาร. กรุงเทพฯ: กรม
ส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์.

เฉลิมชัย วงศ์วัฒน์. (ม.ป.ป.). ฮอร์โมนพืช.

ธยานี แน่นอน, วิจิตรรัตน์ เพ็งสม, & นิตยา ผกามาศ. (2560). อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนต่อ
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์และผลผลิตของหญ้ากีนีมอมบาชา. เกษตร,
45(1), 1009-1015.

นงลักษณ์ พยัคฆ์ศิรินาวิณ, อุบล ชินวัง, & สุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร. (2557). การประยุกต์ใช้เทคนิค
คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์กับพืชสวน. การเกษตรราชภัฏ, 13(2), 37-46.

- นวรรตน์ อุดมประเสริฐ. (2558). สรีรวิทยาของพืชภายใต้สภาวะเครียด. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุหรัน พันธุ์สุวรรณ. (2556). อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 21(3), 275-286.
- ลิลลี่ กาวีตะ. (2556). สรีรวิทยาพืช (3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศราวุฒ จันทะพรหม. (2558). ปลูกเมล่อนในโรงเรือน. กรุงเทพฯ: เอ็มไอเอส.
- ศรุตพงศ์ มารยาท, & สุขุมารมณ์ แสงงาม. (2564). การเพิ่มปริมาณสารพฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในแตงโมด้วยสาร 7, 8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone. การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 11, 47-54.
- สุขุมารมณ์ แสงงาม, ธนบูรณ์ พลากุลมณฑล, คณิน คงเอียง, & อภิชาติ สุขสารานู. (2561ก). การเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของมะเขือเทศเชอร์รี่พันธุ์ CH154 ภายใต้สภาวะเครียดจากความแล้งด้วยสารบราสซิโนสเตรอยด์มีมิก. เกษตร, 46(1).
- สุขุมารมณ์ แสงงาม, ศรุตพงศ์ มารยาท, กานติมา ตาคำ, & อภิชาติ สุขสารานู. (2561ข). ผลของสาร 7, 8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และการสะสมไนเตรทของผักกาดหอมกรีนไคคที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิคส์. เกษตร, 46(1), 396-374.
- สุพัทธา ทองทา, เพชรรัตน์ ไสว, & กล่าวขวัญ ศรีสุข. (2560). การศึกษาเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์เพิ่มการผลิตไนตริกออกไซด์ของแตงโมบางสายพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 22, 14-22.
- อินทิรา ลิจันทร์พร, นันทชนก นันทะไชย, ปาลิตา ตั้งอนุรักษ์, & อัญชลินทร์ สิงห์ดำ. (2556). ผลของแคลเซียมแอสคอร์เบตต่ออาการน้ำของแตงโมตัดแต่งพร้อมบริโภครวมบริโภครวม (รายงานผลการวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ตาราง 1 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นแดงโมพันธุ์ซอนญา พืช ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ (\pm ค่า SE), ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

DHECD (μM)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
0	265.72 ± 32.08^b	41.49 ± 4.00^b
0.1	300.88 ± 33.76^b	41.45 ± 4.51^b
1	393.36 ± 14.86^a	58.00 ± 2.50^a

ตาราง 2 ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นแดงโมพันธุ์ซอนญา พืช ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ (\pm ค่า SE), ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Photosynthetic efficiency	DHECD (μM)	Time after sprayed with DHECD treatment (days)						
		0	7	14	21	28	35	42
Fv/Fm	0	0.80 ± 0.01^a	0.82 ± 0.00^a	0.83 ± 0.00^a	0.81 ± 0.01^a	0.81 ± 0.01^a	0.83 ± 0.01^a	0.81 ± 0.00^a
	0.1	0.81 ± 0.00^a	0.82 ± 0.00^a	0.83 ± 0.00^a	0.82 ± 0.00^a	0.81 ± 0.01^a	0.83 ± 0.00^a	0.82 ± 0.00^b
	1	0.81 ± 0.00^a	0.82 ± 0.00^a	0.83 ± 0.00^a	0.81 ± 0.00^a	0.82 ± 0.00^a	0.82 ± 0.00^a	0.82 ± 0.00^b

ตาราง 3 ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พืชที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ (\pm ค่า SE) , ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Pigment content	DHECD (μ M)	Time after sprayed with DHECD treatment (days)						
		0	7	14	21	28	35	42
Chlorophyll a content (mg/g.FW)	0	1.35 \pm 0.11 ^a	2.05 \pm 0.06 ^a	1.50 \pm 0.07 ^b	1.86 \pm 0.04 ^b	1.74 \pm 0.04 ^a	1.49 \pm 0.04 ^b	1.69 \pm 0.03 ^b
	0.1	1.56 \pm 0.08 ^a	2.01 \pm 0.08 ^a	1.65 \pm 0.05 ^b	1.87 \pm 0.09 ^b	1.84 \pm 0.02 ^a	1.61 \pm 0.08 ^{ab}	1.77 \pm 0.03 ^b
	1	1.41 \pm 0.14 ^a	2.22 \pm 0.15 ^a	1.93 \pm 0.08 ^a	2.38 \pm 0.07 ^a	1.80 \pm 0.05 ^a	1.69 \pm 0.04 ^a	2.06 \pm 0.06 ^a
Chlorophyll b content (mg/g.FW)	0	0.43 \pm 0.03 ^a	0.51 \pm 0.02 ^a	0.45 \pm 0.02 ^b	0.41 \pm 0.01 ^b	0.42 \pm 0.01 ^c	0.38 \pm 0.01 ^b	0.49 \pm 0.01 ^b
	0.1	0.47 \pm 0.03 ^a	0.49 \pm 0.01 ^a	0.43 \pm 0.01 ^b	0.42 \pm 0.02 ^b	0.46 \pm 0.01 ^b	0.41 \pm 0.02 ^{ab}	0.51 \pm 0.01 ^b
	1	0.41 \pm 0.04 ^a	0.48 \pm 0.03 ^a	0.60 \pm 0.01 ^a	0.51 \pm 0.02 ^a	0.50 \pm 0.01 ^a	0.44 \pm 0.01 ^a	0.56 \pm 0.02 ^a
Total chlorophyll content (mg/g.FW)	0	1.77 \pm 0.12 ^a	2.54 \pm 0.07 ^a	1.94 \pm 0.08 ^b	2.31 \pm 0.06 ^b	2.17 \pm 0.06 ^a	1.87 \pm 0.05 ^b	2.18 \pm 0.04 ^b
	0.1	2.04 \pm 0.20 ^a	2.50 \pm 0.08 ^a	2.08 \pm 0.06 ^b	2.29 \pm 0.11 ^b	2.30 \pm 0.03 ^a	2.01 \pm 0.10 ^{ab}	2.28 \pm 0.04 ^b
	1	1.76 \pm 0.12 ^a	2.76 \pm 0.20 ^a	2.47 \pm 0.14 ^a	2.89 \pm 0.09 ^a	2.30 \pm 0.06 ^a	2.11 \pm 0.06 ^a	2.62 \pm 0.08 ^a
Carotenoids content (mg/g.FW)	0	0.37 \pm 0.03 ^a	0.60 \pm 0.02 ^a	0.47 \pm 0.02 ^b	0.44 \pm 0.01 ^c	0.49 \pm 0.01 ^b	0.44 \pm 0.01 ^c	0.52 \pm 0.01 ^b
	0.1	0.41 \pm 0.02 ^a	0.56 \pm 0.02 ^a	0.47 \pm 0.01 ^b	0.52 \pm 0.02 ^b	0.52 \pm 0.01 ^a	0.48 \pm 0.02 ^b	0.53 \pm 0.01 ^b
	1	0.41 \pm 0.05 ^a	0.57 \pm 0.03 ^a	0.54 \pm 0.01 ^a	0.66 \pm 0.02 ^a	0.54 \pm 0.01 ^a	0.52 \pm 0.01 ^a	0.61 \pm 0.02 ^a

ตาราง 4 ปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายในน้ำของต้นแมงป่องที่ฉีดพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้นต่าง ๆ (\pm ค่า SE), ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Total soluble sugar (mg/g.FW)	DHECD (μ M)	Time after sprayed with DHECD treatment (days)						
		0	7	14	21	28	35	42
0	0	16.72 \pm 0.43 ^a	29.55 \pm 2.10 ^a	23.88 \pm 0.89 ^b	22.87 \pm 0.88 ^a	21.25 \pm 0.83 ^b	26.51 \pm 1.53 ^b	25.11 \pm 0.72 ^b
0.1	0.1	17.98 \pm 0.65 ^a	27.88 \pm 0.50 ^a	26.29 \pm 1.11 ^a	23.25 \pm 2.30 ^a	25.88 \pm 0.47 ^a	24.92 \pm 1.07 ^b	26.94 \pm 0.48 ^a
1	1	16.80 \pm 1.55 ^a	26.67 \pm 1.38 ^a	22.55 \pm 0.98 ^b	21.29 \pm 1.04 ^a	25.55 \pm 0.51 ^a	29.87 \pm 1.16 ^a	27.47 \pm 0.46 ^a

ตาราง 5 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นแดงโมมพันธุ์ซอนญา พัลส์ และ กินรี ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM (\pm ค่า SE), เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Cultivar	DHECD (μM)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
Sonya Plus	0	178.00 \pm 3.54	26.50 \pm 1.89
	1	212.75 \pm 6.76*	34.50 \pm 2.02*
Kinaree	0	90.00 \pm 9.13	12.85 \pm 1.16
	1	112.50 \pm 4.79*	15.82 \pm 1.18*

ตาราง 6 ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นแดงโมมพันธุ์ซอนญา พัลส์ และ กินรี ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM (\pm ค่า SE), เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Cultivar	DHECD (μM)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)
Sonya Plus	0	178.00 \pm 3.54	26.50 \pm 1.89
	1	212.75 \pm 6.76*	34.50 \pm 2.02*
Kinaree	0	90.00 \pm 9.13	12.85 \pm 1.16
	1	112.50 \pm 4.79*	15.82 \pm 1.18*

ตาราง 7 ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น ฟลัส และ กิโนรี ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM (\pm ค่า SE), เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Pigment content	Cultivar	DHECD (μM)	Time after sprayed with DHECD treatment (days)							
			0	7	14	21	28	35	42	
Chlorophyll a content (mg/g.FW)	Sonya Plus	0	1.60 \pm 0.09	1.48 \pm 0.09	1.62 \pm 0.01	2.03 \pm 0.10	1.62 \pm 0.12	1.43 \pm 0.09	1.85 \pm 0.07	
		1	1.44 \pm 0.06	1.89 \pm 0.23*	1.60 \pm 0.12	1.93 \pm 0.11	1.82 \pm 0.09	1.78 \pm 0.07*	2.13 \pm 0.05*	
	Kinaree	0	1.91 \pm 0.07	1.82 \pm 0.04	1.87 \pm 0.11	1.68 \pm 0.04	1.12 \pm 0.03	1.19 \pm 0.04	0.89 \pm 0.06	
		1	2.03 \pm 0.13	1.85 \pm 0.08	1.77 \pm 0.06	1.81 \pm 0.04*	1.44 \pm 0.03*	1.51 \pm 0.06*	1.27 \pm 0.02*	
	Chlorophyll b content (mg/g.FW)	Sonya Plus	0	0.46 \pm 0.03	0.39 \pm 0.03	0.40 \pm 0.01	0.54 \pm 0.03	0.77 \pm 0.09	0.30 \pm 0.02	0.47 \pm 0.02
			1	0.40 \pm 0.03	0.50 \pm 0.06	0.44 \pm 0.03	0.49 \pm 0.02	0.63 \pm 0.06	0.39 \pm 0.02*	0.53 \pm 0.03*
Kinaree		0	0.47 \pm 0.03	0.44 \pm 0.01	0.48 \pm 0.03	0.37 \pm 0.02	0.30 \pm 0.01	0.35 \pm 0.01	0.25 \pm 0.02	
		1	0.50 \pm 0.04	0.50 \pm 0.04*	0.48 \pm 0.02	0.36 \pm 0.02	0.36 \pm 0.01*	0.44 \pm 0.02*	0.33 \pm 0.01*	
Total chlorophyll content (mg/g.FW)		Sonya Plus	0	2.06 \pm 0.12	1.87 \pm 0.12	2.01 \pm 0.02	2.57 \pm 0.12	2.40 \pm 0.21	1.72 \pm 0.11	2.32 \pm 0.09
			1	1.84 \pm 0.10	2.39 \pm 0.28*	2.05 \pm 0.15	2.42 \pm 0.14	2.45 \pm 0.13	2.17 \pm 0.09*	2.66 \pm 0.07*
	Kinaree	0	2.39 \pm 0.10	2.26 \pm 0.05	2.35 \pm 0.14	2.05 \pm 0.06	1.42 \pm 0.04	1.54 \pm 0.05	1.14 \pm 0.07	
		1	2.53 \pm 0.17	2.35 \pm 0.08	2.25 \pm 0.07	2.07 \pm 0.07	1.80 \pm 0.03*	1.95 \pm 0.07*	1.60 \pm 0.03*	
	Carotenoids content (mg/g.FW)	Sonya Plus	0	0.43 \pm 0.02	0.34 \pm 0.03	0.41 \pm 0.01	0.53 \pm 0.02	0.40 \pm 0.02	0.38 \pm 0.02	0.48 \pm 0.01
			1	0.40 \pm 0.01	0.38 \pm 0.03	0.39 \pm 0.02	0.50 \pm 0.02	0.44 \pm 0.02	0.45 \pm 0.02*	0.53 \pm 0.01*
Kinaree		0	0.56 \pm 0.01	0.49 \pm 0.01	0.55 \pm 0.03	0.52 \pm 0.01	0.36 \pm 0.01	0.41 \pm 0.01	0.33 \pm 0.02	
		1	0.59 \pm 0.04	0.49 \pm 0.02	0.52 \pm 0.02	0.49 \pm 0.02	0.44 \pm 0.00*	0.51 \pm 0.01*	0.39 \pm 0.01*	

ตาราง 8 ปริมาณน้ำตาลรวมที่ละลายในน้ำของต้นแดงไมพินธุ์ขอนแก่น พลับ และ กิหรี่ ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM (\pm ค่า SE), เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Total soluble sugar content (mg/g.FW)	Cultivar	DHECD (μM)	Time after sprayed with DHECD treatment (days)							
			0	7	14	21	28	35	42	
Sonya	Plus	0	37.41 \pm 1.62	42.15 \pm 2.73	30.27 \pm 1.82	34.84 \pm 0.81	34.51 \pm 1.49	18.44 \pm 0.78	26.52 \pm 1.06	
		1	37.48 \pm 1.78	38.69 \pm 2.29	29.12 \pm 0.52	35.27 \pm 1.88	35.19 \pm 1.96	20.70 \pm 0.74*	31.10 \pm 0.44*	
Kinaree	Plus	0	31.04 \pm 1.60	26.27 \pm 2.24	36.59 \pm 2.51	32.76 \pm 3.56	34.54 \pm 2.10	30.34 \pm 0.97	26.34 \pm 0.99	
		1	31.74 \pm 1.28	24.48 \pm 2.15	36.13 \pm 1.95	37.69 \pm 3.27	40.70 \pm 0.98*	32.68 \pm 0.72*	29.84 \pm 0.78*	

ตาราง 9 การเกิดปฏิกิริยาปิดเพอร์ออกซิเดชันของต้นแดงไม้พุ่มชอญป่า พัลส์ และ กิโนรี ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM (\pm ค่า SE), เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Lipid peroxidation	Cultivar	DHECD (μM)	Time after sprayed with DHECD treatment (days)							
			0	7	14	21	28	35	42	
MDA content (nmol/g.FW)	Sonya	0	47.45 \pm 1.49	37.73 \pm 0.80	37.06 \pm 0.43	54.23 \pm 2.80	39.55 \pm 1.23	44.59 \pm 0.64	53.95 \pm 1.97*	
	Plus	1	47.45 \pm 1.49	37.03 \pm 2.86	35.88 \pm 1.32	57.32 \pm 2.14	48.57 \pm 0.54*	51.09 \pm 0.79*	50.35 \pm 0.89	
H ₂ O ₂ content ($\mu\text{mol/g.FW}$)	Kinaree	0	24.94 \pm 0.97	21.15 \pm 0.66	37.77 \pm 2.72*	46.52 \pm 0.22*	52.15 \pm 1.70	67.76 \pm 1.06*	64.53 \pm 1.56*	
	Sonya	1	25.36 \pm 1.17	21.68 \pm 1.65	31.40 \pm 2.48	38.18 \pm 1.09	47.30 \pm 3.72	59.73 \pm 3.17	56.76 \pm 1.42	
H ₂ O ₂ content ($\mu\text{mol/g.FW}$)	Kinaree	0	1.44 \pm 0.10	3.17 \pm 0.21	2.86 \pm 0.08	1.72 \pm 0.09	1.96 \pm 0.10*	2.30 \pm 0.09*	2.44 \pm 0.13*	
	Sonya	1	1.37 \pm 0.07	2.96 \pm 0.11	2.64 \pm 0.15	1.86 \pm 0.09	1.58 \pm 0.04	1.87 \pm 0.08	1.85 \pm 0.15	
H ₂ O ₂ content ($\mu\text{mol/g.FW}$)	Kinaree	0	2.45 \pm 0.18	4.15 \pm 0.17*	3.55 \pm 0.17*	3.27 \pm 0.20	2.47 \pm 0.16	4.01 \pm 0.22	3.11 \pm 0.12	
	Sonya	1	2.45 \pm 0.18	3.29 \pm 0.14	2.47 \pm 0.11	3.87 \pm 0.24*	3.45 \pm 0.45*	5.03 \pm 0.21*	3.74 \pm 0.11*	

ตาราง 10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของต้นแตงโมพันธุ์ขอนแก่น พัลส์ และ กิรินี ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM (\pm ค่า SE), เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Phenolic compounds & Antioxidant activity	Cultivar	DHECD (μM)	Time after sprayed with DHECD treatment (days)						
			0	7	14	21	28	35	42
Total phenolics content (mgGAE/g.FW)	Sonya	0	3.63 \pm 0.24	3.47 \pm 0.18	3.61 \pm 0.13	4.28 \pm 0.26	5.09 \pm 0.15	8.06 \pm 0.21	13.74 \pm 0.37*
		1	3.71 \pm 0.09	3.38 \pm 0.11	4.03 \pm 0.19*	5.17 \pm 0.17*	4.96 \pm 0.26	10.55 \pm 0.26*	11.72 \pm 0.23
	Kinaree	0	32.71 \pm 1.56	14.57 \pm 1.01	17.88 \pm 1.50	19.64 \pm 0.81	23.28 \pm 0.86	15.22 \pm 0.28	16.14 \pm 0.53
		1	36.48 \pm 3.05	22.67 \pm 1.41*	18.59 \pm 2.29	25.89 \pm 0.40*	34.14 \pm 0.71*	18.42 \pm 0.60*	16.16 \pm 0.88
Total flavonoids content (mgCE/g.FW)	Sonya	0	0.87 \pm 0.09	0.48 \pm 0.01	0.63 \pm 0.04	0.37 \pm 0.04	0.82 \pm 0.04	1.37 \pm 0.13	3.89 \pm 0.25*
		1	0.86 \pm 0.06	0.49 \pm 0.02	0.59 \pm 0.07	0.49 \pm 0.03*	0.71 \pm 0.09	1.41 \pm 0.12	2.47 \pm 0.14
	Kinaree	0	11.16 \pm 0.60	3.48 \pm 0.37	6.72 \pm 0.21	3.61 \pm 0.26	6.08 \pm 0.13	1.26 \pm 0.11	0.86 \pm 0.03
		1	11.16 \pm 0.60	7.91 \pm 0.31*	9.24 \pm 0.76*	7.68 \pm 0.35*	10.11 \pm 0.68*	2.73 \pm 0.40*	1.66 \pm 0.26*
Antioxidant activity (mgTE/g.FW)	Sonya	0	0.73 \pm 0.09	0.68 \pm 0.06	0.74 \pm 0.03	0.18 \pm 0.03	0.34 \pm 0.04	1.33 \pm 0.06	2.76 \pm 0.22*
		1	0.64 \pm 0.06	0.47 \pm 0.05	0.76 \pm 0.03	0.26 \pm 0.02*	0.28 \pm 0.02	1.78 \pm 0.06	2.00 \pm 0.07
	Kinaree	0	6.63 \pm 0.45	2.47 \pm 0.22	9.03 \pm 0.07	4.52 \pm 0.41	7.14 \pm 0.13	2.52 \pm 0.07	3.52 \pm 0.06
		1	6.63 \pm 0.45	5.12 \pm 0.37*	12.87 \pm 0.92*	6.53 \pm 0.18*	10.67 \pm 0.37*	5.06 \pm 0.46*	4.62 \pm 0.49*

ตาราง 11 น้ำหนักสดผล เส้นรอบวงผล และค่าความหวานของผลแดงไม้พันธุ์ขอนแก่น่า พลัส และ กิแนรี ที่ได้รับการพันธุ์ด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM (\pm ค่า SE), เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Cultivar	DHECD (μM)	Fruit fresh weight (kg)	Fruit circumference (cm)	Total soluble solid ($^{\circ}\text{Brix}$)
Sonya Plus	0	0.58 ± 0.01	32.08 ± 0.31	11.24 ± 0.32
	1	$0.67 \pm 0.01^*$	$33.28 \pm 0.27^*$	10.58 ± 0.34
Kinaree	0	0.55 ± 0.01	31.20 ± 0.26	$11.98 \pm 0.19^*$
	1	$0.63 \pm 0.01^*$	$33.23 \pm 0.28^*$	11.58 ± 0.06

ตาราง 12 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณไลโคปีนของผลแตงโมพันธุ์ขอนแก่น
 พัส และ กิณี ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 μM (\pm ค่า SE), เครื่องหมายดอกจัน (*) แสดงความแตกต่างอย่างมี
 นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Cultivar	DHECD (μM)	Total phenolics content ($\mu\text{gGAE/g.FFW}$)	Total flavonoids content ($\mu\text{gCE/g.FFW}$)	Antioxidant activity ($\mu\text{gTE/g.FFW}$)	Lycopene content (mg/g.FFW)
Sonya Plus	0	219.86 \pm 59.70	7.44 \pm 1.42	55.32 \pm 14.52	1.19 \pm 0.18
	1	333.66 \pm 14.74*	10.89 \pm 1.02*	98.99 \pm 7.19*	2.19 \pm 0.22*
Kinaree	0	93.01 \pm 12.64*	13.84 \pm 1.76*	14.52 \pm 2.81*	0.66 \pm 0.05*
	1	74.69 \pm 4.56	7.34 \pm 2.29	7.19 \pm 1.77	0.50 \pm 0.09

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ศรุตพงศ์ มารยาท
วัน เดือน ปี เกิด	30 กันยายน 2538
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2562 ปริญญาตรี หลักสูตรการศึกษามัธยมศึกษา (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประเทศไทย
ที่อยู่ปัจจุบัน	ที่อยู่ 167 ซอยกรุงธนบุรี 4 ถนนกรุงธนบุรี แขวงบางลำภูล่าง เขตคลอง สาน กรุงเทพมหานคร 10600
ผลงานตีพิมพ์	Kongmon, N., Chokchaisiri, R., Marayart, S., Takam, K., Saeng- ngam, S. and Suksamram, A. (2017). Structural modification of ecdysteroid to brassinosteroid analogues for plant growth regulating activity. Pure and applied chemistry international conference 2017: 1182-1186. สุขุมภรณ์ แสงงาม, ศรุตพงศ์ มารยาท, กานติมา ตาคำ, & อภิชาติ สุข สำราญ. (2561). ผลของสาร 7, 8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และการสะสมไนเตรทของผักกาดหอมกรีนไค้ด ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์. เกษตร, 46(1), 396-374 Marayart, S., Konmun, H., & Saeng-ngam, S. (2020). OPTIMAL TIMING for INFUSION STRAWBERRY LEAVES in HERBAL TEA APPLICATION. Proceedings of The 7th International Conference on Advanced Pharmaceutical Research. ศรุตพงศ์ มารยาท, & สุขุมภรณ์ แสงงาม. (2564). การเพิ่มปริมาณ สารพฤษเคมีและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในแตงโมด้วยสาร 7, 8- dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone. การประชุมวิชาการ บัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 11, 47-54