



ผลของสารบราสสิโนสเตียรอยด์มีมิกต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโต
ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้สภาวะแล้ง

EFFECT OF BRASSINOSTEROID MIMIC ON PHOTOSYNTHESIS AND GROWTH
OF RICEBERRY UNDER DROUGHT STRESS

เกศิณี ฤทธิงาม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2564

ผลของสารบราสซิโนสเตียรอยด์ที่มีต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโต
ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้สภาวะแล้ง



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

EFFECT OF BRASSINOSTEROID MIMIC ON PHOTOSYNTHESIS AND GROWTH
OF RICEBERRY UNDER DROUGHT STRESS



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

Faculty of Science, Srinakharinwirot University

2021

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของสารบราสสิโนสเตรอยด์ที่มีต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโต

ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้สภาวะแล้ง

ของ

เกศินี ฤทธิงาม

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

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

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

ชื่อเรื่อง	ผลของสารบราสซิโนสเตรอยด์มีมิกต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้สภาวะแล้ง
ผู้วิจัย	เกศินี ฤทธิงาม
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2564
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชมาภรณ์ แสงงาม

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ศึกษาระดับความเข้มข้นของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) ที่เหมาะสมกับข้าวไรซ์เบอรี่ และศึกษาผลของสาร DHECD ที่มีต่อค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Fv/Fm) ค่า Performance index (Pi) ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (Relative water content, %RWC) ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การเจริญเติบโต ปริมาณน้ำตาล ปริมาณโพสลิ้น ปริมาณไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H₂O₂) ปริมาณมาลอนไดอัลไฮด์ (Malondialdehyde, MDA) การทำงานของเอนไซม์อะซีเตเลส (CAT) ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งในระยะสั้น รวมไปถึงผลผลิตของข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง การทดลองตอนที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของสาร DHECD ที่ต้นข้าวไรซ์เบอรี่สามารถทนได้ โดยใช้ระดับความแล้ง 0%, 5%, 10%, 15% และ 20% (W/V) polyethylene glycol 6000 (PEG) พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่สามารถทนระดับความแล้งที่ 10% (W/V) PEG 6000 ได้นาน 51 วัน การทดลองตอนที่ 2 ศึกษาความเข้มข้นของสาร DHECD ที่เหมาะสมแก่ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ โดยใช้ความเข้มข้นของ DHECD ที่ระดับ 1 และ 1.5 ไมโครโมลาร์ และมีระดับความแล้งที่ 10% (W/V) PEG 6000 พบว่า สาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และในการทดลองตอนที่ 3 ศึกษาผลของสาร DHECD 1 ไมโครโมลาร์ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและผลผลิตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ โดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะ Vegetative ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และระยะ Reproductive ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน และได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีค่า Fv/Fm, Pi และมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ แอนโทไซยานิน ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ ปริมาณโพสลิ้น ปริมาณ H₂O₂ MDA ความยาวลำต้น น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และ %RWC เพิ่มขึ้น ส่วนในระยะ Reproductive ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการเพิ่มขึ้นของค่า Fv/Fm, Pi คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ แอนโทไซยานิน ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ ปริมาณโพสลิ้น ความยาวลำต้น น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และ %RWC และพบว่าปริมาณ H₂O₂ และ MDA ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ยังสามารถทนความแล้งได้นานถึง 5 วัน เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และยังส่งผลต่อการฟื้นฟูสภาพของต้นข้าวไรซ์เบอรี่หลังจากที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และยังช่วยให้มีการเพิ่มน้ำหนักของเมล็ดและการสะสมปริมาณแอนโทไซยานินภายในเมล็ดเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : ข้าวไรซ์เบอรี่, บราสซิโนสเตรอยด์มีมิก, ความแล้ง, แอนโทไซยานิน

Title	EFFECT OF BRASSINOSTEROID MIMIC ON PHOTOSYNTHESIS AND GROWTH OF RICEBERRY UNDER DROUGHT STRESS
Author	KESINEE RITNGAM
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2021
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Sukhumaporn Saeng-ngam

The aims of this research are to investigate the concentration of 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) in riceberry rice plants and the effects of DHECD on chlorophyll fluorescence (Fv/Fm), performance index (Pi), relative water content (%RWC), photosynthetic pigment content, growth and development, total soluble sugar, proline, hydrogen peroxide (H₂O₂), malondialdehyde (MDA) content, catalase activity (CAT) and grain yield in riceberry rice plants under drought stress. The experiment was divided into three phases. Firstly, the level of drought tolerance was tested using polyethylene glycol 6000 (W/V) at 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% (W/V) (PEG). After 51 days, the results demonstrated that riceberry rice can tolerate 10% (W/V) PEG. Secondly, the concentration of DHECD in riceberry rice was examined using DHECD at the concentration 1 and 1.5 micromolar in a 10% (W/V) PEG solution. 1 micromolar of DHECD was shown to be the most optimal and effective concentration for riceberry rice. Lastly, the effect of 1 micromolar DHECD on physiological responses of two growth phases in riceberry rice plants, including vegetative and reproductive phases. In the vegetative phase, riceberry rice plants were grown under normal conditions and did not spray of DHECD. In the reproductive phase, riceberry rice plants were grown under short-term drought stress conditions (five days) and sprayed with DHECD. The results found that in vegetative phase, riceberry rice plants in normal conditions and sprayed with DHECD showed increases of Fv/Fm, Pi, chlorophyll, carotenoids, anthocyanin, total soluble sugar, proline, H₂O₂, MDA, shoot length, fresh weight, dry weight and %RWC when compared with the control group. In the reproductive phases, riceberry rice plants were grown under short-term drought stress and sprayed with DHECD found that Fv/Fm, Pi, chlorophyll, carotenoids, anthocyanin, total soluble sugar, proline, shoot length, fresh weight, dry weight and %RWC increased when compared with riceberry rice plants treated with drought stress and not sprayed with DHECD showed a decrease in H₂O₂ and MDA content. Furthermore, riceberry rice plants sprayed with DHECD encountered drought stress and able to withstand drought for five days when compared with the others without spraying of DHECD. Additionally, spraying DHECD affected recovery in drought stress in riceberry rice plants and promoted increased grain weight and anthocyanin content in rice grain.

Keyword : Riceberry rice, Brassinosteroid mimic, Anthocyanin, Drought stress

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ ผศ.ดร. สุชумаภรณ์ แสงงาม ที่ปรึกษาปริญญาโท ที่คอยให้คำแนะนำ คำสั่งสอน ดูแลข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการศึกษา รวมถึงช่วยแก้ไขปัญหาในงานวิจัย ประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ รวมถึงเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย ที่คอยให้ความรู้ คำแนะนำ การ تذากเตือน อำนวยความสะดวกในการทำวิจัย และให้การช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการศึกษา

ขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อนในห้องปฏิบัติการชีววิทยาของพี่ช รวมถึงเพื่อนๆในสาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพที่ให้การช่วยเหลือและกำลังใจเสมอมา

ขอบคุณ นายกฤตติณ เซ็นเสถียร นางสาวจิราภา ลิมสุวิงค์ และเพื่อนสนิทอีกหลายๆท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ กำลังใจ คำปลอบใจ และคำแนะนำที่ดีแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

ขอขอบคุณ ครอบครัว ญาติพี่น้อง ที่เลี้ยงดูคอยสนับสนุนทุนการศึกษา รวมถึงกำลังใจ ความรักความอบอุ่น และคำแนะนำในการดำเนินชีวิตเสมอมา

เกศินี ฤทธิงาม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ	છ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	3
สมมติฐานงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัย.....	5
ข้าวไรซ์เบอรี่	5
ความเครียดจากสภาวะแล้ง (Drought stress)	8
กลไกของพืชที่ต้านทานความแห้งแล้ง (Mechanisms of drought resistance).....	9
บราสซิโนสเตียรอยด์ (Brassinosteroid)	10
บราสซิโนสเตียรอยด์มีมิก (Brassinosteroid mimic).....	11
รงควัตถุ ระบบแสง และการตอบสนองต่อความเครียดจากความแล้ง	13
การสังเคราะห์ด้วยแสง	13
ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง (Light reaction)	13
ปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂ fixation reaction).....	13
ปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂ fixation reaction).....	15

คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์.....	16
Maximum quantum efficiency of PSII photochemistry (Fv/Fm)	16
Performance index (Pi).....	18
ค่าดัชนีความเขียวของใบ (SPAD value)	18
รงควัตถุ (Pigments).....	19
คลอโรฟิลล์ (Chlorophylls).....	19
แคโรทีนอยด์ (Carotenoids).....	22
แอนโทไซยานิน (Anthocyanin).....	23
ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (Relative water content, RWC)	24
น้ำตาล (Soluble sugar).....	26
โพรลีน (Proline).....	26
อนุมูลอิสระ (Free radical)	29
ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide , H ₂ O ₂).....	30
มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde, MDA).....	31
Catalase (CAT) (EC 1.11.1.6)	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	35
วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี	35
สรุปขั้นตอนของการวิจัย.....	37
วิธีการ.....	38
การเตรียมต้นกล้าของข้าวไรซ์เบอรี่.....	38
ตอนที่ 1 การจำลองสภาวะแล้งให้กับต้นข้าวไรซ์เบอรี่.....	39
ตอนที่ 2 การหาระดับความเข้มข้นของสาร DHECD ที่เหมาะสมกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ ความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	41

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของข้าวไรซ์เบอ รีที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	42
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	51
ระดับความแล้งที่ต้นข้าวไรซ์เบอรีสามารถทนได้	51
ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (chlorophyll fluorescence, Fv/Fm) ของต้นข้าวไรซ์เบอรี ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง	51
ค่า Performance index (Pi) ของต้นข้าวไรซ์เบอรีภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง....	55
ค่าความเขียวของใบ (SPAD value) ของต้นข้าวไรซ์เบอรีภายใต้ความเครียดจากสภาวะ แล้ง.....	59
ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่เหมาะสมกับต้นข้าวไรซ์เบอรีภายใต้สภาวะแล้ง	63
ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (Chlorophyll fluorescence , Fv/Fm) ของต้นข้าวไรซ์เบอรีภายใต้สภาวะแล้ง	63
ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อค่า Performance index (Pi) ของต้นข้าวไรซ์เบอรี ภายใต้สภาวะแล้ง.....	65
ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อความเขียวของใบของต้นข้าวไรซ์เบอรีภายใต้ สภาวะแล้ง	68
ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a content)	71
ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b content).....	74
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Total chlorophyll content)	76
ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoid content).....	79
การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของข้าวไรซ์เบอรีที่ได้รับ ความเครียดจากสภาวะแล้ง	82
ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (Chlorophyll fluorescence, Fv/Fm)	82
ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a content).....	89
ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Total chlorophyll content)	95

ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoid content).....	98
ปริมาณแอนโทไซยานินรวม (Total anthocyanin content)	101
ผลของสาร DHECD ต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ ความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	104
ผลของสาร DHECD ต่อความยาวลำต้นของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ความเครียดจากความ แล้ง.....	110
ผลของสาร DHECD ต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ความเครียดจาก สภาวะแล้ง	113
ผลของสาร DHECD ต่อปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ ความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	116
ผลของสาร DHECD ต่อปริมาณโพรลีนของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะ แล้ง.....	119
ผลของสาร DHECD ต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ ความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	122
ผลของสาร DHECD ต่อปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ความเครียด จากสภาวะแล้ง.....	125
ผลของสาร DHECD ต่อเอนไซม์อะซีเตเลสของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ความเครียดจาก สภาวะแล้ง	128
ผลของสาร DHECD ต่อกิจกรรมเฉพาะของเอนไซม์อะซีเตเลส (Enzyme specific activity) ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง	130
คะแนนความแล้งของต้นข้าวไรซ์เบอรี่หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง	132
คะแนนการม้วนของใบข้าวไรซ์เบอรี่หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง	134
คะแนนการฟื้นตัวของต้นข้าวไรซ์เบอรี่หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	137
ผลของสาร DHECD ต่อจำนวนเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งในระยะ Reproductive	144

จำนวนเมล็ดดีของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่.....	144
จำนวนเมล็ดลีบของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่.....	145
ผลของสาร DHECD ต่อจำนวนเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง.....	146
ผลของสาร DHECD ที่มีต่อน้ำหนัก 100 เมล็ดของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งในระยะ Reproductive	147
ผลของสาร DHECD ต่อน้ำหนักรวงของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งในระยะ Reproductive	148
ผลของสาร DHECD ต่อความยาวรวงของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากความแล้งในระยะ Reproductive	149
ผลของสาร DHECD ต่อปริมาณแอนโทไซยานินของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งในระยะ Reproductive.....	150
ผลของสาร DHECD ต่อความยาวของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งในระยะ Reproductive	151
ผลของสาร DHECD ต่อความกว้างของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	152
ผลของสาร DHECD ต่อความหนาของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	153
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง.....	173
ข้อเสนอแนะ.....	189
ข้อเสนอแนะทั่วไป.....	190
บรรณานุกรม.....	191
ประวัติผู้เขียน.....	219

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 ลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวไรซ์เบอรี่	6
ตาราง 2 การให้คะแนนความเครียดในข้าว ดัดแปลงจาก IRRI (1976)	48
ตาราง 3 การให้คะแนนความเครียดในข้าว ดัดแปลงจาก IRRI (1976)	48
ตาราง 4 ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Chlorophyll fluorescence, Fv/Fm) ของต้นข้าวไรซ์เบอ	54
ตาราง 5 ค่า Performance index (Pi) ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง .	58
ตาราง 6 ค่าความเขียวของใบ (SPAD value) ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะ แล้ง.....	62
ตาราง 7 แสดงค่าประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง (Chlorophyll fluorescence, Fv/Fm)	85
ตาราง 8 ค่า Performance index (Pi) ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	88
ตาราง 9 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับ ความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	91
ตาราง 10 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับ ความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	94
ตาราง 11 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับ ความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	97
ตาราง 12 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับ ความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	100
ตาราง 13 ปริมาณแอนโทไซยานินของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับ ความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	103
ตาราง 14 น้ำหนักสดของลำต้นข้าวไรซ์เบอรี่ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	106

ตาราง 15 น้ำหนักแห้งของลำต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	109
ตาราง 16 ความยาวของลำต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	112
ตาราง 17 Relative water content (RWC) ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	115
ตาราง 18 ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	118
ตาราง 19 ปริมาณโพสเฟอรัสของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	121
ตาราง 20 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	124
ตาราง 21 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	127
ตาราง 22 การทำงานของเอนไซม์อะไมเลสของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	130
ตาราง 23 ผลของสาร DHECD ที่มีต่อคุณภาพของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่.....	154
ตาราง 24 ผลสรุปของสาร DHECD ที่มีต่อต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative (สภาวะปกติ) และระยะ Reproductive (สภาวะแล้ง).....	189

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 องค์ประกอบของต้นข้าว	7
ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของสารบราสซิโนสเตียรอยด์.....	12
ภาพประกอบ 3 โครงสร้างสารบราสซิโนสเตียรอยด์มีมิก.....	12
ภาพประกอบ 4 กระบวนการสังเคราะห์สาร DHECD	13
ภาพประกอบ 5 การเกิด Calvin cycle.....	15
ภาพประกอบ 6 กราฟแสดงการเกิด Chlorophyll fluorescence	17
ภาพประกอบ 7 โครงสร้างคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี	21
ภาพประกอบ 8 การดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี.....	21
ภาพประกอบ 9 โครงสร้างแคโรทีนอยด์	22
ภาพประกอบ 10 โครงสร้างฟลาโวนอยด์ (Flavonoid structure)	24
ภาพประกอบ 11 โครงสร้างของโพรลีน (Proline structure)	27
ภาพประกอบ 12 กระบวนการสังเคราะห์และสลายโพรลีนในพืชชั้นสูง.....	28
ภาพประกอบ 13 การเกิดอนุมูลอิสระและการกำจัดภายในเซลล์พืช	30
ภาพประกอบ 14 สมการการทำงานของเอนไซม์ Catalase (CAT).....	32
ภาพประกอบ 15 ระยะเวลาฟื้นสาร DHECD และการจำลองสถานะแล้งให้แก่ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ ...	43
ภาพประกอบ 16 ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง(Chlorophyll fluorescence , Fv/Fm)ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้สถานะแล้ง	65
ภาพประกอบ 17 ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อค่า Performance index (Pi) ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้สถานะแล้ง	68
ภาพประกอบ 18 ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อค่าความเขียวของใบ (SPAD Value) ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้สถานะแล้ง.....	71

ภาพประกอบ 19 ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นข้าวไรซ์เบอรีภายใต้สภาวะแล้ง	74
ภาพประกอบ 20 ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของต้นข้าวไรซ์เบอรีภายใต้สภาวะแล้ง	76
ภาพประกอบ 21 ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ของต้นข้าวไรซ์เบอรีภายใต้สภาวะแล้ง	79
ภาพประกอบ 22 ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ ของต้นข้าวไรซ์เบอรีภายใต้สภาวะแล้ง	82
ภาพประกอบ 23 ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (Chlorophyll fluorescence , Fv/Fm) ของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD.....	84
ภาพประกอบ 24 ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (Chlorophyll fluorescence, Fv/Fm) ของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง	84
ภาพประกอบ 25 ค่า Performance index (Pi) ของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD	87
ภาพประกอบ 26 ค่า Performance index (Pi) ของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง	87
ภาพประกอบ 27 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD	90
ภาพประกอบ 28 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง.....	90
ภาพประกอบ 29 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD	93
ภาพประกอบ 30 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง.....	93

ภาพประกอบ 31 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของต้นข้าวไรซ์เบอรรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD	96
ภาพประกอบ 32 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของต้นข้าวไรซ์เบอรรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	96
ภาพประกอบ 33 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids content) ของต้นข้าวไรซ์เบอรรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD.....	99
ภาพประกอบ 34 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids content) ของต้นข้าวไรซ์เบอรรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	99
ภาพประกอบ 35 ปริมาณแอนโทไซยานินรวมของต้นข้าวไรซ์เบอรรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD	102
ภาพประกอบ 36 ปริมาณแอนโทไซยานินของต้นข้าวไรซ์เบอรรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	102
ภาพประกอบ 37 น้ำหนักสดของต้นข้าวไรซ์เบอรรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD	105
ภาพประกอบ 38 น้ำหนักสดของต้นข้าวไรซ์เบอรรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	105
ภาพประกอบ 39 น้ำหนักแห้งของต้นข้าวไรซ์เบอรรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD	108
ภาพประกอบ 40 น้ำหนักแห้งของต้นข้าวไรซ์เบอรรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	108
ภาพประกอบ 41 ความยาวลำต้นของต้นข้าวไรซ์เบอรรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD	111
ภาพประกอบ 42 ความยาวลำต้นของต้นข้าวไรซ์เบอรรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	111
ภาพประกอบ 43 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของต้นข้าวไรซ์เบอรรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD	114

ภาพประกอบ 44 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	114
ภาพประกอบ 45 ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD	117
ภาพประกอบ 46 ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	117
ภาพประกอบ 47 ปริมาณโพรงของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD	120
ภาพประกอบ 48 ปริมาณโพรงของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง	120
ภาพประกอบ 49 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD	123
ภาพประกอบ 50 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	123
ภาพประกอบ 51 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD	126
ภาพประกอบ 52 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	126
ภาพประกอบ 53 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์อะซีเตเลสของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD.....	129
ภาพประกอบ 54 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์อะซีเตเลสของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	129
ภาพประกอบ 55 กิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์อะซีเตเลสของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD.....	131
ภาพประกอบ 56 กิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์อะซีเตเลสของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	132

ภาพประกอบ 57 คะแนนความแล้งของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่น
ด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง..... 134

ภาพประกอบ 58 คะแนนการม้วนของใบของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการ
พ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง..... 136

ภาพประกอบ 59 คะแนนการฟื้นตัวของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่น
ด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง..... 138

ภาพประกอบ 60 ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD 140

ภาพประกอบ 61 ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD 143

ภาพประกอบ 62 จำนวนเมล็ดดีข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร
DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง 144

ภาพประกอบ 63 จำนวนเมล็ดลีบของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive และได้รับการพ่น
ด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง..... 145

ภาพประกอบ 64 จำนวนเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร
DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง 146

ภาพประกอบ 65 น้ำหนักเมล็ดข้าว จำนวน 100 เมล็ดของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive
ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง 147

ภาพประกอบ 66 น้ำหนักรวงของข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร
DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง 148

ภาพประกอบ 67 ความยาวรวงของข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร
DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง 149

ภาพประกอบ 68 ปริมาณแอนโทไซยานินของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับ
การพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง 150

ภาพประกอบ 69 ความยาวของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร
DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง 151

ภาพประกอบ 70 ความกว้างของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วย
สาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง 152

ภาพประกอบ 71 ความหนาของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วย
 สาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง 153



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประชากรโลก โดยประชากรมากกว่าครึ่งบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชีย ซึ่งเป็นทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคหลักที่มีการบริโภคมากถึง 90% (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2560) สำหรับในประเทศไทย ข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญทั้งในทางเศรษฐกิจและการบริโภค จึงมีการปลูกข้าวอยู่ทั่วทุกภูมิภาค ทำให้ในประเทศไทยมีการศึกษาพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ข้าว เพื่อให้ได้สายพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพตามความต้องการของตลาด ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นอีกหนึ่งสายพันธุ์ที่มีการพัฒนาและได้รับความสนใจจากผู้บริโภคเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง เช่น มีการสะสมสารแอนโทไซยานินในส่วนของเมล็ดข้าว ซึ่งมีบทบาทในการต้านอนุมูลอิสระภายในเซลล์ได้ และทำให้เป็นที่นิยมของผู้บริโภคในปัจจุบัน (Luang-In et al., 2018) จากสถานการณ์ในปัจจุบัน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศทั่วโลก ทำให้อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมเพิ่มขึ้น และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิดังกล่าวส่งผลต่อการเกิดความแล้ง (Bulut & Gürkan, 2017) ซึ่งความแล้งเกิดจากการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเป็นเวลานาน เนื่องจากฝนไม่ตกตามฤดูกาล หรือความไม่สมดุลของน้ำภายในดินกับการระเหยของน้ำจากดิน (Saud et al., 2016) จนก่อให้เกิดความแห้งแล้งและส่งผลกระทบต่อการอุปโภคบริโภค รวมถึงกิจการด้านปศุสัตว์และเกษตรกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบต่อพืชผลทางการเกษตร โดยพืชที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งจะมีกลไกการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อความเครียดที่พืชได้รับ เช่น การเพิ่มความยาวในส่วนของรากเพื่อหาแหล่งน้ำในช่องว่างระหว่างอนุภาคเม็ดดิน การปิดปากใบโดยอาศัยการส่งสัญญาณของฮอร์โมนกรดแอบไซซิก (Abscisic acid, ABA) การเพิ่มการสะสมปริมาณของกรดอะมิโนโพรลีน เป็นต้น กลไกดังกล่าวจะช่วยในการปรับตัวของพืชให้สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง อย่างไรก็ตามแม้ว่าพืชจะมีกลไกในการปรับตัวต่อความเครียดจากสภาวะแล้ง แต่ผลผลิตของพืชก็ยังมีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับการเจริญเติบโตของพืชภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ได้รับน้ำอย่างเพียงพอ ดังนั้นนักสรีรวิทยาพืชจึงมีการนำสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Plant growth regulators ; PGRs) บางชนิดมาใช้ เพื่อเพิ่มความทนทานในการทนต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมให้แก่พืช (Abobatta, 2019) เช่น สารในกลุ่มบราสซิโนสตีรอยด์ (Brassinosteroid ; BRs) ซึ่งมีรายงานว่า สามารถเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณคลอโรฟิลล์

ความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสง รวมทั้งการเพิ่มปริมาณคาร์โบไฮเดรตภายในต้นพืช เมื่อได้รับความเครียดจากสิ่งแวดล้อม (Ali et al., 2018) จากผลการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้พบว่า สาร brassinosteroid สามารถเพิ่มความสูง จำนวนใบ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ขนาดทรงพุ่ม น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักแห้งใบ ลำต้น ดอก และปริมาณแคโรทีนอยด์ในดาวเรืองได้ (ธนวิทย์ พรหมจันทร์, 2560) และได้มีการทดลองใช้สารที่มีโครงสร้างคล้ายสารในกลุ่ม brassinosteroid ในต้นข้าวพบว่า สามารถเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของข้าวพันธุ์พุ่มธานี 1 ในระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นภายใต้สภาวะเครียดจากความร้อนได้ (Thussagunpanit et al., 2015) แต่เนื่องจากสาร brassinosteroid เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่มีราคาสูง ทำให้มีการค้นคว้าและพัฒนาสารที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสารในกลุ่ม brassinosteroid ได้แก่ สาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) หรือ brassinosteroid mimic (Brassinosteroid mimic) ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายสาร brassinosteroid เป็นสารที่ได้มาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสาร 20-hydroxyecdysone ซึ่งสกัดได้จากเปลือกของต้นไช้เน่า (*Vitex glabrata*) (Suksamrarn et al., 2002) จัดเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของเซลล์พืช ทำให้พืชมีความทนทานต่อสภาวะความเครียดต่าง ๆ จากการศึกษาผลของสาร DHECD พบว่า เมื่อต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากความร้อน และได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD จะมีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น การเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันลดลง และช่วยเพิ่มการสะสมปริมาณน้ำตาลในพืช (Thussagunpanit et al., 2014) และนอกจากนี้ยังพบว่าในมะเขือเทศที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง เมื่อได้รับสาร DHECD จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ และมีการเติบโตในส่วนยอดเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันลดลง (พชร มณีโชติ et al., 2561)

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้ส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาบทบาทของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มของสาร brassinosteroid แต่การศึกษาบทบาทของสาร DHECD ในปัจจุบันยังมีการศึกษาอยู่น้อย จึงทำให้นักสรีรวิทยาพืชมีความสนใจที่จะทำการศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชหลายชนิดซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย เช่น ข้าว มะเขือเทศ และแตงกวา เป็นต้น เนื่องจากกระบวนการตอบสนองของพืชชนิดต่าง ๆ ที่ได้รับสาร DHECD ภายใต้สภาพแวดล้อมทางกายภาพที่ไม่เหมาะสม อาจจะมีกลไกที่แตกต่างกัน ประกอบกับยังไม่มีการศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง และการเจริญเติบโตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้สภาวะแล้ง ซึ่งข้าวไรซ์เบอร์รี่นั้นเป็นข้าวชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังนั้นใน

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตของข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้สภาวะแล้ง เพื่อให้ทราบถึงบทบาทของสาร DHECD ที่มีต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง ซึ่งเป็นการหาแนวทางเพื่อการจัดการระบบการเพาะปลูกข้าวไรซ์เบอรี่ในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศไทยต่อไป และยังเป็น การเตรียมพร้อมในการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงของปัญหาภัยแล้งที่นับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น และเพื่อให้เกษตรกรสามารถทำการเพาะปลูกข้าวไรซ์เบอรี่ที่ยังคงมีผลผลิตและคุณภาพของ เมล็ดข้าวที่ดีภายใต้สภาวะแล้ง โดยในงานวิจัยผู้วิจัยได้ทำการปลูกต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้การ จำลองให้พืชได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และทำการวัดความสามารถในการสังเคราะห์ด้วย แสง (Performance index, Pi) ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Chlorophyll fluorescence, Fv/Fm) ปริมาณของรงควัตถุที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ ปริมาณ คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม แคโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน การศึกษาการ เจริญเติบโตของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ทำโดยการวัดความยาวลำต้น และการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้สภาวะแล้ง โดยการศึกษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำตาล ปริมาณ โพรตีน และกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ Catalase (CAT) รวมทั้ง การศึกษาคุณภาพของผลผลิตข้าวไรซ์เบอรี่ ได้แก่ จำนวนเมล็ดต่อต้น ปริมาณแอนโทไซยานินใน เมล็ดข้าว เป็นต้น

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ตั้งความมุ่งหมายดังนี้

1. เพื่อศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ การวัด ความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสง (Performance index, Pi) ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Chlorophyll fluorescence, Fv/Fm) ค่าดัชนีความเขียวของใบ และปริมาณของรงควัตถุที่สำคัญ ของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง
2. เพื่อศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเจริญเติบโต ได้แก่ การเจริญเติบโตด้านลำ ต้นของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง
3. เพื่อศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ได้แก่ ปริมาณ น้ำสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำตาล ปริมาณโปรตีน และกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ Catalase (CAT) ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

4. เพื่อศึกษาผลของสาร DHECD ต่อคุณภาพของผลผลิต ได้แก่ จำนวนเมล็ดต่อต้น และปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าว ในเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

สมมติฐานงานวิจัย

1 สารบราสซิโนสเตรอยด์มีมิก มีบทบาทในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งได้

2 สารบราสซิโนสเตรอยด์มีมิก มีผลในการเพิ่มการเจริญเติบโต โดยชักนำให้พืชเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการในการทนทานต่อสภาวะแล้ง และช่วยเพิ่มคุณภาพผลผลิตของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งได้



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ข้าวไรซ์เบอร์รี่
2. ความเครียดจากสภาวะแล้ง
3. กลไกของพืชที่ต้านทานความแห้งแล้ง
4. บราสซิโนสตีรอยด์
5. รงควัตถุ ระบบแสง และการตอบสนองต่อความเครียดจากสภาวะแล้ง

ข้าวไรซ์เบอร์รี่

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Riceberry rice) เป็นข้าวเจ้าสายพันธุ์ใหม่ที่ได้รับการคัดเลือกและพัฒนาพันธุ์ โดยการผสมข้ามพันธุ์ระหว่าง ข้าวเจ้าหอมนิล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พันธุ์พ่อ) กับ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ข้าวหอมมะลิ) จากสถาบันวิจัยข้าว (พันธุ์แม่) (Kongkachuichai et al., 2013) เพื่อปลูกและคัดเลือกต้นที่ให้ผลผลิตสูง ตีตเมล็ดดี ขนาดเมล็ดใหญ่ ยาวเรียวยาว ไม่เป็นโรคไหม้คอรวง เปลือกเมล็ดสะอาด คัดเลือกสายพันธุ์ที่มีเมล็ดข้าวกล้องสีม่วงเข้ม-ดำ น้ำหนักต่อเมล็ด และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ทำให้ค้นพบข้าวเจ้าสีม่วงเข้ม เมล็ดเรียวยาว มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงและมีคุณค่าทางโภชนาการโดยรวมดีเด่น 1 สายพันธุ์ในปี พ.ศ. 2548 (ตารางที่ 1) โดยให้ชื่อพันธุ์ว่า “ไรซ์เบอร์รี่” จากการวิจัยพบว่า สารสกัดที่ได้จากเมล็ดของข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณสูง เช่น วิตามิน อี (Vitamin E : tocotrienols) แอนโทไซยานิน (anthocyanin : cyaniding-3-O-glucoside และ peonidin-3-O-glucoside) และไฟโตสเตียรอยด์ (Phytosteroid : γ -oryzanol, β -sitosterol และ triterpene alcohol) (Suttiarporn et al., 2016) และสารสกัดจากเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังมีบทบาทในการต้านการทำงานของเซลล์มะเร็งในมนุษย์ได้ (Leardkamolkarn et al., 2011)

ตาราง 1 ลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวไรซ์เบอร์รี่

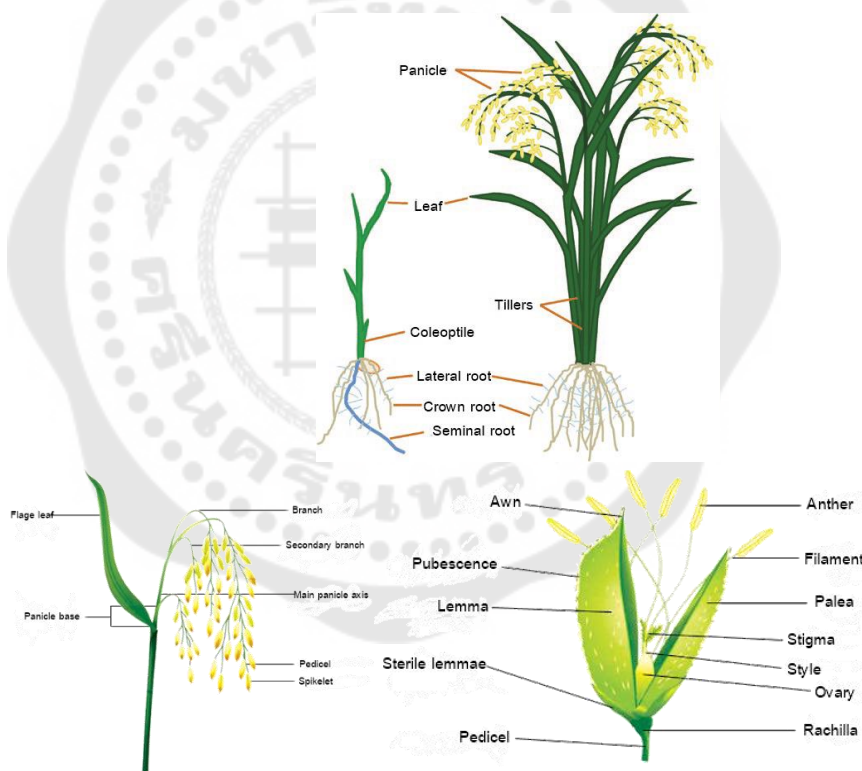
ข้าวไรซ์เบอร์รี่	
ลักษณะประจำพันธุ์	
ความสูง	105-110 เซนติเมตร
อายุเก็บเกี่ยว	130 วัน
ผลผลิต	300-500 ไร่
เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้อง	76%
เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวหรือข้าวเต็มเมล็ด	50%
ปริมาณอะไมโลส	15.60%
อุณหภูมิแป้งสุก	< 70 °C
ความยาวของเมล็ด	
ข้าวเปลือก	11 มิลลิเมตร
ข้าวกล้อง	7.5 มิลลิเมตร
ข้าวขัด	7.0 มิลลิเมตร
คุณสมบัติทางโภชนาการในเมล็ดข้าวกล้อง	
ธาตุเหล็ก	13-18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
ธาตุสังกะสี	31.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
โอเมกา-3	25.51 มิลลิกรัม/100 กิโลกรัม
วิตามิน อี	678 ไมโครกรัม/100 กรัม
โฟเลต	48.1 ไมโครกรัม/100 กรัม
เบต้าแคโรทีน	63 ไมโครกรัม/100 กรัม
โพลีฟีนอล	113.5 มิลลิกรัม/100 กรัม
แทนนิน	89.33 มิลลิกรัม/100 กรัม
แกมมา-โอไรซานอล	462 ไมโครกรัม/กรัม
สารต้านอนุมูลอิสระ	
ชนิดละลายในน้ำ	47.5 มิลลิกรัม Ascorbic acid equivalent/100 กรัม
ชนิดละลายในน้ำมัน	33.4 มิลลิกรัม Trolox equivalent/100 กรัม

ที่มา: ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ (ตาราง 1)

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ดังนี้ (Dunna & Roy, 2013)

ข้าวเป็นพืชที่อยู่ในตระกูลหญ้า (Poaceae) มีลำต้นสูงแตกออกเป็นกอ ลำต้นกลมกลวง มีข้อปล้อง ต้นสีเขียวม่วงมีขนอ่อนๆปกคลุม ลักษณะใบเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว ขอบใบเรียบคม มีสีเขียวเข้มแกมม่วง ผิวใบหยาบ ราก เป็นระบบรากฝอย มีลักษณะกลมเล็ก ๆ แทงลงในดิน มีรากออกที่ข้อลำต้นที่อยู่ใต้ดิน ออกบริเวณรอบ ๆ ลำต้น มีสีน้ำตาล ออกดอกเป็นช่อ มีดอกย่อยบนช่อจำนวนมาก และจะติดผลแบบเป็นเมล็ดบนช่อนั้นๆ เมล็ดมีลักษณะทรงรี เรียวยาวเล็ก ๆ มีเปลือกแข็ง หักหักเมล็ด เปลือกเมล็ดอ่อนมีสีเขียว เปลือกเมล็ดมีสีม่วง ข้างในมีเมล็ดแข็งมาก มีสีม่วงเข้ม ผิวมันวาว เมื่อหุงสุกแล้วเมล็ดจะร่วนและสลาย มีกลิ่นหอม (ภาพประกอบ 1)



ภาพประกอบ 1 องค์ประกอบของต้นข้าว

ที่มา: (Yidong et al., 2017)

ความเครียดจากสภาวะแล้ง (Drought stress)

สภาวะแล้งเป็นหนึ่งในความเครียดที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อต้นพืช โดยมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านสรีรวิทยา กายวิภาคศาสตร์ และสัณฐานวิทยาของพืช (Toupchi et al., 2018) ความเครียดจากความแล้งส่งผลต่อการแบ่งเซลล์ การยืดตัวของเซลล์ และการเจริญเติบโตของเซลล์ (Hussain et al., 2018) โดยทำให้ความสูงและจำนวนใบต่อต้นของต้นพืชลดลง (Abdullah et al., 2015) จากรายงานผลการศึกษาค้นคว้าของสภาวะแล้งต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวสาลีพบว่า เมื่อเกิดสภาวะแล้งต้นข้าวจะมีผลผลิตลดลงและต้นข้าวจะได้รับผลกระทบจากสภาวะแล้งมากที่สุดในช่วงระยะตั้งท้องและระยะเมล็ดนํ้านม (Liu et al., 2006) และได้มีการศึกษาในข้าวพันธุนาถิ 22 (Nagina 22) และข้าวสาลี พบว่าสภาวะแล้งส่งผลทำให้พื้นที่ใบของต้นข้าวมีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับต้นข้าวในชุดควบคุม (N. Kadam et al., 2017) เช่นเดียวกับการศึกษาต้นถั่วลูกไก่ (*Cicer arietinum* L.) ที่มีการรายงานถึงผลกระทบจากสภาวะแล้งพบว่า สภาวะแล้งส่งผลต่อความแข็งแรงของต้นถั่วลูกไก่อลดลงและ ทำให้มีปริมาณของผลผลิตที่ลดลง (Serraj et al., 2004)

ผลกระทบของสภาวะแล้งที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของพืช

พืชที่ได้รับสภาวะความเครียดจากความแล้ง จะมีการตอบสนองดังต่อไปนี้

1. การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาพบว่า เมื่อข้าวได้รับความเครียดจากความแล้ง จะส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาโดยจะมีผลต่อความสูง ขนาดใบที่ลดลง ส่งผลกระทบต่อพืชทำให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และมวลรวมของผลผลิตลดลง และยังส่งผลทำให้เกิดการเสื่อมชราของใบพืชเร็วขึ้น (Abdullah et al., 2015; N. N. Kadam et al., 2017; Sankar et al., 2008; Upadhyaya et al., 2015) ความเครียดจากความแล้งยังส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงลักษณะของราก โดยพบว่ารากของต้นข้าวที่ได้รับความแล้งในระยะพัฒนาจะมีการเปลี่ยนแปลงมุมของราก และพบว่ารากมีการยืดยาวมากกว่าปกติเพื่อปรับตัวในการหาน้ำที่อยู่ลึกกลงใต้ดิน (N. N. Kadam et al., 2017; Uga et al., 2013) ความเครียดจากสภาวะแล้งมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อองค์ประกอบของผลผลิตข้าว จากการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้พบว่า เมื่อต้นข้าวได้รับสภาวะแล้งทำให้รวงข้าวมีขนาดสั้นลง การติดเมล็ดลดลง และน้ำหนักเมล็ดต่อรวงลดลง (Muthurajan et al., 2011; Wei et al., 2017)

2. การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เมื่อข้าวได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งจะมีการตอบสนองโดยมีการปรับเปลี่ยนแรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) ซึ่งเป็นค่าที่มีความเกี่ยวข้องกับการรักษาสภาพของการควบคุมการเปิดปิดของปากใบ การสังเคราะห์ด้วยแสง

ปริมาณน้ำในใบและการเจริญเติบโตของพืช นอกจากการรักษาสมดุลน้ำในพืชให้อยู่ในสภาวะปกติเมื่อได้รับสภาวะแล้งแล้ว ยังพบว่าพืชมีการตอบสนองของเอนไซม์กลูตาเมท ดีไฮโดรจีเนส (Glutamate dehydrogenase , GDH) ซึ่งมีหน้าที่ในการสังเคราะห์โพรีลีน โดยโพรีลีนเป็นกรดอะมิโนที่มีบทบาทเป็นสารออสโมโพรเทคแทนต์ (Osmoprotectant) ช่วยปรับสมดุลน้ำภายในพืช (Yidong et al., 2017; Zhou et al., 2015) นอกจากนี้ยังพบว่า สภาวะแล้งส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide , CO₂) ภายในเซลล์พืช ทำให้มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงและส่งผลกระทบต่อกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และทำลายรงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ลดการทำงานของเอนไซม์ และลดกิจกรรมภายในระบบแสงสองในพืช (Jain et al., 2010)

กลไกของพืชที่ต้านทานความแห้งแล้ง (Mechanisms of drought resistance)

การหลีกเลี่ยงความแล้ง (Drought avoidance) และการทนทานต่อความแล้ง (Drought tolerance)

การหลีกเลี่ยงความแล้ง (Drought avoidance)

1) การหลีกเลี่ยงความแล้ง (Drought escape) คือความสามารถของพืชที่จะเจริญเติบโตให้เป็นไปตามปกติจนครบวงจรของพืช ก่อนที่สภาวะการขาดน้ำจะเกิดขึ้นกับพืช

2) สร้างความต้านทานโดยเนื้อเยื่อยังคงสภาพมีน้ำสูง (Drought tolerance with high tissue water potential) เป็นความสามารถของพืชอย่างหนึ่ง เมื่อขาดน้ำแล้วยังสามารถรักษาสภาพให้มีน้ำในปริมาณที่เหมาะสมในเนื้อเยื่อ เพื่อหลีกเลี่ยง (Avoidance) ความแห้งแล้ง (Torres-Ruiz et al., 2013)

ความทนทานต่อความแห้งแล้ง (Drought tolerance) เมื่อพืชมีระดับศักย์ของน้ำ (Water potential) ในเนื้อเยื่อต่ำ ความทนทานของพืช (Tolerance) พยายามที่จะรักษาระดับศักย์ของน้ำ (Water potential) ให้อยู่คงเดิม (Drought tolerance with low tissue water potential)

1) รักษาระดับความเต่งของเซลล์ (Maintenance of turgor)

- สะสมสารละลายเพื่อรักษาความดันน้ำในเซลล์ (Solute accumulation) โดยการปรับแรงดันออสโมติก (Osmotic pressure) เช่น การสะสมของโพรีลีนในหอมใหญ่ 3 สายพันธุ์ในสภาวะแล้ง พบว่าในสภาวะแล้งหอมใหญ่ทั้ง 3 สายพันธุ์มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพรีลีน เมื่อเทียบกับชุดควบคุม โดยบางสายพันธุ์มีการสะสมปริมาณโพรีลีนเพิ่มขึ้น 8.80 ไมโครโมลต่อกรัม

เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่มีเพียง 1.9 ไมโครโมลต่อกรัม (Hanci & Cebeci, 2014) ซึ่งช่วยให้พืชสามารถทนต่อความแห้งเพิ่มมากขึ้น

2) สร้างความทนทานของการขาดน้ำ (Desiccation tolerance) (อุดมประเสริฐ, 2558)

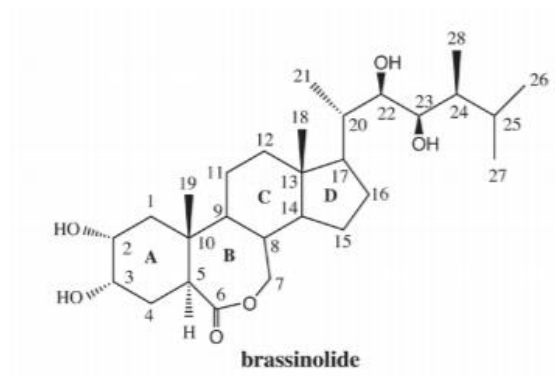
บราสซิโนสเตียรอยด์ (Brassinosteroid)

บราสซิโนสเตียรอยด์ จัดเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช โดยมีโครงสร้างเป็นสเตียรอยด์ (ภาพประกอบ 2) มีความสามารถที่คล้ายกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิด เช่น ออกซิน จิบเบอเรลลิน (Hamada, 1986) บราสซิโนสเตียรอยด์พบในพืชชั้นสูงหลายชนิด โดยค้นพบครั้งแรกในดอกของผักกาด (*Brassica napus*) มีบทบาทในการทำให้เซลล์มีการยืดตัว ชักน้ำให้เกิดการงอกของหลอดละอองเรณู (Pollen tube) การจัดมุมใบ การทำงานของโปรตรอนบีม การพัฒนาของเนื้อเยื่อไซเลม (Xylem) และการควบคุมการแสดงออกของยีน (Clouse & Sasse, 1998; Mandava, 2003) รวมทั้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับพืชในการทนต่อสภาวะเครียดต่าง ๆ เป็นต้น พืชที่ได้รับสารบราสซิโนสเตียรอยด์จะสามารถทนต่อความเค็ม อุณหภูมิที่สูงขึ้นหรือต่ำลง ความเครียดจากโลหะหนักได้ (Alyemeni et al., 2013; Hayat et al., 2010; Ramakrishna & Rao, 2014) โดยสารบราสซิโนสเตียรอยด์จะเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การเปิดปิดของปากใบและการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำ เพื่อลดความเครียดที่พืชได้รับ (Fariduddin et al., 2009) และยังเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งช่วยทำให้พืชสามารถทนต่อความเครียดจากปัจจัยทางกายภาพที่ไม่เหมาะสมได้ (Yuan et al., 2010) จากการศึกษาผลของสารบราสซิโนสเตียรอยด์ในต้นข้าวภายใต้สภาวะแล้งพบว่า ชุดการทดลองที่ได้รับสารบราสซิโนสเตียรอยด์ความเข้มข้น 100 นาโนโมลาร์ มีการเพิ่มขึ้นของค่า Maximum quantum efficiency of PSII photochemistry (Fv/Fm) เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสาร เช่นเดียวกับการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเทส (Superoxide dismutase ; SOD) ที่มีการทำงานเพิ่มขึ้นคิดเป็น 25% คอะตาลาส (Catalase ; CAT) ที่มีการทำงานเพิ่มขึ้นคิดเป็น 29% และแอสคอร์เบส เพอร์ออกซิเดส (Ascorbate peroxidase ; APX) ที่มีการทำงานเพิ่มขึ้นคิดเป็น 50% เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสารบราสซิโนสเตียรอยด์ (Lima & Lobato, 2017b) และจากการศึกษาผลของสารบราสซิโนสเตียรอยด์ในพืชภายใต้สภาวะแล้งพบว่า เมื่อใช้สารบราสซิโนสเตียรอยด์ความเข้มข้น 0.001 ไมโครโมลาร์ กับพืชที่ได้รับสภาวะแล้ง จะมีการลดลงของมาลondiอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde ,

MDA) แต่ช่วยทำให้มีการสะสมปริมาณโพรงและคลอโรฟิลล์ภายในต้นพืชเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Wang et al., 2019)

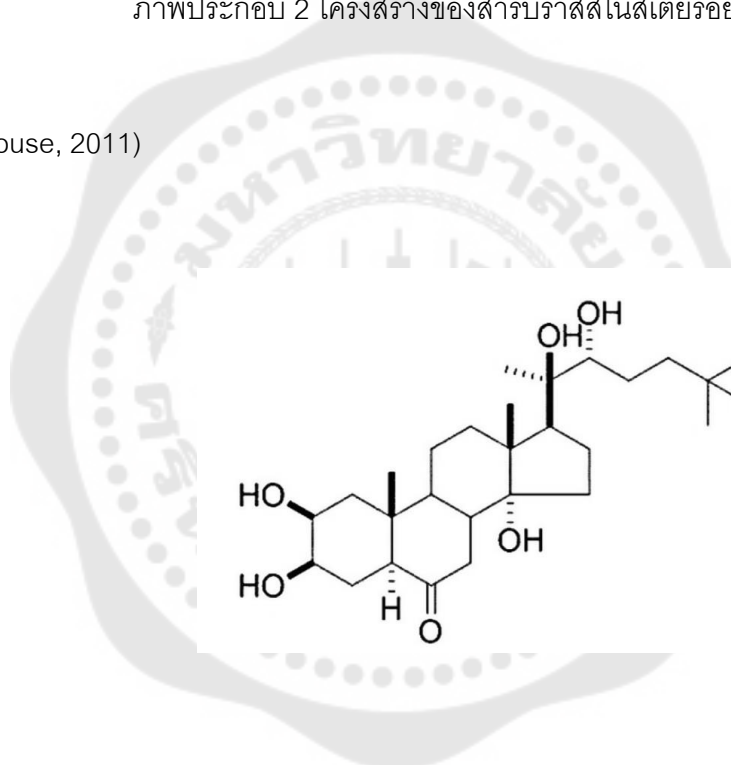
บราสสิโนสเตียรอยด์มีมิก (Brassinosteroid mimic)

บราสสิโนสเตียรอยด์ เป็นสารที่มีบทบาทหลายประการต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืช แต่เนื่องจากข้อจำกัดของสารบราสสิโนสเตียรอยด์ที่มีราคาสูง ทำให้มีต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง ดังนั้นนักวิจัยด้านสรีรวิทยาพืชจึงมีความพยายามในการปรับปรุงและค้นหาสารที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสารบราสสิโนสเตียรอยด์ โดยได้มีการศึกษาสารเอคโดสเตอรอยด์ (Ecdysteroid) ซึ่งเป็นฮอร์โมนลอกคราบของสัตว์ตระกูล Arthropods พบได้ในเปลือกของต้นไช้เน่า (*Vitex glabrata*) มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในกลุ่มบราสสิโนสเตียรอยด์ (ภาพประกอบ 3) จึงมีการสกัดและสังเคราะห์สารบราสสิโนสเตียรอยด์มีมิกจากเปลือกต้นไช้เน่าได้เป็นสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone, DHECD 4 และ 7,8-dihydro-8 α ,5 α -20-hydroxyecdysone, DHECD 5 (ภาพประกอบ 4) (Suksamrarn et al., 2002) สารบราสสิโนสเตียรอยด์มีมิก สามารถช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการแลกเปลี่ยนก๊าซ เพิ่มปริมาณการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมและมวลรวมของต้นข้าวที่อยู่ใต้อากาศเรือนกระจกสูง (Sonjaroon et al., 2018) จากผลการศึกษาสาร DHECD ในต้นข้าวพบว่า การใช้สาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ช่วยเพิ่มความสามารถของต้นข้าวในการสังเคราะห์ด้วยแสง การทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ เพิ่มอัตราการการงอกของเรณูและการติดเมล็ดของข้าวภายใต้สภาวะความเครียดจากความร้อน (Sonjaroon et al., 2016; Thussagunpanit et al., 2013) นอกจากนี้ยังพบว่าสาร DHECD เพิ่มความสูงของลำต้น พื้นที่ใบ ปริมาณ คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ ช่วยรักษาสมดุลของอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ภายในต้นข้าวโดยการเพิ่มอัตราการเปิดปิดของปากใบและกระบวนการถ่ายเทอเล็กตรอนภายในต้นข้าวได้ และยังช่วยลดปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่เดียวกันยังช่วยเพิ่มการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมภายในต้นข้าวที่อยู่ภายใต้สภาวะความเครียดจากความร้อน (Thussagunpanit et al., 2014) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าได้มีการนำสาร DHECD มาใช้ในการทดสอบพืชหลายชนิด เช่น มันสำปะหลัง มะเขือเทศ เมล่อน และสับปะรด เพื่อให้ทราบถึงศักยภาพสูงสุดของสาร DHECD ที่มีต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชในการตอบสนองต่อปัจจัยทางกายภาพที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชเป็นต้น (Sasse, 2003)



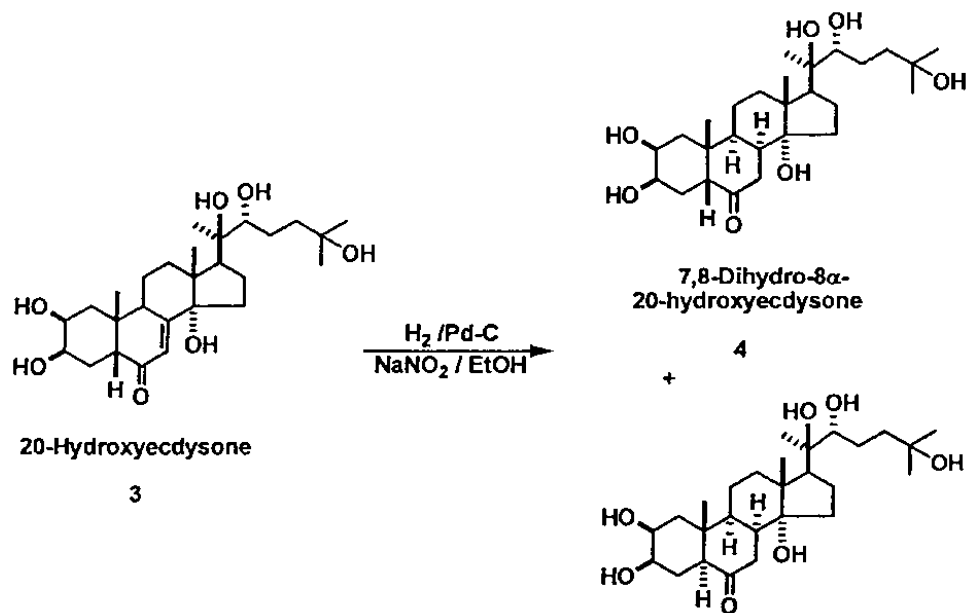
ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของสาร brassinolide

ที่มา: (Clouse, 2011)



ภาพประกอบ 3 โครงสร้างของสาร brassinolide

ที่มา: (Sonjaroon et al., 2018)



ภาพประกอบ 4 กระบวนการสังเคราะห์สาร DHECD

ที่มา (Suksamran et al., 1999)

รงควัตถุ ระบบแสง และการตอบสนองต่อความเครียดจากความแล้ง

การสังเคราะห์ด้วยแสง

กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นกระบวนการที่พืชเปลี่ยนพลังงานแสงให้อยู่ในรูปของพลังงานเคมีที่อยู่ในโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่สร้างขึ้น พลังงานที่อยู่ในโมเลกุลสารอินทรีย์นี้ถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิตของพืชและสิ่งมีชีวิตทั้งหลายบนโลก ในการเปลี่ยนพลังงานแสงให้อยู่ในรูปของพลังงานเคมีในโมเลกุลของสารอินทรีย์นั้น จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง (Light reaction)

ปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ fixation reaction)

ปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบริเวณไทลาคอยด์ โดยมีรงควัตถุรับพลังงานแสง แล้วนำพลังงานแสงนั้นมาใช้ในการสร้างสารที่มีพลังงานสูง ซึ่งได้แก่ ATP และ NADPH เพื่อนำพลังงานจากโมเลกุลเหล่านี้ไปใช้ในการสร้างสารอินทรีย์ในกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณสโตรมาในคลอโรพลาสต์ ในปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสงรงค

วัตถุนิตต่าง ๆ ที่อยู่บนไทลาคอยด์ จะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มโดยมีการเกาะตัวอยู่กับโปรตีนหลายชนิด กลุ่มของโปรตีนบนไทลาคอยด์ที่มีรงควัตถุประกอบอยู่ด้วยนี้เรียกว่า ระบบแสง (Photosystem) ในพืชชั้นสูงรงควัตถุที่ประกอบอยู่ในระบบแสง ได้แก่ แคโรทีนอยด์ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์ เอ ในระบบแสงจะมีหน่วยรับพลังงานแสงที่ทำงานร่วมกันในการรับพลังงานแสงแล้วส่งพลังงานนั้นเข้าสู่ศูนย์กลางปฏิกิริยา คือโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เอ ซึ่งโมเลกุลคลอโรฟิลล์ เอ นี้เมื่อได้รับพลังงานในช่วงคลื่นที่พอเหมาะ อิเล็กตรอนในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะถูกกระตุ้นให้อยู่ในชั้นของระดับพลังงานที่สูงขึ้น (Excited state) พร้อมทั้งจะถ่ายทอดอิเล็กตรอนนี้ให้กับตัวรับอิเล็กตรอนตัวถัดไป

พืชและสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ส่วนใหญ่มีระบบแสง 2 ระบบคือ ระบบแสง I (Photosystem I, PSI) และระบบแสง II (Photosystem II, PSII) ซึ่งระบบแสงทั้งสองจะทำหน้าที่ร่วมกันเพื่อให้สามารถเกิดการส่งพลังงานในการสร้าง ATP และ NADPH เมื่อระบบแสงได้รับพลังงาน โดยการดูดกลืนแสงของรงควัตถุที่อยู่ในระบบแสง จะมีการส่งถ่ายพลังงานที่ได้รับสู่ศูนย์กลางปฏิกิริยา (Reaction center) คือ คลอโรฟิลล์ เอ

ในระหว่างการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจาก PSI ไปสู่ PSII จะผ่านระบบการรับอิเล็กตรอนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานบางส่วนที่ได้จากการถ่ายทอดอิเล็กตรอนนำมาใช้ในการสร้าง ATP ด้วย ทำให้เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง ทำให้เกิดสารที่มีพลังงานสูงสองชนิดคือ NADPH และ ATP ที่จะถูกนำไปใช้ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป และยังเกิดการสร้างออกซิเจน (Oxygen, O₂) ที่ได้จากการสลายของโมเลกุลน้ำขึ้นอีกด้วย

ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจาก PSII ไปยังตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายของปฏิกิริยาได้เป็น NADPH เรียกว่าการถ่ายทอดอิเล็กตรอนนี้ว่า การถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบไม่เป็นวัฏจักร (Non-cyclic electron transfer) เมื่อ PSI ถ่ายทอดอิเล็กตรอนไปยังตัวรับอิเล็กตรอนตัวถัดไปแล้วอาจไม่ได้มีการส่งอิเล็กตรอนต่อไปจนถึง NADP⁺ ก็ได้ แต่ส่งอิเล็กตรอนกลับมายังระบบที่รับอิเล็กตรอนจาก PSII แทน ซึ่งสามารถส่งอิเล็กตรอน กลับไปยัง PSI ได้ ทำให้เกิดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนแบบเป็นวัฏจักร (Cyclic electron transfer) ซึ่งในกรณีเช่นนี้ จะทำให้พลังงานแสงที่ถูกดูดกลืนไม่ได้นำไปใช้ในการสังเคราะห์ NADPH แต่สามารถนำไปใช้ในการสร้าง ATP ได้ (Yahia et al., 2019)

ปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ fixation reaction)

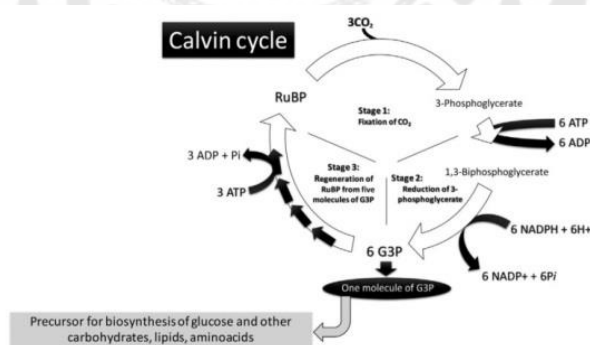
ปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ Calvin cycle ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่นำพลังงานจาก ATP และ NADPH ที่ได้จากปฏิกิริยาที่ต้องใช้แสง มาใช้ในการสร้างโมเลกุลของสารอินทรีย์จากสารอนินทรีย์ สารอินทรีย์เหล่านี้เป็นต้นกำเนิดให้เกิดการนำพลังงานที่เก็บไว้ในโมเลกุลไปใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ของพืชต่อไป รวมทั้งการสร้างสารชนิดอื่น ๆ เกิดการเจริญเติบโตตลอดจนเป็นแหล่งอาหารของผู้บริโภคลำดับถัดขึ้นไป

Calvin cycle (ภาพประกอบ 5) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นใน Stroma ของคลอโรพลาสต์ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ Carboxylation Reduction และ Regeneration

1. Carboxylation เป็นขั้นตอนที่ Ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP) เข้ารวมตัวกับ CO₂ และเกิดเป็น 3-phosphoglycerate จำนวน 2 โมเลกุล ซึ่งเป็นสารที่เสถียร (Stable intermediate) ตัวแรกของ Calvin cycle

2. Reduction เป็นขั้นตอนที่ 3-phosphoglycerate ถูกรีดิวซ์เกิดเป็น Glyceraldehyde-3-phosphate ซึ่งเป็นสารประเภทน้ำตาล ขั้นตอนนี้จะมีการใช้สารพลังงานสูงที่ได้จากปฏิกิริยาแสง คือ ATP และ NADPH

3. Regeneration เป็นขั้นตอนที่จะสร้างโมเลกุล RuBP ขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง เพื่อวนกลับไปเป็นตัวรับ CO₂ ในรอบต่อไป ในขั้นตอนนี้ต้องอาศัยพลังงานจาก ATP ซึ่งได้จากปฏิกิริยาแสง (Yahia et al., 2019)



ภาพประกอบ 5 การเกิด Calvin cycle

ที่มา: (Yahia et al., 2019)

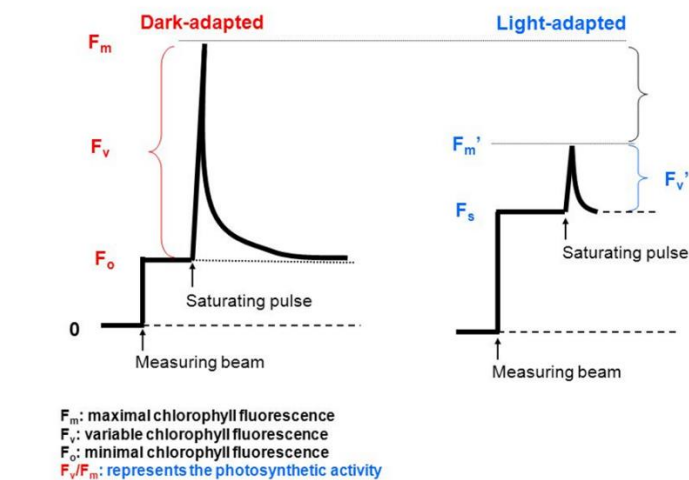
คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์

Maximum quantum efficiency of PSII photochemistry (Fv/Fm)

การวัดความสามารถในการใช้แสง และประสิทธิภาพในการส่งต่ออิเล็กตรอนในระบบแสง สามารถใช้เครื่อง Chlorophyll fluorometer โดยเครื่องวัดจะให้แสงความเข้มต่ำก่อน โดยอ่านค่าออกมาเป็นค่า Fo (Minimum, quasi-dark fluorescence yield) หลังจากนั้นจะให้แสงความเข้มสูงมากเพื่อให้มีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนเต็มกำลังรับของ PSII (Saturating light pulse) (ภาพประกอบ 7) คือให้ Reaction centers อยู่ในสภาพปิดหมด เพื่อให้เกิดรังสีฟลูออเรสเซนซ์เต็มที ซึ่งอ่านค่าออกมาเป็นค่า Fm (Maximum total fluorescence yield) ผลต่างของทั้งสองค่า เรียกว่า Fv (Variable fluorescence, $F_v = F_m - F_o$) ค่าที่คำนวณ คือค่าสัดส่วนของ F_v / F_m เรียกว่า Maximum quantum yield (Φ_{dark}) ซึ่งจะแสดงถึงประสิทธิภาพของการจับพลังงานโดย Reaction centers หรือเป็นค่าสัดส่วนของพลังงานแสงที่พืชดูดซับทั้งหมดที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้นถ้าใบพืชอยู่ในสภาพมืดและ reaction centers อยู่ในสภาพเปิดเต็มที่ คือหลังจากมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่าน PSII สมบูรณ์แล้วจะเขียนสมการได้ในรูป

$$\Phi_{\text{dark}} = F_v - F_o / F_m$$

เมื่อ Φ_{dark} = สัดส่วนของ Photon ที่ถูกดูดกลืนที่ PSII ใช้ในการเกิด Photochemistry เป็น ค่าสูงสุดที่วัดได้ หลังจากให้ใบอยู่ในความมืดนานพอ (ศรีนัดดา บำเพ็ญผล, 2554) Maximum quantum efficiency of PSII photochemistry (Fv/Fm) เป็นค่าที่สำคัญที่ใช้ในการบอกถึงความสามารถและประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เมื่อเกิดสภาวะเครียดจากความแล้ง จะส่งผลให้ค่า Fv/Fm ลดลง จากค่าที่ลดลงมีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชตามลำดับ (Cielniak et al., 2006)



ภาพประกอบ 6 กราฟแสดงการเกิด Chlorophyll fluorescence

ที่มา: (Chien, 2012)

จากการศึกษาของ Vezaan (2000) ได้รายงานผลของความเครียดจากความแล้งที่มีต่อการลดลงของค่า F_v (Variable fluorescence) ค่า F_o (Minimum, quasi-dark fluorescence yield) และค่า F_v/F_m (Maximum quantum efficiency of PSII photochemistry) และผลการศึกษาในข้าวบาร์เลย์ 2 พันธุ์ที่ทนแล้งและไวต่อความแล้งพบว่า กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวบาร์เลย์ที่ไวต่อความแล้งได้รับผลกระทบจากความเครียดที่เกิดจากความแล้ง ส่งผลให้ค่า F_v ค่า F_o และค่า F_v/F_m ลดลงและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับข้าวบาร์เลย์พันธุ์ที่ทนความแล้ง (Li et al., 2006) ในต้นแอปเปิ้ลที่ได้รับแสงในระดับสูง พบว่าในวันที่ 5 ของการทดลองต้นแอปเปิ้ลมีค่า F_v/F_m ลดลง เมื่อเทียบกับชุดควบคุม และเมื่อครบ 33 วันต้นแอปเปิ้ลมีค่า F_v/F_m ลดลงถึง 24% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม และเมื่อครบ 33 วันทำการฟื้นฟูสภาพ (Recovery) พบว่าต้นแอปเปิ้ลที่ได้รับสภาวะแล้งระดับต่ำและระดับปานกลาง พบว่าค่า F_v/F_m สามารถฟื้นฟูสู่สภาพปกติได้ ในขณะที่ต้นข้าวที่ได้รับแสงระดับสูงค่า F_v/F_m ไม่สามารถฟื้นตัวได้ (Wang et al., 2018) นอกจากนี้การทดลองในต้นข้าวที่ได้รับสภาวะแล้งพบว่าในชุดการทดลองที่ได้รับแสงในระดับสูง มีค่า F_v/F_m ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Xu et al., 2020) การทดลองในพืช Arabidopsis ที่ได้รับสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน พบว่ามีค่า F_v/F_m ลดลง เมื่อเทียบกับชุดควบคุมในสภาวะปกติ (Yao et al., 2018)

Performance index (Pi)

ค่า Performance index เป็นค่าที่อธิบายถึงปัจจัยที่เป็นอิสระต่อกันในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ได้แก่ 1) ความหนาแน่นของตัวรับอิเล็กตรอน 2) ประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนโดย Q_A และ 3) ความน่าจะเป็นในการดูดซับโปรตรอน โดยตัวรับอิเล็กตรอน ค่า Pi จะบอกถึงการทำงานของ PSI และ PSII และบอกถึงข้อมูลเชิงปริมาณของสถานะปัจจุบันของการทำงานของระบบแสงของพืช (Strasser et al., 2004) โดยค่า Pi เป็นค่าที่มีความไวและใช้บ่งบอกสภาพความแล้งของแปลงปลูกได้ (Oukarroum et al., 2007; Strasser et al., 2000) จากผลการทดลองในต้นถั่วลูกไก่พบว่า เมื่อเกิดสภาวะแล้งในต้นถั่วลูกไก่ จะทำให้มีค่า Pi ลดลง และค่า Pi ยังสามารถใช้เป็นค่าในการคำนวณหาดัชนีความแล้งเพื่อใช้ในการจำแนกความทนต่อความแล้งในต้นถั่วลูกไก่แต่ละพันธุ์ได้ (Çiçek et al., 2018) เช่นเดียวกันกับในพืช CAM (Crassulacean acid metabolism) ที่เมื่อได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูงและสภาวะแล้ง จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า Pi ทำให้ค่า Pi ในพืชลดลงและสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดระดับของความทนทานของพืชต่อสภาวะแล้งได้ (Ceusters et al., 2019) จากการศึกษาในต้นข้าวสาลีพบว่า การลดลงของค่า Pi มีความสัมพันธ์กับการขาดน้ำและค่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของพืช (Zivcak et al., 2008b) จากผลการศึกษาหญ้าเรย์ (Perennial Ryegrass) ภายใต้สภาวะแล้งพบว่า ต้นหญ้าที่ได้รับความชื้น 30%FC มีค่า Pi ลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม

ค่าดัชนีความเขียวของใบ (SPAD value)

การวัดค่าดัชนีความเขียวของใบใช้ในการประเมินปริมาณไนโตรเจนและคลอโรฟิลล์ในพืช และเป็นวิธีการที่ไม่ต้องทำลายใบพืช โดยเมื่อนำคลอโรฟิลล์มิเตอร์ไปวัดค่าดัชนีความเขียวของใบพืช ค่าที่สามารถอ่านได้จากกรวัดด้วยคลอโรฟิลล์มิเตอร์ จะมีความสอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช โดยค่าจะถูกคำนวณจากปริมาณแสงที่ส่องผ่านใบพืช ใน 2 ช่วงความยาวคลื่นแสงที่คลอโรฟิลล์สามารถดูดซับได้ ในช่วงแสงที่แตกต่างกัน คือ ช่วงแสงสีแดง (Red) มีความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร และช่วงแสงสีแดงไกล (Infrared) มีความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร LEDs (Light-emitting diodes) ซึ่งเป็นตัวให้แสงจะถูกสร้างขึ้นภายในหัววัดของเครื่องวัดค่าความเขียวทั้ง 2 ด้าน คือ Emitting window และ Receiving window เมื่อทำการวัดแสงจะถูกปล่อยออกมาจาก Emitting window ผ่านตัวอย่างใบพืชเข้าสู่ Receiving window เมื่อทำการวัด LEDs ซึ่งเป็นตัวให้แสงที่อยู่ในระบบให้แสง (Illuminating system) จะปล่อยแสงสีแดงและแสงสีแดงไกล

ออกมา โดยแสงจะส่องผ่านตัวอย่างไปไบฟิซไปชนกับตัวรับแสง (Receptors) จากนั้นจะถูกแปลงไปเป็นสัญญาณอัตโนมัติ โดยตัวแปลงสัญญาณ (Amplifier และ A/D converter) แล้วส่งสัญญาณต่อไปยัง Microprocessor ซึ่งจะแปลงสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง แล้วแสดงผลค่าที่ได้จากการวัดออกมาที่จอแสดงผล (Display) และเก็บไว้ในหน่วยความจำข้อมูล (Anonymous, 1986; Saberioon et al., 2014)จากการศึกษาพบว่า นอกจากความเครียดจากสภาวะแล้งจะส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงแล้ว ยังส่งผลต่อปริมาณและโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุหลักที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงและให้สีเขียวแก่ใบพืช จากการทดลองของ (Pakniyat et al., 2008) ในพืชเรพซีด (*Brassica napus*) ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ทำให้ค่าความเขียวของใบลดลงเช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Zhao et al. (2009) พบว่า ในข้าวบาร์เลย์ที่ได้รับสภาวะแล้งเป็นเวลา 7 วัน มีการลดลงของค่าดัชนีความเขียวของใบ การศึกษาค่าดัชนีความเขียวของใบในต้นฝ้ายและถั่วลิสง ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าในต้นฝ้ายมีค่าต่ำกว่า 12.4% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม เช่นเดียวกับการศึกษาในต้นถั่วลิสงที่ได้รับสภาวะแล้ง มีค่าดัชนีความเขียวของใบลดลง เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Shahenshah & Isoda, 2010a) และในต้นมะเขือเทศที่ได้รับสภาวะแล้ง พบว่าในต้นมะเขือเทศพันธุ์ LE 114 มีค่าดัชนีความเขียวของใบเท่ากับ 45.8 ต้นมะเขือเทศพันธุ์ LE57 มีค่าดัชนีความเขียวของใบเท่ากับ 45.7 ต้นมะเขือเทศพันธุ์ COTH 2 มีค่าดัชนีความเขียวของใบเท่ากับ 45.5 และต้นมะเขือเทศพันธุ์ LE 118 มีค่าดัชนีความเขียวของใบเท่ากับ 45 โดยต้นมะเขือเทศทั้ง 4 พันธุ์ที่ได้รับสภาวะแล้งมีค่าเฉลี่ยของดัชนีความเขียวของใบลดลงเมื่อเทียบกับมะเขือเทศในชุดควบคุม (Sivakumar et al., 2014) นอกจากนี้ยังพบว่าจากการทดลองในต้นข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะแล้ง มีค่าดัชนีความเขียวของใบในช่วง 35.96-39.0 ในขณะที่ต้นข้าวในชุดควบคุมมีค่าดัชนีความเขียวของใบในช่วง 36.7- 40.1 (Moonmoon et al., 2017)

รงควัตถุ (Pigments)

รงควัตถุ คือ โมเลกุลที่มีความสามารถในการดูดกลืนแสงที่มีอยู่ในพืช รงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthetic pigment) สามารถแบ่งออก ตามลักษณะของโครงสร้างของโมเลกุล ดังนี้

คลอโรฟิลล์ (Chlorophylls)

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่พบทั่วไปในพืชและสิ่งมีชีวิตที่มีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โครงสร้างประกอบไปด้วยส่วนที่เป็น Porphyrin-like structure ซึ่งมี Mg^{2+} อยู่ส่วนกลางของ

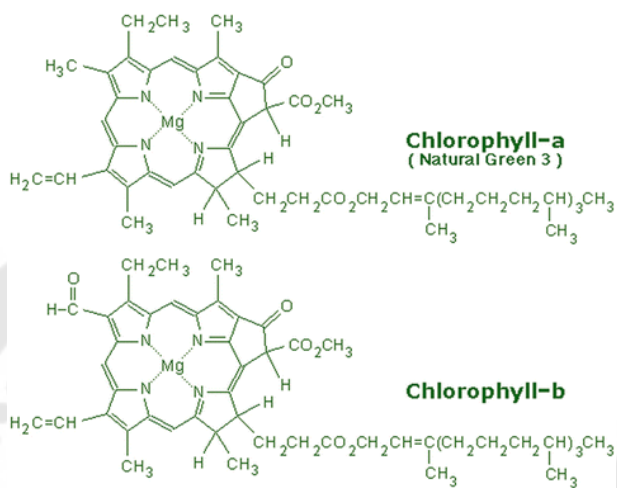
โครงสร้างและส่วนที่เป็นสายยาวของไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นส่วนที่เป็น Hydrophobic region ซึ่งฝังตัวอยู่บน Photosynthetic membrane ในคลอโรพลาสต์ คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่สำคัญ และเสียหายได้ง่ายจากความเครียดที่ได้รับ เช่น ความเครียดจากความแห้ง ความเครียดจากอุณหภูมิสูง เป็นต้น การเสียหายของคลอโรฟิลล์ส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตของพืช และการเจริญเติบโตของพืช (Khayatnezhad & Gholamin, 2008) โดยคลอโรฟิลล์ในพืช มีอยู่หลายชนิด ได้แก่

คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) เป็นสารสีที่มีความสำคัญที่สุด เพราะเป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาแสงในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยหมู่ฟังก์ชันของคลอโรฟิลล์ เอ เป็นหมู่เมทิล (Methyl group : OCH_3) (ภาพประกอบ 8) คลอโรฟิลล์ เอ ดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่นแสง 430 นาโนเมตร และ 662 นาโนเมตร (ภาพประกอบ 9) และสะท้อนแสงทำให้มองเห็นเป็นสีเขียว

คลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b) เป็นสารสีที่ช่วยในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง หมู่ฟังก์ชันของคลอโรฟิลล์ บี เป็นหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group : OCHO) (ภาพประกอบ 8) คลอโรฟิลล์ บี ดูดกลืนแสงได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร (ภาพประกอบ 9) และจะสะท้อนแสงทำให้มองเห็นเป็นสีเขียวตองอ่อน

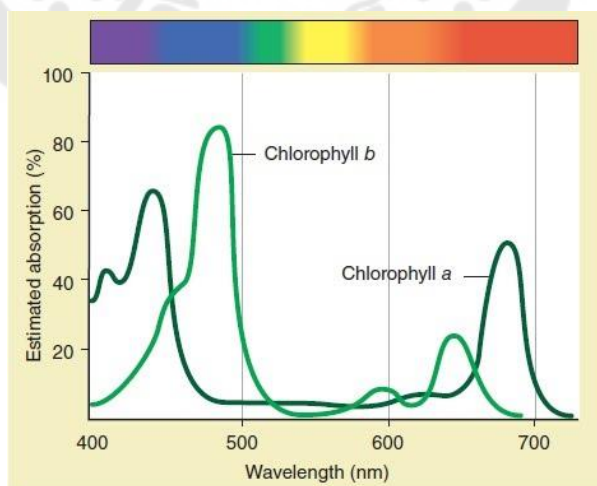
การลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ภายใต้สภาวะที่มีความเครียดจากสภาวะแห้ง อาจเป็นผลที่เกิดจากความเครียดออกซิเดทีฟ (Oxidative stress) และอาจเป็นผลจากการเสียหายของระบบที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงรวมทั้งคลอโรพลาสต์ (Arabshahi & Mobasser, 2017) จากผลงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้านี้จะพบว่า ความเครียดจากสภาวะแห้งส่งผลให้ข้าวมีน้ำหนักเมล็ดลดลง อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบลดลงในระยะการสืบพันธุ์ (Reproductive stage) (Moonmoon et al., 2017) นอกจากนี้พบว่าดอกทานตะวันเมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแห้งส่งผลให้คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์รวมลดลง (Manivannan et al., 2008) และการศึกษาในต้นถั่วลูกไก่ เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแห้งส่งผลให้คลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์รวมมีปริมาณลดลง และอัตราส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี ลดลง ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าคลอโรฟิลล์ เอ มีความไวต่อความเครียดจากสภาวะแห้งมากกว่าคลอโรฟิลล์ บี (Mafakheri et al., 2010) จากผลการทดลองในหอมใหญ่ 2 พันธุ์ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแห้ง พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในหอมใหญ่พันธุ์ Akgun-12 มีค่าลดลง 68% และพันธุ์ Kantartopu-3 มีค่าลดลง 4% เมื่อเทียบกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในหอมใหญ่พันธุ์ Akgun-12 มีค่าลดลง 37%

และพันธุ์ Kantartopu-3 มีค่าลดลง 25% เมื่อเทียบกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) (Hanci & Cebeci, 2014) ในต้นมะเขือยาวแอฟริกาที่ได้รับสภาวะแล้งเป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ภายในใบของต้นมะเขือยาวลดลง เมื่อเทียบกับมะเขือยาวแอฟริกาในสภาวะปกติ (Mibei et al., 2016)



ภาพประกอบ 7 โครงสร้างคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี

ที่มา: (Pham Phu, 2014)



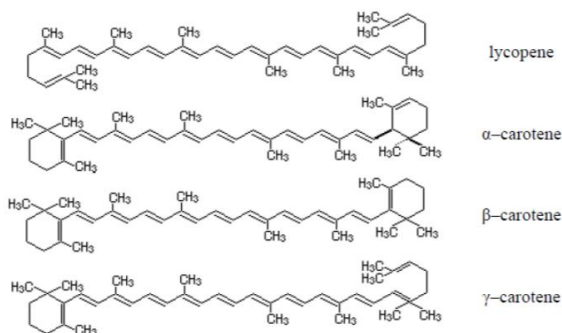
ภาพประกอบ 8 การดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี

ที่มา : (Solomon, 2011)

แคโรทีนอยด์ (Carotenoids)

แคโรทีนอยด์ เป็นกลุ่มรงควัตถุที่มีสีเหลือง-ส้ม พบทั่วไปในพืชและสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ มีหน้าที่ในการช่วยรับพลังงานแสง (Accessory light-harvesting pigment) เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และทำหน้าที่ในการป้องกันอันตรายจากแสง (Photoprotective agents) โครงสร้างหลักของรงควัตถุกลุ่มนี้คือ การเป็นสายไฮโดรคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 40 อะตอม (ภาพประกอบ 10) ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มย่อยคือ Carotenes และ Xanthophylls

Carotenes เป็นรงควัตถุที่มีสีส้ม หรือส้ม-แดง เป็นสายยาวของไฮโดรคาร์บอน ส่วน Xanthophyll มีสีเหลืองหรือส้ม-เหลือง ซึ่งนอกจากจะประกอบด้วยสายยาวของไฮโดรคาร์บอนแล้ว ยังมีออกซิเจน (O) เป็นองค์ประกอบ ซึ่ง Xanthophylls มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับระดับ Oxidation ของโมเลกุล และเช่นเดียวกับคลอโรฟิลล์ ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ในพืชจะลดลงเมื่อพืชได้รับความเครียดจากความแล้ง (Mibei et al., 2016) จากผลการทดลองในต้นหอมใหญ่ พบว่า ความเครียดจากสภาวะแล้งส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในหอมใหญ่มีปริมาณลดลง (Hanci & Cebeci, 2014) และผลของความเครียดจากสภาวะแล้งทำให้มะเขือยาวแอฟริกาที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลง เช่น ในมะเขือยาวแอฟริกาพันธุ์ RV100343 ในสภาวะปกติมีค่าเฉลี่ยแคโรทีนอยด์เท่ากับ 1182.3 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักสด) แต่ในสภาวะแล้งมีค่าเฉลี่ยแคโรทีนอยด์เท่ากับ 1020.9 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักสด) (Mibei et al., 2016) ผลการทดลองในหอมใหญ่ 2 พันธุ์ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ในหอมใหญ่พันธุ์ Akgun-12 มีปริมาณลดลง 53% และพันธุ์ Kantartopu-3 มีปริมาณลดลง 44% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) (Hanci & Cebeci, 2014)



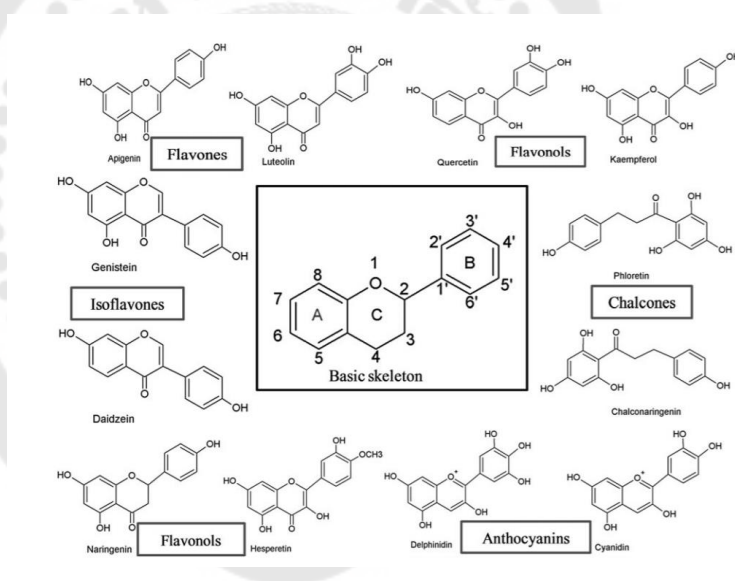
ภาพประกอบ 9 โครงสร้างแคโรทีนอยด์

ที่มา: (Butnariu, 2016)

แอนโทไซยานิน (Anthocyanin)

แอนโทไซยานิน เป็นรงควัตถุที่จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) (ภาพประกอบ 11) พบได้ทั้งในบริเวณดอก ผลและเมล็ด (Grotewold, 2006) สังเคราะห์มาจากสารทุติยภูมิจากกรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) ให้สีแดงและม่วง (Reddy et al., 1995) โดยแอนโทไซยานินจะถูกสังเคราะห์ขึ้นจากการควบคุมของ Transcription factors (TFs) 3 ชนิด (*MYB, bHLH* และ *WD40*) (Naing & Kim, 2018) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ทำให้แอนโทไซยานินมีบทบาทต่อการป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ เช่น โรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ (Cardiovascular disease) โรคมะเร็ง (Cancer) และโรคเบาหวาน (Diabetes) เป็นต้น (Ghiselli et al., 1998) แอนโทไซยานินมีประสิทธิภาพในการกำจัด Reactive oxygen species (ROS) และยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของลิโปโปรตีน (Lipoprotein) นอกจากนี้ยังจัดเป็น Osmoregulators เพื่อรักษาสมดุลของสารละลายภายในต้นพืชเพื่อลดการสูญเสียน้ำได้ (Hughes et al., 2013) แอนโทไซยานินจัดเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ในกลุ่มฟีนอลิก (Phenolic) โดยสารฟลาโวนอยด์นี้ ประกอบไปด้วยคาร์บอน 15 อะตอม มีหมู่เบนซีน 2 หมู่ มาเชื่อมต่อกันด้วยคาร์บอน 3 อะตอม แอนโทไซยานินเกิดจากการมีแอนโทไซยานิดินที่ไม่เสถียรในธรรมชาติมีหมู่น้ำตาลมาจับในตำแหน่งที่ 3 หรือ 3, 5 ของแอนโทไซยานิดิน (Sivamaruthi et al., 2018) จากการศึกษาพบว่าแอนโทไซยานินจะถูกกระตุ้นให้มีการสร้างและเก็บสะสมมากขึ้นทั่วทั้งต้นโดยเฉพาะบริเวณใบและผล เมื่อพืชได้รับความเครียดจากปัจจัยทางกายภาพ เช่น ในผิวของผลเบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูง และในผลองุ่นที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานผลการเพิ่มขึ้นของแอนโทไซยานินในพืช *Arabidopsis* เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง (Kovinich et al., 2015) โดยการเพิ่มขึ้นของแอนโทไซยานินที่มาจากความเครียดจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีการค้นพบว่า ถูกควบคุมโดยยีน *GLRa V-3, GLRa V-5* และ *GLRa V-9* ซึ่งเป็นกลไกหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้พืชสามารถทนต่อความเครียดจากปัจจัยแวดล้อมที่พืชได้รับ (Vega et al., 2011) จากผลการศึกษาในต้นข้าวสาลีสีม่วงที่ทำการจำลองสภาวะแล้งด้วย PEG6000 ความเข้มข้น 20 มิลลิโมล และ 40 มิลลิโมล พบว่าในวันที่ 15 ของการทดลอง ต้นข้าวที่ได้รับสภาวะแล้งที่สารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20 มิลลิโมลและ 40 มิลลิโมล ทำให้ต้นข้าวมีการสะสมปริมาณการแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น 30.67% และ 29.47% (Li et al., 2018) จากผลการทดลองในต้นกระเจี๊ยบ 3 พันธุ์ที่ได้รับสภาวะแล้ง (ความชื้นในดิน 65%) พบว่าต้นกระเจี๊ยบพันธุ์ Cruza Negra มีการสะสมของแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น 23%, ต้นกระเจี๊ยบพันธุ์ 4Q4 มีการสะสมของแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น 72% และ ต้นกระเจี๊ยบพันธุ์ UAN16-2 มีการสะสมของ

แอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น 92% เมื่อเทียบกับต้นกระเจี๊ยบที่ได้รับการปลูกในสภาวะปกติ (ความชื้น 100%) (Hinojosa-Gómez et al., 2020) และยังมีการศึกษาในพืชหลายชนิดที่แสดงให้เห็นถึงผลของแอนโทไซยานินที่ช่วยในการทำให้พืชทนต่อความเครียดจากความแล้ง เช่น ในต้นยาสูบ (*Nicotiana tabacum* cv. Samsun) ที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง พบว่ามีการสะสมแอนโทไซยานินในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นรวมถึงการแสดงออกของยีนที่ควบคุมการสร้างแอนโทไซยานิน การเพิ่มขึ้นดังกล่าวส่งผลให้ต้นยาสูบทนต่อความเครียดจากความแล้ง (Cirillo et al., 2021) และงานวิจัยของ Nakabayashi et al. (2014) ที่ได้ศึกษาการสะสมแอนโทไซยานินในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นใน *Arabidopsis* ที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง โดยศึกษาผ่าน Transcriptomic และ Metabolomics พบว่าความเครียดจากความแล้งกระตุ้นให้เกิดการสะสมแอนโทไซยานินเพื่อใช้ในการกลไกการปรับตัวให้พืชสามารถทนต่อความเครียดจากความแล้งที่เกิดขึ้นได้



ภาพประกอบ 10 โครงสร้างฟลาโวนอยด์ (Flavonoid structure)

ที่มา: (Panche, 2016)

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ (Relative water content, RWC)

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ คือการวัดปริมาณน้ำที่แท้จริงที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่ทำให้เซลล์เต่ง ปริมาณน้ำสัมพัทธ์บอกลถึงความสมดุลของน้ำในเซลล์ และเป็นตัววัดความรุนแรงในการแสดงออกของสภาวะเครียดที่เกิดจากความแล้งและความร้อน ปริมาณน้ำสัมพัทธ์เป็นค่าที่มี

ความเกี่ยวข้องกับศักยภาพของน้ำ ซึ่งสามารถนำมาใช้วัดความเครียดที่เกิดกับพืชได้ (Main et al., 2012)

การวัดปริมาณน้ำในพืชพบว่า ค่าที่เหมาะสมในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ คือน้ำหนักของพืชเต่งตัวเต็มที่ (Fully turgid weight หรือ TW) เปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักสด (Fresh weight) และน้ำหนักแห้ง (Dry weight) ของพืช ดังนั้นจึงแสดงสูตรคำนวณดังนี้

$$RWC = \frac{(FW - DW) \times 100}{(TW - DW)}$$

(FW = น้ำหนักสดของพืช, TW = น้ำหนักพืชที่เต่งตัวเต็มที่ โดยการแช่ขึ้นส่วน ตัวอย่างพืชในน้ำ, DW = น้ำหนักแห้งของพืช)

จากการศึกษาในต้นมันฝรั่งพบว่า ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในสภาวะแล้งในใบของต้นมันฝรั่งมีค่าที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Soltys-Kalina et al., 2016) การศึกษาปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นถั่วลิสงภายใต้สภาวะแล้งที่ถูกจำลองโดยใช้สารโพลีเอททิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol; PEG6000) ที่ระดับความเข้มข้น 0%, 5%, 10%, 15% และ 20% (W/V) เป็นเวลา 40 วัน พบว่าปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในใบของต้นถั่วลิสงมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม โดยมีค่าร้อยละปริมาณน้ำสัมพัทธ์ เท่ากับ 0.831, 0.64, 0.523, 0.4 และ 0.35 ตามลำดับ และยังพบความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำสัมพัทธ์กับอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและคลอโรฟิลล์ที่มีค่าลดลงเช่นเดียวกัน (Meher et al., 2018) และจากการศึกษาในต้นถั่วเหลืองที่ได้รับสภาวะแล้ง โดยทำการเก็บผลการทดลอง 3 ระยะ คือระยะการเจริญเติบโต ระยะออกดอก และระยะการพัฒนา ตามลำดับพบว่า ในพันธุ์ Shohag มีค่าการเจริญเติบโต ระยะออกดอก และระยะการพัฒนา ลดลง 9.58%, 10.32% และ 10.94% ตามลำดับ ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ BARI Soybean-6 มีค่าการเจริญเติบโต ระยะออกดอก และระยะการพัฒนาลดลง 9.02%, 9.84% และ 10.65% ตามลำดับ ต้นถั่วเหลืองพันธุ์ BD2331 มีค่าการเจริญเติบโต ระยะออกดอก และระยะการพัฒนาลดลง 8.90%, 11.68% และ 12.94% ตามลำดับ และต้นถั่วเหลืองพันธุ์ BGM2026 มีค่าการเจริญเติบโต ระยะออกดอก และระยะการพัฒนาลดลง 13.90%, 15.31% และ 16.21% ตามลำดับ (Chowdhury et al., 2018)

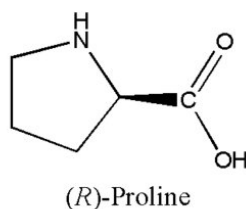
น้ำตาล (Soluble sugar)

น้ำตาลเป็นสารอินทรีย์ที่มีความสำคัญต่อการตอบสนองในกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช เช่น กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การเจริญเติบโต โดยน้ำตาลมีบทบาทในการช่วยปรับสมดุลให้กับค่าความต่างศักย์ของน้ำและการคงสภาพของปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อได้รับความเครียดจากความแล้ง (Sami et al., 2016) น้ำตาลช่วยรักษาสภาพของปริมาณน้ำในใบพืชและออสโมซิสของน้ำเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชภายใต้สภาวะความเครียดจากความแล้ง (Koster & Leopard, 1988; Xu et al., 2007) และในการทดลองในข้าวพบว่า เมื่อข้าวได้รับความเครียดจากความแล้งจะมีการสะสมน้ำตาลรวมเพิ่มขึ้นทั้งในใบและรากของข้าวที่มีความไวต่อความเครียดจากความแล้ง (Xu et al., 2007) การทดลองในต้นถั่วเหลืองที่ได้รับสภาวะแล้งพบว่าในใบของต้นถั่วเหลืองมีการสะสมของน้ำตาลรวมที่ละลายน้ำได้รวมทั้งปริมาณซูโครสที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ในส่วนรากพบว่า มีการสะสมของน้ำตาลน้อยกว่าในใบ (Du et al., 2020) สอดคล้องกับการศึกษาในต้นสตรอว์เบอร์รีที่ได้รับสภาวะแล้งโดยการปลูกในดินที่มีความชื้น 25% และ 50% FC พบว่ามีการสะสมปริมาณกลูโคสในต้นสตรอว์เบอร์รีที่ได้รับสภาวะแล้ง (Nezhadahmadi et al., 2015) เช่นเดียวกับผลการศึกษาในต้นข้าวสาลีที่ได้รับสภาวะแล้งพบว่า มีการสะสมของน้ำตาลรวมและน้ำตาลฟรุกโตสเพิ่มขึ้นและมีการสะสมปริมาณของน้ำตาลเพิ่มสูงสุดในวันที่ 10 ของการทดลอง และเมื่อทำการฟื้นฟูสภาพหลังได้รับสภาวะแล้งพบว่า ต้นสตรอว์เบอร์รีมีการสะสมปริมาณน้ำตาลลดลงเมื่อเทียบกับช่วงที่ต้นสตรอว์เบอร์รีได้รับสภาวะแล้ง (Abid et al., 2018) การศึกษาในต้นเยอรมันคาร์ไมล์พบว่ามีการสะสมของน้ำตาลในใบเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสภาวะแล้ง โดยการสะสมของปริมาณน้ำตาลจะสูงขึ้นตามระดับสภาวะแล้งที่พืชได้รับ (Salehi et al., 2016) นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในใบซึ่งส่งผลทำให้พืชสามารถทนต่อความแล้งได้ (Karimi et al., 2015; Königshofer & Löppert, 2015)

โพรลีน (Proline)

โพรลีน เป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่พบในพืชหลายชนิด (ภาพประกอบ 12) จัดอยู่ในกลุ่มกรดอะมิโนไม่จำเป็น (Non-essential amino acid) ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และพบว่าพืชมีการสะสมปริมาณโพรลีนมากขึ้นเมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ซึ่งช่วยทำให้พืชสามารถทนต่อความเครียดจากสภาวะแล้งได้ โพรลีนจึงถูกนำมาเป็นตัวชี้วัดในการศึกษาการตอบสนองของพืชต่อความเครียดจากสภาวะแล้ง (Ferreira et al., 1979) การสะสมของโพรลีนเป็นการตอบสนองอันดับแรก ๆ ของพืชต่อความเครียดจากสภาวะแล้ง เพื่อป้องกันการบาดเจ็บ

ของเซลล์ (Arabshahi & Mobasser, 2017) จากงานวิจัยในต้นข้าวสาลีพบว่า การสะสมของโปรตีนในต้นข้าวสาลีช่วยเพิ่มความทนทานให้กับต้นข้าวสาลีเมื่อเข้าสู่ความเครียดจากสภาวะแล้ง (Nayyar & Walia, 2003; Tatar & Gevrek, 2008; Zgallai et al., 2005) เช่นเดียวกับการทดลองในต้นข้าวโพดพบว่า เมื่อความเครียดจากสภาวะแล้งเพิ่มมากขึ้นต้นข้าวโพดจะมีการสะสมโปรตีนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (Anjum et al., 2011) และมีการศึกษาในต้นมันฝรั่งพบว่า การสะสมของโปรตีนในมันฝรั่งพันธุ์ที่ไวต่อสภาวะแล้งจะมีปริมาณของโปรตีนสูงกว่าพันธุ์ที่ทนแล้ง (Bansal & Nagarajan, 1986; Schafleitner et al., 2007) เช่นเดียวกับการศึกษา ในต้นถั่วลิสง 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ JL-24 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ไวต่อสภาวะแล้ง และพันธุ์ K-1375 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ทนต่อสภาวะแล้ง พบว่าในต้นถั่วลิสงพันธุ์ JL-24 มีการสะสมของปริมาณโปรตีนสูงที่สุด (1.766 ไมโครโมลต่อกรัม) เมื่อได้รับสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 21 วันและในต้นถั่วลิสงพันธุ์ K-1375 มีการสะสมโปรตีนในปริมาณสูงที่สุด (6.751 ไมโครโมลต่อกรัม) เมื่อได้รับสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 21 วัน ซึ่งมากกว่าต้นถั่วลิสงพันธุ์ JL-24 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Solanki et al., 2014) เช่นเดียวกับงานวิจัยที่ได้ทดลองในต้นข้าว จำนวน 6 พันธุ์ ได้แก่ DA8, Malagkit Pirurutong, Thierno Bande, Pate Blance MN1, Kinandany Patong และ Moroberekan ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งระดับปานกลางและระดับรุนแรง พบว่ามีการสะสมของโปรตีนในปริมาณเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในต้นข้าวพันธุ์ DA8 ที่มีการสะสมของโปรตีนสูงถึง 24.13 ไมโครโมลต่อกรัม (สภาวะแล้งระดับปานกลาง) และ 27.67 ไมโครโมลต่อกรัม (สภาวะแล้งระดับรุนแรง) (Dien et al., 2019) นอกจากนี้ยังพบว่าพืชมีการสะสมของปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นเมื่อพืชได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งในพืชหลายชนิด เช่น ต้นถั่วลูกไก่ (Mafakheri et al., 2010) และต้นหอมใหญ่ (Hanci & Cebeci, 2014) เป็นต้น



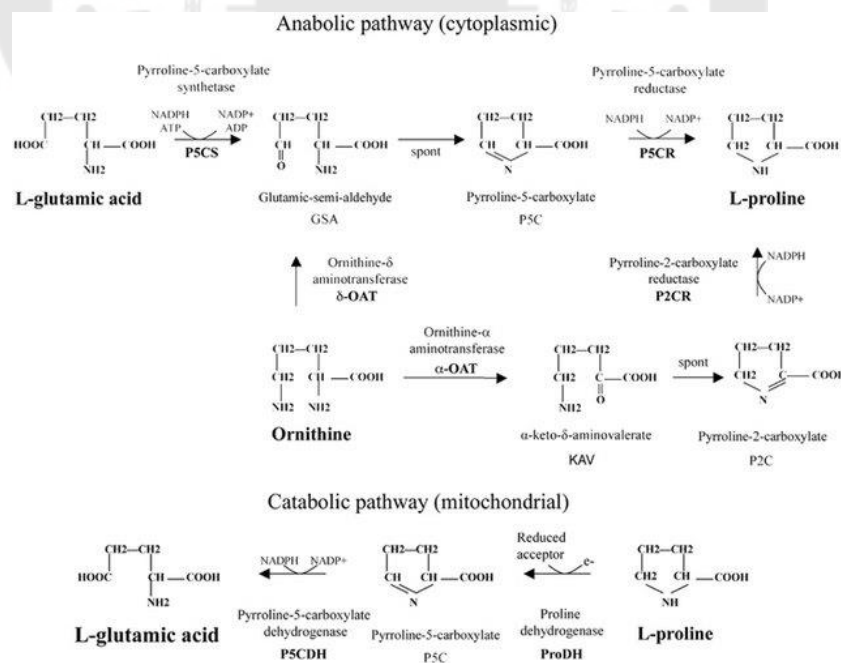
ภาพประกอบ 11 โครงสร้างของโพรลีน (Proline structure)

ที่มา: (Beghetto, 2013)

การสังเคราะห์โพรลีนในพืชชั้นสูง (ภาพประกอบ 13) ถูกสร้างขึ้นในคลอโรพลาสต์และไมโทคอนเดรียซึ่งมีกระบวนการสร้างคล้ายกับไนโตรแครีโอต โดยกระบวนการสร้างจะผ่านสารตั้งต้นได้แก่ วิถีกลูตาเมต (Glutamate pathway) หรือวิถีออธรีนีน (Ornithine pathway) (Delauney & Verma, 2002)

วิถีกลูตาเมต (Glutamate pathway) เป็นกระบวนการสังเคราะห์โพรลีนที่พบทั้งในโพรแครีโอตและยูแคริโอตโดยจะใช้สารตั้งต้นเป็น L-Glutamic acid เปลี่ยนเป็น Glutamic-semi-aldehyde (GSA) โดยเอนไซม์ Pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5C5) และ Glutamic-semi-aldehyde (GSA) จะถูกเปลี่ยนเป็น Pyrroline-5-carboxylate (P5C) ก่อนที่จะถูกเปลี่ยนเป็น L-Proline โดยเอนไซม์ Pyrroline-5-carboxylate reductase (P5CR)

วิถีออธรีนีน (Ornithine pathway) จะถูกเปลี่ยนด้วยเอนไซม์ 2 ชนิดได้แก่ Ornithine- δ aminotransferase ได้เป็น Glutamic-semi-aldehyde (GSA) ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็น L-Proline และ Ornithine- α aminotransferase โดย Ornithine จะถูกเปลี่ยนเป็น α -keto- δ aminotransferase และเปลี่ยนเป็น Pyrroline-2-carboxylate (P2C) L-Proline (Trovato et al., 2008)

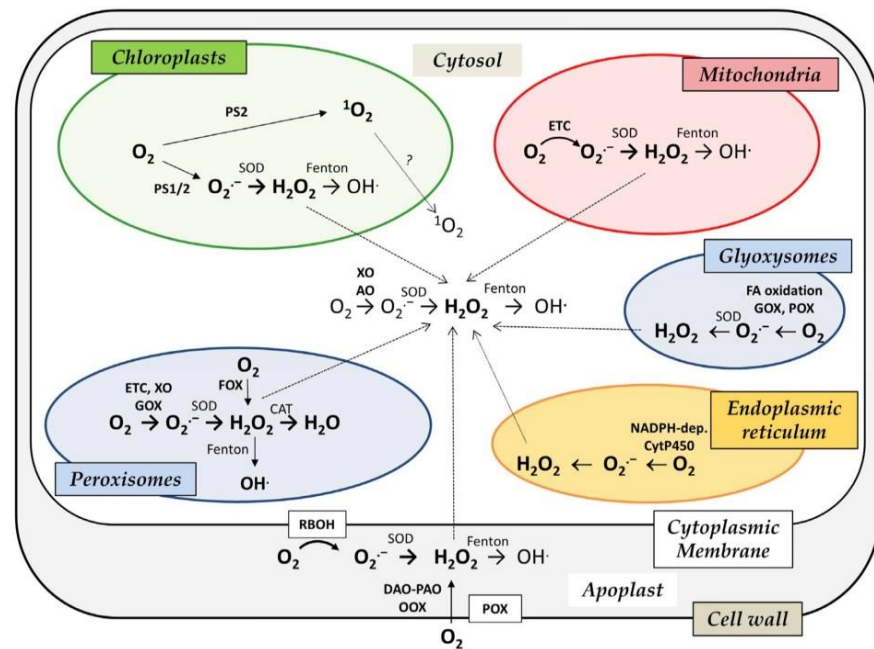


ภาพประกอบ 12 กระบวนการสังเคราะห์และสลายโพรลีนในพืชชั้นสูง

ที่มา: (Trovato et al., 2008)

อนุมูลอิสระ (Free radical)

อะตอมหรือโมเลกุล ที่มีอิเล็กตรอนไม่เป็นคู่ (Unpaired electron) อย่างน้อย 1 ตัว โคจรรอบวงนอกสุด อนุมูลอิสระเกิดขึ้นได้เมื่อพันธะระหว่างอะตอมแตกออก ทำให้อนุมูลอิสระไม่เสถียร และไวต่อการเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว จึงทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่อยู่รอบ ๆ โดยดึงหรือให้อิเล็กตรอนแก่โมเลกุลข้างเคียงเพื่อให้เกิดสภาวะเสถียร โมเลกุลข้างเคียงที่สูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนจะกลายเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) เมื่อพืชได้รับความเครียดจะเกิดอนุมูลอิสระในกลุ่ม Reactive oxygen species (ROS) (ภาพประกอบ 14) ได้แก่ Peroxides (H_2O_2), Superoxide (O_2^-), Hydroxyl radical (HO^2) และ Singlet oxygen (1O_2) การเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระจะส่งผลกระทบต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา การตอบสนองทางชีวเคมี สรีรวิทยาและการตอบสนองในระดับยีนของพืช (Upadhyaya et al., 2013) เมื่อพืชได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งจะส่งผลให้เกิดการสะสมของอนุมูลอิสระ เช่น ต้นข้าวฟ่างที่ได้รับสภาวะแล้งเป็นเวลา 16 วัน พบว่าในใบของข้าวฟ่างมีการสะสม H_2O_2 สูงถึง 113% และในรากมีการสะสม H_2O_2 38% เมื่อเทียบกับชุดควบคุม จากการสะสมของ H_2O_2 พบว่าก่อให้เกิดการตายของเซลล์ และส่งผลทำให้มวลรวมของข้าวฟ่างลดลง (Nxele et al., 2017) เช่นเดียวกับในการทดลองในต้นมันฝรั่งที่ได้รับสภาวะแล้ง พบว่ามีการสะสมของ H_2O_2 สูงขึ้น 18% ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับต้นมันฝรั่งที่ปลูกในสภาวะปกติ นอกจากนี้ยังพบว่า H_2O_2 ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของมาลอนไดอัลดีไฮด์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นดังกล่าวจะกระตุ้นให้เกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน และการเสียหายของเซลล์ต่อไป (Hossain, 2013)



ภาพประกอบ 13 การเกิดอนุมูลอิสระและการกำจัดภายในเซลล์พืช

ที่มา: (Janku et al., 2019)

ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide , H_2O_2)

ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide , H_2O_2) เป็นหนึ่งใน Reactive oxygen species (ROS) ที่พบได้ในพืช ในสภาวะปกติ H_2O_2 มีบทบาทในการกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช เช่น กระบวนการแก่ของพืช การหายใจ และการสังเคราะห์ด้วยแสง การเปิดปิดปากใบ วัฏจักรเซลล์ และการเจริญเติบโตของพืช (Quan et al., 2008) นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญเมื่อพืชได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมรวมถึงความเครียดจากความแล้งพบว่าพืชมีการสะสมปริมาณ H_2O_2 เพิ่มขึ้น (Dat et al., 2000) เช่นในข้าว (*Oryza sativa* L. cv. KDML105) ที่ได้รับความเครียดจากความแล้งพบว่าข้าวมีการสะสม H_2O_2 เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ได้รับความเครียดจากความแล้ง (Jira-Anunkul & Pattanagul, 2020) และในงานวิจัยที่ศึกษาผลของความเครียดจากความแล้งที่มีต่อแตงกวา พบว่าแตงกวาที่ได้รับความเครียดจากความแล้งมีการสะสมปริมาณ H_2O_2 เพิ่มขึ้น (Sun et al., 2016) จากรายงานการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้พบว่าสารในกลุ่มบราสสิโนสเตียรอยด์ รวมถึง 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) มีความสามารถในการลดการสะสม H_2O_2 โดย DHECD จะกระตุ้น

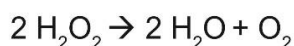
การทำงานของเอนไซม์คะตะเลส (Catalase, CAT) ซึ่งจะทำลาย H_2O_2 ที่เกิดจากการชักนำจากความเครียด (Luna et al., 2005)

มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde, MDA)

MDA เป็นโมเลกุลที่ประกอบไปด้วยคาร์บอน (C) 3 อะตอม และอัลดีไฮด์ 2 กลุ่มที่เกาะอยู่บริเวณปลายสายคาร์บอนที่ตำแหน่งที่ 1 และ 3 โดย MDA จะ active เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีค่า pH ต่ำ MDA จะถูกกระตุ้นให้เกิดการเพิ่มปริมาณ โดย nonenzymatically ได้แก่ ROS และกลุ่มที่เป็น enzymatically ได้แก่ lipoxygenase (Farmer & Mueller, 2013) โดย MDA มักถูกนำมาใช้ในการวัดการเกิดกระบวนการ Lipidperoxidation ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดจากการ Oxidative stress เกิดการทำลายสายของ Polyunsaturated fatty acid หรือกรดไขมันไม่อิ่มตัว กระบวนการดังกล่าวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างและความแข็งแรงของเมมเบรน และได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็น MDA (Yadav et al., 2019) มาลอนไดอัลดีไฮด์ เป็นหนึ่งในตัวบ่งชี้ที่ทำให้ทราบถึงการเสียหายของลิพิดเมมเบรนซึ่งเกิดจากการสะสม ROS รวมถึง H_2O_2 ที่มาจากความเครียดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม เช่น ความเครียด (Kong et al., 2016) เช่น ในข้าว (*Oryza sativa* L. cv. KDML105) ที่ได้รับความเครียดจากความเครียดพบว่าข้าวมีการสะสม MDA เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวที่ไม่ได้รับความเครียดจากความเครียด (Jira-Anunkul & Pattanagul, 2020) จากรายงานการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้พบว่าสารในกลุ่มบราสซิโนสตีรอยด์ รวมถึง 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) มีความสามารถในการลดการสะสมปริมาณ MDA เนื่องจากสามารถเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระดังกล่าวเป็นตัวชักนำให้เกิดการเสียหายของลิพิดเมมเบรนและเกิดการสะสมของ MDA (Khrpach et al., 2000) เช่น ในงานวิจัยของ Behnamnia et al. (2009) ที่ได้ศึกษาผลของสาร 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 0.01 และ 1 ไมโครโมลาร์ ให้กับต้นมะเขือเทศ (*Lycopersicon esulentum* Mill. Var. Tomba (BB204)) ที่ได้รับความเครียดจากความเครียด พบว่ามีปริมาณ MDA ลดลง เมื่อเทียบกับต้นมะเขือเทศที่ได้รับความเครียดจากความเครียดแต่ไม่ได้รับสาร 24-epibrassinolide และในต้นแรดิช (*Raphanus sativus* L.) ที่ได้รับความเครียดจากความเครียด พบว่าต้นแรดิชที่ได้รับสาร 24-epibrassinolide และ 28-homobrassinolide มีปริมาณ MDA ลดลง เมื่อเทียบกับต้นแรดิชที่ได้รับความเครียดจากความเครียดแต่ไม่ได้รับสาร 24-epibrassinolide และ 28-homobrassinolide (Mahesh et al., 2013)

Catalase (CAT) (EC 1.11.1.6)

ความเครียดจากความแห้งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ชักนำให้เกิดความเครียดออกซิเดทีฟ เนื่องจากความแห้งทำให้เกิดการสะสม reactive oxygen species (ROS) เช่น Hydrogen peroxide (H_2O_2), Singlet oxygen (1O_2) การสะสมดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อทำให้ภายในเซลล์พืชเป็นพิษและเสียหาย ดังนั้นพืชจึงมีกลไกในการลดความเครียดที่เกิดจากการสะสม ROS โดยการสร้างสารกลุ่มที่ไม่ใช่เอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (Nonenzymatic antioxidants) เช่น วิตามินซี (Ascorbic acid) และกลุ่มที่เป็นเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (Enzymatic antioxidants) เช่น เอนไซม์คะตะเลส (Catalase, CAT) ซึ่งมีบทบาทในการกำจัด H_2O_2 (Sarker & Oba, 2018) โดยเอนไซม์เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณของสารตั้งต้น ที่เปลี่ยนแปลงด้วยปฏิกิริยาเฉพาะของเอนไซม์จำนวนหนึ่งในหนึ่งหน่วยเวลา นอกจากนี้ยังมีค่า Specific activity ซึ่งเป็นค่าที่วัดจำนวนการทำงานของเอนไซม์ต่อมิลลิกรัมโปรตีน ค่า Specific activity ยังใช้บ่งบอกความบริสุทธิ์ของเอนไซม์ (Roberts & Gibb, 2013) เช่นในงานวิจัยของ Sarker and Oba (2018) ที่ศึกษาผลของความเครียดจากความแห้งในต้นผักโขมสวน (*Amaranthus tricolor*) พบว่าต้นผักโขมมีการเพิ่มขึ้นของ CAT เมื่อพืชได้รับความเครียดจากความแห้งในระดับกลางและระดับรุนแรง เมื่อเทียบกับต้นผักโขมที่อยู่ในชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเครียดจากความแห้ง และในงานวิจัยของ Mafakheri et al. (2011) พบว่าของความเครียดจากความแห้งที่มีต่อต้นถั่วลูกไก่ (*Cicer arietinum*) พบว่าในระยะ Vegetative ที่ได้รับความเครียดจากความแห้งมีการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์ CAT เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับความเครียดจากความแห้ง จากรายงานการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้พบว่าสารในกลุ่มบราสซิโนสตีรอยด์ รวมถึงสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) มีความสามารถในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์คะตะเลส (Catalase, CAT) ซึ่งมีหน้าที่ทำลาย H_2O_2 ที่เกิดจากการชักนำจากความเครียดจากความแห้ง (Luna et al., 2005)



ภาพประกอบ 14 สมการการทำงานของเอนไซม์ Catalase (CAT)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การจำลองสภาวะแล้งให้กับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่

ตอนที่ 2 การหาระดับความเข้มข้นของสาร DHECD ที่เหมาะสมกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง โดยทำการศึกษา ดังนี้

วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี

1. วัสดุและอุปกรณ์สำหรับเตรียมต้นกล้า ได้แก่

เมล็ดพันธุ์ข้าวไรซ์เบอร์รี่

ขวดแก้ว

สารละลายธาตุอาหารพืชสูตร WP No.2 (Vajrabhaya & Vajrabhaya, 1991)

ดินเหนียว

กระดาษ

2. วัสดุและอุปกรณ์สำหรับวัดคุณสมบัติและความชื้นในดิน ได้แก่

เครื่อง Soil moisture meter

3. วัสดุและอุปกรณ์สำหรับวัดการเจริญเติบโตทางลำต้นและการให้ผลผลิต ได้แก่

เครื่อง Chlorophyll meter (SPAD-502, Konica Minolta Co., Ltd., Japan)

เครื่อง Chlorophyll fluorometer (Pocket PEA, Hansatech Instruments Ltd,

King's Lynn, Norfolk, UK)

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

80% (v/v) Ethanol

Anthrone

72% (v/v) Sulfuric acid

3% (w/v) Sulfosalicylic acid

Glacial acetic acid

Acid ninhydrin

Toluene

4. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

Dimethyl sulfoxide (DMSO)

Acidic methanol

5. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระ ได้แก่

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (รุ่น Unico S1200 Visible Spectrophotometer, United Products & Instruments, Inc.)

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงยูวี (UV-VIS Spectrophotometer รุ่น UV-1800, Shimadzu Scientific Instruments, Japan)

10 mM Potassium phosphate buffer (pH 7.0)

50 mM Potassium phosphate buffer (pH 7.0)

4% (w/v) Polyvinyl-polypyrrolidone (PVP)

13 mM Methionine

75 μ M Nitroblue tetrazolium (NBT)

2 μ M Riboflavin

15 mM Hydrogen peroxide

15 mM Hydrogen peroxide

0.5 mM Ascorbic acid

6. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้แก่

Verner caliper

เครื่องชั่งน้ำหนัก

สรุปขั้นตอนของการวิจัย

ตอนที่ 1 การจำลองสภาวะแสงให้กับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่

โดยการจำลองสภาวะแสงด้วยสารละลายธาตุอาหารพืชสูตร WP No.2 (Vajrabhaya & Vajrabhaya, 1991) ที่มีสาร Polyethylene glycol (PEG6000) ที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10, 15 และ 20% (w/v) ตามลำดับ โดยทำการศึกษา ดังนี้

1.1 ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Fv/Fm) และค่า Performance index (Pi)

1.2 ค่าดัชนีความเขียวของใบ

ตอนที่ 2 การหาระดับความเข้มข้นของสาร DHECD ที่เหมาะสมกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแสง โดยทำการศึกษา ดังนี้

2.1 ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Fv/Fm) และค่า Performance index (Pi)

2.2 ค่าดัชนีความเขียวของใบ

2.3 ปริมาณรงควัตถุ

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแสง โดยทำการศึกษา ดังนี้

3.1 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

3.1.1 ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Fv/Fm) และค่า Performance index (Pi)

3.1.2 ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

3.1.2.1 คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

3.1.2.2 แอนโทไซยานิน

3.1.3 การเจริญเติบโตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยทำการศึกษา ดังนี้

3.1.3.1 ความยาวส่วนต้น

3.1.3.2 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง

3.1.4 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการ

3.1.4.1 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์

3.1.4.2 ปริมาณน้ำตาล

3.1.4.3 ปริมาณโปรตีน

3.1.4.4 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

3.1.4.5 ปริมาณไลออลไดอัลดีไฮด์

3.1.5 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ Catalase (CAT)

3.2 การฟื้นตัวของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการจำลองความเครียดจากสภาวะแล้ง

3.3 คุณภาพของผลผลิต

3.3.1 จำนวนเมล็ดต่อกอ

3.3.1.1 จำนวนเมล็ดดีต่อกอ

3.3.1.2 จำนวนเมล็ดลีบต่อกอ

3.3.1.3 จำนวนเมล็ดรวมต่อกอ

3.3.2 รวง

3.3.2.1 ความยาวรวง

3.3.2.2 น้ำหนักรวง

3.3.3 น้ำหนักเมล็ดข้าว 100 เมล็ด

3.3.4 ขนาดเมล็ด

3.3.4.1 ความกว้างเมล็ด

3.3.4.2 ความหนาเมล็ด

3.3.4.3 ความยาวเมล็ด

3.3.5 ปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าว

วิธีการ

การเตรียมต้นกล้าของข้าวไรซ์เบอร์รี่

นำเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ จำนวน 3,000 เมล็ดไปแช่ในน้ำ เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยระหว่างนี้เมล็ดข้าวที่ลอยน้ำ หรือไม่มีรากแรกเกิด (Radicle) งอกออกมาจะคัดทิ้ง เมื่อครบระยะเวลา 72 ชั่วโมง นำเมล็ดไปเรียงในตะกร้าที่มีกระดาษเพาะเมล็ดวางรองไว้และนำตะกร้าวางซ้อนลงไปบนกระบะ จากนั้นเติมน้ำลงในกระบะให้ตะกร้าและกระดาษเพาะเมล็ดเปียกชุ่ม ไล่อากาศออกจากกระดาษ ไม่ให้เกิดเป็นฟองอากาศ เมื่อครบ 7 วัน ต้นกล้าเริ่มมีใบเขียวจึงนำต้นกล้ามาใส่ในขวดที่มีสารละลายธาตุอาหารพืชสูตร WP No.2 (Vajrabhaya & Vajrabhaya, 1991) โดยวางในโรงเรือนที่มีแสงธรรมชาติตลอดระยะเวลาทำการทดลอง ควบคุมระดับของสารละลายธาตุอาหาร โดยเติมน้ำกรองให้สารละลายอยู่ในระดับเดียวกันกับตอนเริ่มทำการทดลองทุกวัน

และเปลี่ยนสารละลายทุก 5 วัน เมื่อครบกำหนด 15 วัน ทำการคัดเลือกต้นกล้าข้าวที่มีขนาดความสูงของต้นที่สม่ำเสมอ เพื่อนำมาใช้ในการหาระดับความแล้งสูงสุดที่ต้นข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ และทำการเพาะต้นกล้าข้าวส่วนที่เหลือให้มีอายุ 35 วัน แล้วทำการคัดเลือกต้นข้าวที่มีขนาดความสูงสม่ำเสมอเพื่อนำไปปักดำลงในกระถางที่ใส่ดินเหนียว จำนวน 200 กระถาง ๆ ละ 10 ต้น โดยทำการขังน้ำในระดับที่พอเหมาะเพื่อเตรียมต้นกล้าสำหรับนำไปใช้ในการทดลองตอนที่ 2

ตอนที่ 1 การจำลองสภาวะแล้งให้กับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่

แบ่งต้นกล้าข้าวออกเป็น 5 ชุดการทดลอง โดยการจำลองให้ต้นข้าวได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ด้วยการปลูกต้นข้าวในสารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่มี Polyethylene glycol (PEG 6000) ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 สารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2

ชุดการทดลองที่ 2 สารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่มีความเข้มข้น 5% (w/v) PEG6000

ชุดการทดลองที่ 3 สารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่มีความเข้มข้น 10% (w/v) PEG6000

ชุดการทดลองที่ 4 สารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่มีความเข้มข้น 15% (w/v) PEG6000

ชุดการทดลองที่ 5 สารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่มีความเข้มข้น 20% (w/v) PEG6000

นำต้นข้าวที่มีอายุครบ 15 วันและมีขนาดความสูงสม่ำเสมอ มาใส่ในขวดแก้วสำหรับปลูกต้นข้าวที่มีสารละลายธาตุอาหารพืชสูตร WP No.2 (Vajrabhaya & Vajrabhaya, 1991) โดยในสายละลายธาตุอาหารพืชที่มีสาร Polyethylene glycol (PEG6000) ที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10, 15 และ 20% (w/v) ตามลำดับ เพื่อจำลองสภาวะแล้งให้กับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยเก็บตัวอย่างต้นข้าวในแต่ละชุดการทดลอง ชุดละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 20 ต้น ในวันที่ 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42, 45, 48 และ 51 วัน (รวมทั้งหมด 18 ครั้ง) เพื่อศึกษา

1.1 ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Fv/Fm) และค่า Performance index (Pi)

วัดค่าประสิทธิภาพการใช้แสงของใบข้าว โดยใช้เครื่องมือประเภท Pulse amplitude modulation fluorometer (PAM 2500 บริษัท Heinz Walz GmbH ประเทศเยอรมัน) ก่อนการวัด

ค่า Maximum quantum yield of PSII photochemistry (F_v/F_m) ต้องทำการ Dark-adapted โดยการหนีบใบด้วย Dark leaf clip นาน 15-20 นาที เพื่อให้มีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนผ่านระบบแสงที่สอง (PSII) เสร็จสิ้นแล้ว Reaction centers จะอยู่ในสภาพเปิด หลังจากนั้นนำ Dark leaf clip ออก แล้วทิ้งให้ใบรับแสงที่ความเข้มแสงประมาณ $120 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ เป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงวัดค่า Effective quantum yield of PSII photochemistry (Φ_{PSII}) ด้วย Leaf-clip holder ในสภาพแสงธรรมชาติและทำการวัดค่า Photochemical quenching (qP), Non-photochemical quenching (qN) และ Electron transport rate (ETR) ตามสมการของ Guo et al. (2005) ดังนี้

$$qP = (F_m - F_s) / (F_m - F_o)$$

$$qN = [(F_m - F_s) / (F_m - F_o)] - 1$$

$$ETR = \text{yield} \times \text{PPF} \times 0.5 \times \alpha_{\text{leaf}}$$

เมื่อ

F_m = ค่าฟลูออเรสเซนซ์สูงสุดที่วัดได้ขณะที่ใบพืชอยู่ในสภาพมืด
เมื่อให้ความเข้มแสงสูงเต็มที่ (Maximum fluorescence)

F_o = ค่าฟลูออเรสเซนซ์ต่ำสุดที่วัดได้ขณะที่ใบพืชได้รับแสง
(Minimum fluorescence in luminated leaves)

F_s = ค่าฟลูออเรสเซนซ์ที่วัดได้ขณะที่ใบพืชได้รับแสง (Steady-state fluorescence)

PPF = ความเข้มแสง, $\mu\text{molPPF m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

α_{leaf} = สัดส่วนของแสงที่ตกกระทบ และถูกดูดกลืนโดยใบ (Fraction of incident light absorbed by leaf มีค่าเท่ากับ 0.84)

1.2 ค่าดัชนีความเขียวของใบ

วัดค่าดัชนีความเขียวของใบ (SPAD value) ด้วยเครื่อง Chlorophyll meter โดยวัดใบข้าวใน 1 ชุดการทดลอง ทำการวัดจำนวน 4 ซ้ำ ใน 1 ซ้ำ โดยทำการวัด 3 ต้น เลือกวัดใบที่ 3 ของต้น ทำการวัด 3 ตำแหน่งของใบ ได้แก่ ปลายใบ กลางใบ และโคนใบของในแต่ละใบ แล้วบันทึกค่าเฉลี่ย

ตอนที่ 2 การหาระดับความเข้มข้นของสาร DHECD ที่เหมาะสมกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

จากผลการทดลองตอนที่ 1 พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถทนต่อระดับความเครียดจากสภาวะแล้งได้สูงสุดที่ระดับ 10% (w/v) PEG 6000 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาความเครียดจากสภาวะแล้งที่ระดับ 10% (w/v) PEG 6000 เพื่อใช้ในการทดลองตอนที่ 2 โดยทำการหาระดับของความเข้มข้นของสาร DHECD ที่เหมาะสมในการพ่นให้กับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง โดยแบ่งชุดการทดลอง ออกเป็น 4 ชุด การทดลอง ๗ ละ 4 ซ้ำ โดยปลูกต้นข้าวในสารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่มีความเข้มข้น 10% (w/v) PEG6000 จำนวน 4 ซ้ำละ 10 ต้น ทำการพ่นสารละลาย DHECD ที่ระดับความเข้มข้น 0, 1 และ 1.5 ไมโครโมลาร์ ในวันที่ 0 ของการทดลองโดยพ่นสาร DHECD ในตอนเช้าตรู่ (โดยทำการพ่นสารให้กับต้นข้าวเพียง 1 ครั้ง) และพ่นสาร DHECD ให้กับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ ปริมาตร 5 มิลลิลิตรต่อต้น โดยมีชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ปลูกในสภาวะปกติ ที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

ชุดการทดลองที่ 2 ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่มีความเข้มข้น 10% (w/v) PEG6000 ที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

ชุดการทดลองที่ 3 ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่มีความเข้มข้น 10% (w/v) PEG6000 และพ่นด้วยสารละลาย DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์

ชุดการทดลองที่ 4 ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่มีความเข้มข้น 10% (w/v) PEG6000 และพ่นด้วยสารละลาย DHECD ความเข้มข้น 1.5 ไมโครโมลาร์

ทำการเก็บผลการทดลองทุก ๆ 3 วัน ต่อกันเป็นเวลา 12 วัน เพื่อนำมาศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ Fv/Fm ค่า Pi ค่าดัชนีความเขียวของใบ และปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ในใบตามวิธีการ ดังนี้

2.1 ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Fv/Fm) และค่า Performance index (Pi)

โดยมีวิธีการทดลองเหมือนกับการทดลองในข้อที่ 1.1

2.2 ค่าดัชนีความเขียวของใบ

โดยมีวิธีการทดลองเหมือนกันกับการทดลองในข้อที่ 1.2.2

2.3 ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

การวิเคราะห์รงควัตถุในใบพืช ดัดแปลงจากวิธีของ Wellburn (1994) โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม สัดส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี และปริมาณแคโรทีนอยด์ โดยตัดเนื้อเยื่อใบของข้าวไรซ์เบอร์รี่ในแต่ละชุดการทดลองในบริเวณที่วัดค่าดัชนีความเขียวของใบ ชั่งน้ำหนักใบ 10 มิลลิกรัม แล้วแช่ในสารละลาย Dimethyl sulfoxide (DMSO) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร วางไว้ในที่อุณหภูมิห้องและในที่มืดเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จนใบใส นำสารสกัดที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance, A) ที่ความยาวคลื่น 480, 649 และ 665 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสง (A) ที่วัดได้มาคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และปริมาณแคโรทีนอยด์ โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{Chlorophyll } a \text{ content (mg/g leaf F.W.)} = 12.47(A_{665}) - 3.62(A_{649})$$

$$\text{Chlorophyll } b \text{ content (mg/g leaf F.W.)} = 25.06(A_{649}) - 6.5(A_{665})$$

$$\text{Carotenoids content (mg/g leaf F.W.)} = [1000(A_{480}) - 1.29(Ca) - 53.78(Cb)] / 220$$

หมายเหตุ A = Absorbance, Ca = Chlorophyll a, Cb = Chlorophyll b

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

ทำการคัดเลือกต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่มีขนาดความสูงของต้นสม่ำเสมอเพื่อนำมาใช้สำหรับการศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) แบ่งชุดการทดลอง ออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 16 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น โดยปลูกต้นข้าวในกระถางที่มีดินเหนียว ซึ่งความเข้มข้นของสาร DHECD ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้จากผลการทดลองในตอนที่ 2 โดยเลือกใช้ที่ระดับความเข้มข้นของสาร DHECD 1 ไมโครโมลาร์ โดยมีชุดการทดลองดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ปลูกในสภาวะปกติ ที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

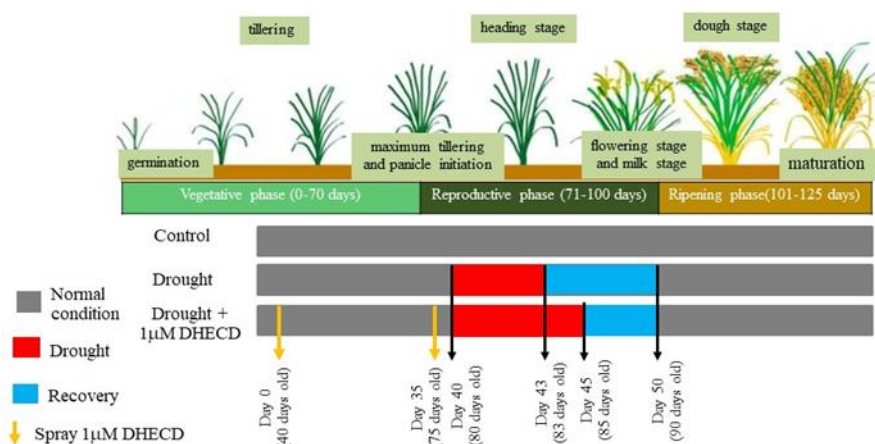
ชุดการทดลองที่ 2 ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในดินที่ควบคุมความชื้นที่ระดับ 10% FC ที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

ชุดการทดลองที่ 3 ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ปลูกในดินที่ควบคุมความชื้นที่ระดับ 10% FC และฉีดพ่นสารละลาย DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์

ต้นข้าวที่ใช้ในการทดลองนี้จะเริ่มทำการทดลองเมื่อต้นข้าวมีอายุ 40 วัน ซึ่งนับเป็นวันที่ 0 ของการทดลองที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD โดยในการทดลองนี้ ทำการพ่นด้วยสาร DHECD ให้กับต้นข้าว จำนวน 2 ระยะ ได้แก่

การพ่นครั้งที่ 1 เป็นการพ่นสาร DHECD ให้กับต้นข้าวในระยะ Vegetative ที่มีการแตกกอ (Tillering stage) ในวันที่ 0 ของการทดลอง (ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีอายุ 40 วัน นับจากวันที่ออกจากเมล็ด)

การพ่นครั้งที่ 2 เป็นการพ่นสาร DHECD ให้กับต้นข้าวในระยะ Reproductive ที่เริ่มสร้างช่อดอกอ่อน (Panicle initiation stage) ในวันที่ 35 ของการทดลอง (ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีอายุ 75 วัน นับจากวันที่ออกจากเมล็ด) (ภาพประกอบ 16)



ภาพประกอบ 15 ระยะการพ่นสาร DHECD และการจำลองสภาวะแล้งให้แก่ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่

ทำการฉีดพ่นด้วยสาร DHECD ที่ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ (ซึ่งได้จากผลการทดลองในตอนที่ 2) ปริมาตร 50 มิลลิลิตรต่อต้น ทำการเก็บผลการทดลองทุกๆ 5 วัน ตั้งแต่ข้าวไรซ์เบอร์รี่อายุ 40 วัน จนกระทั่งต้นข้าวมีอายุ 115 วัน โดยในระยะ Vegetative ทำการเก็บผลการทดลองทุกๆ 5 วัน (รวม 8 ครั้ง) และในระยะ Reproductive ทำการเก็บผลการทดลองทุกๆ 5 วัน (รวม 8 ครั้ง)

3.1 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

3.1.1 ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Fv/Fm)

และค่า Performance index (Pi)

โดยมีวิธีการทดลองเหมือนกับการทดลองในข้อที่ 1.1

3.1.2 ปริมาณรงควัตถุที่สำคัญของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

3.1.2.1 คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

โดยมีวิธีการทดลองเหมือนกับการทดลองในข้อที่ 2.3

3.1.2.2 แอนโทไซยานิน

การวัดปริมาณแอนโทไซยานินดัดแปลงจากวิธีของ Rabino and Mancinelli (1986) โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินรวมในใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยตัดชิ้นเนื้อเยื่อใบข้าว ซึ่งน้ำหนักให้ได้ 0.2 กรัม แล้วแช่ใน 80% Acidic methanol (เตรียมจาก 0.16% Ascorbic acid, 0.16% t-butyl hydroquinone และ 0.1% Hydrochloric acid) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ที่ไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12-18 ชั่วโมง หลังจากนั้นดูดสารละลายส่วนใส ปริมาตร 400 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติม 80% Acidic methanol ปริมาตร 600 ไมโครลิตร นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 และ 657 นาโนเมตร และนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินรวม ตามสมการดังนี้

$$\text{Anthocyanin} = (A_{530} - 0.25 \times A_{657}) \times M^{-1}$$

3.1.3 การเจริญเติบโตของข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยทำการศึกษา ดังนี้

3.1.3.1 ความยาวลำต้น

การวัดความยาวลำต้น โดยการวัดจากโคนของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ ไปจนถึงปลายของใบที่ยาวที่สุดด้วยสายวัดความยาว โดยเก็บผลการทดลอง 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 16 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น

3.1.3.2 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง

ทำการชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง โดยเก็บตัวอย่างจากต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในแต่ละชุดของการทดลอง แล้วนำตัวอย่างต้นข้าวที่เก็บมาโดยล้างทำความสะอาดส่วนต่าง ๆ ซับให้แห้ง แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักสด (Fresh weight, FW) แล้วนำตัวอย่างที่ชั่งน้ำหนักสดแล้วใส่ถุงกระดาษ

นำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำถุงกระดาษที่อบออกมาพักให้เย็น แล้วนำมาชั่งซ้ำอีกครั้งหนึ่ง จะได้ค่าของน้ำหนักแห้ง (Dry weight, DW)

3.1.4 การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการ

3.1.4.1 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์

เก็บตัวอย่างใบจากต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยเก็บผลการทดลอง 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 16 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น โดยเลือกเก็บใบที่ 3 ของต้น นำตัวอย่างที่เก็บมาล้างทำความสะอาด จากนั้นตัดตัวอย่างใบเป็นชิ้น 10 ชิ้นขนาดประมาณ 1x1 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักโดยน้ำหนักที่ได้คือน้ำหนักสด (Fresh weight, FW) แล้วนำตัวอย่างใบแช่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามกำหนดจึงนำขึ้นมาซับน้ำพอหมาด แล้วชั่งน้ำหนักโดยน้ำหนักที่ได้คือน้ำหนักพืชที่เต่งตัวเต็มที่ (Turgor weight, TW) นำตัวอย่างที่ชั่งน้ำหนักแล้วใส่ซองกระดาษแล้วอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เมื่อครบตามเวลา นำตัวอย่างออกมาพักให้เย็นแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนักโดยน้ำหนักที่ได้คือน้ำหนักแห้ง (Dry weight, DW) นำค่าที่ได้มาคำนวณตามสมการดังนี้

$$RWC = \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} \times 100$$

เมื่อ FW = น้ำหนักสดของพืช

TW = น้ำหนักพืชที่เต่งตัวเต็มที่

DW = น้ำหนักแห้งของพืช

3.1.4.2 ปริมาณน้ำตาล

การวัดปริมาณน้ำตาลรวมดัดแปลงจากวิธีของ (Robbins & Pharr, 1987) โดยเก็บผลการทดลอง 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 16 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น โดยวิเคราะห์ปริมาณรวมของน้ำตาลในใบข้าวไรซ์เบอร์รี่จากเนื้อเยื่อใบ 0.1 กรัม นำตัวอย่างมาบดในไนโตรเจนเหลว และเติม 80% เอทานอล (Ethanol) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างที่บด บ่มตัวอย่างที่ได้ที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำสารที่สกัดได้จากการบ่มใบข้าวไรซ์เบอร์รี่ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร มาเติมแอนโรนโรนรีเอเจนต์ ปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร แล้วต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลานำมาพักให้อุณหภูมิลดลง แล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

3.1.4.3 ปริมาณโพรลิน

การวัดปริมาณโพรลินดัดแปลงจากวิธีของ (Bates et al., 1973) โดยเก็บผลการทดลอง 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 16 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น โดยวิเคราะห์ปริมาณโพรลินในใบข้าวไรซ์เบอร์รี่จากเนื้อเยื่อใบ 0.2 กรัม นำตัวอย่างที่ซังน้ำหนักแล้วบดในไนโตรเจนเหลว เติมกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 3% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่าง กรองตัวอย่างให้ได้ส่วนใส นำสารละลายส่วนใส ปริมาตร 2 มิลลิลิตร มาเติมกรดอะซิติก 2 มิลลิลิตร และกรดนิไฮดริน 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและต้มในน้ำเดือด 1 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลา นำมาแช่ในน้ำแข็งเพื่อควบคุมอุณหภูมิและเติมโทลูอีน 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร แล้วนำผลมาเทียบกราฟมาตรฐาน

3.1.4.4 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามวิธีของ Sergiev and Alexieva (1997) โดยนำใบของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่หนัก 0.2 กรัม มาเติมในสารละลาย 0.1% Trichloroacetic acid (TCA) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อครบเวลานำออกมากรอง นำสารที่ได้ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตรมาเติม Phosphate buffer ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร บ่ม 20 นาที ก่อนนำมาเติม Potassium iodide ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 390 นาโนเมตร

3.1.4.5 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์

ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ตามวิธีของ Velikova et al. (2000) โดยนำใบของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่หนัก 0.2 กรัมมาเติมสารละลาย 0.1% Trichloroacetic acid (TCA) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อครบเวลานำออกมากรอง นำสารที่ได้ปริมาณ 1 มิลลิลิตร มาเติม 0.5% Thiobarbituric acid (TBA) ใน TCA 20% ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันก่อนนำไปต้มเป็นเวลา 30 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 และ 600 นาโนเมตร

3.1.4.6 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ Catalase (CAT)

3.1.4.6.1 การสกัดเอนไซม์ต้านออกซิเดชัน

การสกัดเอนไซม์ต้านออกซิเดชัน ตามวิธีของ (Badawi et al., 2004) ซังเนื้อเยื่อใบ หนัก 0.5 กรัม บดในโกร่งเย็นจัด พร้อมกับเติม Extraction buffer ที่ประกอบด้วย 50 มิลลิโมลาร์ ฟอสเฟสบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer pH 7.6) 1 มิลลิโมลาร์ แอสคอร์เบท และ 1 มิลลิโมลาร์

Ethylene diamine tetra-acetic acid (EDTA) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 14,000 rpm ที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 นาที เก็บรักษาสารสกัดเอนไซม์ (Enzyme extract) จากสารละลายส่วนบนไว้ในหลอดแช่แข็ง (Cryo tube) ไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ Catalase (CAT) เมื่อต้องการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ควรวางหลอดแช่แข็งในกล่องควบคุมอุณหภูมิ (Cryobox) จนกระทั่งสารสกัดเอนไซม์เริ่มละลายจึงนำมาใช้วัดกิจกรรมของเอนไซม์ต่อไป

3.1.4.6.2 การวัดกิจกรรมของเอนไซม์ Catalase (CAT, EC 1.11.1.6)

วัดกิจกรรมของเอนไซม์ CAT ตามวิธีของ Nakano and Asada (1981) โดยนำสารผสมระหว่าง โปแทสเซียม ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ (potassium phosphate buffer (pH 7.0) ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.8 มิลลิลิตร และสารละลาย H_2O_2 ความเข้มข้น 15 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เริ่มปฏิกิริยาโดยการเติมสารสกัดเอนไซม์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร วัดกิจกรรมของเอนไซม์ CAT จากอัตราการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 240 nm โดยบันทึกค่าทุก 20 วินาที เป็นระยะเวลา 4 นาที คำนวณกิจกรรมของเอนไซม์ ที่มีหน่วยเป็น $units\ min^{-1}\ gF.W.^{-1}$ โดยใช้ค่า extinction coefficient เท่ากับ $40\ mM^{-1}\ cm^{-1}$ ดัดแปลงจากวิธีของ (Velikova et al., 2000)

3.2 การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการฟื้นตัวของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการจำลองความเครียดจากสภาวะแล้ง

เมื่อต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่อายุครบ 80 วันนับจากวันที่ออกจากเมล็ด (วันที่ 40 ของการทดลอง นับจากวันที่เริ่มทำการทดลองวันที่ 0) ทำการรดให้น้ำเพื่อจำลองความแล้งให้แก่ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยระบายน้ำออกและงดการให้น้ำ ทำการควบคุมความชื้นของน้ำภายในดินด้วยวิธีการใช้เครื่องมือวัดความชื้นในดิน วัดความชื้นภายในดินทุก ๆ 2 วัน โดยทำการเก็บผลการทดลองทุกวันเป็นเวลา 7 วัน (ข้าวไรซ์เบอร์รี่จะได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งติดต่อกันเป็นเวลา 7 วัน) หลังจากทำการรดน้ำให้กับต้นข้าวในชุดทดลองเพื่อให้ต้นข้าวเข้าสู่ระยะการฟื้นตัว (Recovery) โดยบันทึกผลการให้คะแนนลักษณะของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง จากวิธีการดัดแปลงจาก (IRRI, 1996) ตามตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ดังนี้

ตาราง 2 การให้คะแนนความเครียดในข้าว ดัดแปลงจาก IRRI (1976)

คุณสมบัติ	คะแนน	ลักษณะ
ความต้านทาน	0	มีความต้านทานความแล้งสูง : ปลายใบปกติ
ต่อความแล้ง	1	มีความต้านทานความแล้ง : ปลายใบแห้ง
	3	มีความต้านทานความแล้งปานกลาง : ปลายใบถึง ¼ ของใบแห้ง
	5	มีความไวต่อความแล้งปานกลาง : ¼ ถึง ½ ของใบแห้ง
	7	มีความไวต่อความแล้ง : ¼ ถึง ½ ของใบแห้ง
	9	มีความไวต่อความแล้งสูง : พืชทั้งต้นตาย

ตาราง 3 การให้คะแนนความเครียดในข้าว ดัดแปลงจาก IRRI (1976)

คะแนนการฟื้นตัวหลังได้รับ ความแล้ง	1	90-100% ของพืชฟื้นตัว
	3	70-89% ของพืชฟื้นตัว
	5	40-69% ของพืชฟื้นตัว
	7	20-39% ของพืชฟื้นตัว
	9	0-19% ของพืชฟื้นตัว
คะแนนความ ม้วนของใบ	0	ใบปกติไม่พบการม้วนตัว
	1	ขอบใบเริ่มมีการโค้งขึ้น
	3	ขอบใบมีการโค้งขึ้น (ลึกเป็นตัว V)
	5	มีการโค้งทั้งใบ (คล้ายตัว U)
	7	ใบมีการม้วน (คล้ายตัว O)
9	ใบม้วนแน่น (คล้ายเข็ม)	

3.3 คุณภาพของผลผลิต

เก็บผลการทดลอง 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 16 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น ดังนี้

3.3.1 จำนวนเมล็ดตอกอ

3.3.1.1 จำนวนเมล็ดดีตอกอ

จำนวนเมล็ดดีตอกอ = (จำนวนเมล็ดดีทั้งรวงต่อซ้ำ) / (จำนวนเมล็ดรวมทั้งรวงต่อซ้ำ)

3.3.1.2 จำนวนเมล็ดลีบตอกอ

จำนวนเมล็ดลีบตอกอ = (จำนวนเมล็ดลีบทั้งรวงต่อซ้ำ) / (จำนวนเมล็ดรวมทั้งรวงต่อซ้ำ)

3.3.1.3 จำนวนเมล็ดรวม

จำนวนเมล็ดรวม = จำนวนเมล็ดดีตอกอ + จำนวนเมล็ดลีบตอกอ

3.3.2 รวง

3.3.2.1 ความยาวรวง

โดยทำการวัดจากข้อแรกของท้ายรวงขึ้นมาถึงปลายรวง

3.3.2.2 น้ำหนักรวง

โดยนำรวงที่ได้จากข้อ 3.3.2.1 มาชั่งเพื่อบันทึกน้ำหนัก

3.3.3 น้ำหนักเมล็ดข้าว 100 เมล็ด

โดยสุ่มเมล็ดข้าว 100 เมล็ด ที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์

3.3.4 ขนาดเมล็ด

3.3.4.1 ความกว้างเมล็ด

3.3.4.2 ความหนาเมล็ด

3.3.4.3 ความยาวเมล็ด

3.3.5 ปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าว

การวัดปริมาณแอนโทไซยานินดัดแปลงจากวิธีของ (Rabino & Mancinelli, 1986) โดยเก็บผลการทดลอง 4 ชุดการทดลอง ๆ ละ 16 ซ้ำ ๆ ละ 4 ต้น โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินรวมในเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยนำเมล็ดข้าวชั่งน้ำหนัก 0.2 กรัม แล้วแช่ใน Acidic methanol 80% (เตรียมจาก 0.16% Ascorbic acid, 0.16% t-butyl hydroquinone และ 0.1% Hydrochloric acid) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12-18 ชั่วโมง

หลังจากนั้นดูดสารละลายส่วนใส ปริมาตร 400 ไมโครลิตร ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติม Acidic methanol 80% ปริมาตร 600 ไมโครลิตร นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 และ 657 นาโนเมตร และนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณแอนโทไซยานินรวม ตามสมการดังนี้

$$\text{Anthocyanin} = (A_{530} - 0.25 \times A_{657}) \times M^{-1}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple-range test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS version 23 (Statistics package for the social sci)



บทที่ 4

ผลการทดลอง

ระดับความแล้งที่ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถทนได้

ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (chlorophyll fluorescence, Fv/Fm) ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

จากผลการทดลองตามตาราง 4 พบว่า ในวันที่ 3 ของการทดลอง เมื่อต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่ระดับ 5% (W/V) PEG6000 มีค่า Fv/Fm ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม ที่ระดับ 10% (W/V) PEG6000 มีค่า Fv/Fm ลดลง คิดเป็น 0.98 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระดับ 15% (W/V) PEG6000 มีค่า Fv/Fm ไม่แตกต่างกับต้นข้าวในชุดควบคุม ที่ระดับ 20% (W/V) PEG6000 มีค่า Fv/Fm ลดลง คิดเป็น 0.81 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 6 ของการทดลองที่ระดับ 5% (W/V) PEG6000 มีค่า Fv/Fm มากกว่า คิดเป็น 1.01 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระดับ 10% (W/V) PEG มีค่า Fv/Fm ไม่แตกต่างกับต้นข้าวในชุดควบคุม ที่ระดับ 15% (W/V) PEG6000 มีค่า Fv/Fm ลดลง คิดเป็น 0.82 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระดับ 20% (W/V) PEG6000 มีค่า Fv/Fm ลดลง คิดเป็น 0.02 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 9 ของการทดลองเมื่อต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่ระดับ 5% (W/V) PEG6000 มีค่า Fv/Fm มากกว่า คิดเป็น 1.02 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระดับ 10% (W/V) PEG6000 มีค่า Fv/Fm ไม่แตกต่างกับต้นข้าวในชุดควบคุม ที่ระดับ 15% (W/V) PEG6000 มีค่า Fv/Fm ลดลง คิดเป็น 0.69 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระดับ 20% (W/V) PEG6000 มีค่า Fv/Fm ลดลง คิดเป็น 0.02 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 12 ของการทดลองของการทดลองเมื่อต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่ระดับ 5% (W/V) PEG6000 มีค่า Fv/Fm เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.02 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระดับ 10% (W/V) PEG6000 มีค่า Fv/Fm ไม่แตกต่างกับต้นข้าวในชุดควบคุมที่ระดับ 15% (W/V) PEG6000 มีค่า Fv/Fm ลดลง คิดเป็น 0.95 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระดับ 20%

ตาราง 4 ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Chlorophyll fluorescence, Fv/Fm) ของต้นข้าวไรซ์เบอ
ที่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

Day(s)	ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (chlorophyll fluorescence, Fv/Fm)				
	(ค่าเฉลี่ย \pm SE)				
	Treatment (s)				
	Control	5% (W/V) PEG6000	10% (W/V) PEG6000	15% (W/V) PEG6000	20% (W/V) PEG6000
0	0.805 \pm 0.004a	0.805 \pm 0.004a	0.804 \pm 0.002a	0.804 \pm 0.002a	0.805 \pm 0.004a
3	0.799 \pm 0.003c	0.796 \pm 0.004c	0.785 \pm 0.007b	0.8 \pm 0.004c	0.012 \pm 0.001a
6	0.785 \pm 0.004c	0.794 \pm 0.003d	0.79 \pm 0.005c	0.643 \pm 0.097b	0.014 \pm 0.001a
9	0.808 \pm 0.001c	0.823 \pm 0.002d	0.814 \pm 0.003c	0.56 \pm 0.12b	0.016 \pm 0.002a
12	0.807 \pm 0.002c	0.823 \pm 0.001d	0.802 \pm 0.006c	0.765 \pm 0.028b	0.032 \pm 0.007a
15	0.803 \pm 0.002b	0.806 \pm 0.002b	0.803 \pm 0.004b	0.688 \pm 0.097a	0
18	0.815 \pm 0.003a	0.813 \pm 0.002a	0.818 \pm 0.002a	0	0
21	0.781 \pm 0.004a	0.797 \pm 0.003b	0.813 \pm 0.001b	0	0
24	0.786 \pm 0.004a	0.807 \pm 0.003b	0.812 \pm 0.001b	0	0
27	0.822 \pm 0.002a	0.824 \pm 0.001a	0.828 \pm 0.002b	0	0
30	0.804 \pm 0.002a	0.811 \pm 0.001b	0.817 \pm 0.002c	0	0
33	0.823 \pm 0.002c	0.798 \pm 0.0107a	0.817 \pm 0.003b	0	0
36	0.826 \pm 0.002b	0.82 \pm 0.004a	0.815 \pm 0.003a	0	0
39	0.819 \pm 0.001c	0.812 \pm 0.002a	0.817 \pm 0.001b	0	0
42	0.8 \pm 0.002a	0.792 \pm 0.003a	0.815 \pm 0.002b	0	0
45	0.817 \pm 0.001b	0.806 \pm 0.003a	0.803 \pm 0.006a	0	0
48	0.811 \pm 0.002c	0.798 \pm 0.005b	0.768 \pm 0.017a	0	0
51	0.805 \pm 0.002c	0.795 \pm 0.005b	0.522 \pm 0.133a	0	0

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE= ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระดับ 10% (W/V) PEG6000 มีค่า Pi ไม่แตกต่างกับต้นข้าวในชุดควบคุม ในวันที่ 45 ของการทดลอง เมื่อต้นข้าวไรซ์เบอริ้ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่ระดับ 5% (W/V) PEG6000 มีค่า Pi ลดลง คิดเป็น 0.62 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอริ้ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระดับ 10% (W/V) PEG6000 มีค่า Pi ลดลง คิดเป็น 0.67 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอริ้ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 48 ของการทดลอง เมื่อต้นข้าวไรซ์เบอริ้ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่ระดับ 5% (W/V) PEG6000 มีค่า Pi ลดลง คิดเป็น 0.45 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอริ้ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระดับ 10% (W/V) PEG6000 มีค่า Pi ลดลง คิดเป็น 0.44 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอริ้ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 51 ของการทดลอง เมื่อต้นข้าวไรซ์เบอริ้ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่ระดับ 5% (W/V) PEG6000 มีค่า Pi ลดลง คิดเป็น 0.47 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอริ้ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระดับ 10% (W/V) PEG6000 มีค่า Pi ลดลง คิดเป็น 3.36 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอริ้ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตาราง 5 ค่า Performance index (Pi) ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

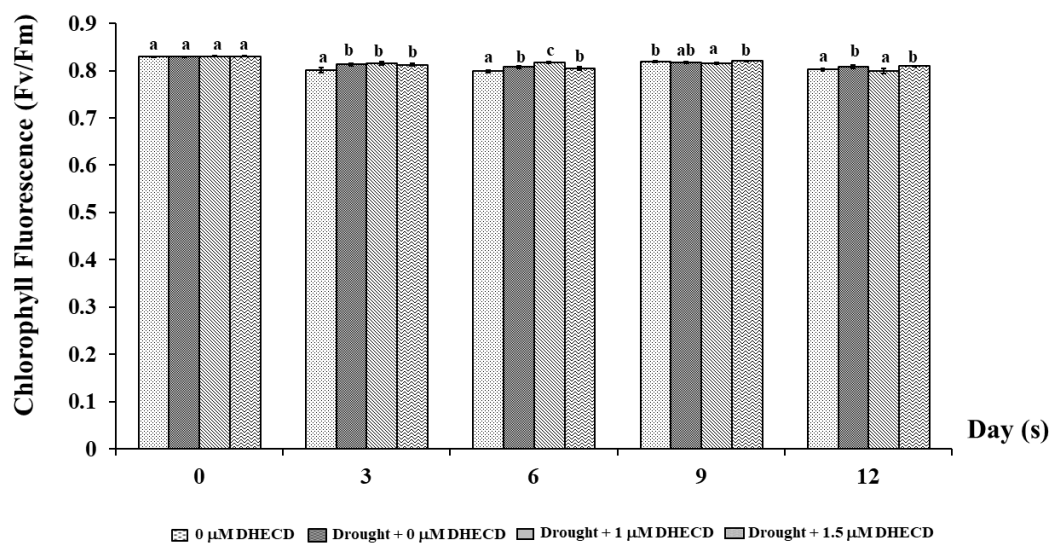
Day(s)	Performance index (ค่าเฉลี่ย \pm SE)				
	Treatment (s)				
	Control	5% (W/V) PEG6000	10% (W/V) PEG6000	15% (W/V) PEG6000	20% (W/V) PEG6000
0	2.674 \pm 0.136a	2.674 \pm 0.136a	2.674 \pm 0.136a	2.538 \pm 0.105a	2.674 \pm 0.136a
3	2.38 \pm 0.108c	2.748 \pm 0.153d	2.033 \pm 0.18b	2.232 \pm 0.137bc	0.00003 \pm 0.00002a
6	1.406 \pm 0.124b	2.235 \pm 0.158c	2.097 \pm 0.19c	1.086 \pm 0.259b	0.00003 \pm 0.00002a
9	2.552 \pm 0.057c	3.047 \pm 0.186d	2.798 \pm 0.193d	1.024 \pm 0.386b	0.00004 \pm 0.00002a
12	1.886 \pm 0.175b	3.112 \pm 0.132d	2.619 \pm 0.364d	2.373 \pm 0.475b	0.001 \pm 0.0004a
15	2.814 \pm 0.148b	3.075 \pm 0.218b	3.957 \pm 0.202c	1.739 \pm 0.348a	0
18	3.732 \pm 0.178b	2.325 \pm 0.203a	3.624 \pm 0.277b	0	0
21	2.041 \pm 0.237a	1.998 \pm 0.232a	3.121 \pm 0.088b	0	0
24	2.203 \pm 0.149a	2.105 \pm 0.164a	3.434 \pm 0.155b	0	0
27	5.169 \pm 0.312b	4.13 \pm 0.245a	5.176 \pm 0.258b	0	0
30	3.18 \pm 0.093b	2.639 \pm 0.182a	3.516 \pm 0.239c	0	0
33	4.413 \pm 0.114c	2.023 \pm 0.383a	3.767 \pm 0.25b	0	0
36	4.459 \pm 0.255b	2.741 \pm 0.265a	3.235 \pm 0.375a	0	0
39	5.039 \pm 0.352b	2.913 \pm 0.245a	4.777 \pm 0.277b	0	0
42	3.775 \pm 0.111b	2.019 \pm 0.167a	3.769 \pm 0.285b	0	0
45	3.514 \pm 0.102b	2.194 \pm 0.26a	2.361 \pm 0.381a	0	0
48	3.692 \pm 0.31b	1.653 \pm 0.3a	1.621 \pm 0.394a	0	0
51	4.216 \pm 0.303b	1.985 \pm 0.233a	1.524 \pm 0.519a	0	0

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE= ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 6 ค่าความเขียวของใบ (SPAD value) ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

Day(s)	ค่าความเขียวของใบ (ค่าเฉลี่ย \pm SE)				
	Treatment (s)				
	Control	5% (W/V) PEG6000	10% (W/V) PEG6000	15% (W/V) PEG6000	20% (W/V) PEG6000
0	19.9 \pm 0.541a	19.888 \pm 0.386a	19.888 \pm 0.386a	19.9 \pm 0.541a	19.9 \pm 0.541a
3	22.063 \pm 0.642c	21.1 \pm 0.698c	17.638 \pm 1.29b	15.638 \pm 1.279b	9.15 \pm 1.015a
6	17.713 \pm 2.48b	21.237 \pm 0.666c	20.35 \pm 0.724bc	16.8 \pm 0.534b	8.513 \pm 0.868a
9	21.15 \pm 0.502c	21.325 \pm 0.274c	21.075 \pm 0.663c	15.288 \pm 1.371b	4.825 \pm 0.719a
12	22.988 \pm 0.341d	21.738 \pm 0.759c	21.55 \pm 0.812c	11.65 \pm 1.262b	2.825 \pm 0.948a
15	23.163 \pm 0.2c	22.012 \pm 0.438b	20.875 \pm 1.091b	16.725 \pm 1.145a	0
18	27.063 \pm 0.836b	19.238 \pm 0.75a	19.975 \pm 0.757a	0	0
21	28.412 \pm 0.818b	20.738 \pm 0.86a	22.225 \pm 1.076a	0	0
24	28.025 \pm 0.479c	19.138 \pm 1.326a	22.725 \pm 0.619b	0	0
27	28.138 \pm 0.689c	22.287 \pm 0.803a	25.413 \pm 0.718b	0	0
30	26.063 \pm 0.412b	21.425 \pm 0.597a	21.225 \pm 0.642a	0	0
33	26.737 \pm 0.791b	17.9 \pm 0.993a	19.4 \pm 0.74a	0	0
36	26.663 \pm 0.648b	19.013 \pm 1.016a	22.125 \pm 1.066a	0	0
39	24.787 \pm 0.479c	19.813 \pm 0.668a	22.888 \pm 0.582b	0	0
42	27.475 \pm 0.599b	20.188 \pm 0.649a	22.275 \pm 1.264a	0	0
45	26.412 \pm 0.771b	19.088 \pm 0.566a	19.675 \pm 1.235a	0	0
48	27.575 \pm 0.491c	16.013 \pm 0.841a	18.863 \pm 1.118b	0	0
51	26.45 \pm 0.731b	16.037 \pm 0.888a	18.05 \pm 2.984a	0	0

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE= ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 16 ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (Chlorophyll fluorescence, Fv/Fm) ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้สภาวะแล้ง

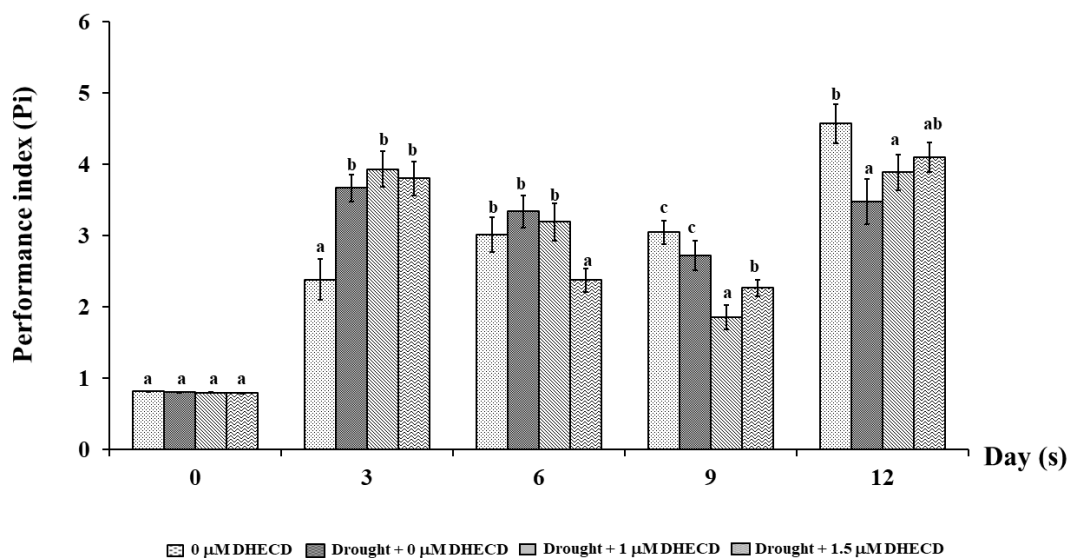
¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อค่า Performance index (Pi) ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้สภาวะแล้ง

จากผลการทดลองในวันที่ 3 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง มีค่า Pi เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.54 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีค่า Pi เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.65 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1.5 ไมโครโมลาร์ มีค่า Pi เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.59 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีค่า Pi ไม่แตกต่างจากต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับ

ความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีค่า Pi ลดลง คิดเป็น 1.5 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1.5 ไมโครโมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ในวันที่ 12 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง มีค่า Pi ลดลง คิดเป็น 0.76 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีค่า Pi ลดลง คิดเป็น 0.85 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1.5 ไมโครโมลาร์ มีค่า Pi ลดลง คิดเป็น 0.21 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีค่า Pi ไม่แตกต่างจากต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1.5 ไมโครโมลาร์ ไม่แตกต่างจากต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีค่า Pi ไม่แตกต่าง เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1.5 ไมโครโมลาร์ (ภาพประกอบ 18)

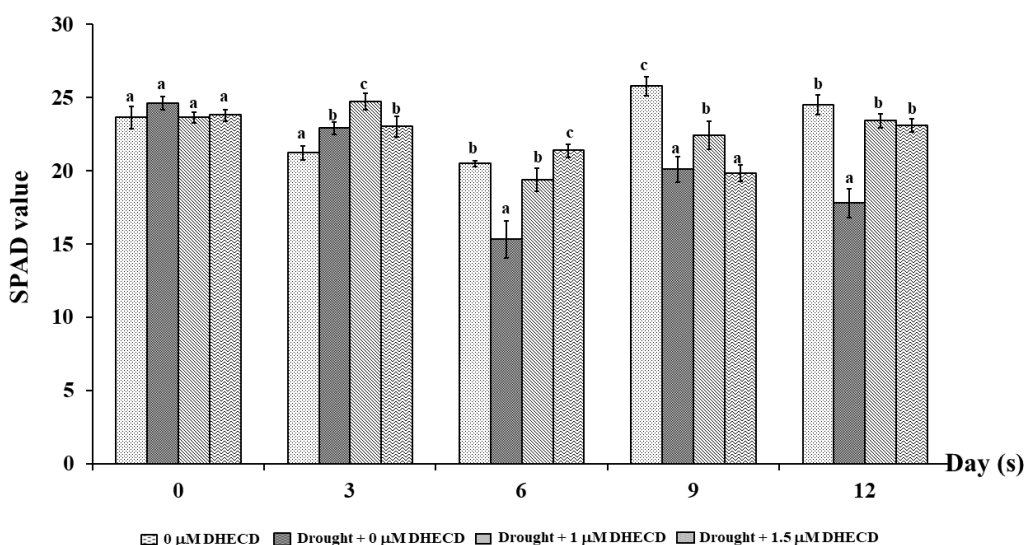


ภาพประกอบ 17 ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อค่า Performance index (Pi) ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้สภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อความเขียวของใบของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้สภาวะแล้ง

จากผลการทดลองในวันที่ 3 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีค่าความเขียวของใบเพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.08 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีค่าความเขียวของใบ เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.16 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1.5 ไมโครโมลาร์ มีค่าความเขียวของใบ เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.08 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีค่าความเขียว

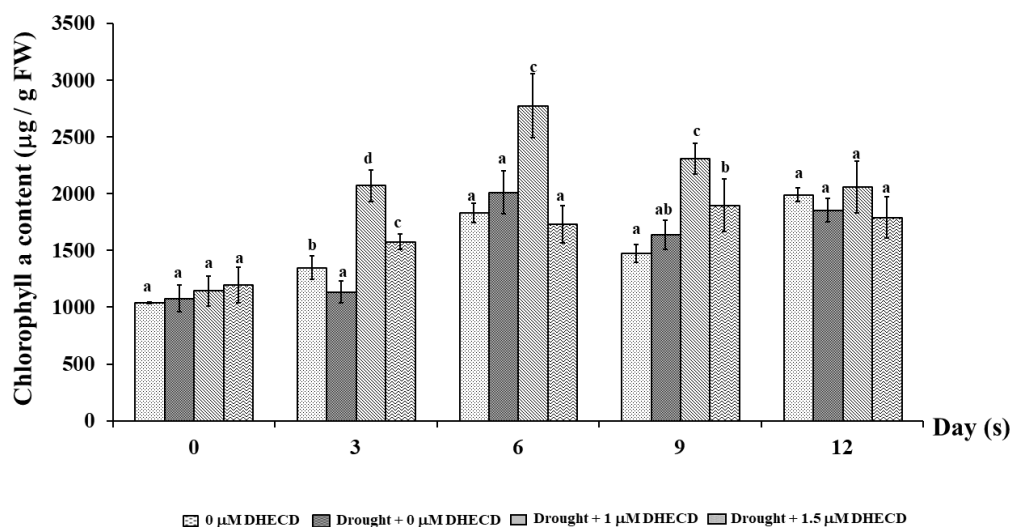


ภาพประกอบ 18 ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อค่าความเขียวของใบ (SPAD Value) ของต้นข้าวไรซ์เบอรรีภายใต้สภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a content)

จากผลการทดลองในวันที่ 3 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอรรีที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลง คิดเป็น 0.84 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอรรีที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.54 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอรรีที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1.5 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มขึ้น คิดเป็น 0.94 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอรรีที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.82 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรรีที่ได้รับความเครียด



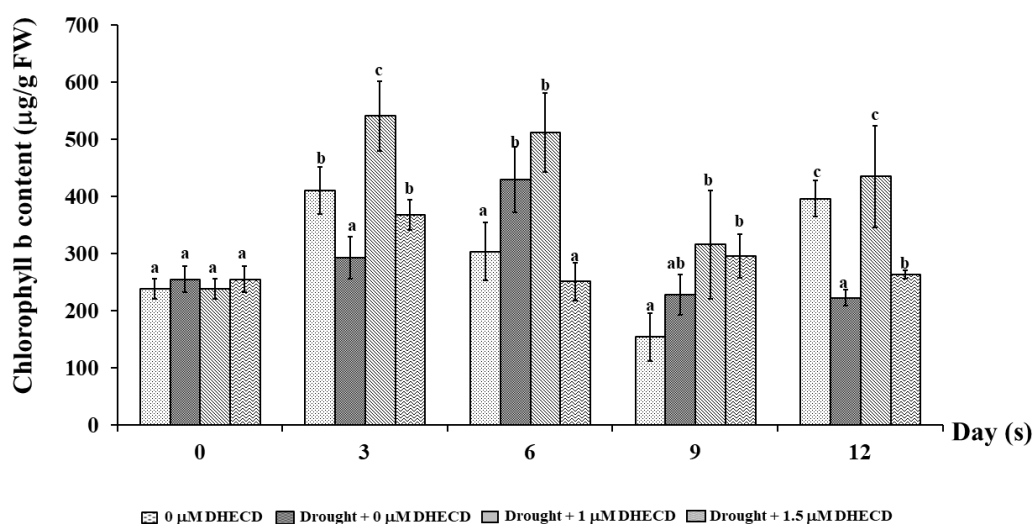
ภาพประกอบ 19 ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้สภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll *b* content)

จากผลการทดลองในวันที่ 3 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ลดลง คิดเป็น 0.71 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.31 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1.5 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ไม่แตกต่าง เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.84 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1.5 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.84 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

นัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ไม่แตกต่าง เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1.5 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ไม่แตกต่าง เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ไม่แตกต่าง เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1.5 ไมโครโม (ภาพประกอบ 21)



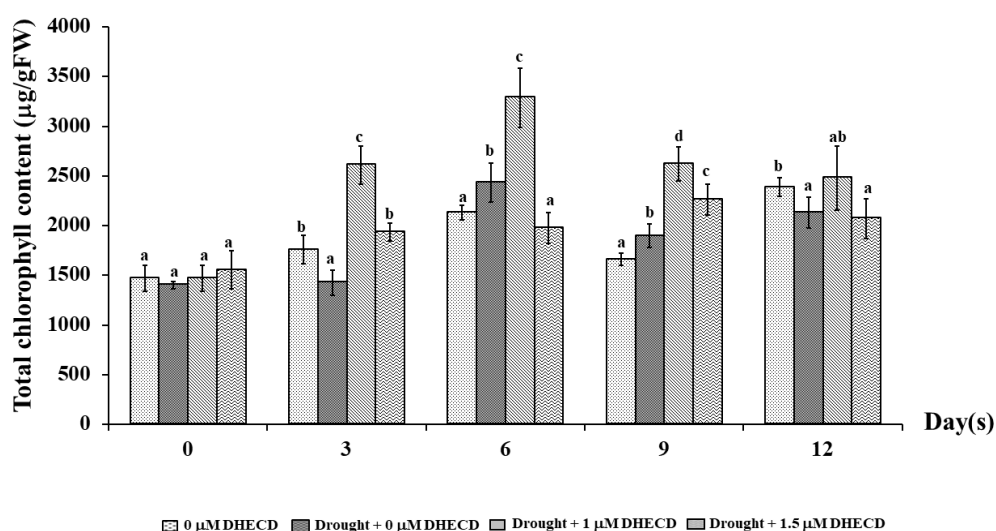
ภาพประกอบ 20 ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้สภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Total chlorophyll content)

จากผลการทดลองในวันที่ 3 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ลดลง คิดเป็น 0.81 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเครียด

เข้มข้น 1.5 ไมโครโมลาร์ มีคลอโรฟิลล์รวมไม่แตกต่าง เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีคลอโรฟิลล์รวม ไม่แตกต่าง เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1.5 ไมโครโมลาร์ (ภาพประกอบ 22)

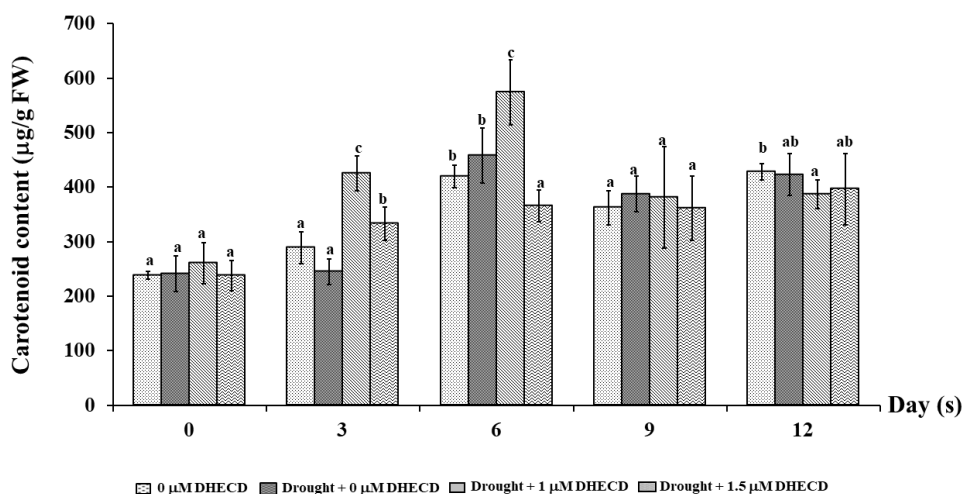


ภาพประกอบ 21 ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้สภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoid content)

จากผลการทดลองในวันที่ 3 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง มีปริมาณแคโรทีนอยด์ ไม่แตกต่าง เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณแคโรทีนอยด์ เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.47 เท่า เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1.5 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณแคโรทีนอยด์



ภาพประกอบ 22 ระดับความเข้มข้นของ DHECD ที่มีต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ ของต้นข้าวไรซ์เบอ
รีภายใต้สภาวะแล้ง

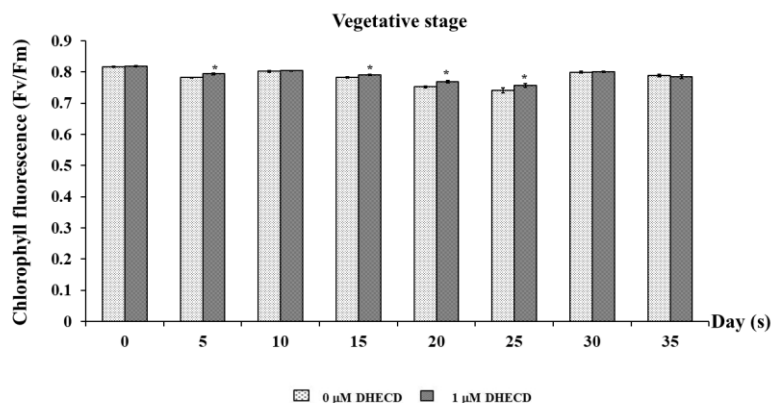
¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

การศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของข้าวไรซ์เบอรีที่ได้รับ ความเครียดจากสภาวะแล้ง

ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (Chlorophyll fluorescence, Fv/Fm)

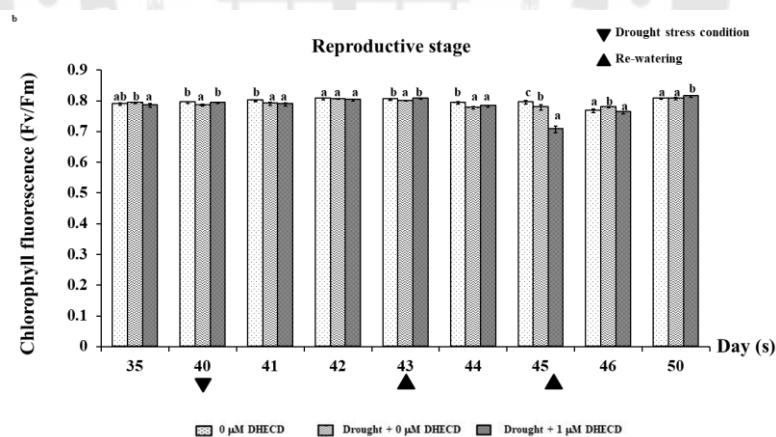
จากผลการทดลองในตาราง 7 แสดงให้เห็นว่าต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Vegetative ต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD 1 ไมโครโมลาร์ มีค่า Fv/Fm เพิ่มขึ้นในวันที่ 5, 15, 20 และ 25 คิดเป็น 1.05, 1.01, 1.02 และ 1.02 เท่าตามลำดับ เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และในวันที่ 5, 10, 30 และ 35 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีค่า Fv/Fm ไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD (ภาพประกอบ 24)

ในระยะ Reproductive ในวันที่ 40, 41, 43, 44 และ 45 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้พ่นด้วยสาร DHECD มีค่า Fv/Fm ลดลง คิดเป็น 0.99, 0.99, 0.99, 0.98 และ 0.98 เท่าตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 42 และ 50 ไม่พบความแตกต่าง และในวันที่ 46 มีค่า Fv/Fm เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.01 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD 1 ไมโครโมลาร์ เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD พบว่าในวันที่ 41, 44 และ 45 มีค่า Fv/Fm ลดลง คิดเป็น 0.98, 0.98 และ 0.89 เท่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 40, 42, 43 และ 46 ไม่พบความแตกต่าง และในวันที่ 50 พบว่า มีค่า Fv/Fm เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คิดเป็น 1.01 เท่า และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD 1 ไมโครโมลาร์ ในวันที่ 45 และ 46 มีค่า Fv/Fm ลดลง คิดเป็น 0.91 และ 0.98 เท่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 41, 42 และ 44 ไม่พบความแตกต่าง และในวันที่ 40, 43 และ 50 พบว่า มีค่า Fv/Fm เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.01, 1.01 และ 1.01 เท่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD (ภาพประกอบ 25)



ภาพประกอบ 23 ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (Chlorophyll fluorescence , Fv/Fm) ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 24 ค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (Chlorophyll fluorescence, Fv/Fm) ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 7 แสดงค่าประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง (Chlorophyll fluorescence, Fv/Fm)

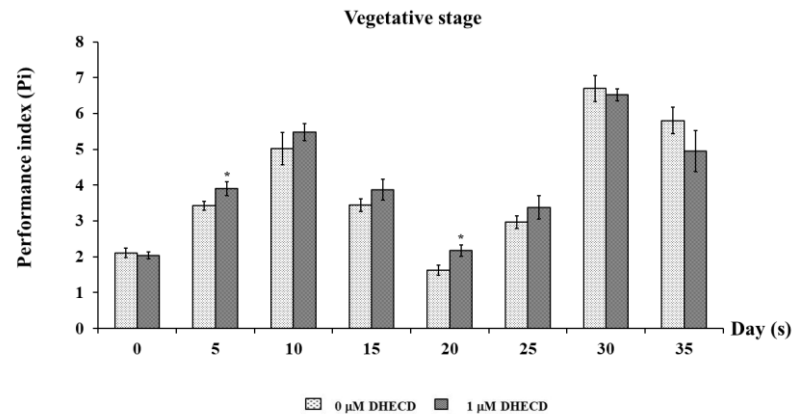
Growth phases	Day(s)	Treatment (s)		
		Control (0 μM DHECD)	Drought (0 μM DHECD)	Drought (1 μM DHECD)
Vegetative stage	0	0.81 \pm 0.003a	0.817 \pm 0.002a	0.818 \pm 0.002a
	5	0.783 \pm 0.001a	0.789 \pm 0.002b	0.794 \pm 0.002b
	10	0.802 \pm 0.002a	0.805 \pm 0.001a	0.804 \pm 0.001a
	15	0.783 \pm 0.001a	0.7861 \pm 0.002b	0.791 \pm 0.002a
	20	0.752 \pm 0.003a	0.777 \pm 0.003b	0.769 \pm 0.003c
	25	0.74 \pm 0.008a	0.757 \pm 0.004b	0.756 \pm 0.006a
	30	0.799 \pm 0.003b	0.794 \pm 0.003b	0.8 \pm 0.002a
	35	0.789 \pm 0.003ab	0.794 \pm 0.002b	0.785 \pm 0.005a
Reproductive stage	40	0.794 \pm 0.002b	0.785 \pm 0.003a	0.793 \pm 0.002b
	41	0.8 \pm 0.002b	0.79 \pm 0.005a	0.788 \pm 0.003a
	42	0.806 \pm 0.002a	0.805 \pm 0.001a	0.802 \pm 0.003a
	43	0.804 \pm 0.002b	0.8 \pm 0.001a	0.807 \pm 0.002b
	44	0.793 \pm 0.004b	0.777 \pm 0.004a	0.782 \pm 0.004a
	45	0.794 \pm 0.006c	0.778 \pm 0.009b	0.706 \pm 0.011a
	46	0.767 \pm 0.005a	0.778 \pm 0.002b	0.762 \pm 0.004a
	50	0.807 \pm 0.002a	0.807 \pm 0.004a	0.814 \pm 0.002b

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

Performance index (Pi)

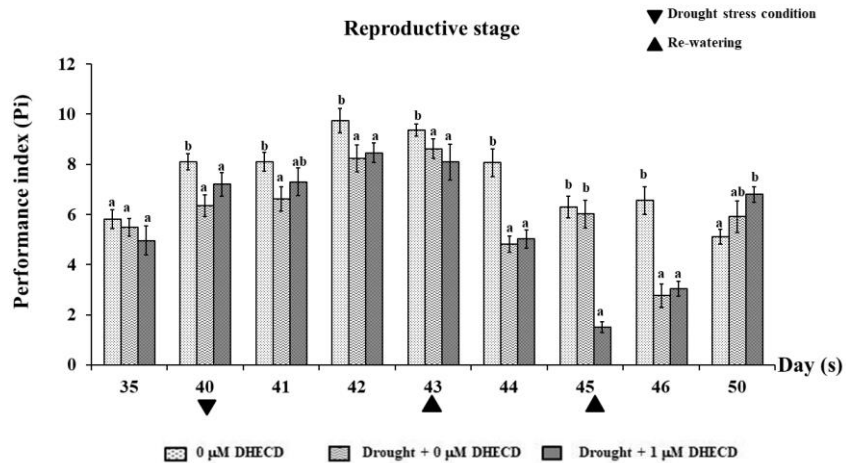
ค่า Pi ในตาราง 8 ในระยะ Vegetative พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้อยู่ในสภาวะแล้งแต่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในวันที่ 5 และ 20 ของการทดลองมีค่า Pi เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คิดเป็น 1.6 และ 1.03 เท่าตามลำดับ และในวันที่ 10, 15, 25, 30 และ 35 ไม่พบความแตกต่างของค่า Pi เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้อยู่ในสภาวะแล้งและไม่ได้รับสาร DHECD (ภาพประกอบ 26)

ในระยะ Reproductive ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีค่า Pi ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 40 ถึง 44 และ 46 คิดเป็น 0.78, 0.82, 0.84, 0.92, 0.6 และ 0.42 เท่าตามลำดับ และในวันที่ 45 และ 50 เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD 1 ไมโครโมลาร์ มีค่า Pi ลดลงในวันที่ 40 และ 42 ถึง 46 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คิดเป็น 0.89, 0.8, 0.86, 0.62, 0.24 และ 0.46 เท่าตามลำดับ ในวันที่ 41 ของการทดลองไม่พบความแตกต่าง และในวันที่ 50 พบว่ามีค่า Pi เพิ่มขึ้น 1.33 เท่า เมื่อเทียบกับชุดที่ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และเมื่อเทียบค่า Pi ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD 1 ไมโครโมลาร์ กับชุดที่ต้นข้าวได้รับสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD พบว่า ในวันที่ 45 ของการทดลองมีค่า Pi ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คิดเป็น 0.25 เท่า (ภาพประกอบ 27)



ภาพประกอบ 25 ค่า Performance index (Pi) ของต้นข้าวไรซ์เบอรรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

1 ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 26 ค่า Performance index (Pi) ของต้นข้าวไรซ์เบอรรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

1 ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 8 ค่า Performance index (Pi) ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

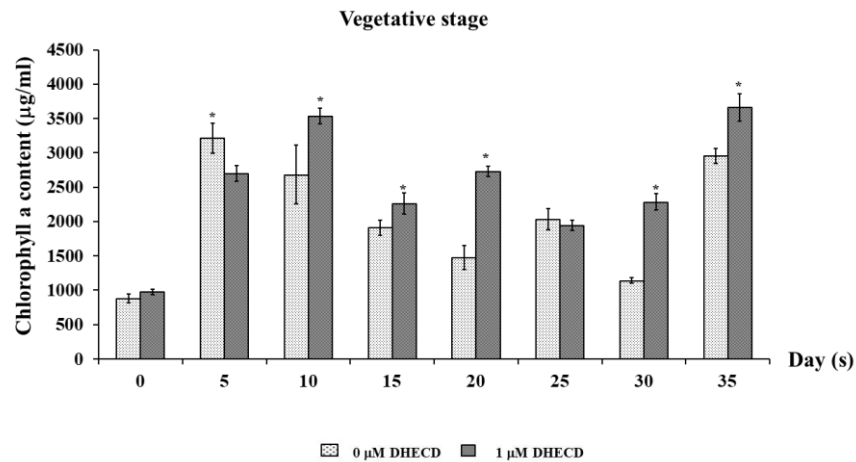
Growth phases	Day(s)	Treatment (s)		
		Control (0 μ M DHECD)	Drought (0 μ M DHECD)	Drought (1 μ M DHECD)
Vegetative stage	0	2.109±0.127a	2.177±0.085a	2.037±0.098a
	5	3.429±0.124a	4.193±0.24b	3.903±0.199a
	10	5.028±0.45a	5.163±0.375a	5.481±0.231a
	15	3.442±0.182b	3.843±0.192ab	3.874±0.295a
	20	1.627±0.139a	2.759±0.153b	2.174±0.156b
	25	2.968±0.174b	3.17±0.226b	3.385±0.329a
	30	6.695±0.363b	6.135±0.611b	6.523±0.17a
	35	5.803±0.373a	5.495±0.354a	4.953±0.578a
Reproductive stage	40	8.103±0.32b	6.353±0.423a	7.197±0.468a
	41	8.104±0.38b	6.621±0.477a	7.302±0.542ab
	42	9.748±0.485b	8.237±0.535a	8.459±0.379a
	43	9.361±0.247b	8.619±0.386a	8.092±0.709a
	44	8.063±0.556b	4.813±0.327a	5.022±0.36a
	45	6.291±0.437b	6.013±0.548b	1.5±0.22a
	46	6.557±0.551b	2.7581±0.461a	3.041±0.29a
	50	5.105±0.301a	5.909±0.628ab	6.799±0.314b

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a content)

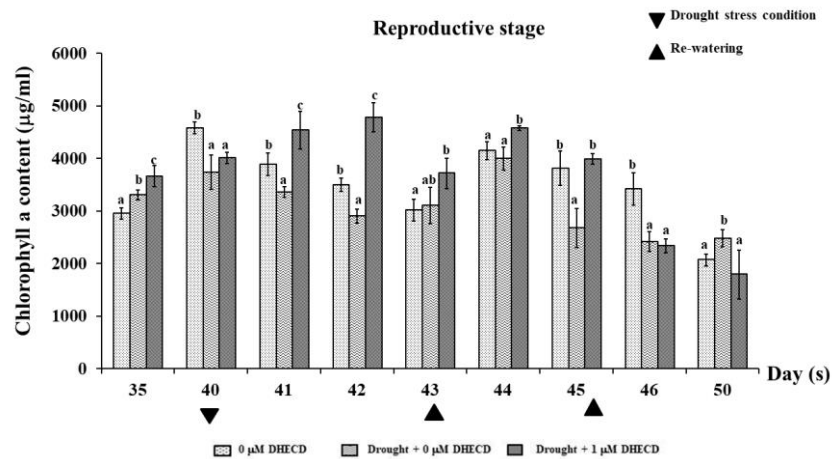
ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในตาราง 9 ในระยะ Vegetative พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลง คิดเป็น 0.84 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 25 ของการทดลองไม่พบความแตกต่าง และในวันที่ 10, 15, 20, 30 และ 35 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.32, 1.18, 1.85, 2 และ 1.24 เท่าตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 28)

ในระยะ Reproductive ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อยู่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง และไม่ได้รับสาร DHECD มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 40, 41, 42, 45 และ 46 คิดเป็น 0.81, 0.86, 0.83, 0.7 และ 0.71 เท่าตามลำดับ ในวันที่ 45 และ 50 ไม่พบความต่างของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และในวันที่ 50 พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คิดเป็น 1.2 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อยู่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง และได้รับการพ่นสาร DHECD 1 ไมโครโมลาร์ เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD พบว่าในวันที่ 41 ถึง 44 ของการทดลองมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คิดเป็น 1.17, 1.37, 1.23 และ 1.1 เท่าตามลำดับ และมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 40 และ 46 ของการทดลองคิดเป็น 0.87 และ 0.68 เท่าตามลำดับ และในวันที่ 45 และ 50 ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ และเมื่อเทียบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ระหว่าง ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อยู่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง และได้รับการพ่นสาร DHECD 1 ไมโครโมลาร์ และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่อยู่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง และไม่ได้รับสาร DHECD พบว่ามีการสะสมเพิ่มขึ้นในวันที่ 41, 42, 44 และ 45 ของการทดลอง คิดเป็น 1.35, 1.65, 1.14 และ 1.49 เท่าตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และในวันที่ 40, 43 และ 46 ไม่พบความแตกต่าง ในวันที่ 50 มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คิดเป็น 0.72 เท่า (ภาพประกอบ 29)



ภาพประกอบ 27 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 28 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 9 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับ
ความเครียดจากสภาวะแล้ง

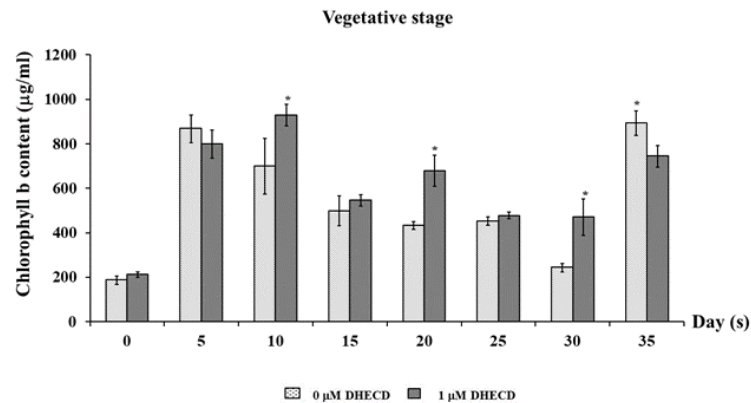
Growth phases	Day(s)	Treatment (s)		
		Control (0 μM DHECD)	Drought (0 μM DHECD)	Drought (1 μM DHECD)
Vegetative stage	0	883.255±63.687a	777.523±42.335a	974.902±36.298a
	5	3213.102±217.254b	2134.8±308.615a	2702.548±112.854a
	10	2682.046±429.085a	3886.441±191.334b	3532.532±113.816a
	15	1909.929±112.602a	2132.468±246.951a	2262.557±151.042b
	20	1475.772±171.192a	1203.824±92.142b	2728.085±73.968a
	25	2032.149±153.246b	2578.887±332.712b	1942.923±74.266a
	30	1142.694±36.499a	1652.349±69.199c	2283.586±118.805b
	35	2956.872±109.781a	3309.153±94.792b	3662.717±199.676c
Reproductive stage	40	4581.309±113.778b	3737.2±325.16a	4012.534±110.73a
	41	3888.481±215.708b	3359.872±98.148a	4540.515±358.987c
	42	3500.966±127.07b	2903.756±127.612a	4784.862±278.875c
	43	3015.421±210.818a	3104.915±348.996ab	3717.845±287.143b
	44	4150.471±167.147a	3995.587±219.98a	4576.101±48.240b
	45	3816.21±332.988b	2676.52±370.325a	3991.479±102.43b
	46	3417.129±310.631b	2419.61±184.694a	2337.114±133.068a
	50	2071.111±112.52a	2478.786±164.389b	1793.381±465.756a

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll *b* content)

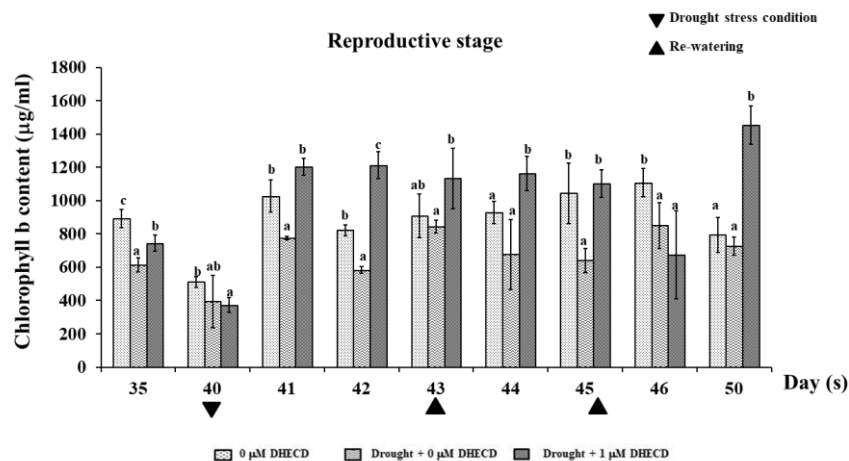
จากผลการทดลองในตาราง 10 ในระยะ Vegetative ในสภาวะปกติ พบว่ามีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี เพิ่มขึ้น ในชุดการทดลองที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD 1 ไมโครโมลาร์ ในวันที่ 10, 20 และ 30 คิดเป็น 1.33, 1.57 และ 1.93 เท่าตามลำดับ เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 30)

การสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในระยะ Reproductive ในต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการความเครียดจากสภาวะแล้ง แต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีค่าลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 40, 42, 45 และ 46 คิดเป็น 0.76, 0.71, 0.61 และ 0.77 เท่าตามลำดับ และในวันที่ 40, 43, 44 และ 50 ไม่พบความแตกต่าง เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD พบการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 42, 44 และ 50 โดยมีค่าสูงสุดที่ 1.83 เท่า และมีการสะสมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 40 และ 46 คิดเป็น 0.73 และ 0.61 เท่าตามลำดับ และในวันที่ 41, 43 และ 45 ไม่พบความต่างเมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และในต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และได้รับสาร DHECD 1 ไมโครโมลาร์ เทียบกับชุดที่ไม่ได้รับสาร พบว่ามีการสะสมคลอโรฟิลล์ บี เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 41 ถึง 45 และ 50 โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 42 คิดเป็น 2.08 เท่า (ภาพประกอบ 31)



ภาพประกอบ 29 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 30 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 10 ปริมาณคลอโรฟิลล์ *b* ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

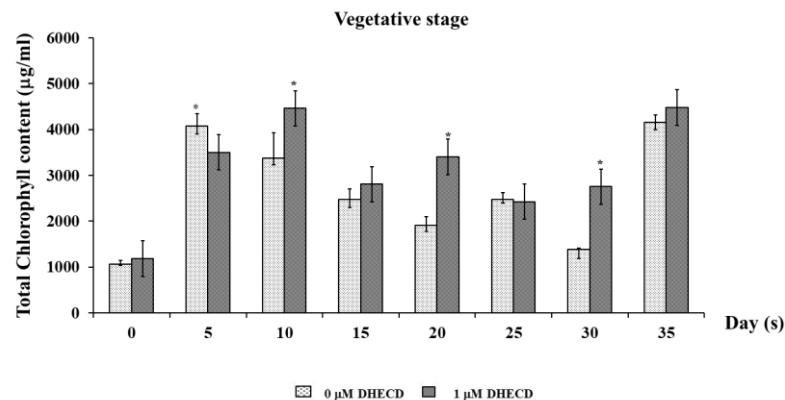
Growth phases	Day(s)	Treatment (s)		
		Control (0 μM DHECD)	Drought (0 μM DHECD)	Drought (1 μM DHECD)
Vegetative stage	0	187.048±18.28a	183.438±10.404a	211.371±11.622a
	5	867.997±62.490b	589.751±71.703ab	798.686±64.189a
	10	699.442±124.676ab	930.972±85.545b	928.391±48.922a
	15	498.121±67.431a	742.204±59.755a	546.099±26.247b
	20	432.303±16.839a	385.35±26.341b	678.352±69.26a
	25	452.656±18.613a	753.486±112.993a	477.091±14.809a
	30	243.417±19.027a	466.704±23.17b	469.794±82.131a
	35	892.38±55.342c	612.324±41.939b	743.974±48.998a
Reproductive stage	40	511.452±31.644b	394.603±156.999ab	373.288±45.613a
	41	1026.967±97.503b	776.856±9.952a	1201.028±50.277b
	42	822.07±31.321b	582.542±20.68a	1212.314±81.881c
	43	908.406±130.497ab	843.467±39.341a	1132.567±181.893b
	44	927.027±66.257a	677.433±209.263a	1162.937±103.171b
	45	1044.617±181.124b	640.033±74.015a	1102.562±82.305a
	46	1106.795±85.099b	849.773±135.419a	673.394±264.807a
	50	794.068±106.017a	725.766±53.775a	1452.912±116.175b

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม (Total chlorophyll content)

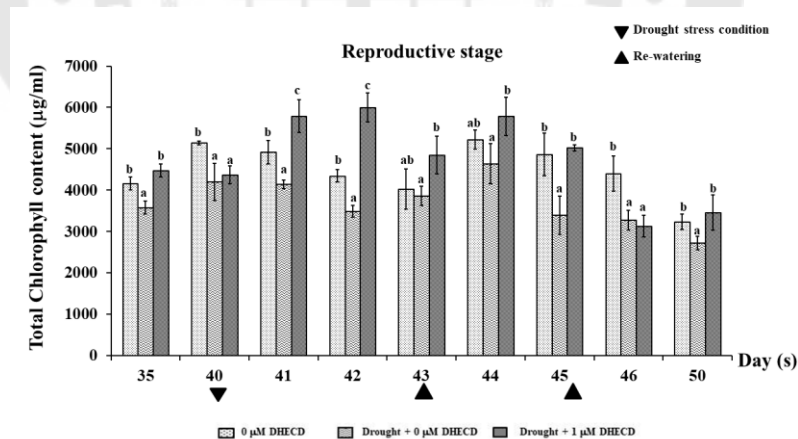
จากผลการทดลอง (ตาราง 11) พบว่าในวันที่ 5 ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมลดลง คิดเป็น 0.86 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 10, 20 และ 30 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมเพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.32, 1.78 และ 1.98 เท่าตามลำดับ เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 15, 25 และ 35 พบว่ามีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD (ภาพประกอบ 32)

ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และไม่ได้รับสาร DHECD มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 40, 41, 42, 45, 46 และ 50 ของการทดลอง โดยมีค่าลดลงสูงสุดคิดเป็น 0.84 เท่า ในต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และได้รับสาร DHECD 1 ไมโครโมลาร์ เมื่อเทียบกับ ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และไม่ได้รับสาร DHECD พบว่า มีการสะสมคลอโรฟิลล์รวมเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 41 และ 42 คิดเป็น 1.78 และ 1.38 เท่า และลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 40 และ 46 คิดเป็น 0.71 และ 0.85 เท่าตามลำดับ ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมเพิ่มขึ้น ในวันที่ 41 ถึง 45 และ 50 สูงสุดคิดเป็น 1.72 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 33)



ภาพประกอบ 31 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 32 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 11 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับ
ความเครียดจากสภาวะแล้ง

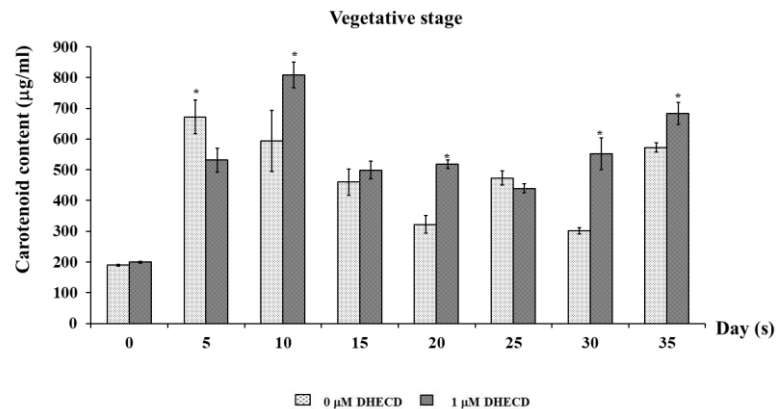
Growth phases	Day(s)	Treatment (s)		
		Control (0 μ M DHECD)	Drought (0 μ M DHECD)	Drought (1 μ M DHECD)
Vegetative stage	0	1060.337±84.919a	1087.93±59.601a	1186.273±26.88a
	5	4081.099±265.265b	2724.551±380.243ab	3501.234±172.816a
	10	3381.488±549.269a	4817.413±276.399b	4460.922±156.528a
	15	2478.596±224.497a	2886.744±318.063a	2808.656±175.776b
	20	1916.94±185.543a	1589.174±117.126b	3406.437±136.268a
	25	2472.676±152.718a	3332.373±439.366a	2428.543±70.511a
	30	1388.427±25.947a	2135.672±76.287b	2753.38±196.51a
	35	4159.549±159.504b	3570.051±156.504a	4479.73±158.618b
Reproductive stage	40	5140.639±38.884b	4198.788±447.686a	4369.086±213.11a
	41	4915.447±286.38b	4139.267±108.676a	5789.716±398.81c
	42	4343.5617±149.298b	3486.298±148.188a	5997.176±355.819c
	43	4025.802±483.583ab	3856.609±234.937a	4850.412±457.737b
	44	5223.682±234.937ab	4642.264±483.583a	5782.695±457.737b
	45	4865.909±513.248b	3388.54±460.873a	5021.175±71.48b
	46	4400.2±419.88b	3276.981±238.867a	3129.946±263.986a
	50	3231.455±182.122b	2717.38±158.337a	3455.756±426.434b

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoid content)

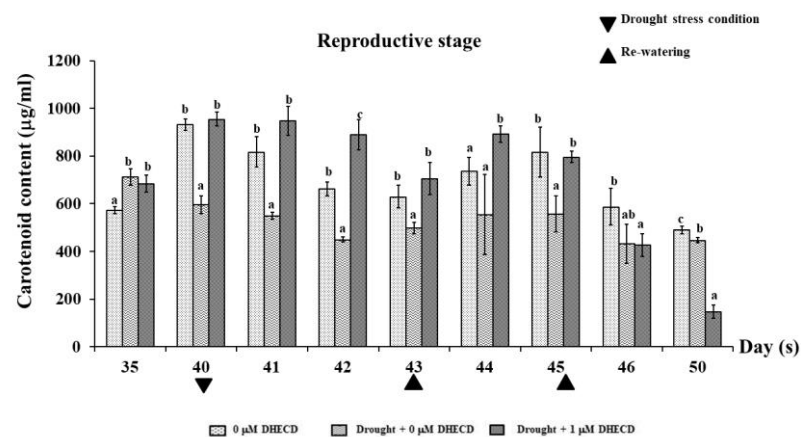
จากผลการทดลองตามตาราง 12 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงในวันที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คิดเป็น 0.79 เท่า และมีการสะสมแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 10, 20, 30 และ 35 โคนมีค่าสูงสุดคิดเป็น 1.83 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD (ภาพประกอบ 34)

ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลง ในวันที่ 40, 41, 42, 43, 45 และ 50 ของการทดลอง โดยคิดเป็น 0.63, 0.67, 0.86, 0.79, 0.68 และ 0.91 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น ในวันที่ 42 และ 44 คิดเป็น 1.34 และ 1.21 เท่า และลดลง ในวันที่ 46 และ 50 คิดเป็น 0.73 และ 0.32 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้นคิดสูงสุดเป็น 1.95 เท่า โดยเพิ่มขึ้นในวันที่ 41 ถึง 45 และลดลงในวันที่ 50 คิดเป็น 0.33 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 35)



ภาพประกอบ 33 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids content) ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 34 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids content) ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 12 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับ
ความเครียดจากสภาวะแล้ง

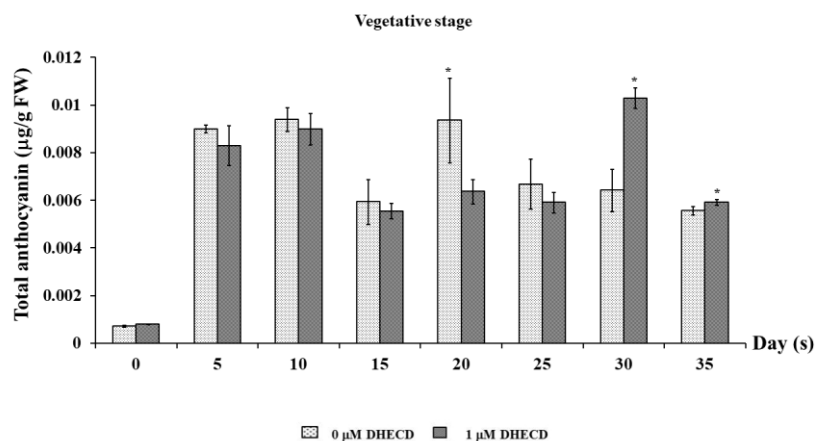
Growth phases	Day(s)	Treatment (s)		
		Control (0 μM DHECD)	Drought (0 μM DHECD)	Drought (1 μM DHECD)
Vegetative stage	0	189.377 \pm 3.354a	199.601 \pm 13.045a	237.511 \pm 2.686a
	5	672.073 \pm 54.904b	440.729 \pm 57.524a	531.151 \pm 38.698a
	10	593.234 \pm 99.44a	808.65 \pm 67.842b	808.498 \pm 42.53a
	15	460.053 \pm 42.480a	435.884 \pm 66.785a	498.918 \pm 28.458b
	20	321.541 \pm 28.585a	290.449 \pm 22.518b	517.797 \pm 13.785a
	25	472.937 \pm 23.138a	630.349 \pm 55.362b	439.358 \pm 15.054a
	30	301.172 \pm 9.535a	470.248 \pm 7.012b	552.296 \pm 51.216a
	35	572.78 \pm 14.741a	712.832 \pm 34.292b	683.153 \pm 35.722b
Reproductive stage	40	932.301 \pm 23.806b	595.696 \pm 37.0236a	955.22 \pm 29.943b
	41	817.421 \pm 63.457b	549.402 \pm 13.912a	947.63 \pm 61.719b
	42	661.968 \pm 28.136b	449.444 \pm 11.105a	889.5 \pm 62.885c
	43	629.799 \pm 48.472b	497.797 \pm 24.858a	706.307 \pm 67.456b
	44	736.221 \pm 59.22a	554.702 \pm 166.992a	892.175 \pm 35.082b
	45	817.034 \pm 104.936b	556.847 \pm 76.174a	795.651 \pm 23.93b
	46	587.149 \pm 77.097b	432.102 \pm 82.316ab	426.707 \pm 48.082a
	50	490.145 \pm 15.71c	446.581 \pm 10.452b	148.074 \pm 27.352a

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ปริมาณแอนโทไซยานินรวม (Total anthocyanin content)

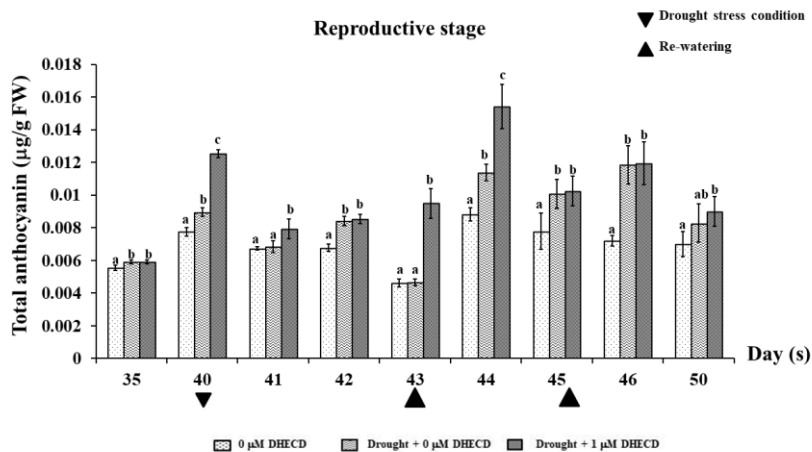
จากผลการทดลองในตาราง 13 พบว่าในวันที่ 20 ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณแอนโทไซยานินรวมลดลง คิดเป็น 0.68 เท่า และเพิ่มขึ้นในวันที่ 30 และ 35 คิดเป็น 1.6 และ 1.06 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 36)

ในวันที่ 40, 42, 44, 45 และ 46 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีปริมาณแอนโทไซยานินรวมเพิ่มขึ้นสูงสุด คิดเป็น 1.64 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในวันที่ 40 ถึง 50 มีปริมาณแอนโทไซยานินรวมเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นสูงสุดคิดเป็น 2.06 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณแอนโทไซยานินรวมเพิ่มขึ้น ในวันที่ 40, 41, 43 และ 44 โดยเพิ่มสูงสุดคิดเป็น 2.04 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 37)



ภาพประกอบ 35 ปริมาณแอนโทไซยานินรวมของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลา Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 36 ปริมาณแอนโทไซยานินของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลา Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 13 ปริมาณแอนโทไซยานินของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับ
ความเครียดจากสภาวะแล้ง

Growth phases	Day(s)	Treatment (s)		
		Control (0 μM DHECD)	Drought (0 μM DHECD)	Drought (1 μM DHECD)
Vegetative stage	0	0.0007 \pm 0.00004a	0.0006 \pm 0.0001a	0.0008 \pm 0.0001a
	5	0.009 \pm 0.0002a	0.0076 \pm 0.0003a	0.0083 \pm 0.0008a
	10	0.0094 \pm 0.0005b	0.0079 \pm 0.0007ab	0.009 \pm 0.0006b
	15	0.0059 \pm 0.0009a	0.0039 \pm 0.0006a	0.0055 \pm 0.0003b
	20	0.0093 \pm 0.0018a	0.0085 \pm 0.0023a	0.0063 \pm 0.0005a
	25	0.0067 \pm 0.001b	0.0089 \pm 0.0006b	0.006 \pm 0.0004a
	30	0.0064 \pm 0.0009a	0.0065 \pm 0.0001b	0.0103 \pm 0.0004b
	35	0.0055 \pm 0.0002a	0.0059 \pm 0.0001b	0.0059 \pm 0.0001b
Reproductive stage	40	0.0077 \pm 0.0003a	0.0089 \pm 0.0003b	0.0125 \pm 0.0002c
	41	0.0067 \pm 0.0001a	0.0068 \pm 0.0003a	0.0079 \pm 0.0006b
	42	0.0068 \pm 0.0002a	0.0084 \pm 0.0003b	0.0085 \pm 0.0003b
	43	0.0046 \pm 0.0002a	0.0046 \pm 0.0002a	0.0095 \pm 0.0009b
	44	0.0088 \pm 0.0004a	0.0114 \pm 0.0005b	0.0154 \pm 0.0013c
	45	0.0078 \pm 0.0011a	0.0101 \pm 0.0009b	0.0103 \pm 0.0009b
	46	0.0072 \pm 0.0003a	0.0118 \pm 0.0018b	0.0119 \pm 0.0013b
	50	0.007 \pm 0.0008a	0.0083 \pm 0.0012ab	0.009 \pm 0.0009b

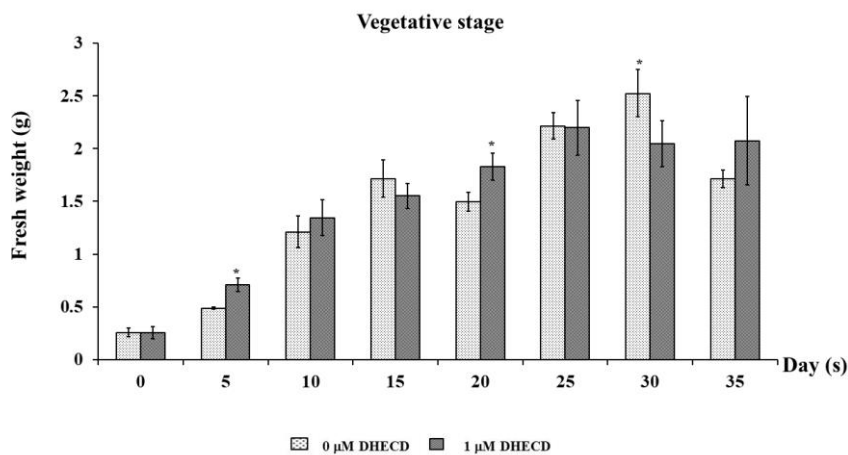
¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

น้ำหนักสด

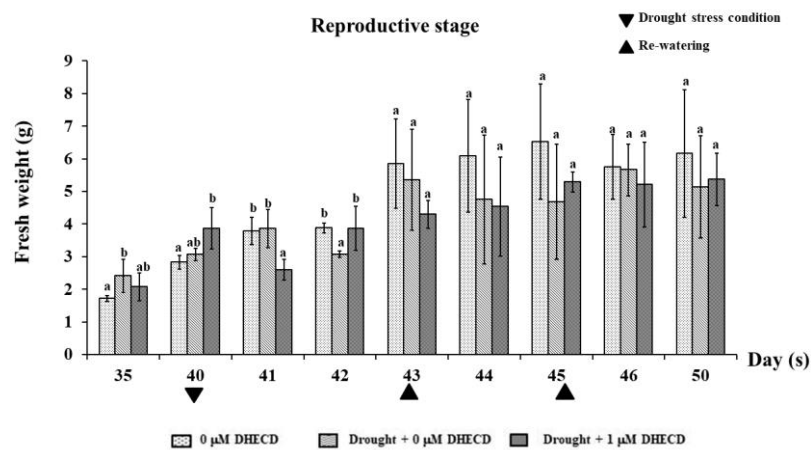
จากผลการทดลอง (ตาราง 14) ในวันที่ 5 และ 20 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.45 และ 1.22 เท่า และลดลงในวันที่ 30 คิดเป็น 0.81 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 38)

ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง มีน้ำหนักสด ไม่แตกต่างกับน้ำหนักสดของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ยกเว้นในวันที่ 42 ที่น้ำหนักสดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คิดเป็น 0.79 เท่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น ในวันที่ 40 คิดเป็น 1.36 เท่า และลดลงในวันที่ 41 คิดเป็น 0.69 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีน้ำหนักสด ลดลงในวันที่ 41 คิดเป็น 0.67 เท่า และเพิ่มขึ้นในวันที่ 42 คิดเป็น 1.26 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 39)



ภาพประกอบ 37 น้ำหนักสดของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



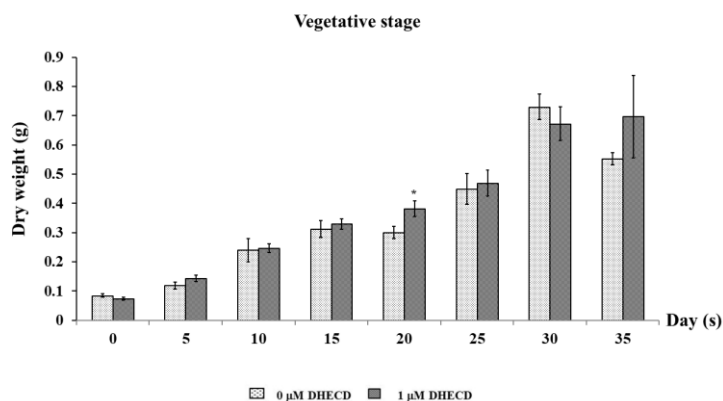
ภาพประกอบ 38 น้ำหนักสดของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 14 น้ำหนักสดของลำต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

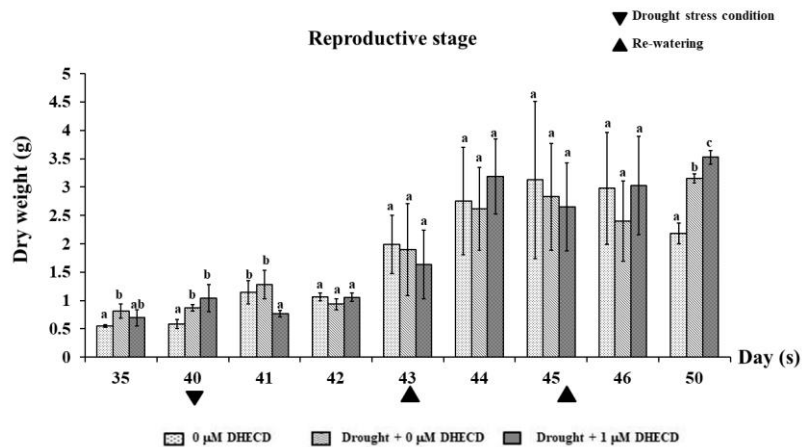
Growth phases	Day(s)	Treatment (s)		
		Control (0 μ M DHECD)	Drought (0 μ M DHECD)	Drought (1 μ M DHECD)
Vegetative stage	0	0.257 \pm 0.043a	0.289 \pm 0.097a	0.142 \pm 0.023a
	5	0.488 \pm 0.01a	0.783 \pm 0.068b	0.71 \pm 0.066b
	10	1.211 \pm 0.151b	0.847 \pm 0.043a	1.343 \pm 0.169b
	15	1.716 \pm 0.176ab	1.904 \pm 0.17b	1.552 \pm 0.118a
	20	1.494 \pm 0.088a	1.91 \pm 0.221b	1.828 \pm 0.13b
	25	2.213 \pm 0.125a	2.161 \pm 0.248a	2.197 \pm 0.258a
	30	2.523 \pm 0.224b	2.416 \pm 0.117b	2.045 \pm 0.218a
	35	1.712 \pm 0.082a	2.404 \pm 0.508b	2.074 \pm 0.419ab
Reproductive stage	40	2.826 \pm 0.213a	3.067 \pm 0.183ab	3.86 \pm 0.634b
	41	3.789 \pm 0.42b	3.858 \pm 0.588b	2.6 \pm 0.311a
	42	3.871 \pm 0.15b	3.073 \pm 0.1a	3.863 \pm 0.676b
	43	5.855 \pm 1.367a	5.351 \pm 1.551a	4.294 \pm 0.421a
	44	6.087 \pm 1.725a	4.746 \pm 1.975a	4.532 \pm 1.514a
	45	6.526 \pm 1.77a	4.681 \pm 1.769a	5.281 \pm 0.304a
	46	5.745 \pm 0.992a	5.66 \pm 0.792a	5.204 \pm 1.294a
	50	6.161 \pm 1.955a	5.137 \pm 1.575a	5.365 \pm 0.81a

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 39 น้ำหนักแห้งของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 40 น้ำหนักแห้งของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 15 น้ำหนักแห้งของลำต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

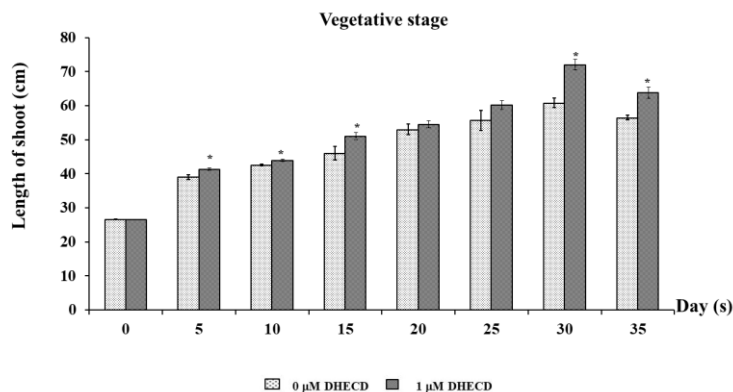
Growth phases	Day(s)	Treatment (s)		
		Control (0 μ M DHECD)	Drought (0 μ M DHECD)	Drought (1 μ M DHECD)
Vegetative stage	0	0.084±0.006a	0.085±0.006a	0.073±0.005a
	5	0.118±0.012a	0.143±0.015a	0.142±0.011a
	10	0.24±0.04a	0.237±0.015a	0.246±0.015a
	15	0.312±0.029a	0.332±0.045ab	0.329±0.017b
	20	0.3±0.021a	0.355±0.08a	0.382±0.027a
	25	0.449±0.053a	0.491±0.038a	0.469±0.045a
	30	0.73±0.044b	0.544±0.066a	0.672±0.058b
	35	0.552±0.021a	0.813±0.12b	0.696±0.141ab
Reproductive stage	40	0.583±0.082a	0.87±0.052b	1.038±0.242b
	41	1.144±0.201b	1.279±0.253b	0.767±0.055a
	42	1.064±0.066a	0.934±0.095a	1.054±0.075a
	43	1.99±0.512a	1.894±0.809a	1.634±0.608a
	44	2.754±0.943a	2.615±0.734a	3.187±0.665a
	45	3.125±1.385a	2.828±0.944a	2.649±0.771a
	46	2.976±0.984a	2.399±0.709a	3.0297±0.868a
	50	2.181±0.18a	3.15±0.082b	3.527±0.119c

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อความยาวลำต้นของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ความเครียดจากความแล้ง

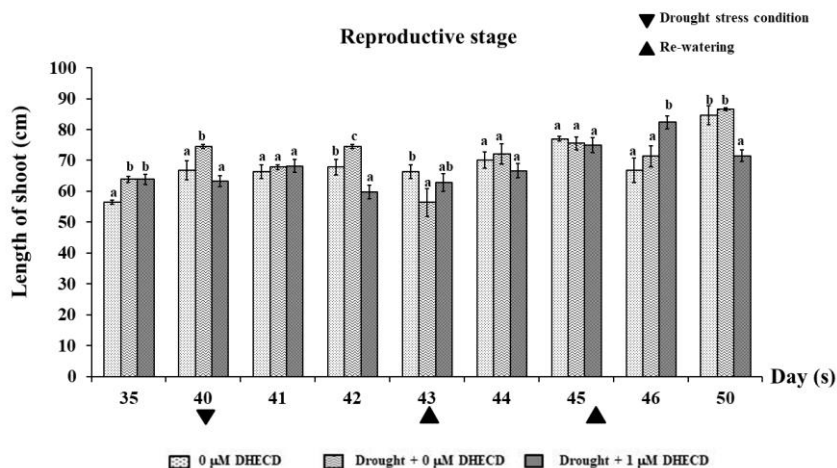
จากผลการทดลอง (ตาราง 16) ในวันที่ 5, 10, 15, 30 และ 35 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีความยาวลำต้นเพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.06, 1.03, 1.11, 1.18 และ 1.13 เท่าตามลำดับ เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 42)

ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีความยาวลำต้นเพิ่มขึ้น ในวันที่ 40 และ 42 คิดเป็น 1.11 และ 1.1 เท่า และลดลงในวันที่ 43 คิดเป็น 0.85 เท่าเมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีความยาวลำต้นเพิ่มขึ้นในวันที่ 46 คิดเป็น 1.23 เท่า และลดลงในวันที่ 42 และ 50 คิดเป็น 0.88 และ 0.84 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีความยาวลำต้นลดลงในวันที่ 40, 42 และ 50 คิดเป็น 0.85, 0.8 และ 0.82 เท่า และเพิ่มขึ้นในวันที่ 46 คิดเป็น 1.15 เท่าเมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 43)



ภาพประกอบ 41 ความยาวลำต้นของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 42 ความยาวลำต้นของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 16 ความยาวของลำต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

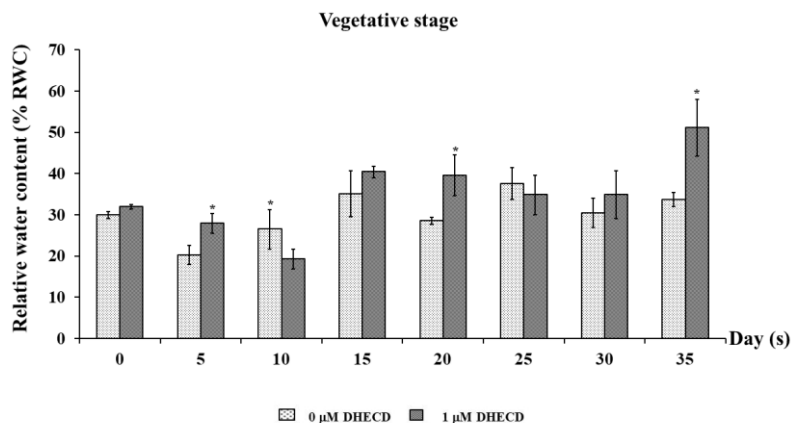
Growth phases	Day(s)	Treatment (s)		
		Control (0 μ M DHECD)	Drought (0 μ M DHECD)	Drought (1 μ M DHECD)
Vegetative stage	0	26.517±0.091a	26.683±0.114a	26.533±0.133a
	5	39±0.725a	39.8±0.542b	41.333±0.333c
	10	42.583±0.271a	43.55±0.386b	44±0.365a
	15	46±2a	46.333±0.882b	51.083±1.068a
	20	53±1.549b	52.117±1.265b	54.5±0.992a
	25	55.667±2.974a	58.833±2.574ab	60.167±1.327b
	30	60.833±1.4a	55.333±0.422b	72±1.549b
	35	56.5±0.671a	63.833±1.014b	63.833±1.641b
	Reproductive stage	40	66.833±3.145a	74.5±0.719b
41		66.333±2.29a	67.833±0.749a	68.167±2.072a
42		67.833±2.482b	74.5±0.719c	59.667±2.186a
43		66.333±2.29b	56.333±4.507a	62.833±2.903ab
44		70.167±2.663a	72.167±3.311a	66.667±2.333a
45		77±0.816a	75.5±2.141a	74.917±2.325a
46		66.833±3.928a	71.333±3.353a	82.333±2.028b
50		84.583±3.153b	86.667±0.422b	71.5±1.784a

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

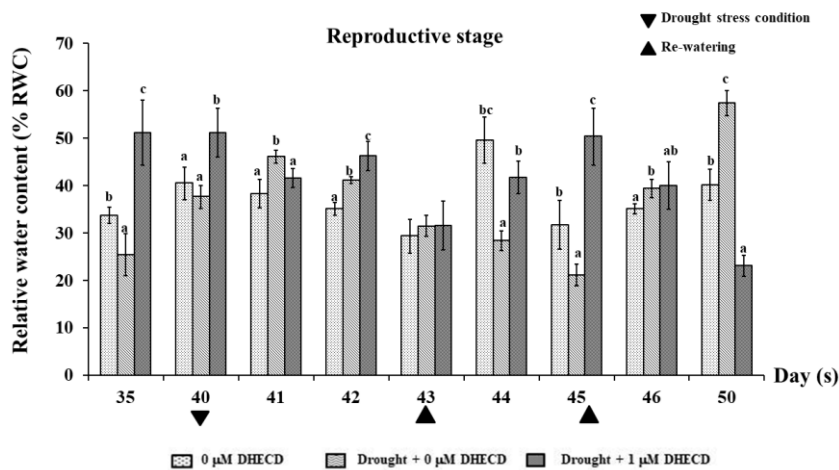
จากผลการทดลองในตาราง 17 พบว่า ในวันที่ 5, 20 และ 35 ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.38, 1.38 และ 1.51 เท่า และลดลงในวันที่ 10 คิดเป็น 0.73 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 44)

ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นในวันที่ 41, 42, 46 และ 50 โดยเพิ่มขึ้นสูงสุดคิดเป็น 1.43 เท่า และลดลงในวันที่ 44 และ 45 คิดเป็น 0.57 และ 0.67 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นในวันที่ 40, 42 และ 45 คิดเป็น 1.26, 1.32 และ 1.58 เท่า และลดลงในวันที่ 50 คิดเป็น 0.57 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นในวันที่ 40, 42, 44 และ 45 คิดเป็น 1.36, 1.12, 1.46 และ 2.38 เท่า และมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ลดลงในวันที่ 41 และ 50 เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 45)



ภาพประกอบ 43 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 44 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 17 Relative water content (RWC) ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

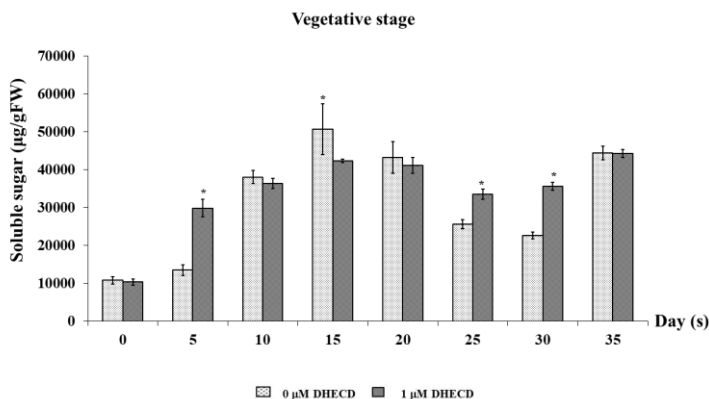
Growth phases	Day(s)	Treatment (s)		
		Control (0 μM DHECD)	Drought (0 μM DHECD)	Drought (1 μM DHECD)
Vegetative stage	0	29.950 \pm 0.891a	46.768 \pm 3.028b	31.904 \pm 0.519a
	5	20.27 \pm 2.299a	41.081 \pm 5.761c	27.926 \pm 2.427b
	10	26.479 \pm 4.830b	31.933 \pm 2.333b	19.271 \pm 2.396a
	15	35.093 \pm 5.6a	36.576 \pm 0.965a	40.399 \pm 1.354a
	20	28.527 \pm 0.92a	53.155 \pm 4.394c	39.558 \pm 4.978b
	25	37.576 \pm 3.829b	24.31 \pm 1.648a	34.825 \pm 4.785b
	30	30.491 \pm 3.505a	31.006 \pm 2.844a	34.9 \pm 5.803a
	35	33.719 \pm 1.757b	25.385 \pm 4.456a	51.146 \pm 6.879c
	Reproductive stage	40	40.489 \pm 3.452a	37.643 \pm 2.422a
41		38.312 \pm 2.997a	46.09 \pm 1.374b	41.572 \pm 1.981a
42		35.083 \pm 1.422a	41.131 \pm 0.697b	46.278 \pm 3.055c
43		29.345 \pm 3.586a	31.454 \pm 2.234a	31.521 \pm 5.162a
44		49.584 \pm 4.884bc	28.413 \pm 2.09a	41.703 \pm 3.475b
45		31.71 \pm 5.087b	21.16 \pm 2.296a	50.347 \pm 6.020c
46		35.077 \pm 1.125a	39.37 \pm 1.892b	40.009 \pm 4.991ab
50		40.149 \pm 3.351b	57.407 \pm 2.675c	23.068 \pm 2.171a

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้
ความเครียดจากสภาวะแล้ง

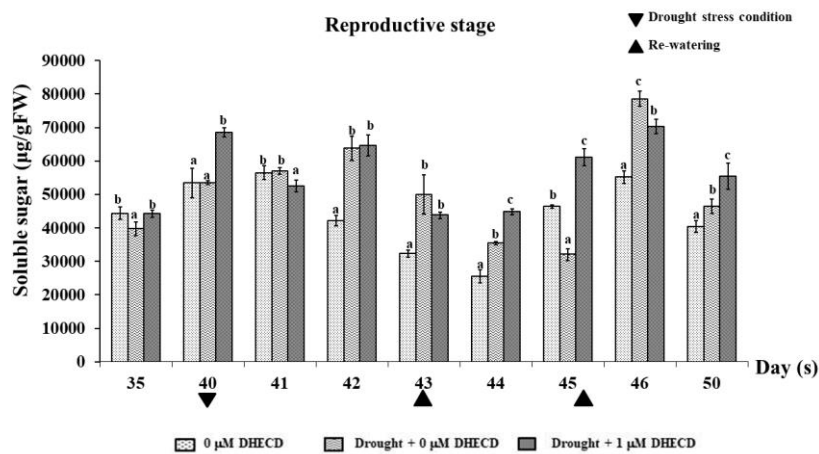
จากผลการทดลอง (ตาราง 18) ในวันที่ 5, 25 และ 30 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น คิดเป็น 2.21, 1.31 และ 1.57 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 46)

ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ เพิ่มขึ้นในวันที่ 42, 43, 44, 46 และ 50 โดยเพิ่มขึ้นสูงสุดคิดเป็น 1.54 เท่าและลดลง ในวันที่ 45 คิดเป็น 0.69 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นในวันที่ 40, 42, 43, 44, 45, 46 และ 50 โดยเพิ่มขึ้นสูงสุดคิดเป็น 1.75 เท่า และลดลง ในวันที่ 41 คิดเป็น 0.93 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นในวันที่ 40, 44, 45 และ 50 คิดเป็น 1.25, 1.26, 1.9, และ 1.19 เท่า และลดลง ในวันที่ 41 และ 46 คิดเป็น 0.92 และ 0.89 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 47)



ภาพประกอบ 45 ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 46 ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 18 ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่
ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

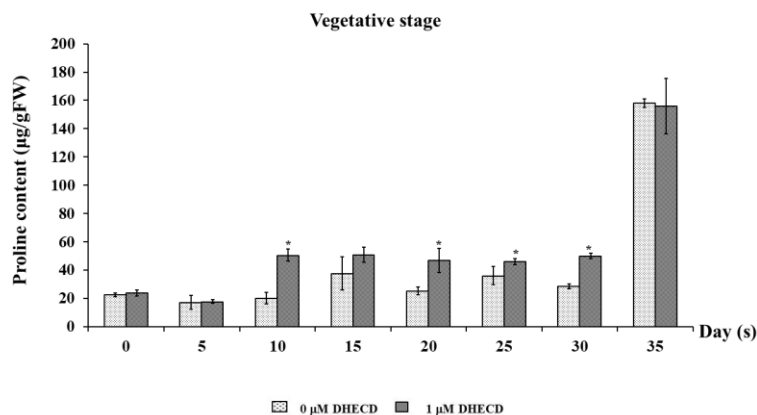
Growth phases	Day(s)	Treatment (s)		
		Control (0 μ M DHECD)	Drought (0 μ M DHECD)	Drought (1 μ M DHECD)
Vegetative stage	0	10831.93 \pm 963.462a	16981.213 \pm 917.058a	10314.141 \pm 831.21a
	5	13485.576 \pm 1390.2a	24605.235 \pm 1711b	29812.908 \pm 2270.171c
	10	38026.377 \pm 1759.271b	32353.583 \pm 683.363a	36337.068 \pm 1320.011b
	15	50641.426 \pm 6742.184b	52787.759 \pm 3495.762b	42267.461 \pm 419.835a
	20	43189.872 \pm 4111.809a	39115.657 \pm 3170.566a	41093.634 \pm 2156.518a
	25	25590.211 \pm 1171.89a	37569.653 \pm 789.538c	33454.987 \pm 1357.123b
	30	22624.047 \pm 923.94a	21731.843 \pm 1287.596a	35523.651 \pm 1045.616b
	35	44353.96 \pm 1835.676b	39743.114 \pm 2051.34a	44221.273 \pm 1090.924b
Reproductive stage	40	53403.624 \pm 4417.461a	53472.251 \pm 533.74a	68595.344 \pm 1374.509b
	41	56469.458 \pm 2077.082b	57031.451 \pm 891.478b	52552.304 \pm 1790.081a
	42	42108.09 \pm 1533.446a	63722.419 \pm 3630.851b	64618.259 \pm 3105.927b
	43	32359.067 \pm 1071.455a	50008.552 \pm 5881.09b	43789.208 \pm 961.318b
	44	25566.409 \pm 1973.14a	35399.642 \pm 446.562b	44787.477 \pm 839.046c
	45	46409.481 \pm 499.693b	32069.321 \pm 1789.23a	61171.829 \pm 2528.308c
	46	55152.783 \pm 1916.341a	78559.137 \pm 2257.843c	70313.898 \pm 2153.738b
	50	40436.62 \pm 1708.075a	46513.894 \pm 2115.401b	55463.281 \pm 3826.607c

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วย
วิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาด
เคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อปริมาณโพรลินของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

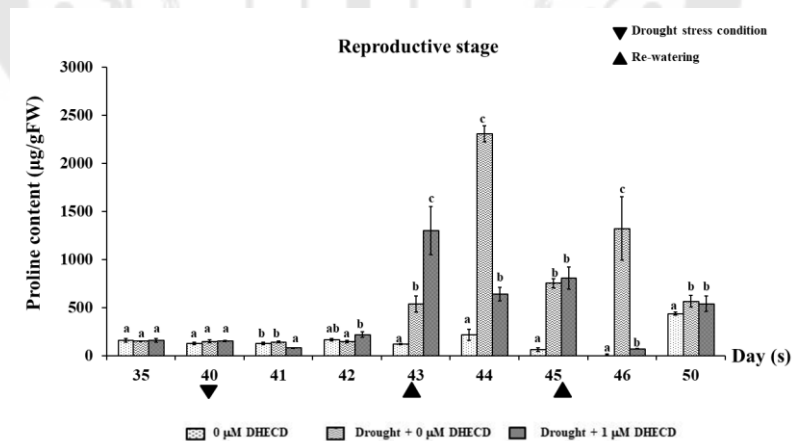
จากผลการทดลองตามตาราง 19 ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณโพรลินเพิ่มขึ้นในวันที่ 10, 20, 25 และ 30 คิดเป็น 2.51, 1.86, 1.28 และ 1.75 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 48)

ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีปริมาณโพรลิน เพิ่มขึ้นในวันที่ 43 ถึง 50 โดยเพิ่มขึ้นสูงสุดคิดเป็น 114.68 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณโพรลิน เพิ่มขึ้นในวันที่ 43 ถึง 50 โดยเพิ่มขึ้นสูงสุดคิดเป็น 12.81 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณโพรลิน เพิ่มขึ้น ในวันที่ 42 และ 43 คิดเป็น 1.52 และ 2.42 เท่า และลดลงในวันที่ 41 และ 46 คิดเป็น 0.15 และ 0.05 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 49)



ภาพประกอบ 47 ปริมาณโพรลีนของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 48 ปริมาณโพรลีนของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 19 ปริมาณโพรงดินของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

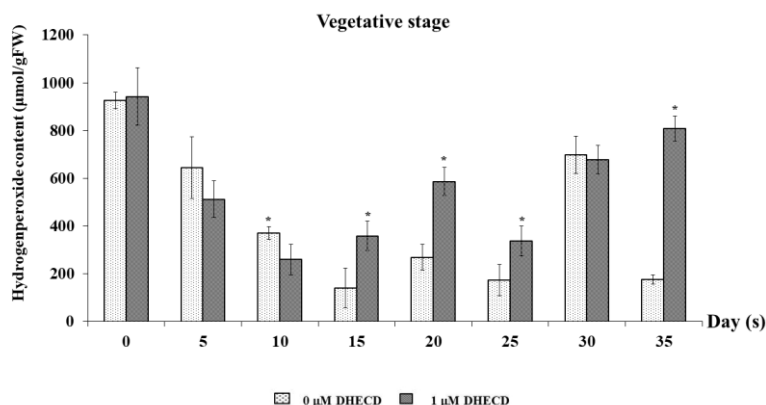
Growth phases	Day(s)	Treatment (s)		
		Control (0 μM DHECD)	Drought (0 μM DHECD)	Drought (1 μM DHECD)
Vegetative stage	0	22.45 \pm 1.2a	23.755 \pm 2.0398a	15.755 \pm 1.505a
	5	17.221 \pm 4.995ab	12.214 \pm 2.236a	17.681 \pm 1.188b
	10	20.052 \pm 4.109a	52.518 \pm 3.043b	50.449 \pm 3.043b
	15	37.713 \pm 11.656ab	35.769 \pm 3.309a	50.775 \pm 5.343b
	20	25.158 \pm 2.698a	33.80443 \pm 3.448b	46.79681 \pm 8.72c
	25	35.996 \pm 6.373b	24.446 \pm 1.473a	46.05 \pm 2.08c
	30	28.555 \pm 1.808a	50.257 \pm 3.199b	49.944 \pm 1.81b
	35	158.116 \pm 18.92a	148.436 \pm 2.907a	155.992 \pm 19.595a
Reproductive stage	40	124.886 \pm 11.962	145.352 \pm 16.182	149.717 \pm 7.936
	41	126.948 \pm 12.424a	141.06 \pm 9.564a	79.716 \pm 2.36a
	42	166.053 \pm 11.988b	143.440 \pm 13.585b	218.529 \pm 31.389a
	43	118.036 \pm 7.603a	535.406 \pm 83.173b	1297.576 \pm 250.201c
	44	218.191 \pm 57.539a	2305.325 \pm 81.612c	640.401 \pm 69.172b
	45	62.746 \pm 19.742a	752.133 \pm 47.135b	803.621 \pm 116.745b
	46	11.505 \pm 3.554a	1319.433 \pm 330.731c	70.545 \pm 4.937b
	50	435.088 \pm 14.947a	562.512 \pm 60.708b	538.146 \pm 79.544b

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้
ความเครียดจากสภาวะแล้ง

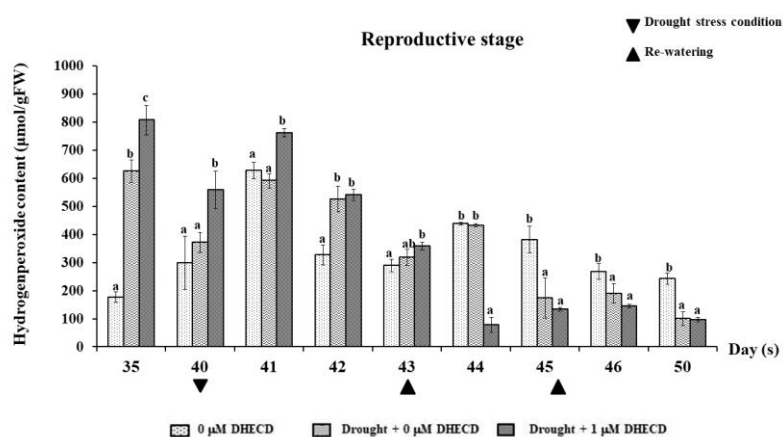
จากผลการทดลองตามตารางที่ 20 พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจาก
สภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณไฮโดรเจน
เปอร์ออกไซด์ ในวันที่ 10 ลดลง คิดเป็น 0.7 เท่า และเพิ่มขึ้นในวันที่ 15, 20, 25 และ 35 ของการ
ทดลอง คิดเป็น 2.58, 2.18, 1.94 และ 4.57 เท่าตามลำดับ เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับ
ความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ
ทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 50)

ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD
มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพิ่มขึ้นในวันที่ 42 คิดเป็น 1.61 เท่า และลดลงในวันที่ 45 ถึง 50
โดยลดลงมากที่สุดที่ 0.71 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง
และไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าว
ไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไม
โครโมลาร์ มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพิ่มขึ้นในวันที่ 40 ถึง 43 โดยเพิ่มขึ้นสูงสุดคิดเป็น
1.87 เท่า และลดลงตั้งแต่วันที่ 44 ถึง 50 โดยลดลงมากที่สุดคิดเป็น 0.54 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าว
ไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับ
การพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพิ่มขึ้น
ในวันที่ 40 และ 41 คิดเป็น 1.5 และ 1.29 เท่า และลดลงในวันที่ 44 คิดเป็น 0.18 เท่า เมื่อเทียบ
กับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมี
นัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 51)



ภาพประกอบ 49 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 50 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 20 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่
ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

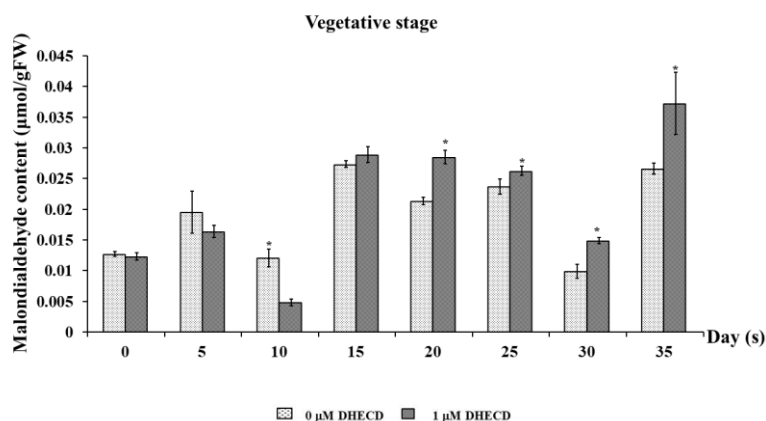
Growth phases	Day(s)	Treatment (s)		
		Control (0 μM DHECD)	Drought (0 μM DHECD)	Drought (1 μM DHECD)
Vegetative stage	0	1006.505 \pm 17.924a	926.414 \pm 34.298a	1082.334 \pm 35.486a
	5	644.112 \pm 130.153ab	753.866 \pm 122.636b	512.271 \pm 77.108a
	10	370.706 \pm 27.697b	349.196 \pm 70.358ab	259.54 \pm 63.568a
	15	139.233 \pm 83.54a	495.031 \pm 72.183c	358.773 \pm 60.642b
	20	269.283 \pm 53.457a	504.902 \pm 4.012b	586.453 \pm 58.925c
	25	173.411 \pm 65.624a	341.449 \pm 50.866b	337.256 \pm 62.553b
	30	697.629 \pm 77.164a	758.527 \pm 90.703a	678.06 \pm 60.267a
	35	176.494 \pm 19.037a	625.848 \pm 39.2588b	807.541 \pm 52.374c
Reproductive stage	40	299.256 \pm 94.072a	372.234 \pm 35.332a	559.263 \pm 66.383b
	41	627.723 \pm 28.887a	592.031 \pm 25.795a	761.601 \pm 14.535b
	42	327.136 \pm 35.343a	526.127 \pm 45.026b	541.042 \pm 20.926b
	43	289.505 \pm 21.479a	318.251 \pm 28.57ab	358.661 \pm 13.634b
	44	439.238 \pm 4.661b	432.387 \pm 5.595b	77.687 \pm 25.963a
	45	381.744 \pm 48.86b	173.711 \pm 70.919a	134.333 \pm 6.83a
	46	267.721 \pm 28.271b	190.377 \pm 34.406a	144.912 \pm 6.061a
	50	243.105 \pm 19.5535b	99.624 \pm 24.548a	96.481 \pm 7.031a

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

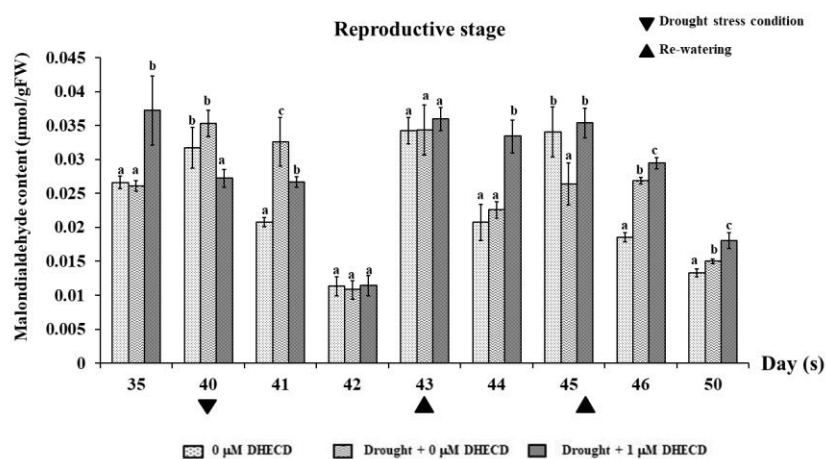
ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับสาร DHECD มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ ลดลงในวันที่ 10 คิดเป็น 0.4 เท่า และเพิ่มขึ้นในวันที่ 20 ถึง 30 ของการทดลอง โดยเพิ่มสูงสุดที่ 1.51 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 52)

ในต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ เพิ่มขึ้น ในวันที่ 41, 46 และ 50 คิดเป็น 1.57, 1.45 และ 1.13 เท่าตามลำดับ และลดลงในวันที่ 45 คิดเป็น 0.71 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ลดลง ในวันที่ 40 คิดเป็น 0.86 เท่า และเพิ่มขึ้นในวันที่ 41, 44, 46 และ 50 โดยเพิ่มสูงสุดคิดเป็น 1.61 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ลดลงในวันที่ 40 คิดเป็น 0.77 เท่า และเพิ่มขึ้นในวันที่ 41, 44, 46 และ 50 โดยเพิ่มสูงสุดคิดเป็น 1.48 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 53)



ภาพประกอบ 51 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยาะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 52 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยาะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 21 ปริมาณมาลอนไดอัลดีไฮด์ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับ
ความเครียดจากสภาวะแล้ง

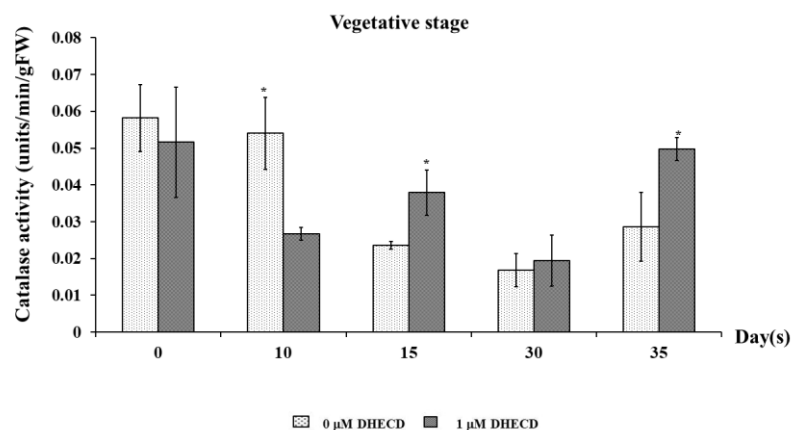
Growth phases	Day(s)	Treatment (s)		
		Control (0 μM DHECD)	Drought (0 μM DHECD)	Drought (1 μM DHECD)
Vegetative stage	0	0.013 \pm 0.0004a	0.01 \pm 0.001a	0.012 \pm 0.001a
	5	0.019 \pm 0.003a	0.026 \pm 0.006ab	0.016 \pm 0.001a
	10	0.012 \pm 0.001b	0.006 \pm 0.002a	0.005 \pm 0.0006a
	15	0.027 \pm 0.0005a	0.026 \pm 0.001a	0.029 \pm 0.001b
	20	0.021 \pm 0.0006a	0.028 \pm 0.001b	0.028 \pm 0.001b
	25	0.024 \pm 0.001a	0.026 \pm 0.001b	0.026 \pm 0.001b
	30	0.01 \pm 0.001a	0.014 \pm 0.001b	0.015 \pm 0.0005b
	35	0.027 \pm 0.001a	0.026 \pm 0.001a	0.037 \pm 0.005b
	40	0.032 \pm 0.003b	0.035 \pm 0.002b	0.027 \pm 0.001a
	41	0.021 \pm 0.001a	0.033 \pm 0.003c	0.027 \pm 0.001b
Reproductive stage	42	0.011 \pm 0.001a	0.011 \pm 0.001a	0.011 \pm 0.001a
	43	0.034 \pm 0.002a	0.034 \pm 0.004a	0.036 \pm 0.002a
	44	0.021 \pm 0.003a	0.022 \pm 0.001a	0.033 \pm 0.002b
	45	0.034 \pm 0.004b	0.026 \pm 0.003a	0.035 \pm 0.002b
	46	0.018 \pm 0.001a	0.027 \pm 0.0004b	0.029 \pm 0.001c
	50	0.013 \pm 0.001a	0.015 \pm 0.0003b	0.018 \pm 0.001c

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อเอนไซม์อะไมเลสของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

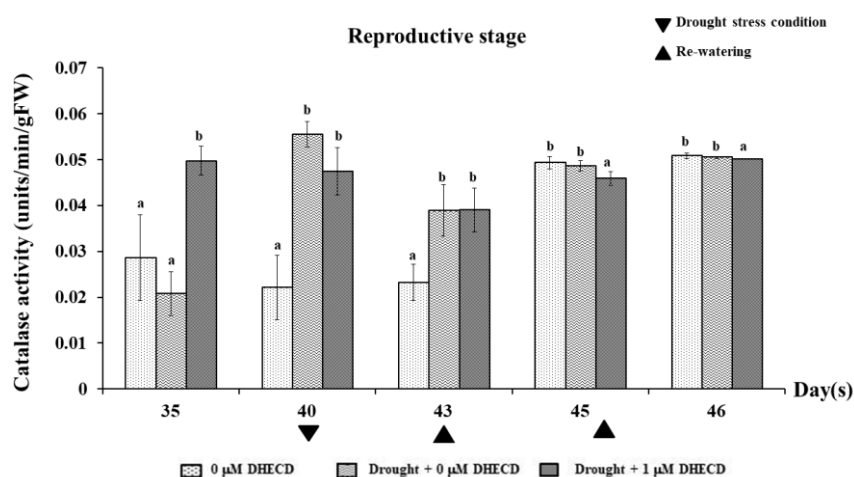
จากผลการทดลอง (ตาราง 20) พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส ลดลงในวันที่ 10 คิดเป็น 0.49 เท่า และเพิ่มขึ้นในวันที่ 15 และ 35 คิดเป็น 1.6 และ 1.74 เท่าเมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 54)

ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสเพิ่มขึ้นในวันที่ 40 และ 43 คิดเป็น 2.51 และ 1.67 เท่าเมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส เพิ่มขึ้นในวันที่ 40 และ 43 คิดเป็น 2.14 และ 1.68 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส ลดลงในวันที่ 40, 43 และ 46 เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD (ภาพประกอบ 55)



ภาพประกอบ 53 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์คะตะเลสของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 54 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์คะตะเลสของต้นข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 22 การทำงานของเอนไซม์อะไมเลสของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

Stage	Days	Treatments		
		Control (0 μ DHECD)	Drought (0 μ M DHECD)	Drought (1 μ M DHECD)
Vegetative stage	0	0.01±0.004a	0.027±0.006b	0.052±0.015c
	10	0.054±0.01b	0.022±0.005a	0.027±0.002a
	15	0.023±0.001a	0.04±0.006b	0.038±0.006b
	30	0.017±0.004a	0.025±0.006a	0.019±0.007a
	35	0.029±0.009a	0.021±0.005a	0.05±0.003b
Reproductive stage	40	0.022±0.007a	0.055±0.003b	0.047±0.005b
	43	0.023±0.004a	0.039±0.006b	0.039±0.005b
	45	0.049±0.001b	0.049±0.001b	0.046±0.001a
	46	0.051±0.001b	0.05±0.0002b	0.05±0.0001a

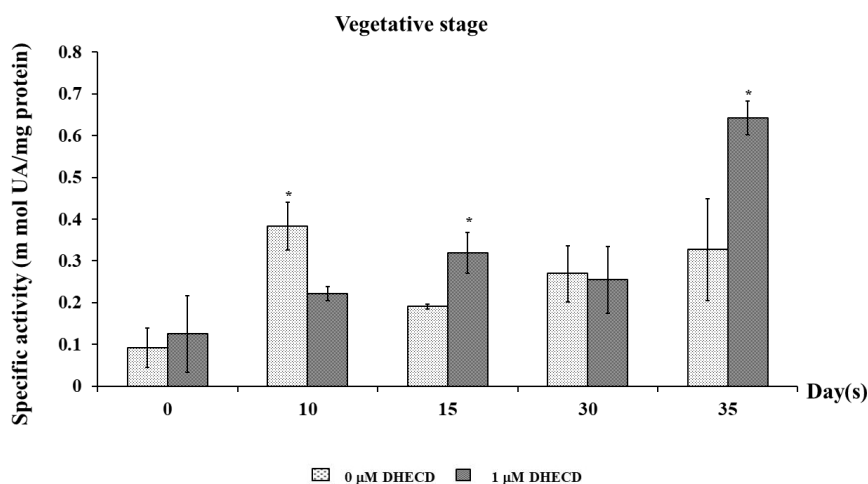
¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในตารางที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อกิจกรรมอะไมเลสของเอนไซม์อะไมเลส (Enzyme specific activity) ของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีกิจกรรมอะไมเลสของเอนไซม์อะไมเลส (Enzyme specific activity) ลดลงในวันที่ 10 คิดเป็น 0.58 เท่า และในวันที่ 15 และ 35 มีการทำงานเพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.67 และ 1.96 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และไม่ได้

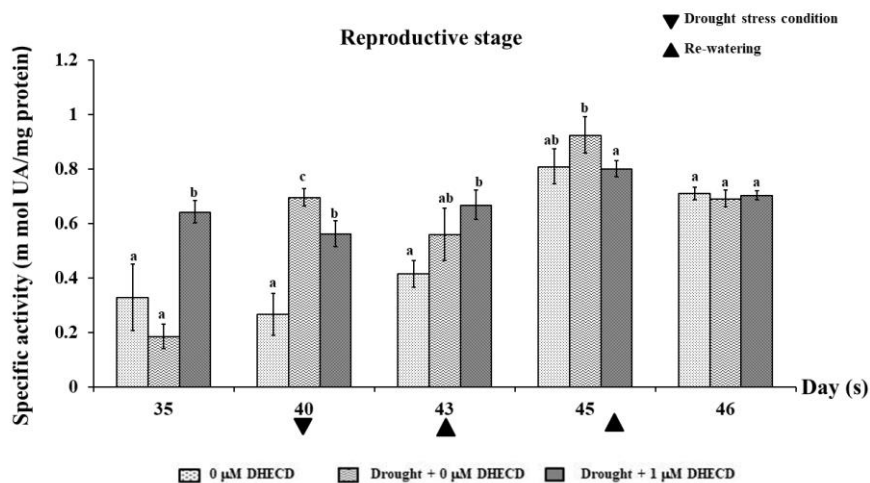
รับการปนด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 56)

ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และไม่ได้รับการปนด้วยสาร DHECD มีกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์อะไมเลส เพิ่มขึ้น ในวันที่ 40 คิดเป็น 2.62 เท่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และในวันที่ 43 ถึง 46 ไม่พบความแตกต่าง เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และไม่ได้รับการปนด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และได้รับการปนด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์อะไมเลส เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในวันที่ 40 และ 43 คิดเป็น 2.11 และ 1.61 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการปนด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการปนด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีกิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์อะไมเลส ลดลงในวันที่ 40 และ 45 เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการปนด้วยสาร DHECD (ภาพประกอบ 57)



ภาพประกอบ 55 กิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์อะไมเลสของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการปนด้วยสาร DHECD

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



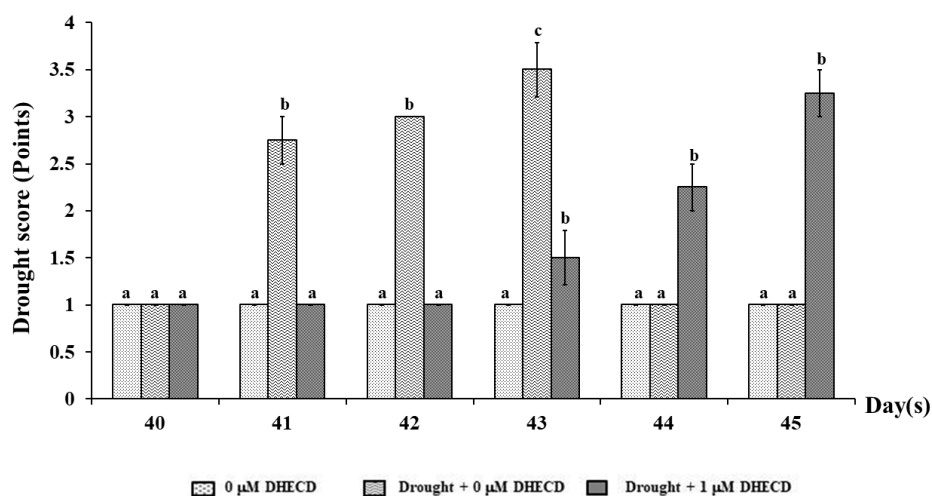
ภาพประกอบ 56 กิจกรรมจำเพาะของเอนไซม์อะไมเลสของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

คะแนนความแล้งของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

จากผลการทดลองพบว่า ในวันที่ 40 ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง แต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีคะแนนความแล้งไม่แตกต่างกับคะแนนความแล้งของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีคะแนนความแล้งไม่แตกต่างกับคะแนนสภาวะแล้งของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีคะแนนความแล้งไม่แตกต่างกับคะแนนสภาวะแล้งของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในวันที่ 41 ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีคะแนนความแล้งเพิ่มขึ้น คิดเป็น 2.75 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียด

ควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 45 จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ได้รับความสะดวกจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีคะแนนความแล้งเพิ่มขึ้นคิดเป็น 3.25 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ไม่ได้รับความสะดวกจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพประกอบ 58)



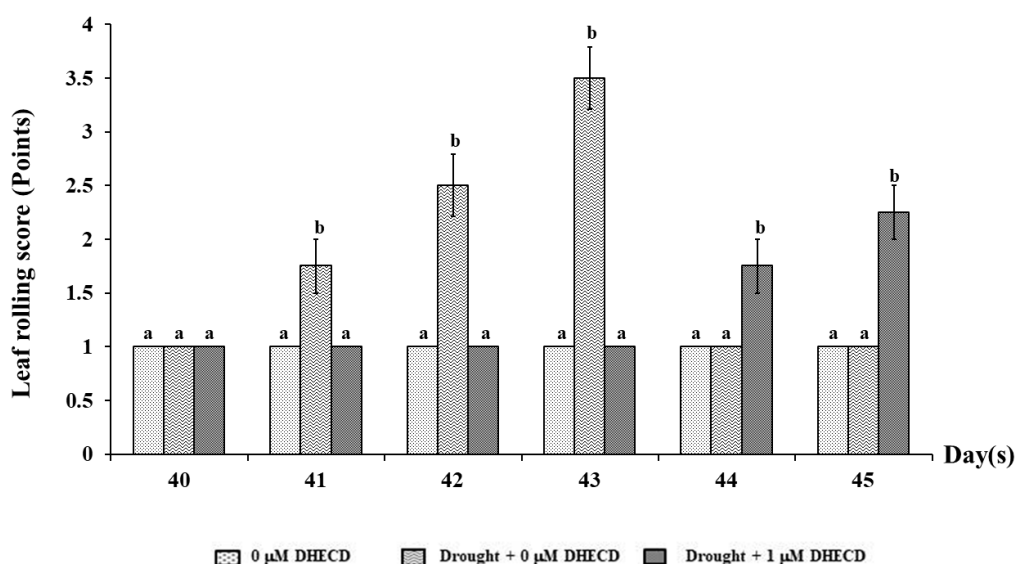
ภาพประกอบ 57 คะแนนความแล้งของต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความสะดวกจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE= ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

คะแนนการม้วนของใบข้าวไรซ์เบอรีหลังจากได้รับความสะดวกจากสภาวะแล้ง

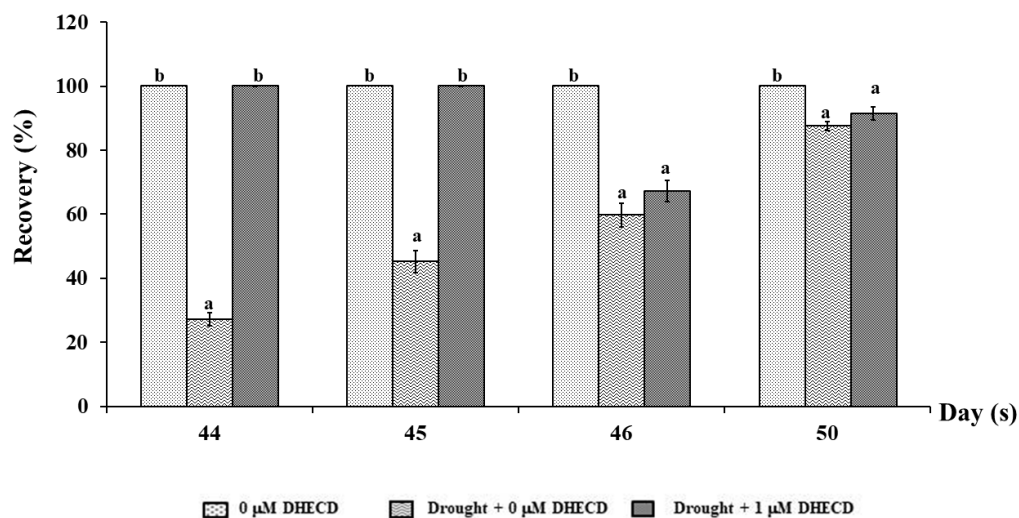
จากผลการทดลองพบว่า ในวันที่ 40 ต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ได้รับความสะดวกจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีคะแนนการม้วนของใบไม่แตกต่างกับคะแนนการม้วนของใบของต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ไม่ได้รับความสะดวกจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม ต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ได้รับความสะดวกจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีคะแนนการม้วนของใบไม่แตกต่างกับคะแนนการม้วนของใบของต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ไม่ได้รับความสะดวกจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม ในวันที่ 41 ต้น

เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีคะแนนการม้วนของใบน้อยกว่าคิดเป็น 0.286 เท่า เมื่อเทียบกับคะแนนการม้วนของใบของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในวันที่ 45 จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีคะแนนการม้วนของใบเพิ่มขึ้น คิดเป็น 2.25 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพประกอบ 59)



ภาพประกอบ 58 คะแนนการม้วนของใบของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

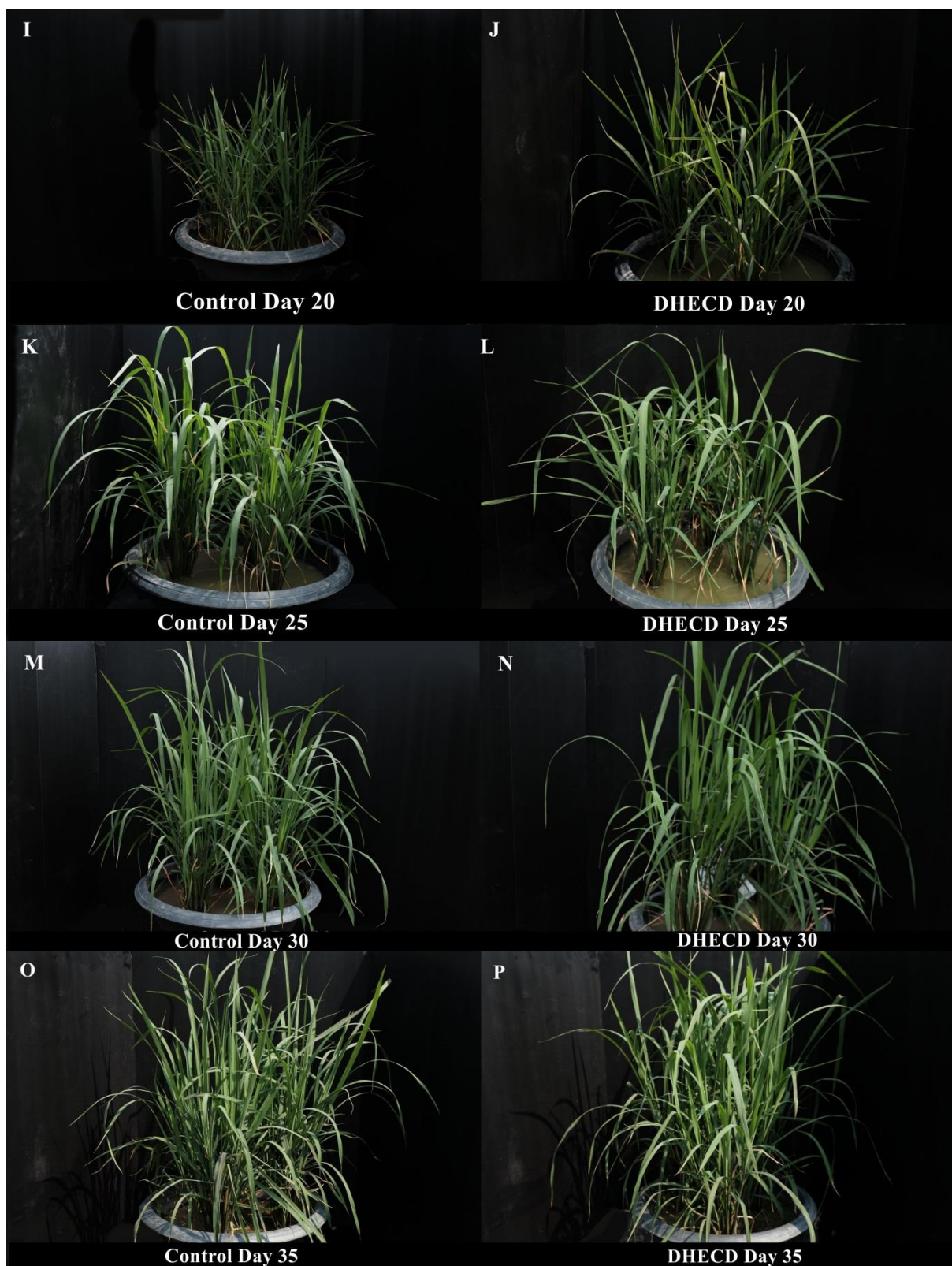
¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE= ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)



ภาพประกอบ 59 คะแนนการฟื้นตัวของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการฟื้น
ด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE = ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

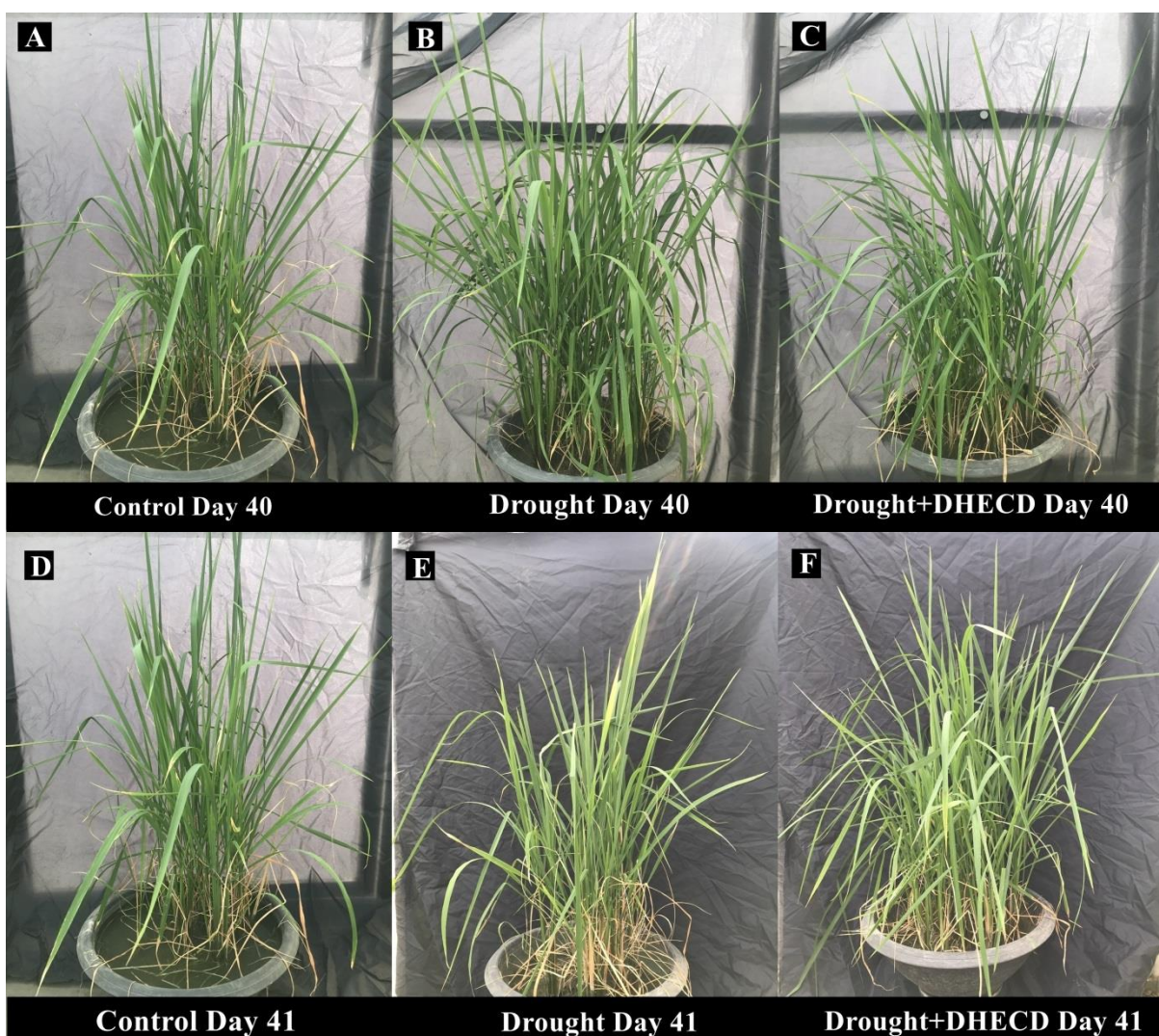


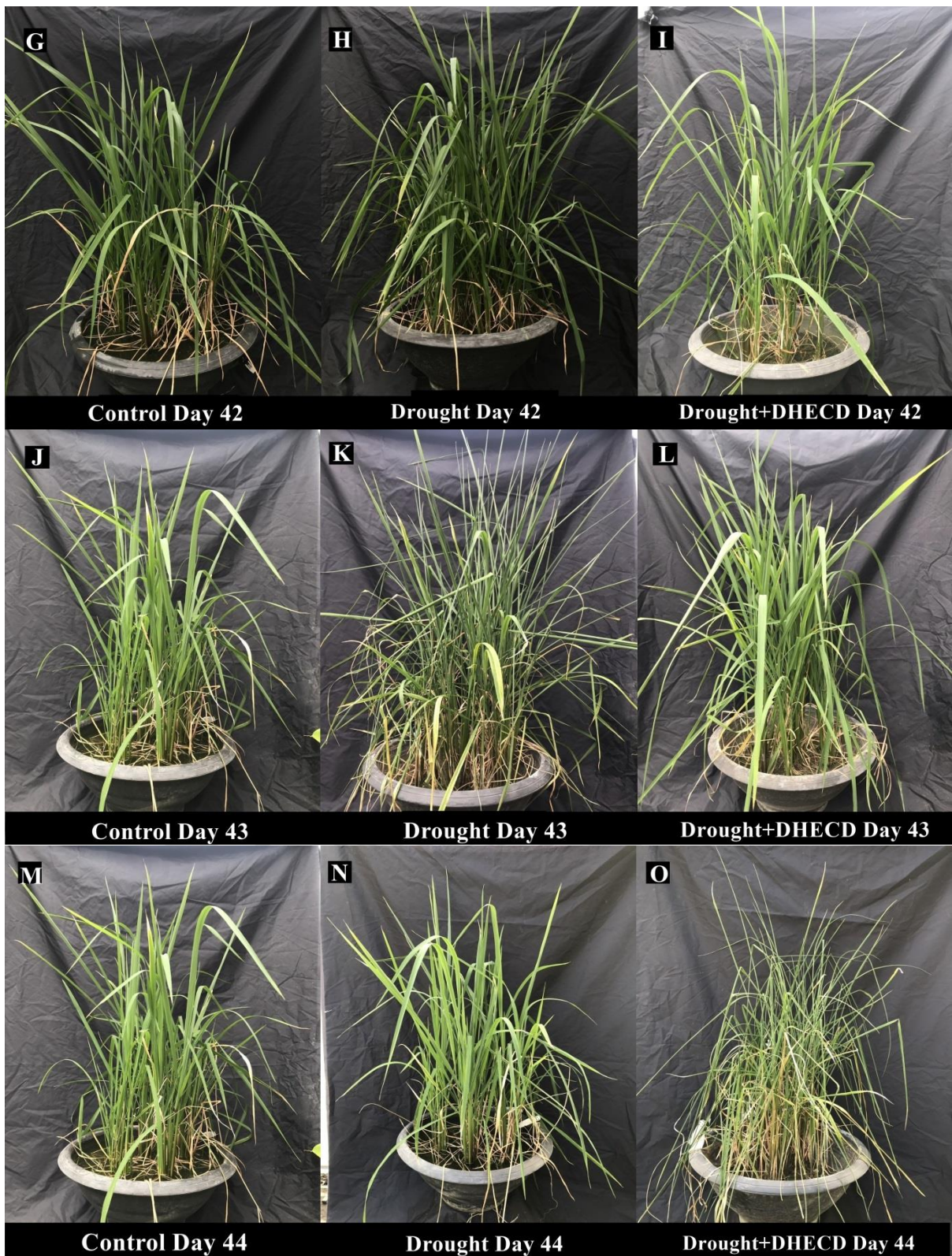


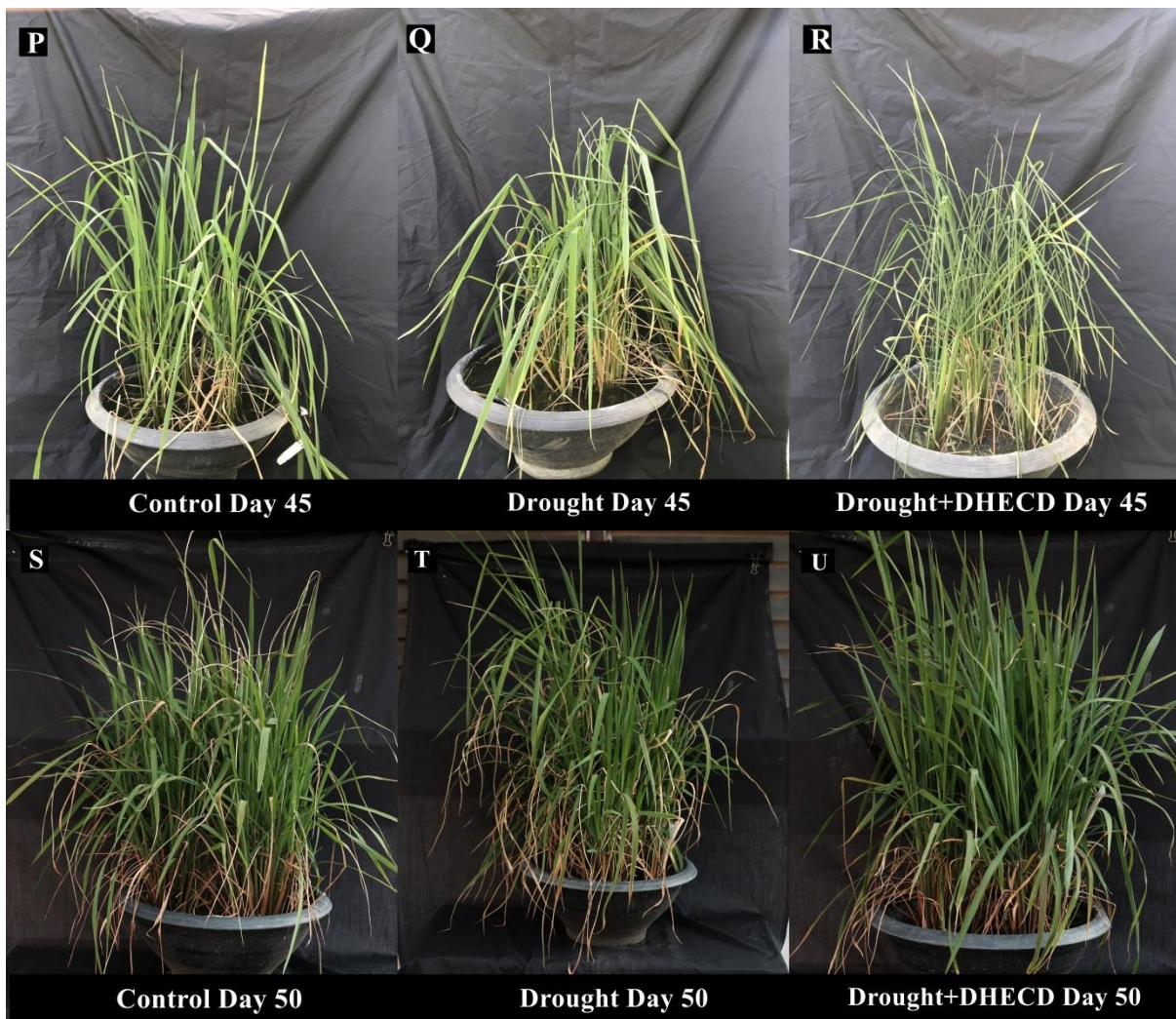
ภาพประกอบ 60 ต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุมที่ได้รับน้ำเพียงพอ ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน (วัน) ได้แก่ 0(A), 5(C), 10(E), 15(G), 20(I), 25(K), 30(M) และ 35(O) วัน ตามลำดับ

ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุมที่ได้รับปริมาณน้ำเพียงพอ และได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน (วัน) ได้แก่ 0(B), 5(D), 10(F), 15(H), 20(J), 25(L), 30(N) และ 35(P) วัน ตามลำดับ







ภาพประกอบ 61 ต้นข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

ต้นข้าวไรซ์เบอรีในชุดควบคุมที่ได้รับปริมาณน้ำเพียงพอ ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน (วัน) ได้แก่ 40(A), 41(D), 42(G), 43(J), 44(M), 45(P) และ 50(S) วัน ตามลำดับ

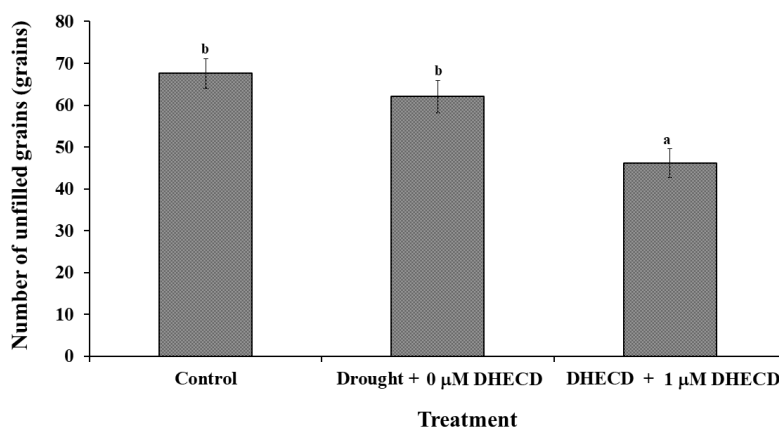
ต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน (วัน) ได้แก่ 40(B), 41(E), 42(H), 43(K), 44(N), 45(Q) และ 50(T) วัน ตามลำดับ

ต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ได้รับความเครียดจากความแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน (วัน) ได้แก่ 40(C), 41(F), 42(I), 43(L), 44(O), 45(R) และ 50(U) วัน ตามลำดับ

ผลของสาร DHECD ต่อจำนวนเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งใน ระยะ Reproductive

จำนวนเมล็ดดีของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีจำนวนเมล็ดดีไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในระยะ Reproductive ของการเติบโต และพบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีจำนวนเมล็ดดีลดลง คิดเป็น 0.68 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในระยะ Reproductive ของการเติบโต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์มีจำนวนเมล็ดดีลดลง คิดเป็น 0.74 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในระยะ Reproductive ของการเติบโต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตาราง 23 และภาพประกอบ 63)

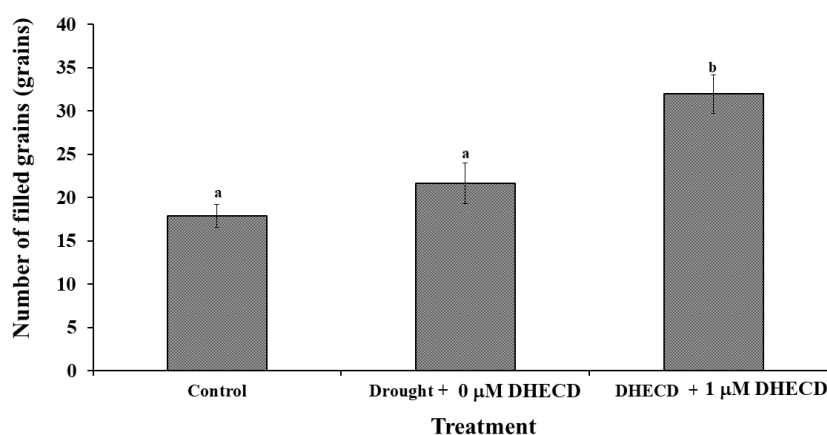


ภาพประกอบ 62 จำนวนเมล็ดดีข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

จำนวนเมล็ดลีบของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีจำนวนเมล็ดลีบไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และพบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีจำนวนเมล็ดลีบเพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.79 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีจำนวนเมล็ดลีบเพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.47 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 64)

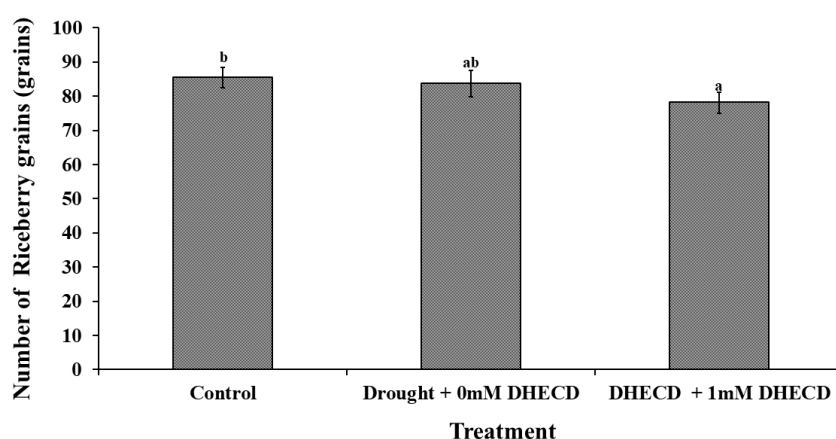


ภาพประกอบ 63 จำนวนเมล็ดลีบของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะเวลา Reproductive และได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อจำนวนเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีจำนวนเมล็ด ไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และพบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีจำนวนเมล็ดลดลง คิดเป็น 0.91 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีจำนวนเมล็ดไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD (ภาพประกอบ 65)

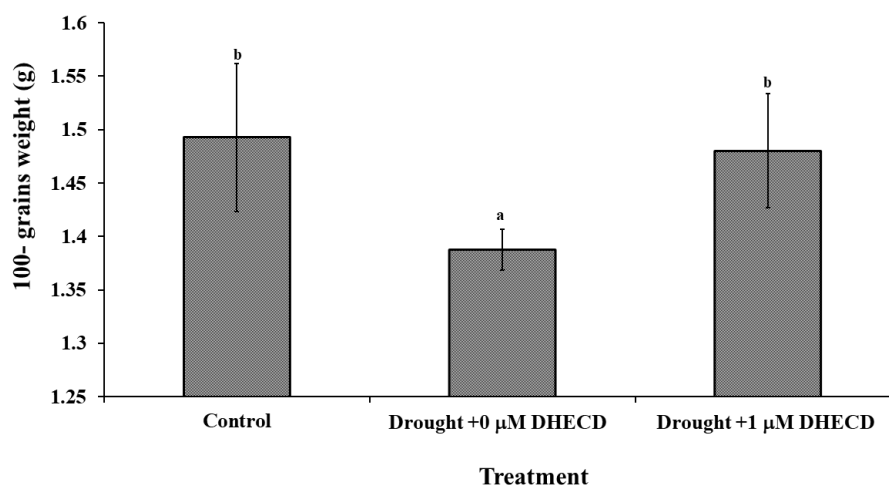


ภาพประกอบ 64 จำนวนเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ที่มีต่อน้ำหนัก 100 เมล็ดของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งในระยะ Reproductive

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ต่อน้ำหนักเมล็ดข้าวจำนวน 100 เมล็ด มีค่าลดลง คิดเป็น 0.93 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และพบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีค่าน้ำหนักเมล็ดข้าวจำนวน 100 เมล็ด ไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีค่าน้ำหนักเมล็ดข้าวจำนวน 100 เมล็ด เพิ่มขึ้นคิดเป็น 1.07 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 66)

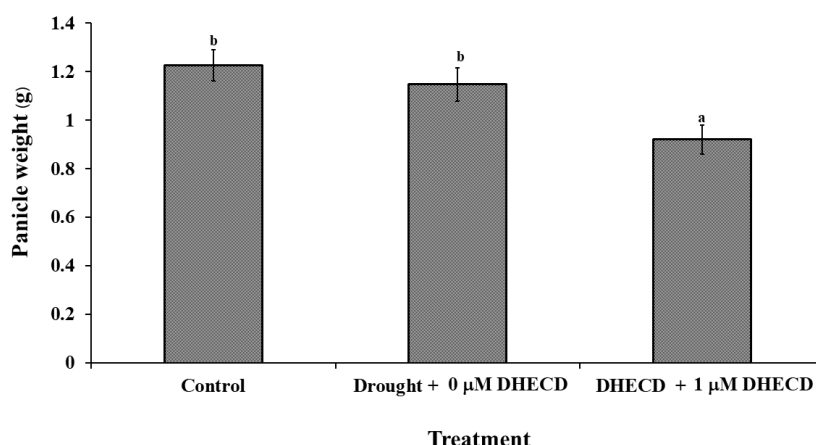


ภาพประกอบ 65 น้ำหนักเมล็ดข้าว จำนวน 100 เมล็ดของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อน้ำหนักรวงของข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ในระยะ Reproductive

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีต่อน้ำหนักรวงไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และพบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีน้ำหนักรวงลดลง คิดเป็น 0.75 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และพบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีน้ำหนักรวงลดลง คิดเป็น 0.8 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 67)

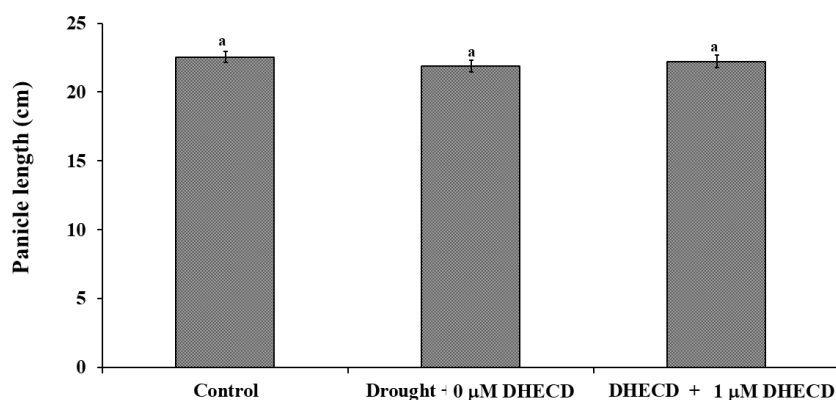


ภาพประกอบ 66 น้ำหนักรวงของข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อความยาวรวงของข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากความแล้ง ในระยะ Reproductive

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้
รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีความยาวรวงไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียด
จากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และพบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับ
ความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มี
ความยาวรวงไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการ
พ่นด้วยสาร DHECD และต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่น
ด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีความยาวรวงไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอรี่ที่
ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD (ภาพประกอบ 68)



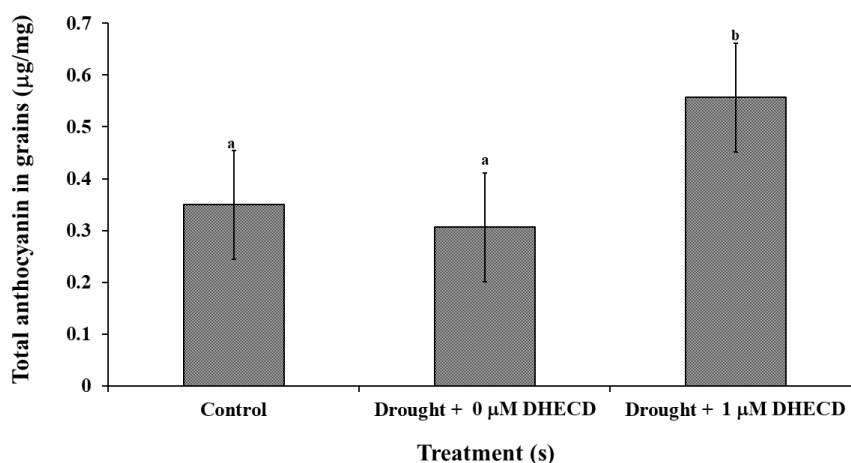
ภาพประกอบ 67 ความยาวรวงของข้าวไรซ์เบอรี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร
DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบ
ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่า
ความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อปริมาณแอนโทไซยานินของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับ

ความเครียดจากสภาวะแล้งในระยะ Reproductive

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีปริมาณแอนโทไซยานินของเมล็ดไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และพบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณแอนโทไซยานินของเมล็ดเพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.59 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณแอนโทไซยานินของเมล็ดเพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.81 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 69)

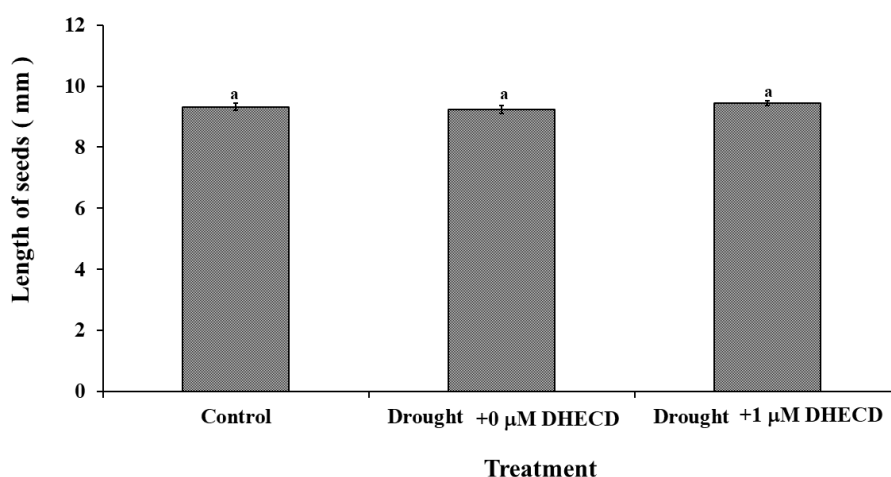


ภาพประกอบ 68 ปริมาณแอนโทไซยานินของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อความยาวของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรีที่ได้รับ ความเครียดจากสภาวะ แล้งในระยะ Reproductive

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ได้รับ ความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้ รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีความยาวของเมล็ดไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ไม่ได้รับ ความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้ รับการพ่นด้วยสาร DHECD และพบว่าต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ ได้รับ ความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีความยาวของเมล็ด ไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและ ไม่ได้ รับการพ่นด้วยสาร DHECD และต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ได้รับ ความเครียดจากสภาวะแล้งและ ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีความยาวของเมล็ด ไม่แตกต่างกับ ต้นข้าวไรซ์เบอรีที่ได้รับ ความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้ รับการพ่นด้วยสาร DHECD (ภาพประกอบ 70)

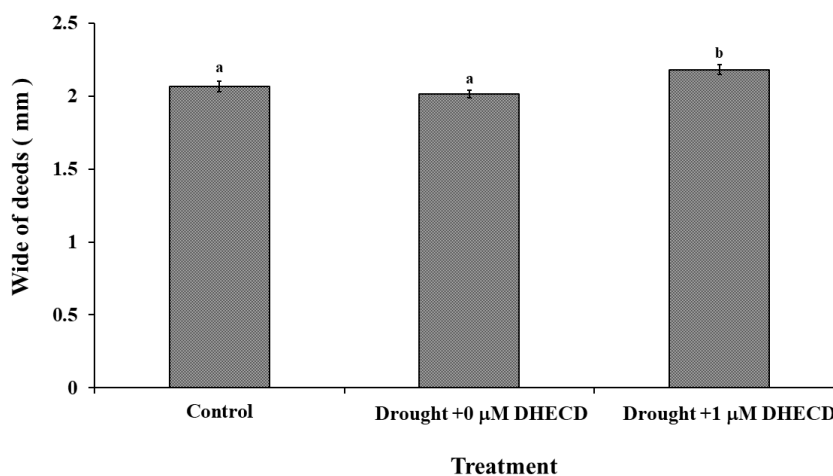


ภาพประกอบ 69 ความยาวของเมล็ดข้าวไรซ์เบอรีในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบ ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่า ความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อความกว้างของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีความกว้างของเมล็ดไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และพบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีความกว้างของเมล็ดเพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.05 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีความกว้างของเมล็ดเพิ่มขึ้น คิดเป็น 1.08 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 71)

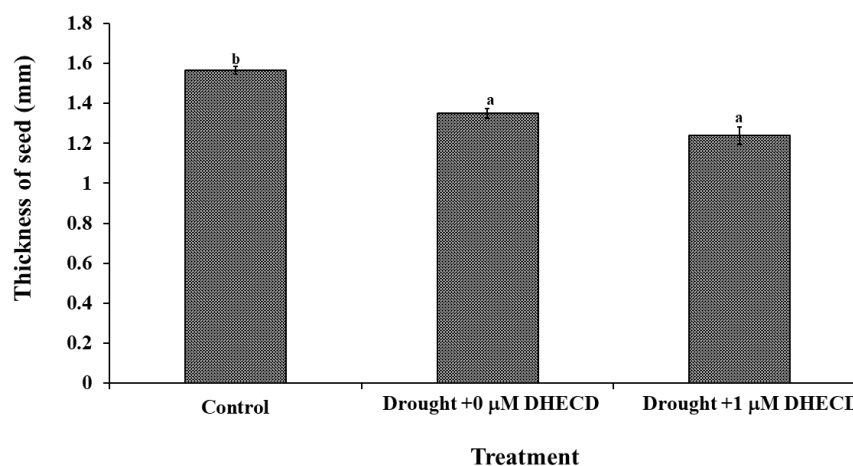


ภาพประกอบ 70 ความกว้างของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ผลของสาร DHECD ต่อความหนาของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีความหนาของเมล็ดไม่แตกต่างกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และพบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีความหนาของเมล็ด ลดลง คิดเป็น 0.79 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีความหนาของเมล็ด ลดลง คิดเป็น 0.92 เท่า เมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ภาพประกอบ 72)



ภาพประกอบ 71 ความหนาของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษบนแท่งกราฟที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE=ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

ตาราง 23 ผลของสาร DHECD ที่มีต่อคุณภาพของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่

Character	Control	Drought	Drought
	+ 0 μM DHECD	+ 0 μM DHECD	+ 1 μM DHECD
Number of completely filled seeds	67.589 \pm 3.558b	62 \pm 3.891b	46.158 \pm 3.444a
Number of incompletely filled seeds	17.869 \pm 1.302a	21.654 \pm 2.366a	31.927 \pm 2.232b
Number of total seeds	85.45 \pm 3.024b	83.65 \pm 3.81ab	78.08 \pm 3.072a
Panicle length (cm)	22.556 \pm 0.417a	21.894 \pm 0.435a	22.226 \pm 0.434a
Panicle weight (g)	1.226 \pm 0.064b	1.147 \pm 0.069b	0.92 \pm 0.059a
100- grains weight (g)	1.492 \pm 0.069b	1.387 \pm 0.019a	1.48 \pm 0.053b
Length of seeds (mm)	9.32 \pm 0.125a	9.231 \pm 0.136a	9.439 \pm 0.087a
Wide of deeds (mm)	2.068 \pm 0.036a	2.015 \pm 0.027a	2.18 \pm 0.033b
Thickness of seed (mm)	1.566 \pm 0.018b	1.349 \pm 0.026a	1.238 \pm 0.045a

¹ ตัวอักษรภาษาอังกฤษหลังตัวเลขที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ SE= ค่าความคลาดเคลื่อน (Standard error)

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองใน ตอนที่ 1 เมื่อจำลองสภาวะแล้งให้กับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยสารละลาย PEG6000 ที่ความเข้มข้น 0%, 5%, 10%, 15%, และ 20% (W/V) พบว่า ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (Chlorophyll fluorescence , Fv/Fm) ซึ่งเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับการตอบสนองของพืชในสภาวะต่างๆ บ่งบอกถึงความสามารถในการทำงานของระบบแสงของพืช (ศรีนัตดา บำเพ็ญผล, 2554) และค่า Performance index (Pi) ที่บ่งบอกถึงการทำงานของ PSI และ PSII ของพืช (Zivcak et al., 2008a) มีค่า Fv/Fm และค่า Pi ลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zivcak et al. (2008a) พบว่าความเครียดจากสภาวะแล้งส่งผลต่อการลดลงของค่า Fv/Fm และค่า Pi ของต้นอ่อนข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) เช่นเดียวกับผักกาด (*Lactuca sativa* L. cv. Cheong Chi Ma) ที่ได้รับสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 12 วัน พบว่า มีค่า Fv/Fm ลดลงตั้งแต่วันที่ 6 ของการได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Yu Kyeong et al., 2021) นอกจากนี้ยังพบการรายงานผลของความเครียดจากสภาวะแล้งที่ส่งผลให้ค่า Fv/Fm และค่า Pi ลดลง เช่นในมะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum* cv. Arvento) (Zhou et al., 2017) และในต้นแอปเปิ้ล (*Malus domestica* Borkh cv. Golden delicious Reinders) ที่ได้รับความร้อนและสภาวะแล้ง (Mihaljević et al., 2021) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงผลของความเครียดจากสภาวะแล้งที่ส่งผลต่อค่า Fv/Fm ค่า Pi ซึ่งทั้งสองค่าแสดงถึงประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงและการส่งต่ออิเล็กตรอน การขาดน้ำของต้นพืชส่งผลโดยตรงต่อการนำเข้าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและขนส่งอิเล็กตรอนในระบบแสง (Li et al., 2006) ทำให้เมื่อพืชได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งจะมีค่า Fv/Fm และ Pi ลดลง

ค่าความเขียวของใบ (SPAD value) เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ภายในพืช และยังเป็นค่าที่มีการแปลงเมื่อพืชได้รับสภาวะต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า มีค่าความเขียวของใบลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Zhao et al., 2010) ที่ศึกษาผลของความแล้งที่มีต่อข้าวบาร์เลย์ พบว่า เมื่อข้าวบาร์เลย์ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง จะส่งผลต่อค่า SPAD ที่ลดลง ในต้นอ่อนข้าวโพดที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 6 วัน พบว่ามีค่า SPAD value ที่ลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสภาวะแล้ง (Zhang et al., 2018) เช่นเดียวกับกับงานวิจัยของ Shahenshah and Isoda (2010b) ที่ศึกษาผลของความแล้งในต้นถั่วลิสง (*Arachis*

hypogaea L.) และฝ้าย (*Gossypium hirsutum* L.) พบว่าเมื่อให้น้ำที่ระดับ 100% และ 50% ของ อัตราการระเหยของน้ำรายวัน พบว่าต้นถั่วลิสงและต้นฝ้ายที่ได้รับน้ำ 50% มีค่า SPAD value ลดลงเมื่อเทียบกับต้นถั่วลิสงและต้นฝ้ายที่ได้รับน้ำ 100% แสดงให้เห็นว่าความเครียดจากสภาวะ แล้งส่งผลกระทบต่อค่า SPAD value ซึ่งเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่อยู่ในใบพืช (Castelli & Contillo, 2011) ซึ่งโดยปกติเมื่อพืชได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง จะส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงเนื่องจากการสะสม Reactive oxygen species (ROS) ภายในเซลล์มีผลไปทำลายกระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ (Hasanuzzaman et al., 2017)

จากผลการทดลองในตอนที่ 2 ที่ได้ใช้สาร DHECD ความเข้มข้น 1 และ 1.5 ไมโครโมลาร์กับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับการจำลองให้ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งด้วยสาร PEG 6000 โดยใช้ความเข้มข้น 10% (w/v) ตามผลการทดลองที่ได้เลือกจากการทดลองตอนที่ 1 พบว่า สาร DHECD ซึ่งเป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตในพืชที่ในกลุ่มของบราสซิโนสตีรอยด์ (Brassinosteroid, BRs) (Clouse & Sasse, 1998; Sonjaroon et al., 2018) ส่งผลต่อค่า Fv/Fm และค่า Pi ในต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่เพิ่มสูงขึ้น หลังได้รับสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 12 วัน และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสาร DHECD พบว่า ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ที่ทำให้ค่า Fv/Fm และค่า Pi ในต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่เพิ่มสูงขึ้นสุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Khamsuk et al., 2018) ที่พบว่า การฉีดพ่นสาร DHECD ที่ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ปริมาณ 50 มิลลิลิตร สามารถเพิ่ม ค่า Fv/Fm ให้แก่ต้นพริก (*Capsicum annuum* L. var. *frutescens* (L.) Kuntze) ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งในระดับ 25% PC (Pot water capacity/ความจุ้นน้ำในกระถาง) เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ พชร มณีโชติ et al. (2561) ได้ศึกษาผลของสาร DHECD โดยการพ่นให้กับต้นมะเขือเทศเชอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งพบว่า การพ่นด้วย DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์สามารถเพิ่มค่า Pi ให้กับต้นมะเขือเทศเชอร์รี่ได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ใน *Chorispora bungeana* Fisch. ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร 24-epibrassinolide (EBR) ซึ่งเป็นสารในกลุ่มบราสซิโนสตีรอยด์ ความเข้มข้น 0.1 ไมโครโมลาร์ และจำลองสภาวะแล้งด้วย PEG 6000 ความเข้มข้น 20% (W/V) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่า มีค่า Fv/Fm และค่า Pi เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ได้รับสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร EBR (Li et al., 2012)

ค่า SPAD value ในต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 และ 1.5 ไมโครโมลาร์ เป็นระยะเวลา 12 วัน โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสาร DHECD 1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มค่า SPAD value ได้มากกว่าเมื่อเทียบกับชุดที่

ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1.5 ไมโครโมลาร์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุขุมารภรณ์ แสงงาม et al. (2561) ที่พบว่ามะเขือเทศเชอร์รี่ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ภายใต้สภาวะแล้ง มีค่า SPAD value เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ได้รับการความเครียดจากสภาวะแล้ง แต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นรงควัตถุหลักที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง มีปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น และ DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ทำให้ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการสะสมปริมาณรงควัตถุเพิ่มขึ้นสูงสุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Thussagunpanit et al., 2014) พบว่าการใช้สาร DHECD ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ สามารถเพิ่มปริมาณรงควัตถุภายในใบของต้นข้าวปทุมธานี 1 (*Oryza sativa* L. cv. Pathum Thani 1) ที่ได้รับความเครียดจากความร้อนได้ พบว่าสาร DHECD มีความสามารถในการรักษาปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ได้ นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณ H₂O₂ ซึ่งเป็น ROS ที่จะมาทำลายคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ได้ เนื่องจากความเครียดส่งผลให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง และมีการสะสม ROS เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการสะสม ROS ดังกล่าวส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของลิพิดต่อโปรตีน (Lipid protein ratio) ของคลอโรฟิลล์ รวมถึงการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลล์เลส (Chlorophyllase) ทำให้คลอโรฟิลล์เสียสภาพและลดปริมาณลง (Iyengar & Reddy, 1996; Parida et al., 2004) เช่นเดียวกันกับแคโรทีนอยด์เมื่อพืชได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และมีการสะสมของ ROS ที่เพิ่มมากขึ้น แคโรทีนอยด์จะสลายเพื่อเปลี่ยนรูปและกำจัด ROS กระบวนการดังกล่าวส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลง (Munné-Bosch & Penuelas, 2004) นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Li et al. (2012) พบว่าต้น *Chorispora bungeana* ที่ได้รับความเครียดจากความแล้งเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง และได้รับการพ่นด้วยสาร 24-epibressinolide (EBR) ความเข้มข้น 0.1 ไมโครโมลาร์ สามารถลดการเสียหายของคลอโรฟิลล์ ให้แก่ *Chorispora bungeana* ได้ เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร EBR เนื่องจาก EBR สามารถป้องกันและลดความเสียหายที่จะเกิดกับ Pigment protein complex ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้คลอโรฟิลล์เสียสภาพหาก Pigment protein complex ถูกทำลายจากความเครียด

จากผลการทดลองในตอนที่ 3 ซึ่งศึกษาผลของสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ที่ได้จากการทดลองในตอนที่ 2 ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ใน 2 ระยะ ได้แก่ ระยะ Vegetative ที่อยู่ในสภาวะปกติ และระยะ reproductive ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative มีค่า Fv/Fm และค่า Pi เพิ่มสูงขึ้นเมื่อ

เทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในสภาวะปกติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yu et al. (2004) ที่ศึกษาผลของสาร 24-epibrassinolide (EBR) 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรในต้นแตงกวา (*Cucumis sativa*) ภายใต้สภาวะปกติ พบว่าต้นแตงกวามีค่า Fv/Fm และประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับในต้นหญ้าไรย์จีน (*Leymus chinensis*) ที่ได้รับสาร Brassinolide ความเข้มข้น 2×10^{-4} มิลลิโมลาร์ ภายใต้สภาวะปกติพบว่าสามารถเพิ่มค่า Fv/Fm ให้กับต้นหญ้าไรย์จีนได้ เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับสาร (Hu et al., 2013) และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่า Fv/Fm และค่า Pi สูงกว่าเมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD สอดคล้องกับงานวิจัยของ พชร มณีโชติ et al. (2563) ที่ศึกษาผลของสาร DHECD ความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาร์ ในต้นมะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum* cv. CH145) ภายใต้สภาวะแล้ง พบว่าต้นมะเขือเทศที่ได้รับสาร DHECD มีค่า Fv/Fm รวมถึงค่า Pi เพิ่มขึ้นหลังผ่านไป 12 วัน เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง เช่นเดียวกับข้าวปทุมธานี 1 (*Oryza sativa* L. cv. Pathum Thani 1) ภายใต้สภาวะเครียดจากความร้อน พบว่าต้นข้าวปทุมธานี 1 ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ มีการเพิ่มขึ้นของค่า Fv/Fm เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสาร DHECD แต่ได้รับความเครียดจากความร้อน นอกจากนี้ยังพบการศึกษาผลของสารในกลุ่ม brassinolide ในสปีชีส์ที่ทนต่อความเครียดจากสภาวะแล้ง และพบว่าสามารถเพิ่มค่า Fv/Fm และ Pi ได้ ภายใต้สภาวะแล้ง เช่นงานวิจัยของ Li et al. (2012) ที่ศึกษาผลของสาร 24-epibrassinolide ที่มีต่อ *Chorispora bungeana* ภายใต้สภาวะแล้ง พบว่า EBR ลดการสูญเสียค่า Fv/Fm ที่เกิดจากความเครียดจากสภาวะแล้งได้ เนื่องจากสารในกลุ่ม brassinolide ในสปีชีส์ที่ทนต่อความเครียดสามารถป้องกันการสูญเสียการทำงานของระบบแสงสองที่ที่เกิดจาก Photoinhibition ซึ่งทำให้ไม่สามารถส่งต่ออิเล็กตรอนไปยังระบบแสงหนึ่งและส่งผลให้เกิดการสะสมของ Reactive oxygen species (ROS) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวส่งผลให้เกิดความเครียดและการเสียหายของรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Sanda et al., 2011)

ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Chmur & Bajguz, 2021) ที่ได้ศึกษาผลของสาร Brassinolide (BL) ความเข้มข้น 0.1 ไมโครโมลาร์ในต้นไช้หน้า (*Wolffia arrhiza*) ภายใต้สภาวะปกติ พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และแคโรทีนอยด์ เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับสาร BL ภายใต้สภาวะปกติ และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์สูงกว่าเมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ พชร มณีโชติ et al. (2561) ที่ศึกษาผลของสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในมะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum*) ภายใต้สภาวะความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์รวมให้กับต้นมะเขือเทศได้ เช่นเดียวกันกับต้นข้าวปทุมธานี 1 (*Oryza sativa* L. cv. Pathum thani 1) ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 10^{-7} โมลาร์ ภายใต้สภาวะความเครียดจากความร้อน พบว่าต้นข้าวปทุมธานี 1 มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ได้รับความเครียดจากความร้อน แต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD (Thussagunpanit et al., 2014) นอกจากนี้ยังมีรายงานผลการทดลองของสารในกลุ่ม บราสซิโนสไอดีรอยด์ที่สามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ภายในพืชที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งได้ เช่นงานวิจัยของ Li et al. (2012) ที่ศึกษาผลของสาร 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 0.1 ไมโครโมลาร์ ที่มีต่อ *Chorispora bungeana* ภายใต้สภาวะแล้ง พบว่า EBR สามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี และคลอโรฟิลล์รวมได้ และในการศึกษาของ Ahmad Lone et al. (2021) ที่ศึกษาผลของสาร 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 0.01 ไมโครโมลาร์ ในต้นผักกาดเขียวกวางตุ้ง (*Brassica rapa* L.) ภายใต้สภาวะความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าต้นผักกาดเขียวกวางตุ้งมีการสะสมคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ เพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับชุดที่ได้รับความแล้งแต่ไม่ได้รับสาร 24-epibrassinolide เช่นเดียวกันกับในข้าว (*Oryza sativa* L. cv. IRGA424RI) ที่ได้รับสาร 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 0.01 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ และลดการเกิด Lipid peroxidation ได้ (Riboldi et al., 2018) เนื่องจากความเครียดจากสภาวะแล้งส่งผลกระทบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คลอโรฟิลล์ บี คลอโรฟิลล์รวม และแคโรทีนอยด์ ทำให้พืชมีการสะสมปริมาณลดลง เนื่องจากเกิดจากการเสียสภาพของโครงสร้าง เป็นผลมาจากความแล้งกระตุ้นให้เกิดการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้คลอโรฟิลล์เสียหาย เช่น เอนไซม์ Chlorophyllase (พชร มณีโชติ et al., 2563) โดย Kohli et al. (2018) ได้อธิบายถึงผลของสาร 24-epibrassinolide ว่าสามารถที่จะลดการแสดงออกของยีน

CHALASE (*chlorophyllase, chlorophyll-degrading enzyme*) ได้ ซึ่งการลดลงดังกล่าวส่งผลให้โครงสร้างของคลอโรฟิลล์ไม่ถูกทำลายจากเอนไซม์ดังกล่าว (Bukhari et al., 2016) นอกจากนี้บราสซิโนสตีรอยด์ยังช่วยเพิ่มการสร้างคลอโรฟิลล์และลดการเกิด Lipid peroxidation ที่มีผลต่อการทำลายเมมเบรนได้ (Sadura & Janeczko, 2018)

แอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นรงควัตถุในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ ให้สีแดงม่วงแก่พืช พบได้ทั้งในบริเวณดอก ผลและเมล็ด (Grotewold, 2006) และยังสามารถช่วยทำให้พืชต้านทานความเครียดและลดความรุนแรงที่เกิดจากอนุมูลอิสระที่พืชสร้างขึ้นเมื่อได้รับความเครียดจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม (Kovinich et al., 2014) จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีปริมาณแอนโทไซยานิน ไม่แตกต่างเมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุมที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD 25 วัน หลังจากได้รับสาร DHECD และพบว่าหลังจากได้รับสาร DHECD ครบ 30 วัน ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการสะสมแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sağlam-Çağ et al. (2014) ที่ศึกษาผลของสาร Epibrassinolide ความเข้มข้น 0, 0.001, 0.1 และ 10 ไมโครโมลาร์ ให้กับใบเลี้ยง (Cotyledon) ของต้นกะหล่ำปลีม่วง (*Brassica Oleraceae L.*) ในสภาวะปกติ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ EBR เพิ่มขึ้นปริมาณแอนโทไซยานินที่สะสมอยู่ภายในกะหล่ำปลีม่วงจะลดลง และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณแอนโทไซยานินสูงกว่าเมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง เนื่องจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ยังไม่พบการศึกษาผลของสาร DHECD ที่มีต่อการสะสมปริมาณแอนโทไซยานินภายในพืชชนิดต่างๆ แต่พบว่ามีการศึกษาสารในกลุ่มของ บราสซิโนสตีรอยด์ต่อการสะสมปริมาณแอนโทไซยานินภายใต้ความเครียดต่างๆ เช่นงานวิจัยของ Ahmad Lone et al. (2021) ที่ศึกษาผลของสาร 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 0.01 ไมโครโมลาร์ ในต้นผักกาดเขียวกวาดตุ้ง (*Brassica rapa L.*) ภายใต้สภาวะความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าต้นผักกาดเขียวกวาดตุ้งมีการสะสมแอนโทไซยานินในปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับต้นผักกาดเขียวกวาดตุ้งในชุดที่ได้รับความแล้งแต่ไม่ได้รับสาร 24-epibrassinolide เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Xi et al. (2013) ที่พบว่าสาร 24-epibrassinolide สามารถเพิ่มการสะสมแอนโทไซยานินบริเวณผิวขององุ่นแดง (*Vitis vinifera*) ได้ ในต้นถั่วเหลือง (*Glycine max L.*) ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และได้รับการพ่นด้วยสาร 28-homobrassinolide (HBR) พบการสะสมแอนโทไซยานินที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับชุดที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง แต่ไม่ได้รับสาร HBR (Hasan et al., 2020)

โดยปกติในสภาวะแล้งจะพบว่าพืชมีการสะสมแอนโทไซยานินเพื่อลดความเสียหายที่ได้รับจากความเครียด เช่นในการศึกษาในยาสูบ (*Nicotiana tabacum*) ภายใต้สภาวะแล้งพบว่ามีการสะสมของแอนโทไซยานินเพิ่มสูงขึ้น เพราะเมื่อยาสูบได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งพบว่ามีการทำงานที่เพิ่มขึ้นของ MYB ซึ่งเป็นหนึ่งใน Transcription factors (TFs) ที่ทำให้เกิดการสร้างแอนโทไซยานิน (Cirillo et al., 2021) และ Peng et al. (2011) ได้อธิบายถึงผลของบราสซิโนลิดที่ส่งเสริมการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอนโทไซยานินของต้น *Arabidopsis* พบว่าเมื่อ *Arabidopsis* ได้รับสารบราสซิโนลิดเดี่ยวรอยด์จะมีการสะสมแอนโทไซยานินในปริมาณเพิ่มขึ้น โดยบราสซิโนลิดเดี่ยวรอยด์จะเพิ่มการทำงานของจัสโมเนต (Jasmonate ; JA) ซึ่งจัสโมเนตจะไปกระตุ้นการทำงานของ MYB/bHLH ซึ่งเป็นหนึ่งใน Transcription factors (TFs) ทำให้เกิดการสะสมแอนโทไซยานินใน *Arabidopsis* เพิ่มขึ้น

การตอบสนองของพืชต่อความเครียดจากสภาวะแล้ง เมื่อพืชได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง การสูญเสียน้ำจะทำให้ผนังเซลล์มีการเหี่ยวและเสียสภาพ รวมถึงความดันภายในเซลล์จะลดลง และส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตและพัฒนาของเซลล์ จะทำให้พืชที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีขนาดและจำนวนเซลล์ที่ลดลง (Bagheri, 2009) ส่งผลให้พืชมีน้ำหนักและความสูงลดลงตามมา เช่นในงานวิจัยของ Zheng et al. (2016) ที่แสดงให้เห็นถึงผลของความเครียดจากสภาวะแล้งที่มีต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว (*Oryza sativa* subsp *indica*) พบว่าต้นข้าวมีความยาวต้น ขนาดใบ ขนาดลำต้นและมวลรวมลดลง จากรายงานการศึกษาที่มีมาก่อนหน้านี้พบว่าสารในกลุ่มบราสซิโนลิดเดี่ยวรอยด์ รวมถึง 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) มีผลต่อการตอบสนองของเซลล์พืชทั้งการแบ่งเซลล์ (Cell division) การยืดยาวของเซลล์ (Cell elongation) รวมถึงการพัฒนาระบบท่อลำเลียง การยืดยาวของยอดและใบ (Müssig et al., 2003; Singh & Shono, 2005)

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสาร DHECD ในวันที่ 5 และ 20 ของการทดลอง เช่นเดียวกันกับน้ำหนักแห้งที่เพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 20 ของการทดลอง เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในสภาวะปกติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sağlam-Çağ et al. (2014) ที่ศึกษาผลของสาร 24-epibrassinolide ในต้นกะหล่ำปลีม่วง (*Brassica oleraceae* L.) โดยใช้สาร 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 0.01, 0.1 และ 10 ไมโครโมลาร์ พบว่า ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.1 ไมโครโมลาร์ สามารถเพิ่มน้ำหนักสดให้กะหล่ำปลีม่วงได้เมื่อเทียบกับชุด

ควบคุมที่ไม่ได้รับสาร 24-epibrassinolide และในงานวิจัยของ Khamsuk et al. (2018) ที่ศึกษาในพริก (*Capsicum annuum* L. var. *frutescens* (L.) Kuntze) ที่ได้รับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสาร DHECD และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นและแตกต่างทางสถิติในวันที่ 40 และ 50 ของการทดลองเช่นเดียวกันกับน้ำหนักแห้งที่เพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 20 ของการทดลอง เมื่อเทียบกับต้นพืชในชุดที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumari et al. (2020) ที่ศึกษาผลของสารบราสซิโนสเตรอยด์ความเข้มข้น 0.05 ppm ในต้นแอปเปิ้ล (*Malus baccata* cv. Super Chief และ Red Chief) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้นและรากของต้นแอปเปิ้ลเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสารบราสซิโนสเตรอยด์ เช่นเดียวกันกับในพริก (*Capsicum annuum* L. var. *frutescens* (L.) Kuntze) ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและรับสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD (Khamsuk et al., 2018) และในงานวิจัยของ Thussagunpanit et al. (2014) ที่ศึกษาผลของสาร DHECD ต่อต้นข้าว (*Oryza sativa* L. cv. Pathum Thani 1) ภายใต้ความเครียดจากความร้อน พบว่าต้นข้าวมีน้ำหนักสดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับชุดการทดลองที่ต้นข้าวได้รับความเครียดจากความร้อนแต่ไม่ได้รับสาร DHECD และในการศึกษาความยาวของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในสภาวะปกติ พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความยาวลำต้นเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่วันที่ 5 ของการทดลองเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสาร DHECD ในสภาวะปกติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thussagunpanit et al. (2017) ที่ได้ศึกษาผลของสาร DHECD ความเข้มข้น 1 นาโนโมลาร์ ในต้น *Arabidopsis thaliana* พบว่ามีความยาวของลำต้นเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสาร DHECD เช่นเดียวกันกับในมันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz.) ที่ได้รับสาร 24-epibrassinolide พบว่าต้นมันสำปะหลังมีความยาวเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับสาร (เกษรวิภา เมทเมธรัตน์ et al., 2558) และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความยาวลำต้นเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 46 ของการ

ทดลอง เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ พชร มณีโชติ et al. (2561) ที่ศึกษาผลของสาร DHECD ความเข้มข้น 3 ไมโครโมลาร์ ที่มีต่อต้นมะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum*) ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าต้นมะเขือเทศที่ได้รับสาร DHECD มีความยาวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับต้นมะเขือเทศที่ไม่ได้รับสาร DHECD แต่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ คือการวัดปริมาณน้ำที่แท้จริงที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่ทำให้เซลล์เต่ง ปริมาณน้ำสัมพัทธ์บอกระดับความสมดุลของน้ำในเซลล์ และเป็นตัววัดความรุนแรงในการแสดงออกของสภาวะเครียดที่เกิดจากสภาวะแล้งและความร้อน (Main et al., 2012) จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในสภาวะปกติ พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 5, 20 และ 35 ของการทดลองเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสาร DHECD ในสภาวะปกติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Castañeda-Murillo et al. (2022) ที่ได้ศึกษาผลของสารบราสซิโนสตีรอยด์ (Brassinosteroid analogue DI-31) ความเข้มข้น 4 และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ในต้น Lulo plant (*Solanum quitoense* Lam) พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณน้ำสัมพัทธ์ให้กับต้น Lulo ได้เมื่อเทียบกับต้น Lulo ที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 40, 42, 44, 45 และ 46 ของการทดลอง เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yuan et al. (2010) ที่ศึกษาผลของ 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ภายใต้สภาวะแล้งกับต้นมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum*) พบว่ามีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง แต่ไม่ได้รับสาร 24-epibrassinolide เช่นเดียวกันกับข้าวบัสมาตี (*Oryza sativa* L. cv. Super-basmati) ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร 24-epibrassinosteroid ที่พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณน้ำสัมพัทธ์ได้เมื่อเทียบกับข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับสาร (Farooq et al., 2009) และในงานวิจัยของ Thussagunpanit et al. (2014) ที่ศึกษาผลของสาร DHECD ต่อต้นข้าว (*Oryza sativa* L. cv. Pathum Thani 1) ภายใต้ความเครียดจากความร้อน พบว่าต้นข้าวมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับชุดที่ต้นข้าวได้รับความเครียดจากความร้อนแต่ไม่ได้รับสาร DHECD

เมื่อพืชได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง จะมีการสะสมสารที่เรียกว่า Osmoprotectants ซึ่งเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก เป็นกลางทางไฟฟ้า มีความสามารถในการละลายน้ำสูง และไม่เป็นพิษต่อพืชเมื่อมีการสะสมในปริมาณที่สูง (Ahn et al., 2018) ซึ่งสารเหล่านี้จะช่วยให้พืชสามารถทนต่อความเครียดจากสภาพแวดล้อม (Lang, 2007) และสามารถรักษาสภาพโปรตีนและเมมเบรนและลดการสูญเสียร่างกายในเซลล์พืช โดยในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาสาร Osmoprotectants ได้แก่ น้ำตาลที่ละลายในน้ำ และโพรลีน

น้ำตาลที่ละลายในน้ำช่วยรักษาปริมาณน้ำในใบและสมดุลน้ำของพืชภายใต้สภาวะความเครียดจากสภาวะแล้ง (Xu et al., 2007) จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในสภาวะปกติ พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณน้ำตาลที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสาร DHECD ในวันที่ 5, 25 และ 30 ของการทดลองเช่นเดียวกันกับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yu et al. (2004) พบว่า 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 0.01, 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ในแตงกวา (*Cucumis sativus*) ภายใต้สภาวะปกติ เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร 24-epibrassinolide เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Sonjaroon et al. (2018) ที่ได้ศึกษาผลของสาร DHECD ความเข้มข้น 0.001 ไมโครโมลาร์ กับข้าวปทุมธานี 1 (*Oryza sativa* L. cv. Pathumtani 1) พบว่าข้าวที่ได้รับสาร DHECD มีปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำสะสมเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสาร DHECD และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณน้ำตาลที่ละลายในน้ำเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 40, 44, 45 และ 50 ของการทดลอง เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sonjaroon et al. (2018) ที่ได้ศึกษาผลของสาร DHECD ความเข้มข้น 0.001 ไมโครโมลาร์ กับข้าวปทุมธานี 1 (*Oryza sativa* L. cv. Pathumtani 1) ภายใต้สภาวะความเครียดจากความร้อน พบว่าข้าวที่ได้รับ ความเครียดจากความร้อนและได้รับสาร DHECD มีปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำสะสมเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ได้รับความร้อนแต่ไม่ได้รับสาร DHECD และในงานวิจัยของ Khamsuk et al. (2018) ที่ศึกษาในพริก (*Capsicum annum* L. var. *frutescens* (L.) Kuntze) ที่ได้รับ DHECD และ 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ภายใต้สภาวะความเครียดจากสภาวะแล้ง เมื่อเทียบกับชุดที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับสาร DHECD และ 24-epibrassinolide

โพรลีน (Proline) เป็นหนึ่งในกรดอะมิโนที่ถูกนำมาใช้เพื่อบ่งชี้ถึงระดับความเครียด เช่น ความร้อน ความแห้งที่พืชได้รับ (Serraj & Sinclair, 2002) โพรลีนเป็นกรดอะมิโนที่มีความสำคัญในการกำหนดโปรตีน โครงสร้างเมมเบรน และกำจัด Reactive oxygen species (ROS) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง (Ashraf & Foolad, 2007) จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในสภาวะปกติ พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณโพรลีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 10, 20, 25 และ 30 ของการทดลอง เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในสภาวะปกติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Alyemeni and Al-Quwaiz (2016) ที่ศึกษาผลของสาร 28-homobrassinolide (HBL) ในต้นถั่วเขียว (*Vigna radiate*) ภายใต้สภาวะปกติ พบว่าต้นถั่วเขียวที่ได้รับสาร HBL มีปริมาณโพรลีนสะสมเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสาร HBL และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณโพรลีนเพิ่มสูงขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในวันที่ 42 และ 43 ของการทดลอง เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khamsuk et al. (2018) ที่ศึกษาในพริก (*Capsicum annum* L. var. *frutescens* (L.) Kuntze) ที่ได้รับ DHECD และ 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ พบว่ามี การเพิ่มขึ้นของปริมาณโพรลีนภายใต้สภาวะความเครียดจากสภาวะแล้ง เมื่อเทียบกับชุดที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับสาร DHECD และ 24-epibrassinolide และในข้าวบัสมาตี (*Oryza sativa* L. cv. Super basmati) ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร 24-epibrassinolide และ 28-homobrassinolide ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ พบว่ามีปริมาณโพรลีนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสาร 24-epibrassinolide และ 28-homobrassinolide แต่ได้รับความเครียดจากความแล้ง (Farooq et al., 2009) เช่นเดียวกันกับในข้าวโพด (*Zea mays*) ที่ได้รับความเครียดจากความเค็มและได้รับสาร 24-epibrassinolide และ 28-homobrassinolide พบว่าต้นข้าวโพดที่ได้รับความเค็มมีการสะสมโพรลีนเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับชุดที่ได้รับความเครียดจากความเค็มแต่ไม่ได้รับสาร 24-epibrassinolide และ 28-homobrassinolide จากผลการทดลองและงานวิจัยก่อนหน้าได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของสารในกลุ่มบราสซิโนไซด์เดี่ยวในการเพิ่มปริมาณสาร Osmoprotectants เพื่อรักษาสมดุลน้ำภายในเซลล์พืชไม่ให้เซลล์พืชเสียหายจากความเครียดจากสภาวะแล้ง

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2) เป็นหนึ่งใน Reactive oxygen species (ROS) ที่พบได้ในพืช ในสภาวะปกติ H_2O_2 มีบทบาทในการกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช เช่น กระบวนการแก่ของพืช การหายใจ และการสังเคราะห์ด้วยแสง การเปิดปิดปากใบ วัฏจักรเซลล์ และการเจริญเติบโตของพืช (Quan et al., 2008) จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในสภาวะปกติ พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสาร DHECD ในวันที่ 15, 20, 25 และ 35 ของการทดลอง ในสภาวะปกติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Edupuganti et al. (2019) ที่ได้ศึกษาในต้นถั่วลูกไก่ (*Cicer arietinum* L.) ที่ได้รับสาร 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 2 ไมโครโมลาร์ พบว่าในสภาวะปกติต้นถั่วลูกไก่ที่ได้รับสาร 24-epibrassinolide มีการสะสม H_2O_2 เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดการทดลองไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ในวันที่ 40 และ 41 ของการทดลอง และมีการสะสมปริมาณ H_2O_2 ลดลงหลังวันที่ 42 เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yuan et al. (2010) ที่ได้ศึกษาผลของสาร 24-epibrassinolide ที่มีต่อมะเขือเทศที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่ามะเขือเทศที่ได้รับสาร 24-epibrassinolide มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 ลดลงในวันที่ 2 หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และในข้าวปทุมธานี 1 (*Oryza sativa* L. cv. Pathumtani 1) ที่ได้รับความเครียดจากความร้อนและได้รับสาร DHECD และ 24-epibrassinolide พบว่า มีการสะสมปริมาณ H_2O_2 ลดลงตั้งแต่วันที่ 3 ของการทดลอง เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ได้รับความร้อนแต่ไม่ได้รับสาร DHECD และ 24-epibrassinolide (Thussagunpanit et al., 2014)

มาลอนไดอัลดีไฮด์ (Malondialdehyde, MDA) เป็นหนึ่งในตัวบ่งชี้ที่ทำให้ทราบถึงการเสียหายของลิพิดเมมเบรนซึ่งเกิดจากการสะสม ROS รวมถึง H_2O_2 ที่มาจากความเครียดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม เช่น ความแล้ง (Kong et al., 2016) จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในสภาวะปกติ พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในวันที่ 20, 25, 30 และ 35 ของการทดลอง ในสภาวะปกติ จากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้ายังไม่พบการรายงานผลของสาร

DHECD และสารในกลุ่ม brassinoid เต็มร้อยดีที่ทำให้เกิดการสะสมปริมาณ MDA เพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะปกติ ทำให้ในงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถสรุปผลที่แน่ชัดของสาร DHECD ที่มีต่อปริมาณ MDA ในสภาวะปกติของต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้ และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่มีปริมาณ MDA ลดลงในวันที่ 40, 41, 42 และ 43 ของการทดลองเมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และในวันที่ 44, 45, 46 และ 50 ของการทดลอง ชุดที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีปริมาณ MDA ลดลงเมื่อเทียบกับชุดที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD เนื่องจากมีการเติมน้ำให้แก่ต้นข้าว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Castañeda-Murillo et al. (2022) ที่ศึกษาผลของสาร brassinoid เต็มร้อยดี (Brassinosteroid analogue DI-31) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งกับต้นพืช Lulo (*Solanum quitoense* cv. Septentrionale) พบว่าต้นที่ได้รับ ความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับสาร brassinoid เต็มร้อยดีมีปริมาณ MDA เพิ่มขึ้น ในขณะที่ต้นที่ได้รับสาร brassinoid เต็มร้อยดีและได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีปริมาณ MDA ลดลง เช่นเดียวกับข้าวปทุมธานี 1 (*Oryza sativa* L. cv. Pathumtani 1) ที่ได้รับความเครียดจากความร้อนและได้รับสาร DHECD และ 24-epibrassinolide พบว่า มีปริมาณ MDA ลดลง เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ได้รับความร้อนแต่ไม่ได้รับสาร DHECD และ 24-epibrassinolide (Thussagunpanit et al., 2014) และในมะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum*) ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD พบว่ามีการลดลงของ MDA เมื่อเทียบกับมะเขือเทศที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD (พชร มณีโชติ et al., 2561)

เอนไซม์คะตะเลส (Catalase, CAT) ซึ่งมีบทบาทในการกำจัด H₂O₂ (Sarker & Oba, 2018) จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในสภาวะปกติ พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการทำงานของเอนไซม์ CAT และมีค่า specific activity เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ในวันที่ 15 และ 35 ของการทดลอง ในสภาวะปกติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li et al. (2012) ได้ทำการศึกษาผลของสาร 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ ในต้น *Chorispora bungeana* พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของ CAT เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสาร 24-epibrassinolide และในข้าว (*Oryza sativa* L. var. Pusa Basmati-1) ที่ได้รับสาร 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 10⁻⁷ โมลาร์ พบว่ามีการเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ CAT เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับสาร 24-epibrassinolide (Sharma et al., 2013)

และงานวิจัยของ Shopova et al. (2021) ที่ได้ศึกษาผลของสาร 24-epibrassinolide ในต้นข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) พบว่าต้นข้าวสาลีที่ได้รับสาร 24-epibrassinolide มีกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ CAT สูงกว่าเมื่อเทียบกับต้นข้าวสาลีที่ไม่ได้รับสาร 24-epibrassinolide และต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Reproductive ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่มีกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ CAT เพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างเมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD เช่นเดียวกันกับค่า Specific activity เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lima and Lobato (2017a) ที่ศึกษาผลของสาร 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 0, 50 และ 100 นาโนโมลาร์ ให้กับต้นถั่วพุ่ม (*Vigna unguiculata* L. cv. BR3-Tracueteua) ภายใต้สภาวะความเครียดจากสภาวะแล้ง พบว่าต้นถั่วพุ่มที่ได้รับสาร 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 50 นาโนโมลาร์ มีการทำงานของเอนไซม์ CAT เพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกับต้นถั่วพุ่มในชุดที่ไม่ได้รับสาร ในขณะที่ต้นถั่วพุ่มที่ได้รับสาร 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 100 นาโนโมลาร์ มีการทำงานของ CAT เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับสาร และในต้นถั่วลูกไก่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับสาร 24-epibrassinolide 2 ไมโครโมลาร์ พบว่าต้นถั่วลูกไก่พบว่ามีการทำงานของเอนไซม์ CAT เพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกับชุดที่ไม่ได้รับสาร 24-epibrassinolide (Edupuganti et al., 2019) และต้นไทร (*Ficus concinna*) ที่ได้รับความเครียดจากความร้อนและได้รับสาร 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 0.25 ไมโครโมลาร์ พบว่าต้นไทรที่ได้รับความเครียดจากความร้อนและสาร 24-epibrassinolide มีการทำงานของเอนไซม์ CAT เพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับต้นไทรที่ได้รับความเครียดจากความร้อนแต่ไม่ได้รับสาร 24-epibrassinolide (Jin et al., 2015)

ในการศึกษาผลกระทบของความเครียดจากสภาวะแล้งที่มีต่อต้นข้าวสามารถศึกษาระดับความแล้งผ่านการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและสรีรวิทยาของต้นข้าว เช่น การม้วนของใบ ลักษณะของต้น เป็นต้น ซึ่งลักษณะที่แสดงออกดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงการสูญเสียน้ำภายในเซลล์ของใบข้าว และเป็นการตอบสนองอันดับแรกที่สามารถสังเกตเห็นได้ง่าย (Islam et al., 2011) จากผลการทดลองก่อนหน้าพบว่าความเครียดจากสภาวะแล้งส่งผลให้ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง มีคะแนนความเครียดจากความแล้งและการม้วนของใบเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 41 ในขณะที่ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ มีคะแนนความเครียดจากสภาวะแล้งเพิ่มขึ้นในวันที่ 43 หลังจากได้รับสภาวะแล้ง และมีคะแนนการม้วนของใบเพิ่มขึ้นในวันที่ 44 นอกจากนี้ยังสามารถทำ

ให้ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ทนต่อสภาวะแล้งได้นานถึง 5 วัน เมื่อเทียบกับชุดที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง คะแนนการฟื้นตัวจากความแล้งพบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง มีการฟื้นตัวช้ากว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 1 ไมโครโมลาร์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Díaz et al. (2021) ที่ได้ศึกษาถึงผลของสาร Brassinolide ที่มีต่อการฟื้นตัวของต้นพืช *Arabidopsis thaliana* จากสภาวะแล้งพบว่าต้นพืช *Arabidopsis thaliana* ที่ได้รับสาร Brassinolide มีเปอร์เซ็นต์การฟื้นตัวสูงกว่าเมื่อเทียบกับต้นที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับสาร Brassinolide

ความเครียดจากสภาวะแล้งนอกจากจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นพืชแล้วยังส่งผลกระทบต่อผลผลิตของพืช โดยมีรายงานก่อนหน้าว่าความแล้งและอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลกระทบต่อผลผลิตของธัญพืช 9-10% ทั่วโลก (Lesk et al., 2016) จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าสภาวะแล้งทั้งในระยะ Vegetative และ Reproductive ส่งผลต่อการตั้งท้องของรวงข้าวและปริมาณผลผลิตที่ได้ (Yang et al., 2019) งานวิจัยของ อรประภา อนุกุลประเสริฐ (2559) ที่ได้ศึกษาผลของความเครียดจากสภาวะแล้งที่มีต่อปริมาณผลผลิตในข้าวหอมมะลิ 6 สายพันธุ์ พบว่ามีปริมาณผลผลิตที่ลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง จากรายงานการศึกษาด้านการศึกษารายการในกลุ่มบราสซิโนสตีรอยด์ รวมถึง 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) สามารถเพิ่มปริมาณผลผลิตให้แก่พืชภายใต้ความเครียดจากสิ่งแวดล้อมได้ และงานวิจัยของ Sonjaroon et al. (2016) ที่ศึกษาผลของสาร DHECD ที่มีต่อข้าวปทุมธานี 1 (*Oryza sativa* L. cv. Pathumthani 1) ภายใต้ความเครียดจากความร้อน พบว่าสาร DHECD ช่วยเพิ่มน้ำหนักและจำนวนของเมล็ดข้าวปทุมธานี 1 ภายใต้ความเครียดจากความร้อนได้ จากผลการทดลองพบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีจำนวนเมล็ดไม่ต่างจากชุดควบคุมที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง แต่พบว่าปริมาณเมล็ดดีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุมที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง น้ำหนักเมล็ดดี 100 เมล็ดพบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีน้ำหนักเมล็ดดี 100 เมล็ดที่มากกว่าเมื่อเทียบกับต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุมที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และขนาดของเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD พบว่ามีขนาดเมล็ดที่กว้างกว่าเทียบกับชุดควบคุมที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับสาร DHECD สอดคล้องกับงานวิจัยของ Janeczko et al. (2011) ที่ศึกษาผลของสาร 24-

epibrassinolide ความเข้มข้น 0.005 และ 0.25 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ในต้นข้าวบาร์เลย์ (*Hordeum vulgare* L. Sezam) ภายใต้ความเครียดจากความร้อน พบว่า 24-epibrassinolide ความเข้มข้น 0.005 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ไม่พบความแตกต่างของจำนวนเมล็ดต่อต้น และน้ำหนักของ 1000 เมล็ด แต่ที่ความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร พบว่าจำนวนเมล็ดของข้าวบาร์เลย์ลดลง เมื่อเทียบกับชุดที่ได้รับความเครียดจากความร้อนแต่ไม่ได้รับสาร 24-epibrassinolide ปริมาณแอนโทไซยานินที่สะสมอยู่ในเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่พบว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดที่มากกว่าต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในชุดควบคุมที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งแต่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD เนื่องจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ยังไม่พบการศึกษาผลของสาร DHECD ที่มีต่อการสะสมปริมาณแอนโทไซยานินภายในเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ แต่มีงานวิจัยที่ศึกษาและพบว่าสารในกลุ่มบราสซิโนสตีรอยด์สามารถเพิ่มการสะสมปริมาณแอนโทไซยานินให้แก่ผลผลิตของพืชได้ เช่น งานวิจัยของ Luan et al. (2013) ที่พบว่าสาร 24-epibrassinolide สามารถเพิ่มการสะสมแอนโทไซยานินบริเวณผิวขององุ่นแดง (*Vitis vinifera*)

จากผลการทดลองข้างต้นแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของสาร DHECD ภายใต้สภาวะความเครียดจากสภาวะแล้ง โดย DHECD สามารถทำให้ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ทนต่อสภาวะแล้งได้นานมากขึ้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง การเพิ่มปริมาณรงควัตถุ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ รวมถึงแอนโทไซยานิน เพิ่มการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นให้แก่ต้นข้าว เพิ่มการทนแล้งด้วยการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา การสะสมปริมาณโพรงน้ำ และน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ภายในต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ เพื่อลดความเครียดจากสภาวะแล้งที่ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้รับ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มการสะสมปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดรวมถึงเพิ่มน้ำหนักเมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง (ตารางที่ 24)

ตาราง 24 ผลสรุปของสาร DHECD ที่มีต่อต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระยะ Vegetative (สภาวะปกติ) และระยะ Reproductive (สภาวะแล้ง)

Effect of DHECD in riceberry rice under drought stress condition		
Parameters	Vegetative stage	Reproductive stage
Photosynthetic pigments	Increases Fv/Fm, Pi and pigment content	Increases Fv/Fm, Pi and pigment content
Growth and physiological	Increases weight, length, RWC, total soluble sugar, proline content, H ₂ O ₂ , MDA and CAT activity	Increases weight, length, RWC, total soluble sugar proline content and CAT activity
		Decreases H ₂ O ₂ and MDA
Yield	-	Increases weight size and total anthocyanin in rice berry grain

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไป

1) ควรมีการศึกษาผลของสาร DHECD ในต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งในระยะ Reproductive เพื่อเปรียบเทียบผลของสารให้เกิดความครอบคลุมในทุกระยะของการทดลอง

2) ควรใช้ระยะเวลาในการจำลองสภาวะแล้งที่ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้รับให้มีเวลาที่เท่ากันเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างอย่างชัดเจนในผลของสาร DHECD ที่มีต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิต

3) ควรมีการศึกษา Transcription factors ที่มีความเกี่ยวข้องกับการแสดงออกของการทำงานของยีนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของ DHECD และแอนโทไซยานิน เพื่อให้ทราบถึงกลไกที่ชัดเจนในการสะสมแอนโทไซยานินภายในต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่

ข้อเสนอแนะทั่วไป

จากผลการทดลองพบว่า DHECD สามารถทำให้ต้นข้าวไรซ์เบอร์รี่ทนต่อความเครียดจากสภาวะแล้งได้ ดังนั้นจึงควรนำสาร DHECD มาศึกษาในพืชต่างๆ ในสภาวะที่แตกต่างไป เช่น ความเครียดจากความร้อน ความเครียดจากความเค็ม เป็นต้น



บรรณานุกรม

- Abdullah, T., Pawar, D. D., Kale, K. D., & Dingre, S. K. (2015). Water and nutrient use efficiencies of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drip fertigation. *Agriculture for Sustainable Development*, 3(1), 52-56.
- Abid, M., Ali, S., Qi, L. K., Zahoor, R., Tian, Z., Jiang, D., Snider, J. L., & Dai, T. (2018, 2018/03/15). Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Reports*, 8(1), 4615. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21441-7>
- Abobatta, w. (2019, 03/26). Drought adaptive mechanisms of plants -a review. 2, 42-45. <https://doi.org/10.30881/aaeoa.00021>
- Ahmad Lone, W., Majeed, N., Yaqoob, U., & John, R. (2021, Aug 10). Exogenous brassinosteroid and jasmonic acid improve drought tolerance in Brassica rapa L. genotypes by modulating osmolytes, antioxidants and photosynthetic system. *Plant Cell Rep.* <https://doi.org/10.1007/s00299-021-02763-9>
- Ahn, C. H., Hossain, M. A., Lee, E., Kanth, B. K., & Park, P. B. (2018, Sep 26). Increased salt and drought tolerance by D-pinitol production in transgenic Arabidopsis thaliana. *Biochem Biophys Res Commun*, 504(1), 315-320. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2018.08.183>
- Ali, A., Liu, Y., Dong, R., Bai, L., Yu, X., & Li, Y. (2018, 12/01). The physiological and molecular mechanism of brassinosteroid in response to stress: a review. *Biological Research*, 51. <https://doi.org/10.1186/s40659-018-0195-2>
- Alyemeni, M., Hayat, S., Wijaya, L., & Anaji, A. (2013, 07/01). Foliar application of 28-homobrassinolide mitigates salinity stress by increasing the efficiency of photosynthesis in Brassica juncea. *Acta Botanica Brasilica*, 27, 502-505. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062013000300007>

- Alyemeni, M. N., & Al-Quwaiz, S. M. (2016, Nov). Effect of 28-homobrassinolide on the performance of sensitive and resistant varieties of *Vigna radiata*. *Saudi J Biol Sci*, 23(6), 698-705. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.01.002>
- Anjum, S., Xie, X.-y., Wang, L.-c., Saleem, M., Man, C., & Lei, W. (2011, 05/01). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.027>
- Anonymous. (1986). *Chlorophyll meter SPAD-502 instruction manual*. Japan
- Arabshahi, M., & Mobasser, H. R. (2017). Effect of drought stress on carotenoid and chlorophyll contents and osmolyte accumulation. *Chemistry Research Journal*, 2(3), 193-197.
- Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007, 2007/03/01/). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206-216. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
- Badawi, G. H., Kawano, N., Yamauchi, Y., Shimada, E., Sasaki, R., Kubo, A., & Tanaka, K. (2004). Over-expression of ascorbate peroxidase in tobacco chloroplasts enhances the tolerance to salt stress and water deficit. *Physiology plant*, 121, 231-238.
- Bagheri, A. (2009). Effects of drought stress on chlorophyll, proline and rates of photosynthesis and respiration and activity of superoxide dismutase and peroxidase in millet (*Panicum milenaceum* L.). *National conference on water scarcity and drought management in agriculture.*, 16.
- Bansal, K. C., & Nagarajan, S. (1986). leaf water content, stomatal conductance and prline accumulation in leaves of potato (*Solanum tuberosum* L.) in response to water stress. *indian journal of Plant Physiology*, 29, 397-404.

Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39(1), 205-107.

Beghetto, V. (2013). *Sciences at ca' foscari*.

Behnamnia, M., Kalantari, K. M., & Ziaie, J. (2009). The effects of brassinosteroid on the induction of biochemical changes in *Lycopersicon esculentum* under drought stress. *Turkish Journal of Botany*, 33, 417-428.

Bukhari, S. A., Wang, R., Wang, W., Ahmed, I. M., Zheng, W., & Cao, F. (2016). Genotype-dependent effect of exogenous 24-epibrassinolide on chromium-induced changes in ultrastructure and physicochemical traits in tobacco seedlings. *Environ Sci Pollut Res Int*, 23(18), 18229-18238.

Bulut, H., & Gürkan, H. (2017). DROUGHT STRESS DUE TO CLIMATE CHANGE AND EFFECTS ON PLANTS 8th *Atmospheric Sciences Symposium – ATMOS 2017*.

Butnariu, M. (2016, 01/01). Methods of Analysis (Extraction, Separation, Identification and Quantification) of Carotenoids from Natural Products. *Journal of Ecosystem & Ecography*, 6. <https://doi.org/10.4172/2157-7625.1000193>

Castañeda-Murillo, C. C., Rojas-Ortiz, J. G., Sánchez-Reinoso, A. D., Chávez-Arias, C. C., & Restrepo-Díaz, H. (2022, 2022/02/01/). Foliar brassinosteroid analogue (DI-31) sprays increase drought tolerance by improving plant growth and photosynthetic efficiency in lulo plants. *Heliyon*, 8(2), e08977. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08977>

Castelli, F., & Contillo, R. (2011, 02/07). Using a Chlorophyll Meter to Evaluate the Nitrogen Leaf Content in Flue-Cured Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Italian Journal of Agronomy*, 4. <https://doi.org/10.4081/ija.2009.2.3>

Ceusters, N., Valcke, R., Frans, M., Claes, J. E., Van den Ende, W., & Ceusters, J. (2019, 2019-August-06). Performance Index and PSII Connectivity Under Drought and

- Contrasting Light Regimes in the CAM Orchid *Phalaenopsis* [Original Research]. *Frontiers in Plant Science*, 10(1012). <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01012>
- Chien, L.-F. (2012). *Chlorophyll fluorescence analysis of green alga*. <https://slideplayer.com/slide/10679034/>
- Chmur, M., & Bajguz, A. (2021, Jun 28). Brassinolide Enhances the Level of Brassinosteroids, Protein, Pigments, and Monosaccharides in *Wolffia arrhiza* Treated with Brassinazole. *Plants (Basel, Switzerland)*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/plants10071311>
- Chowdhury, J. A., Karim, M., Khaliq, Q., Ahmed, A., & Mondol, A. T. M. (2018, 01/25). Effect of drought stress on water relation traits of four soybean genotypes. *SAARC Journal of Agriculture*, 15, 163. <https://doi.org/10.3329/sja.v15i2.35146>
- Çiçek, N., Oukarroum, A., Strasser, R. J., & Schansker, G. (2018, 2018/06/01). Salt stress effects on the photosynthetic electron transport chain in two chickpea lines differing in their salt stress tolerance. *Photosynthesis Research*, 136(3), 291-301. <https://doi.org/10.1007/s11120-017-0463-y>
- Cielniak, J. K., Filek, W., & Cielniak, J. B.-K. (2006, 2006/04/01). The effect of drought stress on chlorophyll fluorescence in *Lolium-Festuca* hybrids. *Acta Physiologiae Plantarum*, 28(2), 149-158. <https://doi.org/10.1007/s11738-006-0041-y>
- Cirillo, V., D'Amelia, V., Esposito, M., Amitrano, C., Carillo, P., Carputo, D., & Maggio, A. (2021, 02/10). Anthocyanins Are Key Regulators of Drought Stress Tolerance in Tobacco. *Biology*, 10, 139. <https://doi.org/10.3390/biology10020139>
- Clouse, S., & Sasse, J. (1998). BRASSINOSTEROIDS: Essential Regulators of Plant Growth and Development. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49, 427-451.
- Clouse, S. D. (2011). Brassinosteroids. *The Arabidopsis Book*, 9, 1-28.

- Dat, J., Vandenameele, S., Vranová, E., Van Montagu, M., Inzé, D., & Van Breusegem, F. (2000, May). Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. *Cell Mol Life Sci*, 57(5), 779-795.
<https://doi.org/10.1007/s000180050041>
- Delauney, A., & Verma, D. (2002, 03/05). Proline Biosynthesis and Osmoregulation in Plants. *The Plant Journal*, 4, 215-223. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1993.04020215.x>
- Díaz, K., Espinoza, L., Carvajal, R., Silva-Moreno, E., Olea, A. F., & Rubio, J. (2021, Jan 25). Exogenous Application of Brassinosteroid 24-Norcholane 22(S)-23-Dihydroxy Type Analogs to Enhance Water Deficit Stress Tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Int J Mol Sci*, 22(3). <https://doi.org/10.3390/ijms22031158>
- Dien, D., Mochizuki, T., & Yamakawa, T. (2019, 08/05). Effect of various drought stresses and subsequent recovery on proline, total soluble sugar and starch metabolisms in Rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Plant Production Science*, 1-16.
<https://doi.org/10.1080/1343943X.2019.1647787>
- Du, Y., Zhao, Q., Chen, L., Yao, X., Zhang, W., Zhang, B., & Xie, F. (2020, 2020/01/01/). Effect of drought stress on sugar metabolism in leaves and roots of soybean seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 146, 1-12.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.11.003>
- Dunna, V., & Roy, B. (2013). Rice (*Oryza sativa* L.). In *Breeding, Biotechnology and Seed Production of Field Crops* (pp. 52). New India.
- Edupuganti, S., Lalitha, R., & Anuradha, S. (2019). Morphological and physio- biochemical changes in response to exogenous application of 24-epibrassinolide and salicylic acid under water stress in chickpea. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8, 2443-2452.

- Falk, S., Maxwell, D., Laudenbach, D., & Huner, N. (2006). Photosynthetic Adjustment to Temperature. In (pp. 367-385). https://doi.org/10.1007/0-306-48135-9_15
- Fariduddin, Q., Khanam, S., Hasan, S., Ali, B., Hayat, S., & Ahmad, A. (2009, 09/01). Effect of 28-homobrassinolide on the drought stress-induced changes in photosynthesis and antioxidant system of *Brassica juncea* L. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31, 889-897. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0302-7>
- Farmer, E. E., & Mueller, M. J. (2013). ROS-mediated lipid peroxidation and RES-activated signaling. *Annual review of plant biology*, 64, 429-450.
- Farooq, M., Wahid, A., Basra, S. M. A., & Islam-ud-Din. (2009). Improving Water Relations and Gas Exchange with Brassinosteroids in Rice under Drought Stress. *Journal of agronomy and crop science*, 195(4), 262-269. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00368.x>
- Ferreira, L. G. R., De Souza, J. G., & Prisco, J. T. (1979, 1979/07/01). Effects of Water Deficit on Proline Accumulation and Growth of two Cotton Genotypes of Different Drought Resistances. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*, 93(3), 189-199. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0044-328X\(79\)80197-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0044-328X(79)80197-X)
- Flexas, J., Bota, J., Galmés, J., Medrano, H., & Ribas-Carbo, M. (2006, 07/01). Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: Responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologia Plantarum*, 127. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00621.x>
- Ghiselli, A., Nardini, M., Baldi, A., & Scaccini, C. (1998, 1998/02/01). Antioxidant Activity of Different Phenolic Fractions Separated from an Italian Red Wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(2), 361-367. <https://doi.org/10.1021/jf970486b>
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010, 2010/12/01). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909-930.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>

- Glime, J. M. (2017). CHAPTER 11-3 PHOTOSYNTHESIS: LIMITING FACTORS. In *Bryophyte Ecology* (Vol. 1, pp. 1-26). Michigan Technological University and the International Association of Bryologists.
- Grotewold, E. (2006). The genetics and biochemistry of floral pigments. *Annu Rev Plant Biol*, 57, 761-780. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105248>
- Guo, Z., Tan, H., Zhu, Z., Lu, S., & Zhou, B. (2005, Oct-Nov). Effect of intermediates on ascorbic acid and oxalate biosynthesis of rice and in relation to its stress resistance. *Plant Physiol Biochem*, 43(10-11), 955-962. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2005.08.007>
- Hamada, K. (1986). Brassinolide in crop cultivation. *Plant Growth Regulators in Agriculture*, 190-196.
- Hanci, F., & Cebeci, E. (2014, 12/28). Investigation of Proline, Chlorophyll and Carotenoids Changes Under Drought Stress in Some Onion (*Allium Cepa* L.) Cultivars. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 2, 1499-1504.
- Hasan, M. M., Ali, M., Soliman, M., Alqarawi, A., Fathi_AbdAllah, E., & Fang, X.-W. (2020, 10/19). Insights into 28-homobrassinolide (HBR)- mediated redox homeostasis, AsA-GSH cycle, and methylglyoxal detoxification in soybean under drought-induced oxidative stress.
- Hasanuzzaman, M., Shabala, L., Brodribb, T. J., Zhou, M., & Shabala, S. (2017). Assessing the suitability of various screening methods as a proxy for drought tolerance in barley. *Functional Plant Biology*, 44(2), 253-266. <https://doi.org/https://doi.org/10.1071/FP16263>
- Hayat, S., Hasan, S., Yusuf, M., Hayat, Q., & Ahmad, A. (2010, 11/01). Effect of 28-homobrassinolide on photosynthesis, fluorescence and antioxidant system in the presence or absence of salinity and temperature in *Vigna radiata*. *Environmental*

and *Experimental Botany*, 69, 105-112.

<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.03.004>

Hinojosa-Gómez, J., Martín-Hernández, C., Heredia, J., León-Félix, J., Tomas, O., & Muy, D. (2020, 03/28). Anthocyanin Induction by Drought Stress in the Calyx of Roselle Cultivars. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25.

<https://doi.org/10.3390/molecules25071555>

Hossain, M. A. (2013, 01/01). Hydrogen Peroxide Priming Stimulates Drought Tolerance in Mustard (*Brassica juncea* L.) Seedlings. *Plant Gene and Trait*, 4, 109-123.

<https://doi.org/10.5376/pgt.2013.04.0020>

Hu, Y. J., Shi, L. X., Sun, W., & Guo, J. X. (2013, Dec). Effects of abscisic acid and brassinolide on photosynthetic characteristics of *Leymus chinensis* from Songnen Plain grassland in Northeast China. *Bot Stud*, 54(1), 42.

<https://doi.org/10.1186/1999-3110-54-42>

Hughes, N. M., Carpenter, K. L., & Cannon, J. G. (2013, 2013/01/15/). Estimating contribution of anthocyanin pigments to osmotic adjustment during winter leaf reddening. *Journal of Plant Physiology*, 170(2), 230-233.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.09.006>

Hussain, M., Malik, M. A., Farooq, M., Ashraf, M. Y., & Cheema, M. A. (2018). Improving Drought Tolerance by Exogenous Application of Glycinebetaine and Salicylic Acid in Sunflower. *Journal of agronomy and crop science*, 194, 193-199.

IRRI. (1996). Standard Evaluation System for Rice. Los Banos, the Philippines: International Rice Research Institute. *International Rice Research Institute*

Islam, M., Eneji, A., Z, R., J, L., & G, H. (2011, 02/01). Impact of water-saving superabsorbent polymer on oat (*Avena* spp.) yield and quality in an arid sandy soil. *Scientific Research and Essays*, 6, 720-728.

Iyengar, E. R. R., & Reddy, M. (1996, 01/01). Photosynthesis in high salt tolerant plants.

Handbook of Photosynthesis, 897-909.

Jain, M., Tiwary, S., & Gadre, R. (2010, 06/01). Sorbitol-induced changes in various growth and biochemical parameters in maize. *Plant, Soil and Environment*, 56, 263-267.
<https://doi.org/10.17221/233/2009-PSE>

Janeczko, A., Oklestkova, J., Pocięcha, E., Janusz, K., & Mirek, M. (2011, 07/01). Physiological effects and transport of 24-epibrassinolide in heat-stressed barley. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33, 1249-1259. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0655-y>

Janků, M., Tichá, T., Luhová, L., & Petrivalsky, M. (2019). Compartmentalization of Reactive Oxygen Species and Nitric Oxide Production in Plant Cells. In (pp. 923-945). <https://doi.org/10.1002/9781119468677.ch40>

Jin, S. H., Li, X. Q., Wang, G. G., & Zhu, X. T. (2015). Brassinosteroids alleviate high-temperature injury in *Ficus concinna* seedlings via maintaining higher antioxidant defence and glyoxalase systems. *AoB Plants*, 7.

Jira-Anunkul, W., & Pattanagul, W. (2020, 03/31). Seed priming with hydrogen peroxide alleviates the effects of drought stress in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48, 273-283.
<https://doi.org/10.15835/nbha48111829>

Kadam, N., Tamilselvan, A., Lawas, L. M., Quiñones, C., Bahuguna, R., Thomson, M., Dingkuhn, M., Muthurajan, R., Struik, P., Yin, X., & Jagadish, K. (2017, 06/09). Genetic Control of Plasticity in Root Morphology and Anatomy of Rice in Response to Water Deficit. *Plant physiology*, 174. <https://doi.org/10.1104/pp.17.00500>

Kadam, N. N., Tamilselvan, A., Lawas, L. M. F., Quinones, C., Bahuguna, R. N., Thomson, M. J., Dingkuhn, M., Muthurajan, R., Struik, P. C., Yin, X., & Jagadish, S. V. K. (2017). Genetic Control of Plasticity in Root Morphology and Anatomy of Rice in Response to Water Deficit. *Plant physiology*, 174(4), 2302.

<https://doi.org/10.1104/pp.17.00500>

- Karimi, M., Ahmadi, A., Hashemi, J., Abbasi, A., Tavarini, S., Guglielminetti, L., & Angelini, L. G. (2015, 2015/02/12/). The effect of soil moisture depletion on Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) grown in greenhouse conditions: Growth, steviol glycosides content, soluble sugars and total antioxidant capacity. *Scientia Horticulturae*, 183, 93-99. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.001>
- Khamsuk, O., Sonjaroon, W., Suwanwong, S., Jutamanee, K., & Suksamrarn, A. (2018, 2018/05/11). Effects of 24-epibrassinolide and the synthetic brassinosteroid mimic on chili pepper under drought. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(6), 106. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2682-z>
- Khayatnezhad, M., & Gholamin, R. (2008). The effect of drought stress on leaf chlorophyll content and stress resistance in maize cultivars (*Zea mays*). *African Journal of Microbiology Research*, 6, 2844-2848.
- Khripach, V., Zhabinskii, V., & Groot. (2000, 09/01). Twenty Years of Brassinosteroids : Steroidal Plant Hormones Warrant Better Crops for the XXI Century. *Annals of Botany* 86 (2000), 86. <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1227>
- Kohli, S. K., Handa, N., Sharma, A., Gautam, V., Arora, S., Bhardwaj, R., Wijaya, L., Alyemeni, M. N., & Ahmad, P. (2018, 2018/05/01). Interaction of 24-epibrassinolide and salicylic acid regulates pigment contents, antioxidative defense responses, and gene expression in *Brassica juncea* L. seedlings under Pb stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(15), 15159-15173. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1742-7>
- Kong, W., Liu, F., Zhang, C., Zhang, J., & Feng, H. (2016, Oct 14). Non-destructive determination of Malondialdehyde (MDA) distribution in oilseed rape leaves by laboratory scale NIR hyperspectral imaging. *Sci Rep*, 6, 35393. <https://doi.org/10.1038/srep35393>

Kongkachuichai, R., Prangthip, P., Surasiang, R., Posuwan, J., Charoensiri, R., Kettawan, A., & Vanavichit, A. (2013, 01/01). Effect of Riceberry oil (deep purple oil; *Oryza sativa* Indica) supplementation on hyperglycemia and change in lipid profile in Streptozotocin (STZ)-induced diabetic rats fed a high fat diet. *International Food Research Journal*, 20, 873-882.

Königshofer, H., & Löppert, H.-G. (2015, 2015/07/01/). Regulation of invertase activity in different root zones of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings in the course of osmotic adjustment under water deficit conditions. *Journal of Plant Physiology*, 183, 130-137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.06.005>

Koster, K. L., & Leopard, A. C. (1988). Sugars and Desiccation Tolerance in Seeds¹. *Plant physiology*, 88, 829-832.

Kovinich, N., Kayanja, G., Chanoca, A., Otegui, M., & Grotewold, E. (2015, 07/15). Abiotic stresses induce different localizations of anthocyanins in *Arabidopsis*. *Plant signaling & behavior*, 10(7), 1-4. <https://doi.org/10.1080/15592324.2015.1027850>

Kovinich, N., Kayanja, G., Chanoca, A., Riedl, K., Otegui, M. S., & Grotewold, E. (2014). Not all anthocyanins are born equal: distinct patterns induced by stress in *Arabidopsis*. *planta*, 240(5), 931-940. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2079-1>

Kumari, S., Anju, T., Singh, D., Chandel, J. S., & Rana, N. (2020, 03/06). Influence of drought stress and Brassinosteroid on growth and physio-biochemical characteristics of apple plants. *Indian Journal of Horticulture*, 77, 88-93. <https://doi.org/10.5958/0974-0112.2020.00007.9>

Lang, F. (2007, 2007/10/01). Mechanisms and Significance of Cell Volume Regulation. *Journal of the American College of Nutrition*, 26(sup5), 613S-623S. <https://doi.org/10.1080/07315724.2007.10719667>

Leardkamolkarn, V., Thongthep, W., Suttiarporn, P., Kongkachuichai, R., Wongpornchai, S., & Wanavijitr, A. (2011, 2011/04/01/). Chemopreventive properties of the bran

- extracted from a newly-developed Thai rice: The Riceberry. *Food Chemistry*, 125(3), 978-985. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.093>
- Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016, Jan 7). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529(7584), 84-87. <https://doi.org/10.1038/nature16467>
- Li, J., Cang, Z., Jiao, F., Bai, X., Zhang, D., & Zhai, R. (2017, 2017/01/01). Influence of drought stress on photosynthetic characteristics and protective enzymes of potato at seedling stage. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.03.001>
- Li, R.-h., Guo, P.-g., Michael, B., Stefania, G., & Salvatore, C. (2006, 2006/10/01). Evaluation of Chlorophyll Content and Fluorescence Parameters as Indicators of Drought Tolerance in Barley. *Agricultural Sciences in China*, 5(10), 751-757. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(06\)60120-X](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(06)60120-X)
- Li, X.-L., Lv, X., Wang, X., Wang, L., Zhang, M., & Ren, M. (2018, 01/01). Effects of abiotic stress on anthocyanin accumulation and grain weight in purple wheat. *Crop and Pasture Science*, 69, 1208-1214. <https://doi.org/10.1071/CP18341>
- Li, Y. H., Liu, Y. J., Xu, X. L., Jin, M., An, L. Z., & Zhang, H. (2012, 2012/03/01). Effect of 24-epibrassinolide on drought stress-induced changes in *Chorispora bungeana*. *Biologia Plantarum*, 56(1), 192-196. <https://doi.org/10.1007/s10535-012-0041-2>
- Lima, J. V., & Lobato, A. K. S. (2017a, Jan). Brassinosteroids improve photosystem II efficiency, gas exchange, antioxidant enzymes and growth of cowpea plants exposed to water deficit. *Physiol Mol Biol Plants*, 23(1), 59-72. <https://doi.org/10.1007/s12298-016-0410-y>
- Lima, J. V., & Lobato, A. K. S. (2017b). Brassinosteroids improve photosystem II efficiency, gas exchange, antioxidant enzymes and growth of cowpea plants exposed to water deficit. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23(1), 59-72.

- Liu, J. X., Liao, D. Q., Oane, R., Estenor, L., Yang, X. E., Li, Z. C., & Bennett, J. (2006, 2006/05/05/). Genetic variation in the sensitivity of anther dehiscence to drought stress in rice. *Field Crops Research*, 97(1), 87-100.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.08.019>
- Luan, L. Y., Zhang, Z. W., Xi, Z. M., Huo, S. S., & Ma, L. N. (2013, 01/01). Brassinosteroids Regulate Anthocyanin Biosynthesis in the Ripening of Grape Berries. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 34, 196-203. <https://doi.org/10.21548/34-2-1094>
- Luang-In, V., Deeseenthum, S., Sombunwattanakul, I., & Yotchaisarn, M. (2018, 06/30). Bioactivities of organic riceberry broken rice and crude riceberry rice oil. *Thai Journal of Pharmaceutical Sciences*, 42, 161-168.
- Luna, C., Pastori, G., Driscoll, S., Groten, K., Swarbreck, S., & Foyer, C. (2005, 02/01). Drought controls on H₂O₂ accumulation, catalase (CAT) activity and CAT gene expression in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 56, 417-423.
<https://doi.org/10.1093/jxb/eri039>
- Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P., & Sohrabi, Y. (2010, 10/01). Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science* 4 (2010) 8, 4.
- Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P. C., & Sohrabi, Y. (2011, 2011). Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 5(10), 1255 - 1260.
<https://doi.org/urn:nbn:nl:ui:32-418070>
- Mahesh, K., Balaraju, P., Ramakrishna, B., & Rao, S. (2013, 01/01). Effect of Brassinosteroids on Germination and Seedling Growth of Radish (*Raphanus sativus* L.) under PEG-6000 Induced Water Stress. *American Journal of Plant Sciences*, 04, 2305-2313. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.412285>

Main, D. C. J., Mullan, S., Atkinson, C., Bond, A., Cooper, M., Fraser, A., & Browne, W. J. (2012). Welfare outcomes assessment in laying hen farm assurance schemes [Article]. *Animal Welfare*, 21(3), 389-396.

<https://doi.org/10.7120/09627286.21.3.389>

Mandava, N. (2003, 11/28). Plant Growth-Promoting Brassinosteroids. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 39, 23-52.

<https://doi.org/10.1146/annurev.pp.39.060188.000323>

Manivannan, N., Rajendran, K., Punitha, B., Vindhivarman, P., & Muralidharan, V. (2008, 12/01). Association pattern among the yield attributes in varieties and hybrids of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia*, 31, 83-89.

<https://doi.org/10.2298/HEL0849083M>

Meher, Shivakrishna, P., Ashok Reddy, K., & Manohar Rao, D. (2018, 2018/02/01). Effect of PEG-6000 imposed drought stress on RNA content, relative water content (RWC), and chlorophyll content in peanut leaves and roots. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(2), 285-289.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.04.008>

Mibei, E., Ambuko, J., Giovannoni, J., Onyango, A., & Willis, O. (2016, 04/01). Carotenoid profiling of the leaves of selected African eggplant accessions subjected to drought stress. *Food Science & Nutrition*, 5, 113-122.

<https://doi.org/10.1002/fsn3.370>

Mihaljević, I., Viljevac Vuletić, M., Šimić, D., Tomaš, V., Horvat, D., Josipović, M., Zdunić, Z., Dugalić, K., & Vuković, D. (2021). Comparative Study of Drought Stress Effects on Traditional and Modern Apple Cultivars. *Plants (Basel, Switzerland)*, 10(3), 561.

<https://doi.org/10.3390/plants10030561>

Moonmoon, S., Fakir, M. S. A., & Islam, M. (2017, 01/01). Effect of Drought Stress on Grain Dry Weight, Photosynthesis and Chlorophyll in Six Rice Genotypes. 4, 13-17.

<https://doi.org/10.21276/sjavs.2017.4.1.3>

Munné-Bosch, S., & Penuelas, J. (2004, 04/01). Drought-induced oxidative stress in strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) growing in Mediterranean field conditions. *Plant science*, 166, 1105-1110. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.12.034>

Müssig, C., Shin, G. H., & Altmann, T. (2003, Nov). Brassinosteroids promote root growth in *Arabidopsis*. *Plant Physiol*, 133(3), 1261-1271.

<https://doi.org/10.1104/pp.103.028662>

Muthurajan, R., Shobbar, Z.-S., Jagadish, S. V. K., Bruskiwich, R., Ismail, A., Leung, H., & Bennett, J. (2011). Physiological and Proteomic Responses of Rice Peduncles to Drought Stress. *Molecular Biotechnology*, 48, 173-182.

Naing, A. H., & Kim, C. K. (2018, Sep). Roles of R2R3-MYB transcription factors in transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in horticultural plants. *Plant Mol Biol*, 98(1-2), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11103-018-0771-4>

Nakabayashi, R., Yonekura-Sakakibara, K., Urano, K., Suzuki, M., Yamada, Y., Nishizawa, T., Matsuda, F., Kojima, M., Sakakibara, H., Shinozaki, K., Michael, A. J., Tohge, T., Yamazaki, M., & Saito, K. (2014, Feb). Enhancement of oxidative and drought tolerance in *Arabidopsis* by overaccumulation of antioxidant flavonoids. *Plant J*, 77(3), 367-379. <https://doi.org/10.1111/tpj.12388>

Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen Peroxide is Scavenged by Ascorbate-specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22(5), 867-880.

<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>

Nayyar, H., & Walia, D. P. (2003). Water stress induced proline accumulation in contrasting wheat genotypes as affected by calcium and abscisic acid [Article]. *Biologia Plantarum*, 46(2), 275-279. <https://doi.org/10.1023/A:1022867030790>

Nezhadahmadi, A., Faruq, G., & Rashid, K. (2015, 02/12). Analysis of Soluble Sugar Contents of Three Strawberry Varieties under Drought Stress Conditions in Different

Growing Environments. *Pakistan Journal of Nutrition*, 13.

Nxele, X., Klein, A., & Ndimba, B. K. (2017, 2017/01/01/). Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. *South African Journal of Botany*, 108, 261-266.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.11.003>

Oukarroum, A., El Madidi, S., Schansker, G., & Strasser, R. J. (2007). Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. *Environ. Exp. Bot.*, 60, 438-466.

Pakniyat, H., R, N., & Biabani, A. (2008). Effect of Drought Stress on Photosynthetic Rate of Four Rapeseed (*Brassica napus*) Cultivars. *Journal of Applied Sciences* 8(23).

Panche, A. N. (2016). *Journal of Nutritional Science*.

Parida, A., Das, A., Mitra, B., & Mohanty, P. (2004, 05/01). Salt-stress Induced Alterations in Protein Profile and Protease Activity in the Mangrove *Bruguiera parviflora*. *Zeitschrift für Naturforschung. C, Journal of biosciences*, 59, 408-414.

<https://doi.org/10.1515/znc-2004-5-622>

Peng, Z., Han, C., Yuan, L., Zhang, K., Huang, H., & Ren, C. (2011, 05/04). Brassinosteroid Enhances Jasmonate-Induced Anthocyanin Accumulation in *Arabidopsis* Seedlings. *Journal of Integrative Plant Biology*, 53, 632-640.

<https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2011.01042.x>

Pham Phu, S. T. (2014). Research on the Correlation Between Chlorophyll-a and Organic Matter BOD, COD, Phosphorus, and Total Nitrogen in Stagnant Lake Basins. In (pp. 177-191). https://doi.org/10.1007/978-4-431-54804-1_15

Quan, L.-J., Zhang, B., Shi, W.-W., & Li, H.-Y. (2008). Hydrogen Peroxide in Plants: a Versatile Molecule of the Reactive Oxygen Species Network. *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(1), 2-18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1744->

[7909.2007.00599.x](#)

- Rabino, I., & Mancinelli, A. (1986). Light, temperature, and anthocyanin production. *Plant physiology*, 81, 922-924.
- Ramakrishna, B., & Rao, S. (2014, 10/12). Foliar application of brassinosteroids alleviates adverse effects of zinc toxicity in radish (*Raphanus sativus* L.) plants. *Protoplasma*, 252, 665-667. <https://doi.org/10.1007/s00709-014-0714-0>
- Reddy, V. S., Dash, S., & Reddy, A. R. (1995). Anthocyanin pathway in rice (*Oryza sativa* L): identification of a mutant showing dominant inhibition of anthocyanins in leaf and accumulation of proanthocyanidins in pericarp. *Theoretical and Applied Genetic*, 91, 301-312.
- Riboldi, L., Múrcia, J., Araujo, S., & Castro, P. (2018, 09/20). The 24-epibrassinolide induces rice tolerance to water stress overcoming losses in grain yield. *Australian Journal of Crop Science*, 12, 1426-1433. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.09.PNE1101>
- Robbins, N. S., & Pharr, D. M. (1987). Regulation of Photosynthetic Carbon Metabolism in Cucumber by Light Intensity and Photosynthetic Period. *Plant physiology*, 85(2), 592-597.
- Roberts, S. M., & Gibb, A. J. (2013). Chapter 1 - Introduction to enzymes, receptors and the action of small molecule drugs. In R. Ganellin, S. Roberts, & R. Jefferis (Eds.), *Introduction to Biological and Small Molecule Drug Research and Development* (pp. 1-55). Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397176-0.00001-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397176-0.00001-7)
- Saberioon, M. M., Amin, M. S. M., Gholizadeh, A., & Ezri, M. H. (2014). A review of optical methods for assessing nitrogen contents during rice growth. *Applied Engineering in Agriculture* 30, 657-659.
- Sadura, I., & Janeczko, A. (2018, 2018/12/01). Physiological and molecular mechanisms of

brassinosteroid-induced tolerance to high and low temperature in plants. *Biologia Plantarum*, 62(4), 601-616. <https://doi.org/10.1007/s10535-018-0805-4>

Sağlam-Çağ, S., Gören-Sağlam, N., Bariş, Ç., & Dalyan, E. (2014, 04/15). The Effect of Different Concentration of Epibrassinolide on Chlorophyll, Protein and Anthocyanin Content and Peroxidase Activity in Excised Red Cabbage (*Brassica Oleraceae* L.) Cotyledons. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 21, 422-425. <https://doi.org/10.1080/13102818.2007.10817487>

Salehi, A., Tasdighi, H., & Gholamhoseini, M. (2016, 2016/10/01/). Evaluation of proline, chlorophyll, soluble sugar content and uptake of nutrients in the German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress and organic fertilizer treatments. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6(10), 886-891. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2016.08.009>

Sami, F., Yusuf, M., Faizan, M., Faraz, A., & Hayat, S. (2016, 09/01). Role of sugars under abiotic stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 109. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.09.005>

Sanda, S., Yoshida, K., Kuwano, M., Kawamura, T., Munekage, Y. N., Akashi, K., & Yokota, A. (2011, Jul). Responses of the photosynthetic electron transport system to excess light energy caused by water deficit in wild watermelon. *Physiol Plant*, 142(3), 247-264. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2011.01473.x>

Sankar, B., Jaleel, C. A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2008, 2008/03/15/). Relative efficacy of water use in five varieties of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. under water-limited conditions. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 62(1), 125-129. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2007.09.025>

Sarker, U., & Oba, S. (2018, Oct 26). Drought stress enhances nutritional and bioactive compounds, phenolic acids and antioxidant capacity of *Amaranthus leafy*

- vegetable. *BMC Plant Biol*, 18(1), 258. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1484-1>
- Sasse, J. M. (2003). Physiological Actions of Brassinosteroids: An Update. *Journal plant growth regulator*, 22, 276-288.
- Saud, S., Yajun, C., Fahad, S., Hussain, S., Na, L., Xin, L., & Alhussien, S. A. A. F. E. (2016, 2016/09/01). Silicate application increases the photosynthesis and its associated metabolic activities in Kentucky bluegrass under drought stress and post-drought recovery. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(17), 17647-17655. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6957-x>
- Schafleitner, R., Gutierrez Rosales, R., Gaudin, A., Alvarado, C., Martinez, G., Tincopa Marca, L. R., Avila, L., Mendiburu, F., Simon, R., & Bonierbale, M. (2007, 10/01). Capturing candidate drought tolerance traits in two native Andean potato clones by transcription profiling of field grown plants under water stress. *Plant physiology and biochemistry : PPB / Société française de physiologie végétale*, 45, 673-690. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.06.003>
- Sergiev, I., & Alexieva, V. (1997). *Effect of spermine, atrazine and combination between them on some endogenous protective systems and stress markers in plants.*
- Serraj, R., Krishnamurthy, L., Kashiwagi, J., Kumar, J., Chandra, S., & Crouch, J. H. (2004, 2004/08/10). Variation in root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) grown under terminal drought. *Field Crops Research*, 88(2), 115-127. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.12.001>
- Serraj, R., & Sinclair, T. R. (2002). Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 333-341. <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00754.x>
- Shahenshah, & Isoda, A. (2010a, 2010/01/01). Effects of Water Stress on Leaf Temperature and Chlorophyll Fluorescence Parameters in Cotton and Peanut. *Plant Production Science*, 13(3), 269-278. <https://doi.org/10.1626/pps.13.269>

- Shahenshah, & Isoda, A. (2010b, 07/01). Effects of Water Stress on Leaf Temperature and Chlorophyll Fluorescence Parameters in Cotton and Peanut. *Plant Production Science - PLANT PROD SCI*, 13, 269-278. <https://doi.org/10.1626/pps.13.269>
- Sharma, I., Ching, E., Saini, S., Bhardwaj, R., & Pati, P. K. (2013, Aug). Exogenous application of brassinosteroid offers tolerance to salinity by altering stress responses in rice variety Pusa Basmati-1. *Plant Physiol Biochem*, 69, 17-26. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.04.013>
- Shopova, E., Katerova, Z., Brankova, L., Dimitrova, L., Sergiev, I., Todorova, D., & Talaat, N. B. (2021, Oct 29). Modulation of Physiological Stress Response of Triticum aestivum L. to Glyphosate by Brassinosteroid Application. *Life (Basel)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/life11111156>
- Singh, I., & Shono, M. (2005, 2005/11/01). Physiological and Molecular Effects of 24-Epi brassinolide, a Brassinosteroid on Thermotolerance of Tomato. *Plant Growth Regulation*, 47(2), 111. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-3252-0>
- Sivakumar, R., Durga Devi, D., Chandrasekar, C. N., Santhi, R., & Vijayakumar, R. M. (2014, 2014/03/01). Impact of drought on gas exchange and physiological parameters and yield in contrasting genotypes of tomato (*Solanum lycopersicum*). *Indian Journal of Plant Physiology*, 19(1), 1-7. <https://doi.org/10.1007/s40502-013-0051-x>
- Sivamaruthi, B. S., Kesika, P., & Chaiyasut, C. (2018). Anthocyanins in Thai rice varieties: distribution and pharmacological significance. *International Food Research Journal*, 25(5), 2024-2032.
- Solanki, J., Sarangi, S., & Author, C. (2014, 01/01). Effect of drought stress on proline accumulation in peanut genotypes. *International journal of advanced research*, 2(10), 301-309.
- Solomon, E. P. (2011). *Biology*.

- Soltys-Kalina, D., Plich, J., Strzelczyk-Żyta, D., Śliwka, J., & Marczewski, W. (2016). The effect of drought stress on the leaf relative water content and tuber yield of a half-sib family of 'Katahdin'-derived potato cultivars. *Breeding Science* 66, 328-331.
- Sonjaroon, W., Jutamanee, K., Khamsuk, O., Thussagunpanit, J., Kaveeta, L., & Suksamrarn, A. (2018, 2018/06/01/). 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.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.09.001>
- Sonjaroon, W., Kaveeta, L., Chai-arree, W., Klinsakorn, S., Suksamrarn, A., & Jutamanee, K. (2016). Exogenous 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone application improves antioxidative enzyme system, photosynthesis, and yield in rice under high-temperature condition. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 1-11.
- Strasser, R., Srivastava, A., & Tsimilli-Michael, M. (2000, 01/01). The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. *Probing photosynthesis: Mechanism, regulation and adaptation*.
- Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., & Srivastava, A. (2004). Analysis of the fluorescence transient. In: George C., Papageorgiou C., Govindjee (eds.): Chlorophyll Fluorescence: A Signature of Photosynthesis. *Advances in Photosynthesis and Respiration Series*.
- Suksamrarn, A., Tanachatchairatana, T., & Sirigarn, C. (2002, 2002/07/22/). Stereoselective catalytic hydrogenation of Δ^7 -6-ketosteroids in the presence of sodium nitrite. *Tetrahedron*, 58(30), 6033-6037. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(02\)00580-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0040-4020(02)00580-X)
- Suksamrarn, A., Yingyongnarongkul, B.-e., & Charoensuk, S. (1999, 1999/01/01/). Regioselective synthesis of 24-epi-pterosterone. *Tetrahedron*, 55(1), 255-260.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0040-4020\(98\)01030-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0040-4020(98)01030-8)

- Sun, Y., Wang, H., Liu, S., & Peng, X. (2016, 2016/09/01/). Exogenous application of hydrogen peroxide alleviates drought stress in cucumber seedlings. *South African Journal of Botany*, 106, 23-28.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.05.008>
- Suttiarporn, P., Sookwong, P., & Mahatheeranont, S. (2016, 04/01). Fractionation and Identification of Antioxidant Compounds from Bran of Thai Black Rice cv. Riceberry. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 7, 109-114. <https://doi.org/10.7763/IJCEA.2016.V7.552>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2003). Plant physiology. 3rd edn. *Annals of Botany*, 91(6), 750-751.
- Tatar, O., & Gevrek, M. (2008, 04/01). Influence of Water Stress on Proline Accumulation, Lipid Peroxidation and Water Content of Wheat. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7. <https://doi.org/10.3923/ajps.2008.409.412>
- Thussagunpanit, J., Jutamanee, K., Homvisasevongsa, S., Suksamrarn, A., Yamagami, A., Nakano, T., & Asami, T. (2017, Sep). Characterization of synthetic ecdysteroid analogues as functional mimics of brassinosteroids in plant growth. *J Steroid Biochem Mol Biol*, 172, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jsbmb.2017.05.003>
- Thussagunpanit, J., Jutamanee, K., Kaveeta, L., Chai-arree, W., Pankean, P., Homvisasevongsa, S., & Suksamrarn, A. (2014, 06/01). Comparative Effects of Brassinosteroid and Brassinosteroid Mimic on Improving Photosynthesis, Lipid Peroxidation, and Rice Seed Set under Heat Stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34, 320-331. <https://doi.org/10.1007/s00344-014-9467-4>
- Thussagunpanit, J., Jutamanee, K., Kaveeta, L., Chai-arree, W., Pankean, P., & Suksamrarn, A. (2013, 05/24). Effects of a brassinosteroid and an ecdysone analogue on pollen germination of rice under heat stress. *Journal of Pesticide Science*, 38, 105-111. <https://doi.org/10.1584/jpestics.D13-029>
- Thussagunpanit, J., Jutamanee, K., Sonjaroon, W., Kaveeta, L., Chai-arree, W., Pankean,

- P., & Suksamran, A. (2015, 06/01). Effects of brassinosteroid and brassinosteroid mimic on photosynthetic efficiency and rice yield under heat stress. *Photosynthetica*, 53, 312-320. <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0106-5>
- Torres-Ruiz, J. M., Cochard, H., Fonseca, E., Badel, E., Gazarini, L., & Vaz, M. (2013). Differences in functional and xylem anatomical features allow *Cistus* species to co-occur and cope differently with drought in the Mediterranean region. *tree physiology*, 33.
- Toupchi, Z., Lisar, S. Y., Ghassemi-Golezani, K., & Motafakkerzad, R. (2018, 09/30). Physiological Responses of Safflower to Exogenous Putrescine under Water Deficit. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 14, 38-48.
- Trovato, M., Mattioli, R., & Costantino, P. (2008, 12/01). Multiple roles of proline in plant stress tolerance and development. *RENDICONTI LINCEI*, 19, 325-346. <https://doi.org/10.1007/s12210-008-0022-8>
- Uga, Y., Sugimoto, K., Ogawa, S., Rane, J., Ishitani, M., Hara, N., Kitomi, Y., Inukai, Y., Ono, K., Kanno, N., Inoue, H., Takehisa, H., Motoyama, R., Nagamura, Y., Wu, J., Matsumoto, T., Takai, T., Okuno, K., & Yano, M. (2013). Control of root system architecture by DEEPER ROOTING 1 increases rice yield under drought conditions. *Nature genetics*, 45.
- Upadhyaya, H., Dutta, B., & Panda, S. (2013, 05/20). Zinc Modulates Drought-Induced Biochemical Damages in Tea [*Camellia sinensis* (L) O Kuntze]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(27), 6660-6670. <https://doi.org/10.1021/jf304254z>
- Upadhyaya, H., Shome, S., Tewari, S., Bhattacharya, M. K., & Panda, S. (2015). Effect of Zn Nano-Particles on Growth Responses of Rice. In *Nanotechnology : Novel Perspectives and Prospects* (pp. 508-511). McGraw Hill Education (India) Private Limited.

- Vajrabhaya, M., & Vajrabhaya, T. (1991). Somaclonal Variation of Salt Tolerance in Rice. . *Spring-Valege*, 14, 368-382. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-642-83986-3_24
- Vega, A., Gutierrez, R., Peña-Neira, A., Cramer, G., & Arce-johnson, P. (2011, 07/24). Compatible GLRaV-3 viral infections affect berry ripening decreasing sugar accumulation and anthocyanin biosynthesis in *Vitis vinifera*. *Plant molecular biology*, 77, 261-274. <https://doi.org/10.1007/s11103-011-9807-8>
- 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*.
- Vezen, S. (2000). *Effect of chlorophyll parameter and photosynthesis efficiency in difference beet* Islamic azad university science and research Tehran-Branch].
- Wang, X., Gao, Y., Wang, Q., Chen, M., Ye, X., Li, D., Chen, X., Li, L., & Gao, D. (2019, 2019/02/01/). 24-Epibrassinolide-alleviated drought stress damage influences antioxidant enzymes and autophagy changes in peach (*Prunus persicae* L.) leaves. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 30-40. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.11.026>
- Wang, Z., Li, G., Sun, H., Ma, L., Guo, Y., Zhao, Z., Gao, H., & Mei, L. (2018). Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. *Biology Open*, 7(11), bio035279. <https://doi.org/10.1242/bio.035279>
- Wei, H., Chen, C., Ma, X., Zhang, Y., Han, J., Mei, H., & Yu, S. (2017). Comparative Analysis of Expression Profiles of Panicle Development among Tolerant and Sensitive Rice in Response to Drought Stress. *Plant science*, 8, 1-23.
- Wellburn, A. R. (1994). The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different

Resolution*. *Journal of Plant Physiology*, 144, 307-313.

- Xi, Z. M., Zhang, Z. W., Huo, S. S., Luan, L. Y., Gao, X., Ma, L. N., & Fang, Y. L. (2013, Dec 1). Regulating the secondary metabolism in grape berry using exogenous 24-epibrassinolide for enhanced phenolics content and antioxidant capacity. *Food Chem*, 141(3), 3056-3065. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.137>
- Xu, S. M., Liu, L. X., Woo, K. C., & Wang, D. L. (2007, 09/01). Changes in photosynthesis, xanthophyll cycle, and sugar accumulation in two North Australia tropical species differing in leaf angles. *Photosynthetica*, 45, 348-354. <https://doi.org/10.1007/s11099-007-0059-4>
- Xu, Z., Ma, J., Lei, P., Wang, Q., Feng, X., & Xu, H. (2020, 2020/01/14). Poly- γ -glutamic acid induces system tolerance to drought stress by promoting abscisic acid accumulation in *Brassica napus* L. *Scientific Reports*, 10(1), 252. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57190-4>
- Yadav, D. K., Kumar, S., Choi, E. H., Chaudhary, S., & Kim, M. H. (2019, Mar 14). Molecular dynamic simulations of oxidized skin lipid bilayer and permeability of reactive oxygen species. *Sci Rep*, 9(1), 4496. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40913-y>
- Yahia, E. M., Carrillo-López, A., Malda, B. G., Suzán-Azpiri, H., & Quiroz, M. Q. (2019). *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. Woodhead Publishing.
- Yang, X., Wang, B., Chen, L., Li, P., & Cao, C. (2019, 2019/03/06). The different influences of drought stress at the flowering stage on rice physiological traits, grain yield, and quality. *Scientific Reports*, 9(1), 3742. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40161-0>
- Yao, J., Sun, D., Cen, H., Haixia, X., Haiyong, W., Yuan, F., & He, L. (2018, 05/01). Phenotyping of Arabidopsis Drought Stress Response Using Kinetic Chlorophyll Fluorescence and Multicolor Fluorescence Imaging. *Frontiers in Plant Science*, 9,

603. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00603>

Yidong, W., Zhang, T., Wang, R., & Zhao, Y. (2017, 07/11). Recent advances in auxin research in rice and their implications for crop improvement. *Journal of Experimental Botany*, 69. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx228>

Yu, J., Huang, L., Hu, W., Zhou, Y., Mao, W., Ye, S., & Nogués, S. (2004, 06/01). A role for brassinosteroids in the regulation of photosynthesis in *Cucumis sativus*. *Journal of Experimental Botany*, 55, 1135-1143. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh124>

Yu Kyeong, S., Bhandari, S., Jo, J., Song, J., & Lee, J. G. (2021, 08/10). Effect of Drought Stress on Chlorophyll Fluorescence Parameters, Phytochemical Contents, and Antioxidant Activities in Lettuce Seedlings. *Horticulturae*, 7, 238. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080238>

Yuan, G.-F., Jia, C.-G., Li, Z., Sun, B., Zhang, L.-P., Liu, N., & Wang, Q.-M. (2010, 2010/09/13). Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. *Scientia Horticulturae*, 126(2), 103-108. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.06.014>

Zgallai, H., Steppe, K., & Lemeur, R. (2005, 12/02). Photosynthetic, Physiological and Biochemical Responses of Tomato Plants to Polyethylene Glycol-Induced Water Deficit. *Journal of Integrative Plant Biology*, 47, 1470-1478. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2005.00193.x>

Zhang, X., Lei, L., Lai, J., Zhao, H., & Song, W. (2018, Apr 23). Effects of drought stress and water recovery on physiological responses and gene expression in maize seedlings. *BMC Plant Biol*, 18(1), 68. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1281-x>

Zhao, J., Sun, H., Dai, H., Zhang, G., & Wu, F. (2010, 2010/04/01). Difference in response to drought stress among Tibet wild barley genotypes. *Euphytica*, 172(3), 395-403. <https://doi.org/10.1007/s10681-009-0064-8>

Zhao, J., Sun, H., Dai, H., Zhang, G. P., & Wu, F. (2009, 04/01). Difference in response to

drought stress among Tibet wild barley genotypes. *Euphytica*, 172, 395-403.

<https://doi.org/10.1007/s10681-009-0064-8>

Zheng, M., Tao, Y., Hussain, S., Jiang, Q., Peng, S., Huang, J., Cui, K., & Nie, L. (2016, 2016/03/01). Seed priming in dry direct-seeded rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under drought stress. *Plant Growth Regulation*, 78(2), 167-178. <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0083-5>

Zhou, R., Yu, X., Ottosen, C. O., Rosenqvist, E., Zhao, L., Wang, Y., Yu, W., Zhao, T., & Wu, Z. (2017, Jan 25). Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. *BMC Plant Biol*, 17(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-0974-x>

Zhou, Y., Zhang, C., Lin, J., Yang, Y., Peng, Y., Tang, D., Zhao, X., Zhu, Y., & Liu, X. (2015). Over-expression of a glutamate dehydrogenase gene, MgGDH, from *Magnaporthe grisea* confers tolerance to dehydration stress in transgenic rice. *planta*, 241, 725-740.

Zivcak, M., Brestic, M., Olsovska, K., & Slamka, P. (2008a, 04/01). Performance index as a sensitive indicator of water stress in *Triticum aestivum* L. *Plant Soil and Environment*, 54, 133-139. <https://doi.org/10.17221/392-PSE>

Zivcak, M., Brestic, M., Olsovska, K., & Slamka, P. (2008b, 04/01). Performance index as a sensitive indicator of water stress in *Triticum aestivum* L. *Plant Soil and Environment*, 54, 133-139. <https://doi.org/10.17221/392-PSE>

นัยวิกุล, อ. (2560). ข้าว:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (4 ed.). สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บำเพ็ญผล, ศ. (2554). การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของระบบรับแสงภายใต้สภาพได้รับแสงสลั้กับ
การพร่างแสงของผักโขม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์].

พรหมจันทร์, ธ. (2560). การศึกษาผลของบราสซิโนสเตรอยด์และเมทิลจัสโมเนตต่อการ

เจริญเติบโต ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ของดาวเรือง. ค. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

มณีโชติ, พ., โค, เ., ทองสมนึก, พ., เขียวละออง, ส., หงอกชัย, ฉ., สุขสำราญ, อ., , ป. ช., & แสงงาม, ส. (2561). ผลของสารบราสซิโนสเตียรอยด์มีมิกต่อการสะสมคลอโรฟิลล์และการเกิดปฏิกิริยาไลพิดเปอร์ออกซิเดชันของมะเขือเทศภายใต้สภาวะแล้ง. เกษตร, 46, 14-23.

มณีโชติ, พ., แสงงาม, ส., & ชัยวิสุทธิราษฎร์, ป. (2563). ผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone ต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณคลอโรฟิลล์ และโครงสร้างคลอโรพลาสต์ในมะเขือเทศพันธุ์ CH154 ภายใต้สภาวะแล้ง. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 23(2), 14-23.

เมทเมรุรัตน์, เ., กาวีดี๊ะ, ล., นคร, ม. ณ., & คำสุข, อ. (2558). ผลของบราสซิโนสเตียรอยด์มีมิก (DHECD) ต่อการเติบโตทางลำต้น และผลผลิตของมันสำปะหลัง. *Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference: Plants, Animals, Veterinary Medicine, Fisheries, Agricultural Extension and Home Economics*, 53, 167-174.

แสงงาม, ส., พลากุลมณฑล, ธ., คงเอียง, ค., & สุขสำราญ, อ. (2561). การเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของมะเขือเทศพันธุ์ CH154 ภายใต้สภาวะเครียดจากความแล้งด้วยสารบราสซิโนสเตียรอยด์มีมิก. เกษตร, 46(1), 328-332.

อนุกุลประเสริฐ, อ. (2559). ผลของการขาดน้ำต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวหอม 6 พันธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 24(3).

อุดมประเสริฐ, น. (2558). สรีรวิทยาของพืชภายใต้สภาวะเครียด. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	เกศินี ฤทธิงาม
วัน เดือน ปี เกิด	19 ตุลาคม 2538
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ปี 2560 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปี 2561 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

