

ผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) ต่อการเติบโตและ
การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวพันธุ์ กข31
ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา
ธันวาคม 2558

ผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) ต่อการเติบโตและ
การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวพันธุ์ กข31
ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา
ธันวาคม 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) ต่อการเติบโตและ
การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวพันธุ์ กข31
ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา
ธันวาคม 2558

นางสาวกิตติญา พรรณา. (2558). ผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) ต่อการเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง. ปรินญาณพนธ์ กศ.ม. (ชีววิทยา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อาจารย์ที่ปรึกษาปรินญาณพนธ์: ดร.สุขมาภรณ์ แสงงาม, รองศาสตราจารย์ ดร.คณพล จุฑามณี.

การศึกษาผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์คล้ายบราสซิโนสเตียรอยด์ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้สภาวะแล้งในสารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่มีสาร Polyethylene glycol 6000 (PEG6000) ความเข้มข้น 15%(w/v) และพ่นใบข้าวด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 10^{-5} โมลาร์ เมื่อต้นข้าวอายุ 30 วัน ผลทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมน้ำหนัสดและน้ำหนักแห้งในส่วนต้นและราก ความยาวต้น ความยาวราก และอัตราส่วนความยาวรากต่อความยาวต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ ในขณะที่การให้สาร DHECD กับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติจะช่วยให้มีการสะสมน้ำหนัสดและน้ำหนักแห้งส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวในสภาวะปกติที่ไม่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD นอกจากนี้พบว่า การพ่นสาร DHECD ให้กับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งทำให้มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวม (total soluble sugar) สูงกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ นอกจากนี้การพ่นสาร DHECD ทำให้ความเสียหายทางกายภาพของต้นข้าว (drought score) และการเกิด lipid peroxidation ในส่วนต้นและรากลดลง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สาร DHECD ช่วยส่งเสริมการเติบโตของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ให้มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมและปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นเพิ่มขึ้นจึงมีผลทำให้ต้นข้าวทนต่อความเครียดจากสภาวะแล้งได้

คำสำคัญ : DHECD, MDA, ข้าวพันธุ์ กข31, ความเครียดจากสภาวะแล้ง, น้ำตาล, ปริมาณน้ำสัมพัทธ์

EFFECTS OF 7,8-DIHYDRO-8 α -20-HYDROXYECDYSONE (DHECD) ON GROWTH AND
SOME PHYSIOLOGICAL CHANGES IN RD31 RICE
UNDER DROUGHT STRESS

AN ABSTRACT

BY

KITTIYA PHANNA



Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Education Degree in Biology
at Srinakharinwirot University

December 2558

Kittiya Phanna. (2015). *Effects of 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) on growth and some physiological changes in RD31 rice under drought stress*. Master thesis, M. Ed. (Biology). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor: Dr. Sukhumaporn Saeng-ngam, Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. Kanapol Jutamanee.

The study on effect of 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD), a brassinosteroid mimic, on some physiological changes in RD31 rice cultivar (*Oryza sativa* L. cv. RD31) was determined under drought stress condition. Rice seedlings were grown in modified WP No.2 nutrient solution containing 15%(w/v) polyethylene glycol 6000 (PEG6000). DHECD of 10^{-5} M was sprayed on day old rice seedlings. The result demonstrated that spraying of DHECD could increase shoot and root fresh weight, shoot and root dry weight, shoot and root length, and root to shoot length ratio of rice seedlings as compared to rice group which sprayed with water under drought stress. Foliar application of DHECD under normal condition enhanced the higher accumulation of shoot and root fresh weight; shoot and root dry weight of rice seedlings than untreated plants. Moreover, DHECD increased the accumulation of total soluble sugar content seedlings higher than those sprayed with water after drought stress. The DHECD-treatment decreased drought score; shoot and root MDA contents. The results indicate that DHECD promoted growth and total soluble sugar accumulation which result in enhancing drought tolerance in RD31 rice.

Keywords: DHECD, MDA, RD31 rice, drought stress, sugar, water content

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) ต่อการเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทาง
สรีรวิทยาบางประการของข้าวพันธุ กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง
ของ

กิตติญา พรรณา

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....รักษาราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภฎี โยเหลา)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....⁶.....ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร. สุขุมภรณ์ แสงงาม)

.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ)

.....^{aw}.....ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. คณพล จุฑามณี)

.....^{สุขุมภรณ์ แสงงาม}.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุขุมภรณ์ แสงงาม)

.....^{aw}.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. คณพล จุฑามณี)

.....^{ว. อ. สุขุม}.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ สุขสำราญ)

ประกาศคุณูปการ

ขอขอบพระคุณท่าน อาจารย์ ดร. สุขุมภรณ์ แสงงาม อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้ ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา คำชี้แนะ แนวทางแก้ไขที่เป็นประโยชน์ในการทำปริญญานิพนธ์ และความช่วยเหลือ ความสนับสนุนในการทำการทดลองในทุกๆ ด้านมาโดยตลอด อีกทั้งช่วยตรวจแก้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณท่าน รองศาสตราจารย์ ดร.คณพล จุฑามณี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่ให้ความรู้ คำปรึกษา คำชี้แนะ แนวทางแก้ไขที่เป็นประโยชน์ในการทำปริญญานิพนธ์ และความช่วยเหลือ ความสนับสนุนในการทำการทดลองในทุกๆ ด้านมาโดยตลอด อีกทั้งช่วยตรวจแก้ปัญหাপริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ สุขสำราญ ที่ให้ความอนุเคราะห์สาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) ในการทำการทดลองครั้งนี้ อีกทั้งกรุณาเป็นกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิในการสอบปริญญานิพนธ์ของผู้วิจัยให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดข้าวสายพันธุ์ กข31 ในการทำการทดลองครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ เอื้อเฟื้ออุปกรณ์การทดลอง และเครื่องมือวิทยาศาสตร์สำหรับการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ สาขา กศ.ม. (ชีววิทยา) ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจในการทำการทดลองปัญหาพิเศษในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กิตติญา พรรณา

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
สมมติฐานในงานวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ลักษณะทั่วไปของข้าว.....	4
การเจริญเติบโตของข้าว.....	6
ข้าวพันธุ์ กข31.....	7
ลักษณะเด่น.....	8
ลักษณะด้อย.....	9
ปัญหาภัยแล้ง.....	9
ความต้านทานต่อสภาพแล้งของพืช.....	10
กลไกการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาของพืชต่อสภาวะแล้ง.....	11
การปรับปรุงพันธุ์พืชต้านทานต่อสภาพแล้ง.....	12
Polyethylene glycol 6000.....	14
บทบาทของสาร Compatible solutes ที่พบในพืชภายใต้สภาวะแล้ง.....	15
ผลกระทบของสภาวะแล้งต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช.....	15
ความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative stress) ภายใต้สภาวะแล้ง.....	16
กลไกการเกิด MDA ในพืช.....	17
บราสซิโนสเตียรอยด์.....	18
สาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxycdysone.....	19

สารบัญ

บทที่	หน้า
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....22
พืชทดลอง.....	22
สถานที่ทำการทดลอง.....	22
ช่วงเวลาทำการทดลอง.....	22
วัสดุอุปกรณ์.....	22
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ปลูก.....	22
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของข้าว.....	22
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ของต้นข้าว.....	23
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาปริมาณ total soluble sugar ของต้นข้าว.....	23
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการเกิดปริมาณ MDA ของต้นข้าว.....	24
สารเคมี.....	24
สารเคมีที่ใช้ในการปลูกข้าว.....	24
สารเคมีที่ใช้ในการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์.....	24
สารเคมีที่ใช้ในการศึกษาปริมาณ total soluble sugar.....	24
สารเคมีที่ใช้ในการศึกษาการเกิดปริมาณ MDA ของต้นข้าว.....	25
การหาความสามารถในการทนต่อระดับความรุนแรงของ	
ความเครียดจากสภาวะแล้งของต้นข้าวพันธุ์ กข31.....	25
ศึกษาผลของความเครียดจากสภาวะแล้งต่อการเจริญเติบโตของข้าว.....	25
การเตรียมต้นอ่อนของข้าวพันธุ์ กข 31.....	25
การจำลองสภาวะแล้งให้กับต้นข้าวในการทดลอง.....	25
เก็บตัวอย่างต้นข้าวในแต่ละชุดการทดลอง.....	26
ค่า drought score.....	26
ความยาวต้นและราก.....	27
น้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง.....	27
อัตราส่วนความยาวราก-ความยาวต้น.....	27
อัตราส่วนน้ำหนักแห้งราก-ต้น.....	27

สารบัญ

บทที่

หน้า

3 (ต่อ)

เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในต้นพืช.....	27
Relative Growth Rate.....	27
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	28
ศึกษาผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD)	
ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวพันธุ์	
กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	28
ศึกษาผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD)	
ต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวพันธุ์	
กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	28
การเตรียมต้นกล้าข้าวพันธุ์ กข31.....	28
การจำลองสภาวะแล้งให้กับต้นข้าวในการทดลอง.....	28
เก็บตัวอย่างต้นข้าวในแต่ละชุดการทดลอง.....	29
ค่า drought score.....	29
ความยาวต้นและราก.....	29
น้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง.....	29
อัตราส่วนความยาวราก-ความยาวต้น.....	29
อัตราส่วนน้ำหนักแห้งราก-ต้น.....	29
เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในต้นพืช.....	29
Relative Growth Rate.....	30
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	30
ศึกษาผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD)	
ต่อปริมาณสารสีที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของข้าวพันธุ์	
กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง.....	30
ปริมาณคลอโรฟิลล์.....	30
ปริมาณแคโรทีนอยด์.....	31

สารบัญ

บทที่

หน้า

3 (ต่อ)

ศึกษาผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD)

ต่อปริมาณน้ำตาลของข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง.....31

ศึกษาผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) ต่อการ

เกิดปริมาณ MDA ของข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง.....32

4 ผลการทดลอง.....33

การหาความสามารถในการทนต่อระดับความรุนแรงของความ

เครียดจากสภาวะแล้งของต้นข้าวพันธุ์ กข31.....33

ศึกษาผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD)

ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวพันธุ์ กข31

ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง.....56

5 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย.....82

บรรณานุกรม.....88

ภาคผนวก.....97

ภาคผนวก ก.....98

ภาคผนวก ข.....102

ประวัติย่อผู้วิจัย.....125

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1	พื้นที่และช่วงเดือนที่เกิดฝนแล้งและเกิดฝนทิ้งช่วง.....	10
2	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของน้ำหนักสดต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....	103
3	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของน้ำหนักสดรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....	103
4	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของน้ำหนักสดรวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....	104
5	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของน้ำหนักแห้งต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....	104
6	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของน้ำหนักแห้งรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....	105
7	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของน้ำหนักแห้งรวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....	105
8	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อน้ำหนักแห้งต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....	106
9	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของความยาวต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....	106

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

- 10 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของความยาวรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....107
- 11 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของความยาวรวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....107
- 12 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของอัตราส่วนความยาวรากต่อความยาวต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....108
- 13 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....108
- 14 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....109
- 15 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของอัตราการเติบโตสัมพัทธ์รวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....109
- 16 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....110
- 17 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) คะแนนของความเสียหายทางกายภาพของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....110

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

- 18 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของค่าความเชียวของใบของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....111
- 19 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....111
- 20 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลายPEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....112
- 21 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....112
- 22 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จากภายนอกที่ระดับความเข้มข้น 0, 5, 10,15 และ 20%(w/v) ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 25 วัน.....113
- 23 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของน้ำหนักสดต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....113
- 24 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของน้ำหนักสดรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....114
- 25 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของน้ำหนักสดรวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....114
- 26 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของน้ำหนักแห้งต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....115
- 27 ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของน้ำหนักแห้งรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....115

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

28	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของน้ำหนักแห้งรวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	116
29	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อน้ำหนักแห้งต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	116
30	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของความยาวต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	117
31	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของความยาวรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	117
32	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของความยาวรวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	117
33	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของอัตราส่วนความยาวรากต่อความยาวต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	118
34	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	118
35	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	119
36	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของอัตราการเติบโตสัมพัทธ์รวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	119
37	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	120
38	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) คะแนนของความเสียหายทางกายภาพของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	120
39	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของค่าความเขียวของใบของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	121
40	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	121

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

41	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	122
42	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	122
43	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	123
44	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของปริมาณMDA ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	124
45	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของปริมาณMDA ในส่วนรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	124
46	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของปริมาณMDA ในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	125
47	ค่าเฉลี่ย ($\pm$ S.E.) ของปริมาณน้ำตาลที่สะสมในใบข้าวของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลา 15 วัน.....	125

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว.....	6
2 ต้นข้าวพันธุ์ กข31.....	8
3 เมล็ดข้าวข้าวพันธุ์ กข31.....	9
4 โครงสร้างของ polyethylene glycol.....	14
5 ความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	17
6 กลไกการเกิด MDA.....	18
7 โครงสร้างของบราสซิโนสเตียรอยด์.....	19
8 โครงสร้างบราสซิโนสเตียรอยด์แอนาลอกชนิด 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone.....	20
9 น้ำหนักสดต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	35
10 น้ำหนักสดรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	36
11 น้ำหนักสดรวมส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	36
12 น้ำหนักแห้งต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	39
13 น้ำหนักแห้งรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	39
14 น้ำหนักแห้งรวมส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	40
15 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อน้ำหนักแห้งต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	40
16 ความยาวต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	43

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

17 ความยาวรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	44
18 ความยาวรวมส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	44
19 อัตราส่วนความยาวรากต่อความยาวต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจาก สภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	45
20 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะ แล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	47
21 อัตราส่วนสัมพัทธ์ในส่วนรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะ แล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	47
22 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์รวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับ ความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	48
23 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะ แล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	49
24 ค่าคะแนนความเสียหายทางกายภาพของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจาก สภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	50
25 ต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับความเสียหายทางกายภาพ ตอน 1.....	51
26 ค่าความเขียวของใบของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	52
27 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะ แล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	54
28 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่า ความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	54
29 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่า ความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	55

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

30 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	55
31 น้ำหนักสดต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	58
32 น้ำหนักสดรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	58
33 น้ำหนักสดรวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	59
34 น้ำหนักแห้งต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	61
35 น้ำหนักแห้งรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	62
36 น้ำหนักแห้งรวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	62
37 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อน้ำหนักแห้งต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	63
38 ความยาวต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	65
39 ความยาวรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	66
40 ความยาวรวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	66
41 อัตราส่วนความยาวรากต่อความยาวต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	67
42 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	69

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

43 อัตราส่วนสัมพัทธ์ในส่วนรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	69
44 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์รวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	70
45 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	71
46 คะแนนความเสียหายทางกายภาพของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	72
47 ต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับความเสียหายทางกายภาพ ตอน 2.....	73
48 ค่าความเขียวของใบของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	74
49 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	76
50 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	77
51 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี และปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	77
52 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	78
53 ปริมาณ MDA ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	79
54 ปริมาณ MDA ในส่วนรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	80
55 ปริมาณ MDA ในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....	80

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

- 56 ปริมาณน้ำตาลที่สะสมในใบข้าวของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจาก
สภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error).....81
- 57 กราฟน้ำตาลมาตรฐาน.....101



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้าซึ่งอยู่ในวงศ์ Poaceae หรือ Gramineae เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว มีชื่อทางวิทยาศาสตร์เรียกว่า *Oryza sativa* L. ซึ่งมีการโบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ข้าวจึงเป็นอาหารหลักของประชากรโลก โดยเฉพาะแถบเอเชียและข้าวยังเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทยที่มีการส่งออกในปริมาณมาก โดยในปี 2553-2554 ประเทศไทยได้ส่งออกข้าวสารของ จำนวน 10,647 ล้านตัน ปี 2554-2555 มีการส่งออกข้าวสาร 6,945 ล้านตัน ปี 2555-2556 มีการส่งออกข้าวสาร 6,772 ล้านตัน ปี 2556-2557 มีการส่งออกข้าวสาร 9,000 ล้านตัน โดยมีการคาดการณ์ว่าการส่งออกข้าวไทยในปี 2557-2558 จะมีการส่งออกข้าวมากถึง 10,000 ล้านตัน (สถานการณ์การผลิตและการตลาดข้าวของโลก. 2557) ดังนั้นการปลูกข้าวเพื่อให้ได้ผลผลิตในปริมาณมากจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรของประเทศไทย ในปัจจุบันการปลูกข้าวในประเทศไทยมักประสบกับปัญหาในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่แปรปรวน เช่น ปัญหาภัยแล้ง อุณหภูมิสูง รวมทั้งปัญหาในเรื่องของโรคและแมลง เป็นต้น ล้วนส่งผลทำให้ผลผลิตของการปลูกข้าวที่ได้ในแต่ละปีมีปริมาณน้อยและไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร จากการรายงานในปี 2556-2557 พบว่ามีพื้นที่ประสบกับปัญหาภัยแล้งจำนวน 43 จังหวัด 308 อำเภอ 1,913 ตำบล 18,246 หมู่บ้าน โดยเฉพาะด้านการเกษตรได้รับผลกระทบเป็นจำนวนมากถึง 22 จังหวัด เช่น เชียงใหม่ พิจิตร โขงแก่น และสิงห์บุรี เป็นต้น คิดเป็นพื้นที่ทางการเกษตรที่ได้รับความเสียหายจำนวน 922,854 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่สำหรับปลูกข้าว 789,103 ไร่ พืชไร่ 12,532 ไร่ พืชสวนและอื่น ๆ 112,219 ไร่ (ศูนย์ติดตามและแก้ไขปัญหาภัยพิบัติด้านการเกษตร. 2557) ดังนั้นการหาแนวทางเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาผลผลิตข้าวที่เผชิญกับสภาวะความแล้งจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตของการปลูกข้าวในประเทศไทย ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสนใจที่ศึกษาการนำสารเอคไดสเตอรอยด์แอนาลอก ได้แก่ 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) ซึ่งมีบทบาทในการควบคุมการเจริญเติบโต ส่งเสริมการแบ่งเซลล์ การขยายขนาดของเซลล์ ทั้งในลำต้นและราก มีผลช่วยเพิ่มผลผลิตให้กับพืชหลายชนิด เช่น ในงานวิจัยของ เกษวราเมธเมธรัตน์; และคนอื่นๆ (2555) รายงานว่าบราสซิโนสเตียรอยด์แอนาลอก สามารถกระตุ้นการ

เจริญเติบโตด้านความยาวยอดมันสำปะหลัง และเพิ่มปริมาณน้ำหนักรากสด น้ำหนักแห้งของรากฝอยในมันสำปะหลัง เป็นต้น และทำให้พืชทนต่อความเครียดภายใต้สภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น ช่วยให้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีการทนต่อความเครียดจากอุณหภูมิสูงได้ (วีรศิลป์ สอนจรรยา; และคนอื่นๆ. 2556) จึงมีแนวโน้มว่าสามารถนำสารดังกล่าวมาใช้ในการเพิ่มความสามารถในการทนต่อสภาวะแล้งของต้นข้าวที่ปลูกในเขตพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยได้ โดยมีรายงานว่าสารดังกล่าวมีสมบัติคล้ายกับฮอร์โมนในกลุ่มของบราสซิโนสเตียรอยด์ที่มีบทบาทในการควบคุมการเจริญเติบโต และส่งเสริมการเจริญเติบโตทั้งในยอดและรากของพืช (Grove; et al. 1979) ซึ่งสาร DHECD ได้ผ่านการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างมาจากเอคโดสเตอรอยด์ (ecdysteroid) ที่สกัดมาจากเปลือกต้นไผ่เนา (*Vitex glabrata*) เป็นสารที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มของบราสซิโนสเตียรอยด์ เป็นการดัดแปลงมาจาก ecdysteroid ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่พบได้ในสัตว์ในกลุ่ม Arthropods (Suksamrarn; et al. 2002) จึงทำให้มีการศึกษาผลของสารสกัดในกลุ่มฮอร์โมนบราสซิโนสเตียรอยด์ เพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตทางการเกษตร เช่น งานวิจัยของ วีรศิลป์ สอนจรรยา; และคนอื่นๆ (2556) ได้รายงานว่าสาร DHECD สามารถบรรเทาความเครียดจากความร้อนของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ได้ โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง และเพิ่มการติดเมล็ดของข้าวในสภาวะอุณหภูมิสูง ดังนั้นในการศึกษารั้งนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง ซึ่งข้าวพันธุ์ กข31 เป็นพันธุ์ข้าวที่นิยมปลูกกันมากในเขตพื้นที่ภาคกลาง และเป็นข้าวที่มีคุณภาพเมล็ดทางกายภาพสม่ำเสมอว่าเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์อื่นๆ ที่ปลูกในเขตพื้นที่เพาะปลูกภาคกลาง ทั้งยังสามารถต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาว เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โรคขอบใบแห้ง โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคเมล็ดด่าง และให้ผลผลิตสูง และเป็นแนวทางในการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวรวมทั้งการนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการเพิ่มผลผลิตของข้าวที่ปลูกในพื้นที่ประสบภัยแล้งในเขตพื้นที่เพาะปลูกข้าวภาคกลางต่อไปในอนาคต

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเติบโตของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง
2. เพื่อศึกษาผลของสาร DHECD ต่อปริมาณสารที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง
3. เพื่อศึกษาผลของสาร DHECD ต่อปริมาณน้ำตาลของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง
4. เพื่อศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเกิดปริมาณ MDA ในข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

ขอบเขตของงานวิจัย

ในการทำวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลของความเครียดจากสภาวะแล้งที่มีต่อความสามารถในการทนต่อสภาวะแล้งของข้าวพันธุ์ กข31 และศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

สมมติฐานในงานวิจัย

การพ่นสาร DHECD ให้กับต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง จะช่วยเพิ่มความสามารถในการทนต่อสภาวะแล้งของข้าวได้ดีขึ้น โดยส่งผลทำให้มีการสะสมปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น และลดการเกิดปริมาณ MDA เมื่อต้นข้าวได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะทั่วไปของข้าว

ข้าวเป็นพืชล้มลุกและเป็นพืชตระกูลหญ้า (Poaceae) ซึ่งจัดอยู่ในสกุล(genus) *Oryza* ประกอบด้วยชนิด(species) ต่าง ๆ ถึง 23 ชนิด เป็นข้าวพันธุ์ป่า 21 ชนิด และข้าวพันธุ์ปลูก 2 ชนิด คือ *Oryza sativa* ซึ่งปลูกทั่วไปในเขตต่าง ๆ ของโลก และ *Oryza glaberrima* ปลูกเฉพาะในแอฟริกาตะวันตก (Vaughan. 1989) ต้นข้าวจะประกอบด้วย ราก ลำต้น ใบ และช่อดอกข้าว (วาสนา ผลารักษ์. 2523: Vaughan. 1989)

1. ราก รากเป็นระบบรากฝอย แบ่งออกเป็นสองชุด ชุดแรกเป็นรากที่อยู่ชั่วคราวซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ รากที่งอกออกมาจากเมล็ด เรียกว่า รากอ่อน (radicle) และรากที่งอกออกมาจากบริเวณข้อที่ใบเลี้ยงติดอยู่ (scutellar node) ซึ่งจะอยู่ชั่วคราวในระยะต้นกล้ามีใบแท้ 6-7 ใบ เรียกว่า รากแขนง (seminal root) ทำหน้าที่ดูดน้ำและลำเลียงอาหาร ส่วนรากชุดที่สองเป็นรากที่แตกออกมาจากข้อแรกที่เกิดจากข้อส่วนล่าง ๆ ของลำต้น (coleoptilar node) และข้อใต้ดิน เรียกว่า รากวิสามัญ (adventitious root)

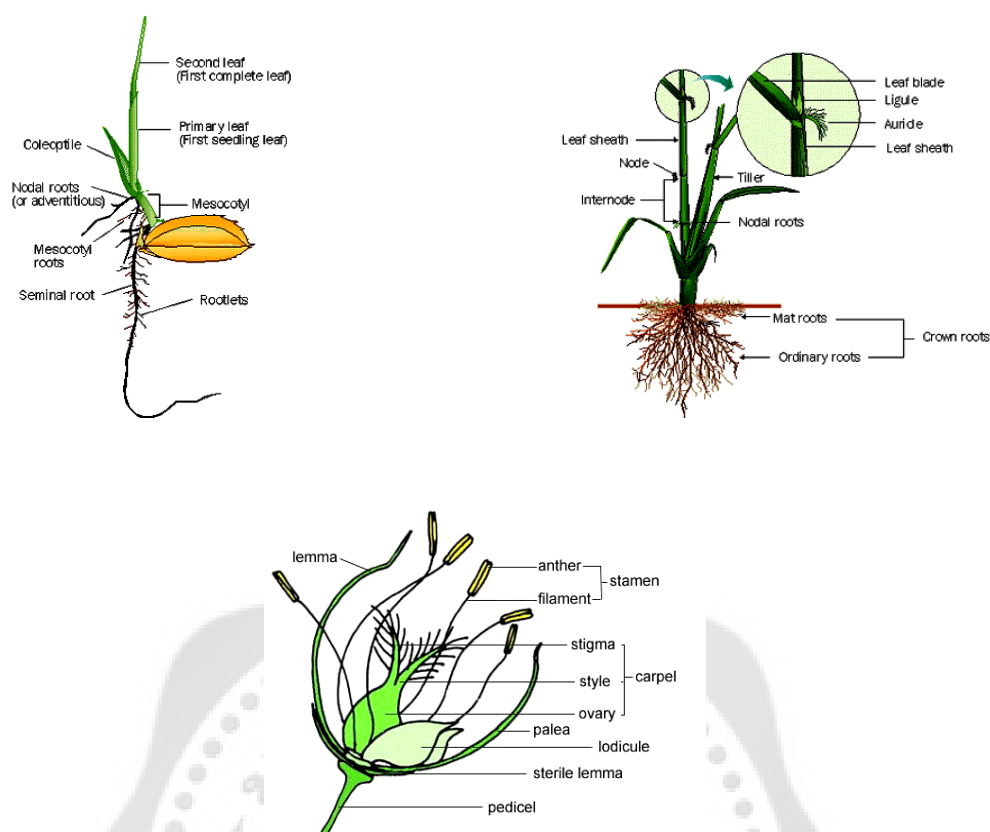
2. ลำต้น ลำต้นมีความสูงประมาณ 50-150 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นทรงกลม มีโพรงตรงกลางประกอบด้วย ข้อและปล้องจำนวนมาก ตรงส่วนของข้อจะเป็นที่เกิดของใบและตา ตาอาจจะเจริญขึ้นเป็นแขนง (tiller) เยื่อที่อยู่ภายในข้อซึ่งเรียกว่า nodal septum จะแบ่งปล้องออกจากกัน ปล้องมีลักษณะกลวง จำนวนปล้องจะเท่ากับจำนวนใบของต้นข้าว ห่อหุ้มด้วยกาบใบ

3. ใบ ใบประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือ กาบใบและแผ่นใบ ซึ่งมีลักษณะแบนบาง แคบ และยาวประมาณ 30-50 เซนติเมตร ใบเกิดสลับสองทิศทางบนลำต้น ส่วนที่เชื่อมระหว่างกาบใบและแผ่นใบ เรียกว่า คอใบ (collar) บริเวณคอใบมีเยื่อกันน้ำ (ligule) และเขี้ยวกันแมลง (auricle) ใบสุดท้ายก่อนที่ต้นข้าวจะออกรวมมีชื่อเรียกว่า ใบธง หรือใบวี (flag leaf)

4. ช่อดอกข้าว ช่อดอกเป็นแบบช่อกระจุก (panicle) ยาวประมาณ 15-20 เซนติเมตร ประกอบด้วยช่อดอกย่อย (spikelet) จำนวนมาก ยาวประมาณ 8-12 มิลลิเมตร บริเวณฐานของช่อดอกย่อยมีร่องรอยของใบประดับช่อดอกลักษณะเป็นตุ่มเล็ก ๆ 2 อัน เรียก กาบช่อดอกย่อย

(rudimentary glume) อยู่ข้างละอันแต่ละช่อดอกย่อย ประกอบด้วยดอกย่อยจำนวน 3 ดอก ดอกย่อยล่าง 2 ดอกไม่สมบูรณ์เพศ และลดรูปเหลือเพียงใบประดับรูปหอก มีกลีบรองชั้นล่างเป็นดอกย่อยที่ไม่เจริญ เรียกว่า empty lemma หรือ sterile lemma ยาวประมาณ 1 ใน 4 ส่วนของช่อดอกย่อย ดอกย่อยบนดอกสมบูรณ์เพศ ประกอบด้วยใบประดับสองอันเหลื่อมซ้อนกันอยู่ ใบประดับอันนอกมีขนาดใหญ่ เรียก กาบล่าง (lemma) มีเส้นตามยาว 5 เส้น ใบประดับอันในมีขนาดเล็ก เรียก กาบบน (palea) มีเส้นตามยาว 3 เส้น ซึ่งกาบบนและกาบล่างทำหน้าที่หุ้มส่วนประกอบอื่นๆ ของดอกย่อยไว้ ถัดเข้าไปเป็นวงกลีบรวมที่ลดรูปเหลือเป็นติ่งเล็กๆ เรียก กลีบเกล็ด (lodicule) ทำหน้าที่ช่วยในการบานของดอก ถัดเข้ามาภายในประกอบด้วยเกสรเพศผู้ 6 อัน และเกสรเพศเมีย 1 อัน ซึ่งมีรังไข่อยู่เหนือส่วนอื่นของดอก ท่อเกสรเพศเมียสั้น ยอดเกสรเพศเมียแยกออกเป็น 2 แฉกรูปคล้ายพู่หรือขนนก (plumose stigma) มี 1 รังไข่ (วาสนา ผลารักษ์. 2523: Lamp; et al. 1990: Moldenhauer; & Gibbons. 2003)

รวงข้าว จะเกิดที่ข้อของปล้องสุดท้ายของต้นข้าวระหว่างปล้องสุดท้ายของข้อต่อของใบธง รวงข้าวจะสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กักระยะห่างของข้ออันบนของปล้องสุดท้ายกับข้อต่อของใบธง โดยลักษณะของรวงข้าวจะแตกต่างกันตามชนิดของพันธุ์ข้าว และการมีข้อของแขนงที่หนึ่งและแขนงที่สองก็จะทำให้มีจำนวนดอกต่อรวงมากจะทำให้พันธุ์ข้าวชนิดนั้นให้ผลผลิตที่สูง (ภาพประกอบ 1)



ภาพประกอบ 1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว

ที่มา: Chang, T.T; & E.A. Bardenas. (1965).

การเจริญเติบโตของข้าว

วงจรชีวิตของข้าวเริ่มหลังจากการปฏิสนธิ เจริญเติบโตเป็นต้นอ่อน และพัฒนาเป็นต้นแก่ออกรวง จนกระทั่งเมล็ดสุกแก่ มีระยะเวลาประมาณ 100-200 วัน ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าว วงชีวิตของข้าวสามารถแบ่งได้ 3 ระยะ ได้แก่

1. ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative growth phase) เริ่มตั้งแต่เมล็ดงอกจนกระทั่งระยะกำเนิดดอก (panicle initiation, PI) การเจริญเติบโตทางลำต้นของข้าวมีความสำคัญเกี่ยวกับการดำรงชีวิตและเตรียมสารอาหารต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างส่วนต่าง ๆ สำหรับการเจริญเติบโตของต้นข้าว และอีกส่วนหนึ่งนำไปสะสมไว้สำหรับใช้ในการสืบพันธุ์และระยะการยืปล้องจนถึงก่อนระยะกำเนิดช่อดอก

2. ระยะการสืบพันธุ์ (reproductive phase) เป็นช่วงการเจริญเติบโตตั้งแต่ระยะกำเนิดดอก จนถึงระยะดอกข้าวบาน (flowering) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30-35 วัน สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ

2.1 ระยะเริ่มสร้างดอกอ่อน ระยะนี้ต้นข้าวจะเริ่มยืดตัวสูงขึ้นโดยเปลี่ยนลักษณะจากลำต้นแบน มาเป็นลำต้นกลม และต้นข้าวจะสร้างปุ่มกำเนิดช่อดอก (primordium of panicle) และพัฒนาช่อดอก (panicle development)

2.2 ระยะตั้งท้อง (booting stage) เป็นระยะที่ช่อดอกอ่อนของข้าวเริ่มขยายตัวเติบโตขึ้น จนกระทั่งเป็นช่อดอกที่สมบูรณ์ กาบใบของใบธงจะทำหน้าที่ห่อหุ้มช่อดอกไว้ภายใน

2.3 ระยะออกดอกและการผสมพันธุ์ (flowering and fertilization stage) เป็นระยะที่ต้นข้าวส่งช่อดอกออกจากกาบใบ จากนั้นดอกข้าวจะบานและเกิดการผสมระหว่างเกสรเพศผู้และเพศเมีย

3. ระยะการเจริญเติบโตของเมล็ด (ripening phase) ตั้งแต่ระยะดอกบาน จนกระทั่งเมล็ดมีการพัฒนาเต็มที่ ช่วงการเจริญเติบโตของเมล็ดเริ่มหลังจากผสมเกสรถึงการสุกแก่ของเมล็ด ใช้เวลาประมาณ 25-35 วัน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ

3.1 ระยะเมล็ดนํ้านม (milk stage) เป็นระยะหลังจากดอกข้าวผสมติดและเริ่มเจริญเป็นเมล็ดขนาดเล็กในดอกข้าว มีการเริ่มสะสมแป้ง ภายในมีของเหลวสีขาวคล้ายนํ้านม

3.2 ระยะแป้งในเมล็ดแข็งตัว (soft dough stage) เป็นระยะที่เมล็ดมีการสะสมแป้งมากขึ้น แป้งเริ่มมีการแข็งตัว แต่ยังคงนุ่มอยู่

3.3 ระยะเมล็ดสุกแก่ (mature grain stage) เป็นระยะที่มีการสะสมแป้งจนเต็มเมล็ดและแป้งแข็งตัว สีของกลีบดอกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ความชื้นสัมพัทธ์ในเมล็ดน้อยกว่า 20% (วรวิทย์ พาณิชย์พัฒน์; และคนอื่นๆ. 2523: ทวี คุปต์กาญจนากุล. 2541: The International Rice Research Institute [IRRI]. 1985: Moldenhauer; & Gibbons. 2003)

ข้าวพันธุ์ กข31 (ปทุมธานี80)

ข้าวพันธุ์ กข31 (ปทุมธานี80) ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่าง สายพันธุ์ SPR85163-5-1-1-2 กับ สายพันธุ์ IR54017-131-1-3-2 ที่ศูนย์วิจัยข้าวสุพรรณบุรี เมื่อ พ.ศ. 2536 ปลูกคัดเลือก ตั้งแต่ พ.ศ. 2537 ถึง พ.ศ. 2539 ได้สายพันธุ์ SPR93049-PTT-30-4-1-2 ศึกษาพันธุ์ ประเมินลักษณะประจำพันธุ์ และลักษณะทางการเกษตร ทดสอบความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูข้าวที่สำคัญ วิเคราะห์คุณภาพ เมล็ดทางกายภาพและเคมีที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี เปรียบเทียบผลผลิตภายในสถานีและระหว่างสถานี

ที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี สุพรรณบุรี ฉะเชิงเทรา คลองหลวง และราชบุรี และปลูกเปรียบเทียบผลผลิตในนาเกษตรกร 8 จังหวัดในภาคกลาง จนถึง พ.ศ. 2549 (กรมวิชาการเกษตร. 2546)

ข้าวพันธุ์ กข31 (ปทุมธานี80) เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง มีอายุเก็บเกี่ยว 111 วัน เมื่อปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตม และ 118 วัน โดยวิธีปักดำ มีลักษณะเป็นทรงกอตั้ง ต้นแข็งไม่ล้มง่าย ใบสีเขียว กาบใบสีเขียว ใบธงตั้ง คอรวงยาว รวงยาว 29.9 เซนติเมตร เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง เมล็ดไม่มีหาง ข้าวกล้องสีขาว เป็นท้องไข่น้อย รูปร่างเรียวยาว มีระยะพักตัวของเมล็ดพันธุ์ประมาณ 5 สัปดาห์ เมล็ดข้าวเปลือกยาว x กว้าง x หนา = 10.4 x 2.6 x 2.0 มิลลิเมตร, เมล็ดข้าวกล้อง ยาว x กว้าง x หนา = 7.4 x 2.1 x 1.8 มิลลิเมตร มีปริมาณอะไมโลสสูง (27.3 – 29.8 %) และผลผลิตเฉลี่ย 745 กิโลกรัมต่อไร่ (ปักดำ) 738 กิโลกรัมต่อไร่ (นาหว่านน้ำตม) (กรมวิชาการเกษตร. 2546) (ภาพประกอบ 2)



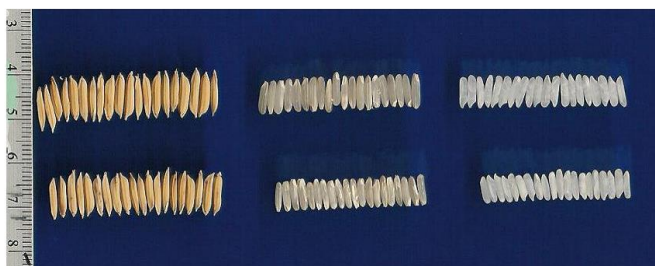
ภาพประกอบ 2 ต้นข้าวพันธุ์ กข31

ที่มา: องค์ความรู้เรื่องข้าว. (2558).

ลักษณะเด่น

1. คุณภาพเมล็ดทางกายภาพสม่ำเสมอกว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี1
2. ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดหลังขาว ค่อนข้างต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โรคขอบใบแห้ง โรคใบจุดสีน้ำตาล และโรคเมล็ดด่าง

3. กอตั้ง ต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย ผลผลิตสูง ปลูกโดยวิธีปักดำให้ผลผลิต 745 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าผลผลิตของพันธุ์สุวรรณบุรี1 ประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ และปลูกโดยวิธีหว่านน้ำตมให้ผลผลิตเฉลี่ย 738 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าผลผลิตของข้าวพันธุ์สุวรรณบุรี1 ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ (ภาพประกอบ 3)



ภาพประกอบ 3 เมล็ดข้าวข้าวพันธุ์ กข31

ที่มา: องค์ความรู้เรื่องข้าว. (2558).

ลักษณะด้อย

อ่อนแอต่อโรคใบไหม้ โรคใบหงิก และโรคใบสีส้ม

ปัญหาภัยแล้ง

เกษตรกรในประเทศไทยปัจจุบันยังคงต้องอาศัยน้ำฝนเป็นหลักซึ่งพื้นที่เพาะปลูกข้าวหลายพื้นที่ในประเทศไทยยังคงประสบปัญหาสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก โดยเฉพาะปัญหาภัยแล้งเป็นปัญหาหลักที่สำคัญประการหนึ่ง ซึ่งมีสาเหตุมาจากปริมาณน้ำฝนน้อย ฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาล และฝนทิ้งช่วงเป็นระยะเวลานาน ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำในการอุปโภคบริโภคทางการเกษตร (ประวิทย์ จันทรแห่ง. 2533) ภัยแล้ง (drought) หมายถึง ความแห้งแล้งของลมฟ้าอากาศ ที่เกิดจากการมีฝนน้อยกว่าปกติหรือฝนไม่ตกต้องตามฤดูกาลเป็นระยะเวลานานกว่าปกติและครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำดื่ม น้ำใช้ โดยภัยแล้งที่เกิดขึ้นในทุกปีจะอยู่ระหว่างเดือนมิถุนายนต่อเนื่องถึงเดือนกรกฎาคม ทำให้ในช่วงนี้พืชไร่พืชสวนที่เพาะปลูกจะขาดแคลนน้ำ ซึ่งความรุนแรงจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน เช่น ความชื้นในอากาศ ความชื้นในดิน ระยะเวลาที่เกิดความแห้งแล้ง

และขนาดของพื้นที่ที่ได้รับความแห้งแล้ง เป็นต้น พื้นที่และช่วงเดือนที่เกิดฝนแล้งและเกิดฝนทิ้งช่วงในประเทศไทย (ตาราง 1) และระดับความถี่ของการเกิดความแห้งแล้งสามารถแบ่งออกได้เป็นระดับ (สัญญา มั่นทางกูร. 2556) ดังนี้

ระดับรุนแรงมาก	เป็นสภาวะที่ประสบความแห้งแล้ง 1-3 ปี ต่อครั้ง
ระดับรุนแรงปานกลาง	เป็นสภาวะที่ประสบความแห้งแล้ง 4-5 ปี ต่อครั้ง
ระดับรุนแรงเล็กน้อย	เป็นสภาวะที่ประสบความแห้งแล้ง 6-10 ปี ต่อครั้ง

ตาราง 1 พื้นที่และช่วงเดือนที่เกิดฝนแล้งและเกิดฝนทิ้งช่วง (กรมอุตุนิยมวิทยา. 2557)

ภาค/เดือน	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	กลาง	ตะวันออก	ใต้	
					ฝั่งตะวันออกเฉียง	ฝั่งตะวันตก
มกราคม						ฝนแล้ง
กุมภาพันธ์		ฝนแล้ง	ฝนแล้ง			ฝนแล้ง
มีนาคม	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง
เมษายน	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง	ฝนแล้ง		ฝนแล้ง
พฤษภาคม						ฝนแล้ง
มิถุนายน	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง		
กรกฎาคม	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง	ฝนทิ้งช่วง		

ความต้านทานต่อสภาพแล้งของพืช

ความต้านทานต่อสภาพแล้งเป็นความสามารถในการปรับตัวของต้นพืช โดยพืชมีกลไกในการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะที่เกิดการขาดน้ำ ความสามารถในการปรับตัวให้ต้านทานต่อสภาพแล้งแบ่งออกเป็น 4 แบบ (Zhang; et al. 2001) ดังนี้

1. การหนีแล้ง (drought escape) เป็นความสามารถของพืชที่จะมีชีวิตอยู่จนครบวงจรชีวิต (life cycle) ก่อนที่จะได้รับสภาพแล้ง เช่น การมีอายุสั้น ความไวต่อช่วงแสง (photoperiod sensitivity) การออกดอกได้เร็วขึ้น และการยืดระยะเวลาในการออกดอก เป็นต้น

2. การเลี่ยงแล้ง (drought avoidance) เป็นความสามารถของพืชที่จะมีชีวิตอยู่รอดได้โดยเพิ่มการดูดน้ำ และลดความสูญเสียน้ำภายในต้นพืชเมื่อได้รับสภาพแล้ง เช่น การม้วนของใบ ใบมีไขเคลือบหนา ปากใบเปิดปิดได้รวดเร็วขึ้น และมีระบบรากหนาแน่นและหยั่งลึก เป็นต้น

3. การต้านทานแล้ง (drought resistance) เป็นความสามารถของพืชที่จะมีชีวิตอยู่รอดได้เมื่อได้รับสภาพแล้ง โดยการลดค่าศักย์ภาพของน้ำ (water potential) เช่น การปรับแรงดันออสโมซิส (osmotic adjustment) โดยการปรับระดับความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (solute) ในเซลล์ เพื่อให้เซลล์เต่ง การยืดหยุ่นของผนังเซลล์ (cell wall elasticity) การลดขนาดของเซลล์ หรือลดสภาวะระดับน้ำวิกฤตที่จะส่งผลทำให้พืชตาย

4. การฟื้นตัวจากแล้ง (drought recovery) เป็นความสามารถของพืชที่จะฟื้นตัวได้ใหม่หลังจากที่ได้รับสภาวะแล้ง ซึ่งอาจทำให้ส่วนใด ส่วนหนึ่งของต้นพืชเหี่ยวแห้งไป และเมื่อพืชได้รับน้ำใหม่ก็สามารถฟื้นตัว สามารถแตกกิ่ง แตกหน่อใหม่เจริญเติบโตต่อไปได้

กลไกการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาของพืชต่อสภาวะแล้ง

พืชมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาบางประการเมื่อพืชได้รับสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เช่น สภาวะแล้ง สภาวะที่มีอุณหภูมิสูง สภาวะดินเค็ม เป็นต้น เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อพืชและทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมได้ โดยมีกลไกต่าง ๆ ดังนี้

1. พืชที่ได้รับสภาวะแล้ง พืชจะเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดน้ำ โดยพืชจะเร่งการเจริญของรากให้มีการเจริญเติบโตที่เร็วและมีรากที่ยังลึกลงไปดิน ซึ่งรากจะมีการแพร่กระจายออกไปอย่างหนาแน่น รวมทั้งมีการปรับเปลี่ยนรากให้มีขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการดูดน้ำ

2. พืชมีกลไกพิเศษบางอย่างในการรักษาค่าศักย์ของน้ำ (water potential) ภายในเซลล์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดน้ำและการลำเลียงน้ำให้ดีขึ้น รวมทั้งลดอัตราการคายน้ำ โดยกลไกนี้จะเกิดขึ้นเมื่อพืชได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง โดยพืชจะมีการสะสมสารจำพวก compatible solutes เช่น ไอออน โปรตีน น้ำตาล

3. พืชที่ได้รับสภาวะแล้งจะลดการสูญเสียน้ำภายในต้นพืชจากการปิดปากใบ แต่กระบวนการปิดปากใบของพืชอาจจะมีผลกระทบต่อการบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะแพร่ผ่านเข้าออกทางปากใบได้น้อยลง

4. พืชที่ได้รับสภาวะแล้งอาจมีกลไกการปรับตัวต่อสภาวะขาดน้ำโดยการหนีแล้ง ซึ่งพืชจะมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว (rapid phenological development) เป็นความสามารถของพืชที่ทำให้พืชเจริญครบวงจรได้รวดเร็วขึ้น เมื่อพืชได้รับผลกระทบจากสภาวะขาดน้ำ รวมไปถึงการขยายช่วงเวลาในการออกดอกติดผล (plasticity) เป็นความสามารถของพืชในการขยายระยะเวลาของการออกดอกออกไปได้เมื่อพืชได้รับน้ำหรือมีฝนตกภายหลังจากผ่านช่วงแล้ง (สายนธ์ สดุดี. 2537)

การปรับปรุงพันธุ์พืชต้านทานต่อสภาพแล้ง

ในการปรับปรุงพันธุ์พืชต้านทานต่อสภาพแล้งจะปรับปรุงความสามารถในการต้านทานต่อสภาพแล้ง 3 แบบ (Chang; et al. 1982) ดังนี้

1. การปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อหนีแล้ง เป็นการปรับปรุงพันธุ์พืชให้มีอายุการสุกแก่สั้นลงเพื่อลดปริมาณการสูญเสียจากการคายน้ำ โดยการคัดเลือกพืชที่ติดดอกออกผลก่อนที่จะเกิดการกระทบแล้งหรือเป็นการปรับปรุงพันธุ์พืชให้ออกดอกช้า ทำให้พืชหนีจากสภาพแล้งที่เกิดขึ้นในช่วงต้นฤดูปลูก

2. การปรับปรุงพันธุ์พืชเพื่อเลี่ยงแล้ง เป็นการปรับปรุงพันธุ์พืชให้สามารถหลีกเลี่ยงความเสียหายจากการสูญเสียน้ำ หรือหลีกเลี่ยงการสูญเสียน้ำที่เกิดขึ้นภายในเนื้อเยื่อพืช เช่น การคัดเลือกพืชที่มีระบบรากลึกและหนาแน่น มีไขเคลือบผิวใบ มีขนปกคลุมผิวใบ การคัดเลือกพืชที่สามารถรักษาระดับน้ำในใบของต้นพืชโดยการวัดอุณหภูมิของทรงพุ่ม ภายใต้สภาพที่ขาดน้ำด้วยเครื่อง infrared thermometer วิธีการนี้อาศัยหลักการที่ว่าเมื่อต้นพืชอยู่ในสภาพขาดน้ำ และสามารถปิดปากใบได้เพื่อรักษาระดับน้ำในใบของต้นพืชจะทำให้อุณหภูมิของใบสูงขึ้น และการคัดเลือกพืชจากความสามารถในการรักษาค่าศักย์ของน้ำที่อยู่ในใบ โดยพืชที่สามารถรักษาค่าศักย์ของน้ำที่อยู่ในใบไว้ได้ในระดับสูงซึ่งมักจะต้านทานต่อสภาพแล้งได้ดี

3. การปรับปรุงพันธุ์พืชให้ต้านทานต่อสภาพแล้ง คือการปรับปรุงพันธุ์พืชให้เซลล์สามารถปรับแรงดันออสโมซิสได้ดีขึ้น โดยการสะสมกรดอะมิโนบางชนิด เช่น proline และ glycine รวมทั้งการสะสมน้ำตาลภายในเซลล์ เป็นต้น กลไกดังกล่าวทำให้แรงดันออสโมติกในเซลล์พืชมีค่าลดลง ส่งผลให้เซลล์ดูดซับน้ำจากดินได้มากขึ้น เซลล์จึงสามารถรักษาความเต่งไว้ได้ พืชจึงไม่แสดงอาการใบเหี่ยว ใบม้วนหรือใบไหม้ หรือเป็นการคัดเลือกพืชที่มีความต้านทานต่อการสูญเสียน้ำ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากเยื่อหุ้มเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทำให้ต้านทานการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์

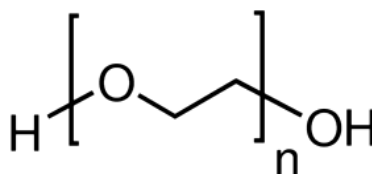
สรศักดิ์ หวังสินสุจริต (2542) ได้คัดเลือกพันธุ์ข้าวต้านทานต่อสภาพแล้งโดยการเพาะเลี้ยง แคลลัสจากคัพภะของข้าวพันธุ์ กข23 บนอาหารสูตร MS ที่เติมวันความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ที่ความเข้มข้นวัน 0.7 และ 1.1 เปอร์เซ็นต์ แคลลัสไม่สามารถพัฒนาไปเป็นยอดได้ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของวันเป็น 1.5 และ 1.9 เปอร์เซ็นต์ พบว่าแคลลัสสามารถพัฒนาไปเป็นยอดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากันคือ 8.3 เปอร์เซ็นต์ และลดลงเป็น 4.17 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความเข้มข้นวันเพิ่มขึ้นเป็น 2.3 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นได้คัดเลือก พันธุ์ข้าวต้านทานต่อสภาพแล้งโดยลดปริมาณน้ำในเซลล์ด้วยการนำแคลลัสไปพักบนจานแก้ว ที่ระยะเวลาต่าง ๆ แล้วย้ายแคลลัสไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตรชักนำให้แคลลัสพัฒนาไปเป็นยอดพบว่า การทำให้แคลลัสแห้งเป็นระยะเวลา 0, 7 และ 14 วัน ส่งผลให้อัตราการพัฒนาไปเป็นยอดเพิ่มขึ้น จาก 0.8 เป็น 12.94 และ 20.59 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 21 และ 28 วัน อัตราการพัฒนาไปเป็นยอดลดลงเป็น 6.63 และ 2.20 เปอร์เซ็นต์ และนำยอดข้าวที่ได้ไปชักนำให้สร้างรากได้ต้นข้าวรุ่น R1 โดยปลูกต้นข้าว R1 จนกระทั่งออกดอกและเก็บเมล็ด นำเมล็ดรุ่น R2 ที่ได้ไปปลูกเพื่อทำการทดสอบความต้านทานต่อสภาพแล้งโดยการให้คะแนนการม้วนใบ การคลายตัวของใบ การแห้งของใบ และการฟื้นตัวจากแล้ง พบว่า ข้าวบางสายพันธุ์มีความต้านทานแล้งสูงขึ้น โดยมีระดับคะแนนการม้วนใบ การคลายตัวของใบ การแห้งของใบ และการฟื้นตัวจากแล้ง ต่ำกว่าพันธุ์ต้นกำเนิด กข23 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

บุญหงส์ จงคิด (2545) ได้ปรับปรุงพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ105 ให้ต้านทานแล้งเพื่อปลูกในสภาพไร่โดยการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ105 กับพันธุ์พะยอมซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวไร่ที่ต้านทานแล้ง นำเมล็ดลูกผสมชั่วที่ 1 (F1) ไปอบรังสีแกมมาอัตรา 20 กิโลแรดส์ (krads) ก่อนที่จะนำไปปลูกเพื่อให้ดอกของข้าวมีการสร้างอับละอองเรณู จากนั้นนำอับละอองเรณูของต้นลูก F1 ไปเพาะเลี้ยงบนอาหารสังเคราะห์สูตร Modified SK-1 และสูตร MS จนพัฒนาเป็นต้นข้าว และนำต้นข้าวที่ได้ไปปลูกได้ต้นที่ไม่เป็นหมันจำนวน 80 สายพันธุ์ เมื่อนำสายพันธุ์ที่ได้ไปปลูกคัดเลือกความต้านทานแล้งในระยะต้นกล้า ภายใต้สภาพการขาดน้ำภายในโรงเรือน พบว่า มี 36 สายพันธุ์ที่ต้านทานแล้งได้ดี เมื่อนำสายพันธุ์เหล่านี้ไปปลูกในสภาพไร่ พบว่า มี 20 สายพันธุ์ที่ต้านทานแล้งและสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ และในจำนวนสายพันธุ์นั้นมี 4 สายพันธุ์ ที่มีน้ำหนักเมล็ดต่อกอมากกว่า 2 เท่าของพันธุ์พ่อแม่ คือ สายพันธุ์ L79 ที่มีลักษณะต้นสูงกว่าพันธุ์พ่อแม่และสายพันธุ์ L46, L52 และ L55 ที่มีลักษณะต้นเตี้ยกว่าพันธุ์พ่อแม่

Jongdee; et al. (2002) ได้ศึกษาลักษณะการรักษาค่าศักย์ของน้ำในใบ (leaf water potential) และการปรับแรงดันออสโมติก เพื่อใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวต้านทานต่อสภาพแล้งโดยตรวจสอบสายพันธุ์ที่ได้จากการผสมข้ามระหว่าง Lemont กับ BK88-BR6 ซึ่งมีลักษณะการรักษาค่าศักย์ของน้ำในใบ และการปรับแรงดันออสโมติกแตกต่างกันพบว่า ความแปรปรวนทางจีโนไทป์ของการรักษาค่าศักย์ของน้ำในใบ และการปรับแรงดันออสโมติก เกี่ยวข้องกับผลผลิตภายใต้สภาพขาดน้ำ อัตราของการขาดน้ำ ไม่ใช่ปัจจัยที่สำคัญสำหรับความแปรปรวนทางจีโนไทป์ของการรักษาค่าศักย์ของน้ำในใบ แต่ระดับของการขาดน้ำ และระยะการพัฒนาทางฟีโนไทป์มีความสำคัญภายใต้ สภาพที่มีน้ำจำกัดในช่วงของการออกดอก ทำให้ผลผลิตลดลงเนื่องจากช่อดอกเป็นหมันเพิ่มขึ้น ส่วนความแปรปรวนของการปรับแรงดันออสโมติกไม่สัมพันธ์กับผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต

Polyethylene glycol 6000 (PEG6000)

PEG หรือ polyethylene glycol เป็นสารเคมีสังเคราะห์ที่มีความชอบน้ำสูง มีความเป็นพิษน้อย สามารถผสมกับการอื่นได้ดี และเป็นสารสามารถลดค่า osmotic potential โดยโมเลกุลของ PEG ที่ละลายน้ำจะเข้าไปแทรกโมเลกุลของน้ำโดยการทำลายพันธะไฮโดรเจน ทำให้ปริมาณน้ำลดลง (Money, 1989) นอกจากนี้ยังเป็นสารที่นิยมใช้ในการศึกษาสภาวะการขาดน้ำของพืช เช่นการศึกษาผลของความเครียดจากสภาวะแล้งในข้าวโพด โดยใช้ PEG6000 ความเข้มข้น 10%(w/v) พบว่า ต้นข้าวโพดที่ได้รับสารละลาย PEG6000 จะมีสภาพเหมือนข้าวโพดที่ได้รับความเครียดจากสภาวะขาดน้ำ และพบว่ามีเกิด lipid peroxidation โดยมีการเพิ่มขึ้นของสาร MDA (Mohammadkhani; & Heidari, 2007) (ภาพประกอบ 4)



ภาพประกอบ 4 โครงสร้างของ polyethylene glycol

ที่มา: Sigma-Aldrich. (2558).

บทบาทของสาร compatible solutes ที่พบในพืชภายใต้สภาวะแล้ง

สาร compatible solutes มีบทบาทในการปกป้องพืช เช่น ช่วยรักษาโครงสร้างและหน้าที่ของโปรตีนต่าง ๆ รักษาสมดุลของน้ำในพืช เพิ่มความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ และช่วยกำจัดอนุมูลอิสระ เช่น หลักการของค่าศักย์ของน้ำ โดยน้ำจะแพร่จากบริเวณที่มีปริมาณน้ำมากไปสู่บริเวณที่มีปริมาณน้ำน้อยกว่า ทำให้พืชเกิดสภาวะขาดน้ำได้ ส่งผลให้พืชสร้างกลไกที่ช่วยไม่ให้น้ำแพร่ออกไปนอกเซลล์ โดยการทำให้ความเข้มข้นของสารละลายภายในเซลล์ของพืชมีความเข้มข้นสูงขึ้น (Raymond; & Smirnoff. 2002) ซึ่งจะประกอบด้วยกลุ่มของโมเลกุลต่าง ๆ เช่น

1. ไอออนที่จำเป็น เช่น โพแทสเซียมไอออน มีหน้าที่ปรับความดันออสโมติก และควบคุมการเข้า-ออกของไอออนต่าง ๆ (Blumwald; et al. 2000)
2. โปรตีน เช่น เอนไซม์ที่ต้านอนุมูลอิสระ เช่น SOD หรือ osmotin ซึ่งจะเป็นตัวปกป้องความดันออสโมติกและช่วยกำจัดอนุมูลอิสระ (Henandez; et al. 2000)
3. น้ำตาล เช่น sucrose, fructose และ glucose เป็นต้น จะมีหน้าที่คล้ายกับพวกกรดอะมิโนคือแหล่งเก็บสะสมคาร์บอนให้กับพืชได้อีกด้วย (Kerepsi; & Galiba. 2000) ซึ่งน้ำตาลเป็นสารที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาเมื่อพืชได้รับสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เช่น สภาวะเครียดจากดินเค็ม สภาวะเครียดจากความแห้งแล้ง โดยมีบทบาทในการปรับค่า osmotic potential ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และเป็นแหล่งคาร์บอนที่ให้พลังงานเพื่อให้พืชสามารถฟื้นตัวหลังจากได้หลังจากรับความเครียดจากสภาวะต่าง ๆ ได้

ผลกระทบของสภาวะแล้งต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

การสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) เป็นกระบวนการสร้างอาหารที่สำคัญของพืช โดยมีสารสีพวกลอโรฟิลล์เป็นตัวรับพลังงานแสงเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมี แล้วนำมาใช้ในการสร้างอาหารจากโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ แล้วเปลี่ยนแปลงเป็นคาร์โบไฮเดรตเพื่อเก็บสะสมในรูปของน้ำตาลหรือแป้ง รวมทั้งมีการปลดปล่อยออกซิเจนออกมา ดังนั้นเมื่อพืชได้รับสภาวะแล้งจึงทำให้ไม่สามารถนำน้ำมาใช้ในการกระบวนการต่าง ๆ ภายในพืชได้อย่างเพียงพอ ทำให้พืชได้รับความเสียหายในหลาย ๆ ด้าน โดยเฉพาะด้านการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เนื่องจากน้ำเป็นแหล่งของอิเล็กตรอนที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เมื่อพืชขาดน้ำจะทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้ยังยังผลต่อการปิด - เปิดของปากใบ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีผลกระทบต่อการ

แพร่กระจายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในใบ ดังนั้นถ้าพืชได้รับสภาพขาดน้ำเป็นระยะเวลานาน พืชจะมีการปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ ทำให้ขาดแคลนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากนี้ผลของความเครียดที่เกิดจากสภาวะแล้งยังทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบลดต่ำลง เนื่องจากความเครียดที่เกิดจากการสภาวะแล้งทำให้เกิดสารอนุมูลอิสระและสารประกอบออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา ซึ่งมีฤทธิ์ในการทำลายโครงสร้างของคลอโรฟิลล์และโครงสร้างต่าง ๆ ของเซลล์ (T.W. Goodwin; & E.I. Mercer. 1988)

ความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative stress) ภายใต้สภาวะแล้ง

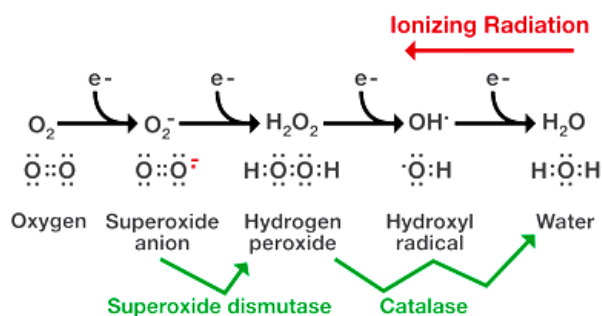
ในสภาวะแล้งจะมีผลทำให้โมเลกุลของออกซิเจนอยู่ในสภาพที่มีความสามารถในการออกซิไดซ์สูง (reactive oxygen species) เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่มาจากออกซิเจน เช่น กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Kotchoni; & Gachomo. 2006) เป็นต้น เป็นสภาพความเครียดที่เกิดจาก reactive oxygen species (ROS) หรือ active oxygen species (AOS) ซึ่งพบได้ในพืช (Perl-Treves; & Perl. 2002) คือ

1. superoxide anion radical (O_2^-) เป็นสารอนุมูลอิสระที่ไม่เสถียร ทำให้เกิดกระบวนการ reduction ของ O_2^- อาจเปลี่ยนไปเป็น hydrogen peroxide ซึ่งจะทำให้เกิดการตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ดี และสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ

2. hydrogen peroxide (H_2O_2) ทำหน้าที่เป็นตัวรับหรือให้อิเล็กตรอนภายในกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ ซึ่ง H_2O_2 เป็นตัวส่งสัญญาณให้กับกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์ และเป็นสารที่มีความเป็นพิษน้อยกว่ารูปแบบอื่น ๆ ของ ROS

3. hydroxyl radical ($OH^\cdot$) เป็นสารอนุมูลอิสระที่ไม่เสถียร ไม่จำเพาะกับโมเลกุลของสารภายในเซลล์ทำให้สามารถแพร่ผ่านเข้าไปภายในเซลล์ได้ง่ายเช่นเดียวกับสารที่มีขั้ว และมีความสามารถในการแย่งรับอิเล็กตรอนในกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์ได้ดี

4. singlet oxygen (1O_2) ไม่เป็นสารอนุมูลอิสระ เนื่องจากออกซิเจนอยู่ในรูปที่ไม่มีความเสถียรได้รับพลังงานระหว่างที่รงควัตถุอยู่ในภาวะถูกกระตุ้น (excited state) เปลี่ยนเป็นสารสีในสถานะพื้น (ground state) ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในเซลล์ได้ดี (ภาพประกอบ 5)

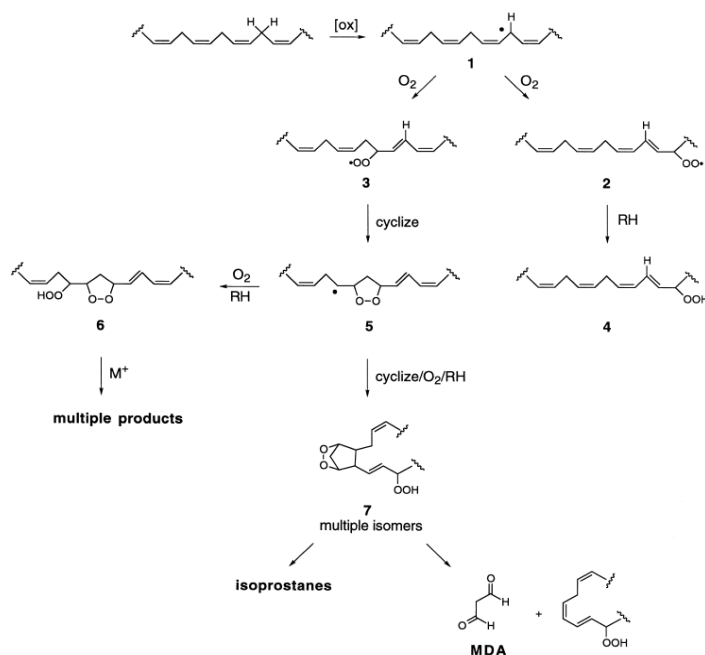


ภาพประกอบ 5 ความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ที่มา: Thomas G. Brock. (2558).

กลไกการเกิด MDA ในพืช

เมื่อพืชได้รับความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในรูปแบบต่าง ๆ โมเลกุลเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อเซลล์พืช ทำให้เกิดกระบวนการ lipid peroxidation โดยการเกิด lipid peroxidation จะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์พืชเสียหาย เกิดการเสื่อมสภาพของเซลล์ ส่งผลให้สมบัติเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์เสียหาย และทำให้เซลล์ตายในที่สุด (Baskin; & Salem. 1997; Inze; & Montago. 2002) โดยการเกิด lipid peroxidation จะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณของ reactive oxygen species ภายในเซลล์เพิ่มขึ้นจนมีระดับที่เป็นพิษต่อเซลล์ โดยที่ reactive oxygen species จะไปออกซิไดซ์ polyunsaturated fatty acids จากนั้น reactive oxygen species จะเข้าไปดึง hydrogen radical จาก $-\text{CH}_2-$ ทำให้ได้แรดิคัลออกมา โดยจะเรียกแรดิคัลนี้ว่า lipid radical ซึ่ง lipid radical จะรวมกับออกซิเจน ทำให้เกิดเป็น lipid peroxy radical และ lipid peroxy radical มีความสามารถในการดึง $\text{H}^\cdot$ จากโมเลกุลของไขมันตัวต่อไป ทำให้ได้เป็น lipid radical และ lipid hydroperoxide อีกครั้ง ซึ่ง lipid radical จะสามารถรวมกับออกซิเจนตัวต่อไป เกิดเป็น lipid peroxy radical ต่อไปเรื่อยๆ ทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อเนื่อง โดยปกติ lipid hydroperoxide จะมีความเสถียรที่อุณหภูมิปกติ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะไม่เสถียรและเมื่อมีไอออนของโลหะทรานซิชัน เช่น Fe^{2+} ซึ่งจะเกิดเป็น alkoxy radical และจาก alkoxy radical ปฏิกิริยาจะเกิดหลายขั้นตอน ได้เป็น hydrocarbon และ aldehydes ซึ่ง aldehydes ที่สำคัญที่เกิดขึ้น คือ malondialdehyde (MDA) ดังนั้นจึงมีการใช้ MDA เป็นดัชนีชี้วัดการเกิด lipid peroxidation ได้ (Hodges; et al. 1999; Halliwell; & Gutteridge. 1999) (ภาพประกอบ 6)

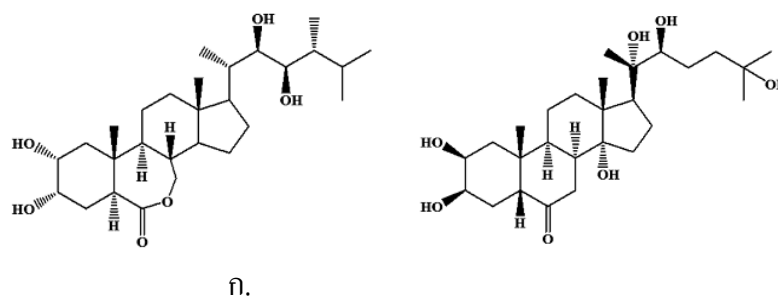


ภาพประกอบ 6 กลไกการเกิด MDA

ที่มา : Lawrence J. Marnett. (1999).

บราสซิโนสเตียรอยด์ (Brassinosteroides; BRs)

บราสซิโนสเตียรอยด์ เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชกลุ่มใหม่ เป็นกลุ่มของสารสเตียรอยด์ (steroids) ที่พบในธรรมชาติ มีการตอบสนองที่แตกต่างจากสารกลุ่มอื่นเนื่องจากมีโครงสร้างเฉพาะ (Clouse; & Sasse. 1998) ได้แก่บราสซิโนไลด์ (brassinolide) ที่สกัดได้จากละอองเรณูของ *Brassica napus* พบในพืชจำนวนมาก ทั้งใบเลี้ยงคู่ ใบเลี้ยงเดี่ยว ต้นสน และสาหร่าย นอกจากนี้ยังพบได้ในหลาย ๆ ส่วน เช่น ละอองเกสร ใบ ดอก เมล็ด ยอด ราก และลำต้น (Sasse. 2003) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยกระตุ้นการยืดยาวของลำต้น และกระตุ้นการแบ่งเซลล์ของพืช รวมทั้งช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช เช่น การงอกของเมล็ด การออกดอก การชราภาพและความทนทานต่อความเครียด นอกจากบราสซิโนสเตียรอยด์เป็น lactone ที่มีวงขนาดเจ็ดเหลี่ยมแล้วยังอาจมีวงขนาดหกเหลี่ยมที่มีหมู่ฟังก์ชัน เช่น castasterone (ภาพประกอบ 7)

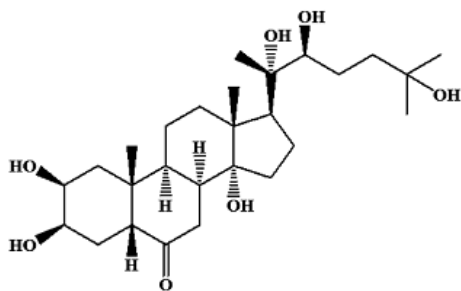


ภาพประกอบ 7 โครงสร้างของบราสสิโนสเตียรอยด์; brassinolide (ก) และ castasterone (ข)

ที่มา : Grove; et al. (1979).

สาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD)

สาร DHECD เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่มีโครงสร้างและคุณสมบัติคล้ายกับบราสสิโนสเตียรอยด์ เป็นสารที่ได้จากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของ 20-hydroxyecdysone ซึ่งเป็นเอคไดสเตอรอยด์ (ecdysteroid) ที่สกัดมาจากเปลือกของต้นไผ่เน่า (*Vitex glabrata*) (Werawattanametin; et al. 1986) มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 482 สามารถละลายได้ดีในเอทานอล (ethanol) เมทานอล (methanol) และ dimethyl sulfoxide (DMSO) (ภาพประกอบ 8) นอกจากนี้สาร DHECD ยังสามารถช่วยเร่งการงอกของรากจึงเป็นคุณสมบัติเด่นของสารแอนาโลกที่ต่างจากบราสสิโนสเตียรอยด์ (Suksamrarn; et al. 2002)



ภาพประกอบ 8 โครงสร้างบราสสิโนสเตียรอยด์แอนาลอกชนิด 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD)

ที่มา : Suksamrarn; et al. (2002).

Clouse; et al. (1996) รายงานว่า การให้บราสสิโนสเตียรอยด์ที่ความเข้มข้นต่ำระดับนาโนโมลาร์ (nM) หรือไมโครโมลาร์ (μ M) กับพืชจะสามารถช่วยกระตุ้นให้เกิดการยืดยาวในส่วนใต้ใบเลี้ยง (hypocotyls) และในส่วนเหนือใบเลี้ยง (epicotyls) นอกจากนี้ใน *Arabidopsis* ที่ไม่สร้างบราสสิโนสเตียรอยด์ จะมีลักษณะแคระแกร็น ขนาดของเซลล์เล็กลงและจำนวนเซลล์น้อยลง

Clouse; & Sasse (1998) รายงานว่าบราสสิโนสเตียรอยด์สามารถช่วยกระตุ้นการเสื่อมชราและการสุกของผล โดยให้ออกซินเป็นตัวกระตุ้น

Krishna, P. (2003) รายงานว่าการพ่นบราสสิโนสเตียรอยด์ทางใบทำให้พืชสามารถทนต่อความเครียดจากความร้อนได้มากขึ้น เนื่องจากสารดังกล่าวช่วยเพิ่มอัตราการการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงของระบบแสงสอง และลดการเกิดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์

เกษรรา เมทเมรุรัตน์; และคนอื่นๆ (2555) รายงานว่า การแช่ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ด้วย สารละลาย DHECD4 สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นและรากของมันสำปะหลังคล้ายกับสารละลาย EBL โดยความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเติบโตทางลำต้นคือ 10^{-9} โมลาร์

Thussagunpanit; et al. (2013) รายงานว่าระดับความเข้มข้นของบราสสิโนสเตียรอยด์คือ 24-epi- brassinolide (EBR) ที่ระดับ 0.01μ M และ DHECD ที่ระดับ 0.1μ M ทำให้พืชทนทานอุณหภูมิสูง

วิกฤติได้ดีที่สุดเมื่อพิจารณาจากการรักษาระดับของค่า RWC การลดลงของปริมาณ MDA และการรักษาระดับของดัชนีความเขียวของใบข้าวที่ได้รับอนุมูลอิสระสูงวิกฤติ

วีรศิลป์ สอนจรรยา; และคนอื่นๆ (2556) รายงานว่าการใช้สาร DHECD ที่ระดับความเข้มข้น 10^{-6} และ 10^{-5} โมลาร์ สามารถลดปริมาณ H_2O_2 และการเกิด lipid peroxidation การใช้สาร DHECD สามารถเพิ่มปริมาณน้ำตาลภายใต้สภาวะอนุมูลอิสระสูง 40/30 องศาเซลเซียส ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น ($V_{5/6}$) และในระยะสร้างปมกำเนิดช่อดอก (Pi) ของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

พืชทดลอง

ข้าว (*Oryza sativa* cv. RD31) พันธุ์กข31 โดยได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการชีววิทยา อาคาร 15 ห้อง 15-323 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ช่วงเวลาที่ทำการทดลอง

ทำการปลูกข้าวระหว่างเดือน กันยายน 2557 – มีนาคม 2558

วัสดุอุปกรณ์

1. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ปลูกข้าว

- ตะกร้า ขนาด 21 × 21 ตารางเซนติเมตร
- กระดาษพลาสติกขนาด 21 × 21 ตารางเซนติเมตร
- กระดาษทิชชู
- ขวดแก้วขนาด 8 ออนซ์
- फिल्मยืด 30 เซนติเมตร × 30 เมตร × 10 ไมครอน

2. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการเติบโตของต้นข้าว

- ไม้บรรทัด
- กรรไกรตัดตัวอย่างพืช
- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น PA214 (COHAUS, USA)
- ตู้อบตัวอย่าง (Hot air oven) รุ่น ED53 (BINDE, Germany)
- ชองกระดาษเก็บตัวอย่างพืช

- อลูมิเนียมฟอยล์
- กระดาษหิซซู
- จานเพาะเชื้อ

3. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

- กรรไกรตัดตัวอย่างพืช
- อลูมิเนียมฟอยล์
- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น PA214 (COHAUS, USA)
- หลอดทดลอง
- ไมโครปิเปต (micropipette) (Labnet, UK)
- Cuvette
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
- เครื่องเขย่าผสมสาร (vortex mixer) (VELP Scientifica, Europe)
- เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) รุ่น T60 (PG Instruments, UK)

4. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาปริมาณ total soluble sugar

- กรรไกรตัดตัวอย่างพืช
- อลูมิเนียมฟอยล์
- หลอดทดลอง
- โกร่งสำหรับบดตัวอย่างพร้อมที่บด
- กล้องโคมใส่น้ำแข็ง
- กระบอกตวง
- ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)
- ไมโครปิเปต (micropipette) (Labnet, UK)
- คิวเวต
- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น PA214 (COHAUS, USA)
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
- เครื่องเขย่าผสมสาร (vortex mixer) (VELP Scientifica, Europe)
- เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) รุ่น T60 (PG Instruments, UK)

5. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการเกิดปริมาณ MDA

- กรรไกรตัดตัวอย่างพืช
- อลูมิเนียมฟอยล์
- กระดาษกรอง
- กรวยแก้ว
- หลอดทดลอง
- โกร่งสำหรับบดตัวอย่างพร้อมที่บด
- กล้องโพลีไมล์น้ำแข็ง
- กระจกบด
- ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)
- ไมโครปิเปต (micropipette) (Labnet, UK)
- คิวเวต
- เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น PA214 (COHAUS, USA)
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
- เครื่องเขย่าผสมสาร (vortex mixer) (VELP Scientifica, Europe)
- เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) รุ่น T60 (PG Instruments, UK)

สารเคมี

1. สารเคมีที่ใช้ในการปลูกข้าว

- สารเคมีสำหรับสารละลายธาตุอาหารสูตรดัดแปลง WP No.2 (Vajrabhaya; & Vajrabhaya. 1991)

- Polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) (บริษัทรวมเคมี)

2. สารเคมีที่ใช้ในการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์

- Dimethyl sulfoxide (DMSO) (Rci Labscan, Ireland)

3. สารเคมีที่ใช้ในการศึกษาปริมาณ total soluble sugar

- ไนโตรเจนเหลวสำหรับแช่ตัวอย่าง
- 80% (v/v) ethanol (Sigma-Aldrich, Germany)

- sulfuric acid (Sigma-Aldrich, Germany)
- anthrone (Lobal Chemie, India)

4. สารเคมีที่ใช้ในการศึกษาการเกิดปริมาณ MDA

- ไนโตรเจนเหลวสำหรับแช่ตัวอย่าง
- 0.1%(w/v) trichloroacetic acid (TCA) (Carlo Erba, UN)
- 20%(w/v) trichloroacetic acid (TCA) (Carlo Erba, UN)
- 0.5%(w/v) thiobarbitulic acid (TBA) (Sigma-Aldrich, Germany)

วิธีการดำเนินการวิจัย

การทดลองตอน 1 การหาความสามารถในการทนต่อระดับความรุนแรงของความเครียด จากสภาวะแล้งของต้นข้าวพันธุ์ กข31

1.1. ศึกษาผลของความเครียดจากสภาวะแล้งต่อการเติบโตของข้าว

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมีจำนวนซ้ำ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น

1.1.1 การเตรียมต้นอ่อนของข้าวพันธุ์ กข31

แช่เมล็ดข้าวพันธุ์ กข31 ในน้ำกรอง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วเทน้ำทิ้ง ปิดด้วยฟิล์มยืดพร้อมเจาะรูระบายอากาศเล็กๆ ทิ้งแผ่นฟิล์มยืด เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาเพาะในตะกร้าที่วางอยู่ในกะละมัง โดยให้ระดับน้ำกรองในกะละมังท่วมกันตะกร้าและเมล็ดข้าว เมื่อต้นข้าวมีอายุ 5 วัน เปลี่ยนน้ำกรองเป็นสารละลายธาตุอาหารสูตรดัดแปลง WP No.2 และเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก ๆ 5 วัน เมื่อต้นข้าวอายุ 30 วัน คัดเลือกต้นกล้าขนาดใกล้เคียงกัน เพื่อย้ายลงปลูกในขวดแก้วที่มีสารละลายธาตุอาหารสูตรดัดแปลง WP No.2 จำนวน 25 ต้นต่อขวด โดยวางในโรงเรือนที่มีแสงธรรมชาติตลอดระยะเวลาทำการทดลอง ควบคุมระดับของสารละลายธาตุอาหาร โดยเติมน้ำกรองให้สารละลายอยู่ในระดับเดียวกันกับตอนเริ่มทำการทดลองทุกวัน และเปลี่ยนสารละลายทุก 5 วัน

1.1.2 การจำลองสภาวะแล้งให้กับต้นข้าวในการทดลอง

แบ่งต้นกล้าข้าวที่ได้จากข้อ 1.1.1 ออกเป็น 5 ชุดการทดลอง โดยการจำลองให้ต้นข้าวได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ด้วยการปลูกต้นข้าวในสารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่มี Polyethylene glycol (PEG6000) 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

1.1.3 เก็บตัวอย่างต้นข้าวในแต่ละชุดการทดลอง ชุดละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น ในวันที่ 0, 5, 10, 15, 20, และ 25 เพื่อนำตัวอย่างมาศึกษาการเติบโตของต้นข้าว ดังนี้

1.1.3.1 การประเมินค่า drought score ตามวิธีของ (De Datta; et al. 1988)

โดยมีเกณฑ์ในการประเมิน ดังนี้

0 = ไม่แสดงอาการ

1 = อาการปลายใบแห้ง

2 = อาการปลายใบแห้งประมาณเศษหนึ่งส่วนสี่ของความยาวใบหรือ 25 เปอร์เซ็นต์

ของใบทั้งหมด

3 = อาการปลายใบแห้งประมาณเศษหนึ่งส่วนสี่ของความยาวใบหรือมาก 50

เปอร์เซ็นต์ของใบทั้งหมด

4 = อาการปลายใบแห้งประมาณเศษหนึ่งส่วนสี่ของความยาวใบหรือมาก 50

เปอร์เซ็นต์ของใบทั้งหมดและทุกส่วนของใบแก่แห้ง 25 เปอร์เซ็นต์ของใบทั้งหมด

5 = ทุกส่วนของใบแห้ง 50 เปอร์เซ็นต์ของใบทั้งหมด

6 = ทุกส่วนของใบแห้งมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของใบทั้งหมดแต่ไม่เกิน 70 เปอร์เซ็นต์

ของใบทั้งหมด

7 = ทุกส่วนของใบแห้ง 70 เปอร์เซ็นต์ของใบทั้งหมด

8 = ทุกส่วนของใบแห้งมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ของใบทั้งหมด

9 = ใบข้าวแห้งตายทั้งหมด

1.1.3.2 ความยาวต้นและราก

โดยทำการวัดความยาวในส่วนต้น (shoot) โดยวัดความยาวของ ส่วนต้นที่ติดกับโคนต้นจนถึงปลายยอด และวัดความยาวรากจากโคนต้นจนถึงปลายรากที่ยาวที่สุด

1.1.3.3 น้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง

นำตัวอย่างพืชมาแยกส่วนต้นและราก เพื่อชั่งน้ำหนักสด จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง นำส่วนของต้นและรากมาชั่งน้ำหนักแห้ง

1.1.3.4 อัตราส่วนความยาวรากต่อความยาวต้น คำนวณโดยใช้สูตร

อัตราส่วนความยาวราก / ความยาวต้น = ความยาวรากเฉลี่ย (ในแต่ละชุดการทดลอง) / ความยาวต้นเฉลี่ย (ในแต่ละชุดการทดลอง)

1.1.3.5 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อน้ำหนักแห้งต้น คำนวณโดยใช้สูตร

อัตราส่วนน้ำหนักแห้งราก / น้ำหนักแห้งต้น = น้ำหนักแห้งรากเฉลี่ย (ในแต่ละชุดการทดลอง) / น้ำหนักแห้งต้นเฉลี่ย (ในแต่ละชุดการทดลอง)

1.1.3.6 เปอร์เซนต์ปริมาณน้ำในต้นพืช ตามวิธีของ (Schonfeld; et al. 1988) นำใบข้าวมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ไปชั่งหาค่าน้ำหนักสด จากนั้นนำตัวอย่างไปแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งเพื่อวัดค่าน้ำหนักที่เซลล์เต่งเต็มที่ จากนั้นนำไปไปอบแห้งในตู้อบความร้อนที่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำใบที่แห้งแล้วมาชั่งน้ำหนักเพื่อวัดค่าน้ำหนักแห้งแล้ว นำค่าที่วัดได้ทั้งหมดมา คำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{เปอร์เซนต์ปริมาณน้ำในต้นพืช} = [(\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}) / (\text{น้ำหนักที่พืชเต่งตัวเต็มที่} - \text{น้ำหนักแห้ง})] \times 100$$

1.1.3.7 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate) คำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{Relative Growth Rate} = (\ln DW2 - \ln DW1) / (t2 - t1)$$

เมื่อ $\ln$ = natural logarithm

DW1 = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างพืช ณ จุดเริ่มต้นของช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

DW2 = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างพืช ณ จุดสิ้นสุดของช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

t1 = ช่วงเวลาจุดเริ่มต้นของช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

t_2 = ช่วงเวลาจุดสิ้นสุดของช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

1.1.4 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

การทดลองตอน 2 ศึกษาผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

2.1 ศึกษาผลของสาร DHECD ต่อการเติบโตของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมีจำนวนซ้ำ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น

2.1.1 การเตรียมต้นกล้าข้าวพันธุ์ กข31

เตรียมตามวิธีในข้อ 1.1.1

2.1.2 การจำลองสภาวะแล้งให้กับต้นข้าวในการทดลอง

การจำลองให้ต้นข้าวได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเมื่อต้นข้าวอายุ 30 วัน ด้วยการปลูกต้นข้าวพันธุ์ กข31 ในสารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง โดยใช้สารละลาย PEG 6000 ในระดับรุนแรงที่ต้นข้าวยังคงสามารถเติบโตได้จากผลการทดลองตอนที่ 1 และพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 10^{-5} โมลาร์ (วีรศิลป์ สอนจรรยา; และคนอื่นๆ. 2556) โดยมีชุดการทดลองดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 สารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2

ชุดการทดลองที่ 2 สารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่ไม่มีสารละลายและพ่นด้วยน้ำ

ชุดการทดลองที่ 3 สารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่ไม่มีสารละลายและพ่นด้วยสาร DHECD

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

ชุดการทดลองที่ 5 สารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่มีความเข้มข้น 15% (w/v) PEG6000 และพ่นด้วยน้ำ

ชุดการทดลองที่ 6 สารละลายธาตุอาหารพืชสูตรดัดแปลง WP No.2 ที่มีความเข้มข้น 15% (w/v) PEG6000 และพ่นด้วยสาร DHECD

2.1.3 เก็บตัวอย่างต้นข้าวในแต่ละชุดการทดลอง ชุดละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น ในวันที่ 0 5 10 และ 15 เพื่อนำตัวอย่างมาศึกษาการเจริญเติบโตของต้นข้าว ดังนี้

2.1.3.1 การประเมินค่า drought score ตามวิธีของ (De Datta; et al. 1988)

2.1.3.2 ความยาวต้นและราก

ทำการวัดความยาวในส่วนต้น (shoot) โดยวัดความยาวของส่วนต้นที่ติดกับโคนต้นจนถึงปลายยอด และวัดความยาวรากจากโคนต้นจนถึงปลายรากที่ยาวที่สุด

2.1.3.3 น้ำหนักสด-น้ำหนักแห้ง

นำตัวอย่างพืชมาแยกส่วนต้นและราก เพื่อชั่งน้ำหนักสด จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้งในส่วนของต้นและราก

2.1.3.4 อัตราส่วนความยาวราก / ความยาวต้น คำนวณโดยใช้สูตร

อัตราส่วนความยาวราก / ความยาวต้น = ความยาวรากเฉลี่ย (ในแต่ละชุดการทดลอง) / ความยาวต้นเฉลี่ย (ในแต่ละชุดการทดลอง)

2.1.3.5 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งราก / น้ำหนักแห้งต้น คำนวณโดยใช้สูตร

อัตราส่วนน้ำหนักแห้งราก / น้ำหนักแห้งต้น = น้ำหนักแห้งรากเฉลี่ย (ในแต่ละชุดการทดลอง) / น้ำหนักแห้งต้นเฉลี่ย (ในแต่ละชุดการทดลอง)

2.1.3.6 เปอร์เซนต์ปริมาณน้ำในต้นพืช ตามวิธีของ (Schonfeld; et al. 1988) นำใบข้าวมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ไปชั่งหาค่าน้ำหนักสด จากนั้นนำตัวอย่างไปแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งเพื่อวัดค่าน้ำหนักที่เซลล์เต่งเต็มที่ จากนั้นนำไปอบแห้งในตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำใบที่แห้งแล้วมาชั่งน้ำหนักเพื่อวัดค่าน้ำหนักแห้งแล้วนำค่าที่วัดได้ทั้งหมดมา คำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำในต้นพืช} = [(\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}) / (\text{น้ำหนักที่พืชแห้งตัวเต็มที่} - \text{น้ำหนักแห้ง})] \times 100$$

2.1.3.7 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate) คำนวณโดยใช้

สูตร

$$\text{Relative Growth Rate} = (\ln DW2 - \ln DW1) / (t2 - t1)$$

เมื่อ $\ln$ = natural logarithm

DW1 = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างพืช ณ จุดเริ่มต้นของช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

DW2 = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างพืช ณ จุดสิ้นสุดของช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

t1 = ช่วงเวลาจุดเริ่มต้นของช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

t2 = ช่วงเวลาจุดสิ้นสุดของช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

2.1.4 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

2.2 ศึกษาผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) ต่อปริมาณสารสีที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

2.2.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์

เก็บตัวอย่างใบข้าวจากแต่ละชุดการทดลอง ชุดละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น วิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยดัดแปลงจากวิธีของ (วิรัตน์ ภูวิวัฒน์. 2539) โดยนำใบข้าวตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ปริมาณ 100 มิลลิกรัม แล้วใส่หลอดทดลอง เติมน้ำละลาย Dimethyl Sulfoxide (DMSO) 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนสีเขียวของชิ้นส่วนใบจางหายไป แล้วเติม dimethyl sulfoxide เพื่อปรับปริมาตรของสารละลายให้ครบ 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ ด้วยวิธีการวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 665 และ 649 นาโนเมตร และนำค่าที่อ่านได้ไปคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ ตามสมการของ (Daniel I. Arnon. 1949) ดังนี้

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ} = (12.19 \times A_{665}) - (3.14 \times A_{649}) / FW$$

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี} = (21.99 \times A_{649}) - (5.32 \times A_{665}) / FW$$

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด} = \text{Chl.a} + \text{Chl.b}$$

เมื่อ ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ได้มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักสด นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณคลอโรฟิลล์ ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

2.2.2 ปริมาณแคโรทีนอยด์

เก็บตัวอย่างใบข้าวจากแต่ละชุดการทดลอง ชุดละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น วิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนอยด์ โดยดัดแปลงจากวิธีของ (วิรัตน์ ภูวิวัฒน์. 2539) ตามวิธีดังข้อ 2.2.1 จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร และนำค่าที่อ่านได้ไปคำนวณหาปริมาณแคโรทีนอยด์ ตามสมการของ (Daniel I. Arnon. 1949) ดังนี้

$$\text{ปริมาณแคโรทีนอยด์} = (1000 \times A_{480}) - (2.14 \times \text{Chl.a}) - (70.16 \times \text{Chl.b}) / 220$$

เมื่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ได้มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักสด นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปริมาณแคโรทีนอยด์ ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

2.3 ศึกษาผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) ต่อปริมาณน้ำตาลของต้นข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

เก็บตัวอย่างต้นข้าว ในข้อ 2.1.2 ของแต่ละชุดการทดลอง ชุดละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาล (total soluble sugar) ในส่วนของต้น ดัดแปลงจากวิธีของ (Robbins; & Pharr. 1987) ชั่งน้ำหนักใบของต้นข้าว แล้วบดกับไนโตรเจนเหลว เติมน้ำตาลละลาย 80% Ethanol ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง นำสารสกัดจากพืชที่ได้บ่มไว้ในที่ -4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วดูดสารละลายด้านบนปริมาตร 500 มิลลิลิตร เติมน้ำตาลละลาย anthrone reagent ปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าผสมสาร (vortex mixer) หลังจากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมาวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร คำนวณค่าความเข้มข้นของ total soluble sugar ในสารสกัดจากพืชโดยเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงจากกราฟมาตรฐานของ total soluble sugar โดยคำนวณปริมาณ total soluble sugar เป็นมิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักสด

2.4 ศึกษาผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD) ต่อการเกิดปริมาณ MDA ของต้นข้าวพันธุ์ กข 31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

ทำการเก็บตัวอย่างต้นข้าว ในข้อ 2.1.2 ของแต่ละชุดการทดลอง ชุดละ 5 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น ในวันที่ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ malondialdehyde (MDA) ในส่วนของต้นและราก ตามวิธีของ (Madhava Rao; & Sresty. 2000) คำนวณปริมาณ MDA ในหน่วยไมโครโมลต่อกรัมของน้ำหนักสด ชั่งน้ำหนักใบและรากของต้นข้าว แล้วบดกับไนโตรเจนเหลวให้ละเอียด เติมสารละลาย trichloroacetic acid (TCA) ความเข้มข้น 0.1%(w/v) ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที นำสารสกัดจากพืช ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย thiobarbitulic acid (TBA) ความเข้มข้น 0.5%(w/v) ใน TCA ความเข้มข้น 20%(w/v) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 นาที หยุดปฏิกิริยาโดยแช่หลอดในน้ำแข็งทันที เป็นเวลา 5 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 และ 532 นาโนเมตร การหาปริมาณ MDA โดยใช้สูตร ดังสมการ

$$\text{ปริมาณ MDA } (\mu\text{mol/g.F.W.}) = [((A_{532}-A_{600})/(155 \times 1)) \times V_f \times (V_e/V_a)] \div W$$

เมื่อ A_{532} = ค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

A_{600} = ค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

V_f = ปริมาตรสุดท้าย (มิลลิลิตร)

V_e = ปริมาตร TCA ที่ใช้ในการสกัด (มิลลิลิตร)

V_a = ปริมาตรสารสกัดพืชที่ใช้ในการวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)

W = น้ำหนักตัวอย่างพืช (กรัม)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาความสามารถในการทนต่อระดับความรุนแรงของ ความเครียดจากสภาวะแล้งของต้นข้าวพันธุ์ กข31

1. น้ำหนักสด

1.1. น้ำหนักสดต้น

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งในระดับที่มี Polyethylene glycol (PEG6000) ความเข้มข้น 5%(w/v) มีน้ำหนักสดของส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ และมีการสะสมน้ำหนักสดของส่วนต้นที่ลดต่ำลงตามระดับความรุนแรงของความเครียดจากสภาวะแล้งที่เพิ่มขึ้น หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าต้นข้าวที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งในชุดควบคุมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร WP No.2 มีการสะสมน้ำหนักสดของส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 9)

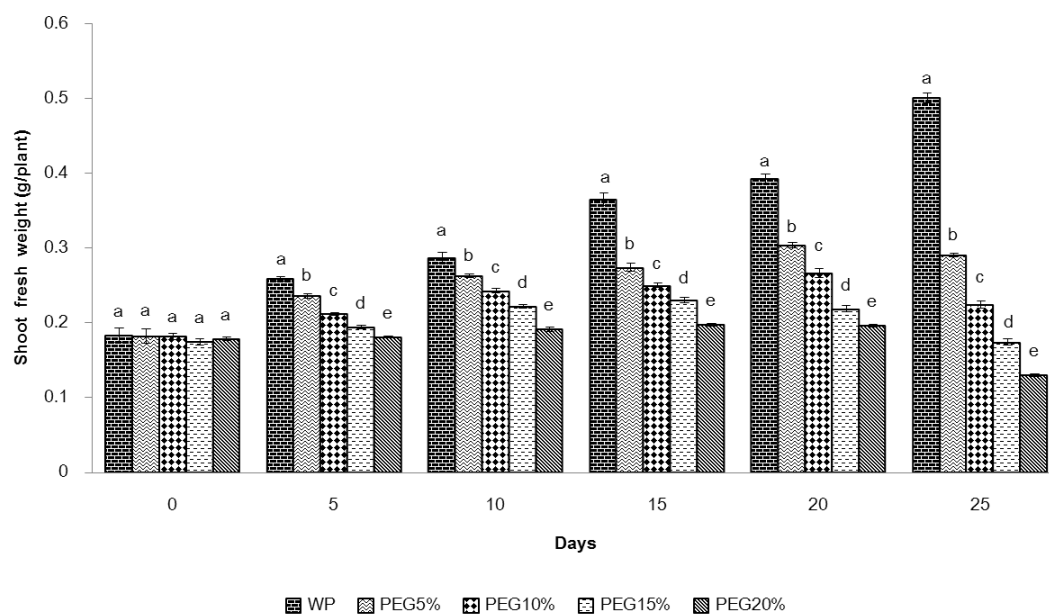
1.2. น้ำหนักสดราก

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) มีน้ำหนักสดของส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 15, 10 และ 5%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ และมีการสะสมน้ำหนักสดของส่วนรากที่เพิ่มขึ้นตามระดับความรุนแรงของความเครียดจากสภาวะแล้ง หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 วัน และพบว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีการสะสมน้ำหนักสดของส่วนรากลดลงหลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลานาน นอกจากนี้ยังพบว่าต้นข้าวที่ได้ความเครียดจากสภาวะแล้ง มีการสะสมน้ำหนักสดของส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่ปลูกในชุดควบคุมที่ไม่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 10)

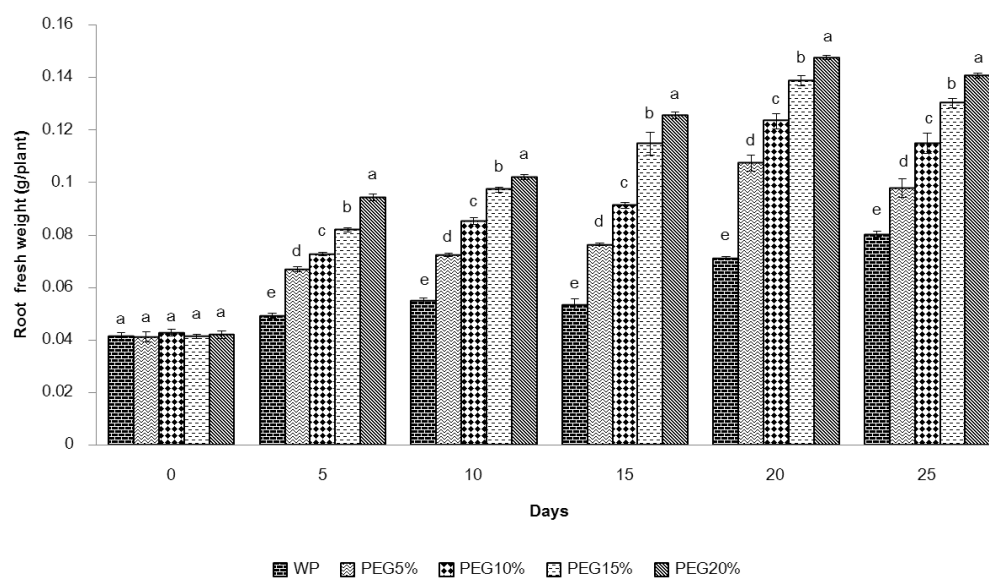
1.3. น้ำหนักสดรวมส่วนต้นและราก

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวในชุดควบคุมและต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5%(w/v) มีน้ำหนักสดรวมส่วนต้นและรากที่ไม่แตกต่างกัน และมีน้ำหนักสดรวม ส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15 และ 20%(w/v) มีน้ำหนักสดรวมส่วนต้นและรากที่ไม่แตกต่างกัน หลังจากได้รับความเครียดจาก สภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน และพบว่าต้นข้าวในชุดควบคุมและต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10%(w/v) มีน้ำหนักสดรวมส่วนต้นและรากที่ไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ต้น ข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10 และ 15%(w/v) มีน้ำหนักสดรวมส่วนต้นและ รากที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนต้นข้าวในชุดควบคุมและต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความ เข้มข้น 5%(w/v) มีน้ำหนักสดรวมส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับ ความเข้มข้น 15 และ 20%(w/v)อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ ระดับความเข้มข้น 10 และ 15%(w/v) มีน้ำหนักสดรวมส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับ สารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความ เครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10 วัน และพบว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ ระดับความเข้มข้น 5, 10 และ 15%(w/v) มีน้ำหนักสดรวมส่วนต้นและรากที่ไม่แตกต่างกันและมากกว่า ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) หลังจากได้รับความเครียดจาก สภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 15 วัน และพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5%(w/v) มีน้ำหนักสดรวมส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความ เข้มข้น 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ ระดับความเข้มข้น 10%(w/v) มีน้ำหนักสดรวมส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 15 และ 20%(w/v)อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับ สารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 15 และ 20%(w/v) มีน้ำหนักสดรวมส่วนต้นและรากที่ไม่ แตกต่างกัน หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 20 วัน และยังพบอีกว่าต้นข้าวใน ชุดควบคุมมีน้ำหนักสดรวมส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความ เข้มข้น 5, 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ หลังจากได้รับความเครียดจาก สภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 15, 20 และ 25 วัน นอกจากนี้จากผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่า ต้นข้าวในชุด

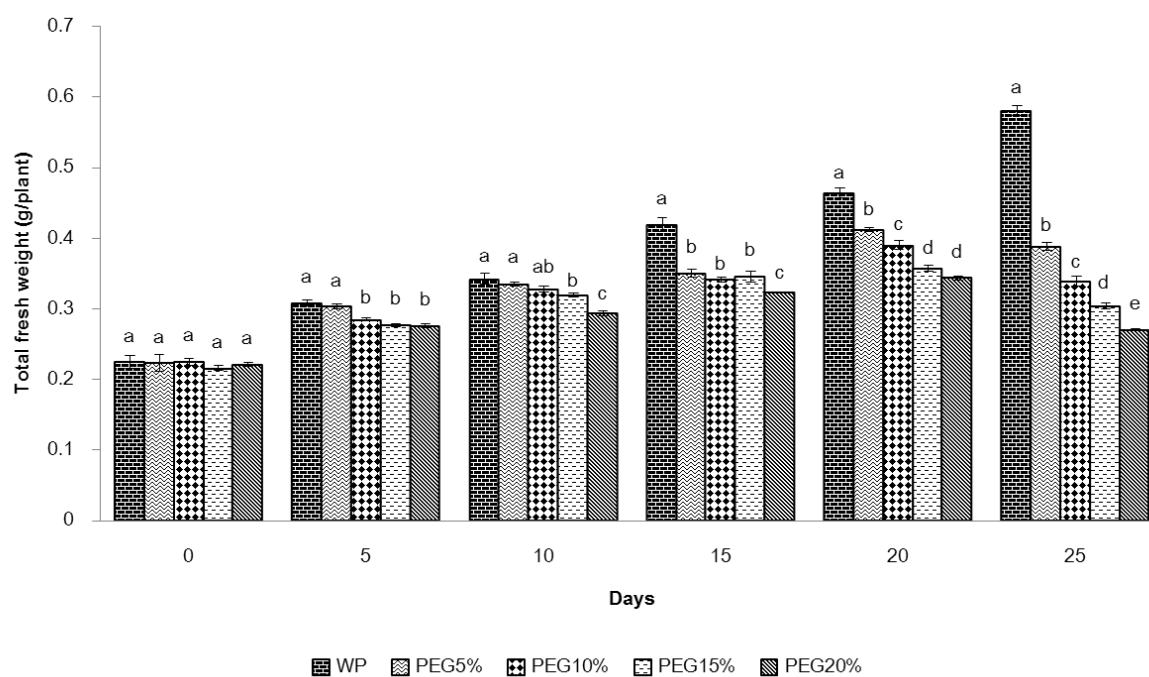
ควบคุมมีการสะสมน้ำในกสตรวมส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้ความเครียดจากสภาวะแล้ง อย่าง
มีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพประกอบ 11)



ภาพประกอบ 9 น้ำหนักสดต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่า
ความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 10 น้ำหนักสดรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 11 น้ำหนักสดรวมส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

2. น้ำหนักแห้ง

2.1. น้ำหนักแห้งต้น

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5%(w/v) มีน้ำหนักแห้งของส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ และมีการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนต้นที่ลดลงตามระดับความรุนแรงของความเครียดจากสภาวะแล้งที่เพิ่มขึ้น หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าต้นข้าวในชุดควบคุมมีการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาของการทดลอง และการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนต้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับการสะสมน้ำหนักสดของส่วนต้น (ภาพประกอบ 12)

2.2. น้ำหนักแห้งราก

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) มีน้ำหนักแห้งของส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 15, 10 และ 5%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ และมีการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนรากที่เพิ่มขึ้นตามระดับความรุนแรงของความเครียดจากสภาวะแล้ง หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 วัน และพบว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนรากลดลงหลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะ 25 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง มีการสะสมน้ำหนักสดของส่วนรากมากกว่าต้นข้าวในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาของการทดลอง และการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนรากมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับการสะสมน้ำหนักสดของส่วนราก (ภาพประกอบ 13)

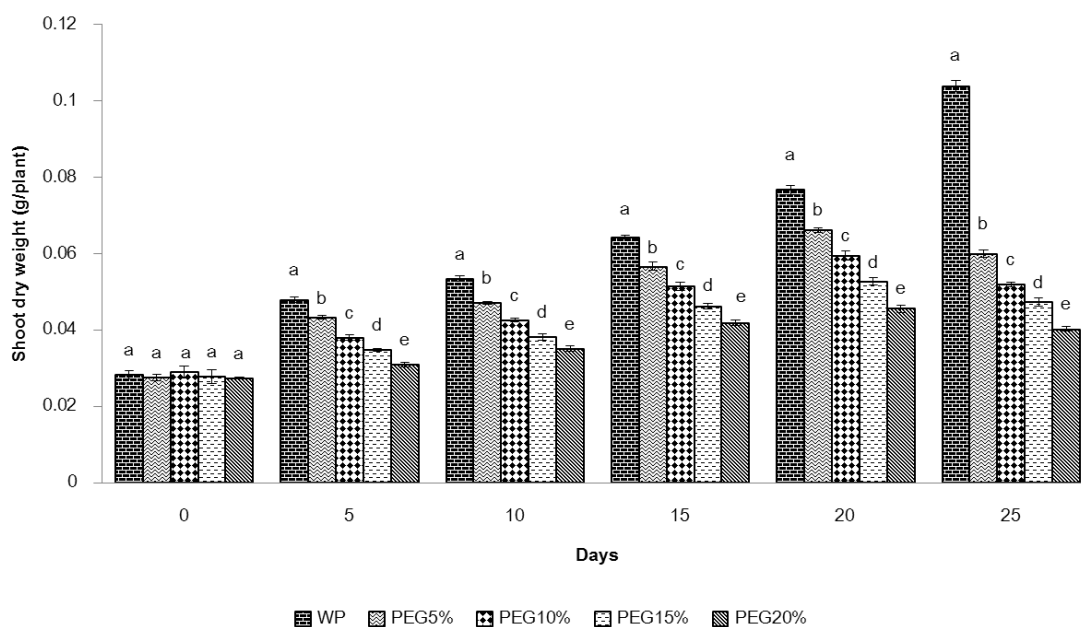
2.3. น้ำหนักแห้งรวมส่วนต้นและราก

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวในชุดควบคุมมีน้ำหนักแห้งรวมส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาของการทดลอง และยังพบอีกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5%(w/v) มีน้ำหนักแห้งรวมส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย

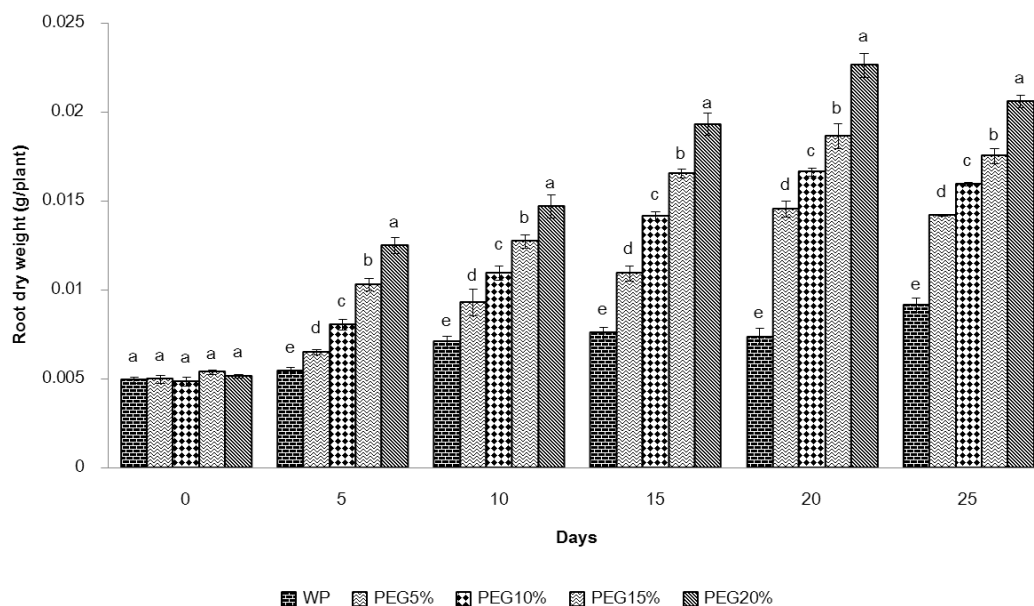
PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10 และ 15%(w/v) มีน้ำหนักแห้งรวมส่วนต้นและรากไม่แตกต่างกัน และต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 15 และ 20%(w/v) มีน้ำหนักแห้งรวมส่วนต้นและรากไม่แตกต่างกัน และต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10%(w/v) มีน้ำหนักแห้งรวมส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน ส่วนในวันที่ 10, 15, 20 และ 25 พบว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5%(w/v) มีน้ำหนักแห้งรวมส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 25 วัน (ภาพประกอบ 14)

2.4. อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อน้ำหนักแห้งต้น

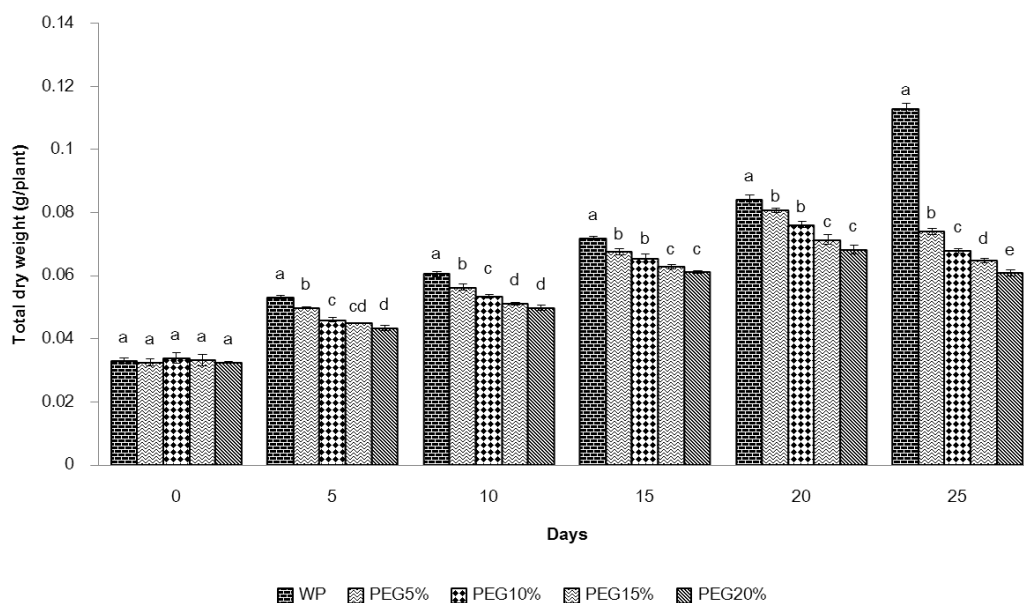
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) มีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อน้ำหนักแห้งต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ความเข้มข้น 15, 10 และ 5%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ และมีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อน้ำหนักแห้งต้นที่เพิ่มขึ้นตามระดับความรุนแรงของความเครียดจากสภาวะแล้ง หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง มีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อน้ำหนักแห้งต้นมากกว่าต้นข้าวในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 15)



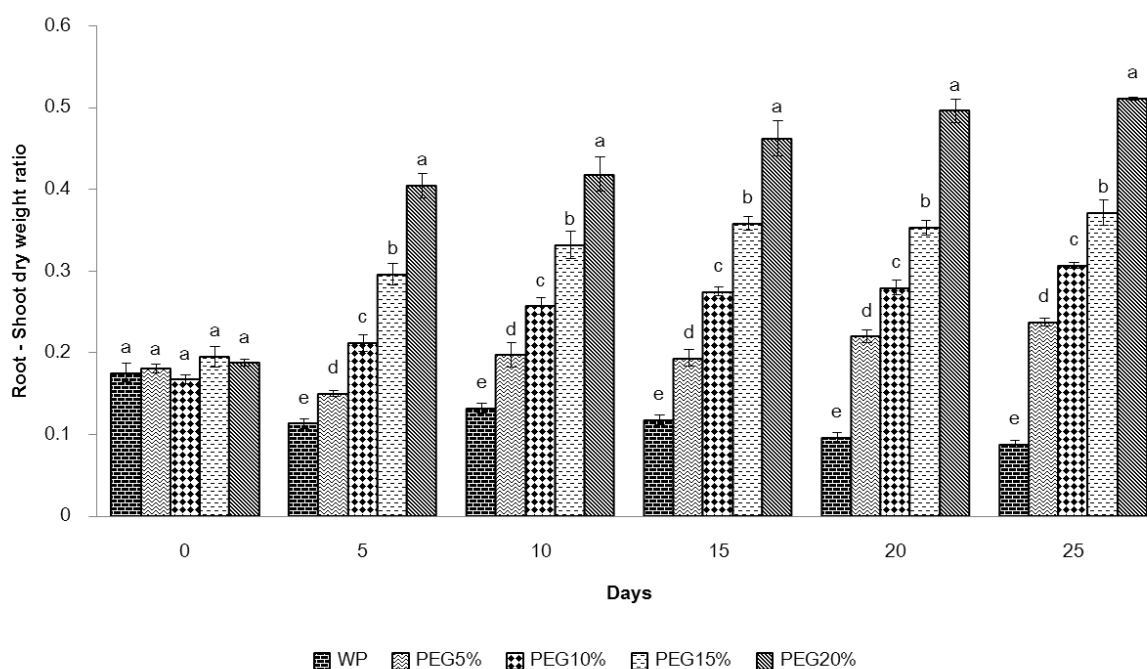
ภาพประกอบ 12 น้ำหนักแห้งต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 13 น้ำหนักแห้งรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 14 น้ำหนักแห้งรวมส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 15 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อน้ำหนักแห้งต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

3. ความยาว

3.1. ความยาวต้น

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5%(w/v) มีความยาวของส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ และมีความยาวของส่วนต้นที่ลดลงตามระดับความรุนแรงของความเครียดจากสภาวะแล้งที่เพิ่มขึ้น หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10, 15, 20 และ 25 วัน ส่วนในวันที่ 5 พบว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 25 และ 20%(w/v) มีความยาวของส่วนต้นลดลงและลดลงมากที่สุดเมื่อต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) นอกจากนี้ยังพบว่าต้นข้าวในชุดควบคุมมีความยาวของส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้ความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 16)

3.2. ความยาวราก

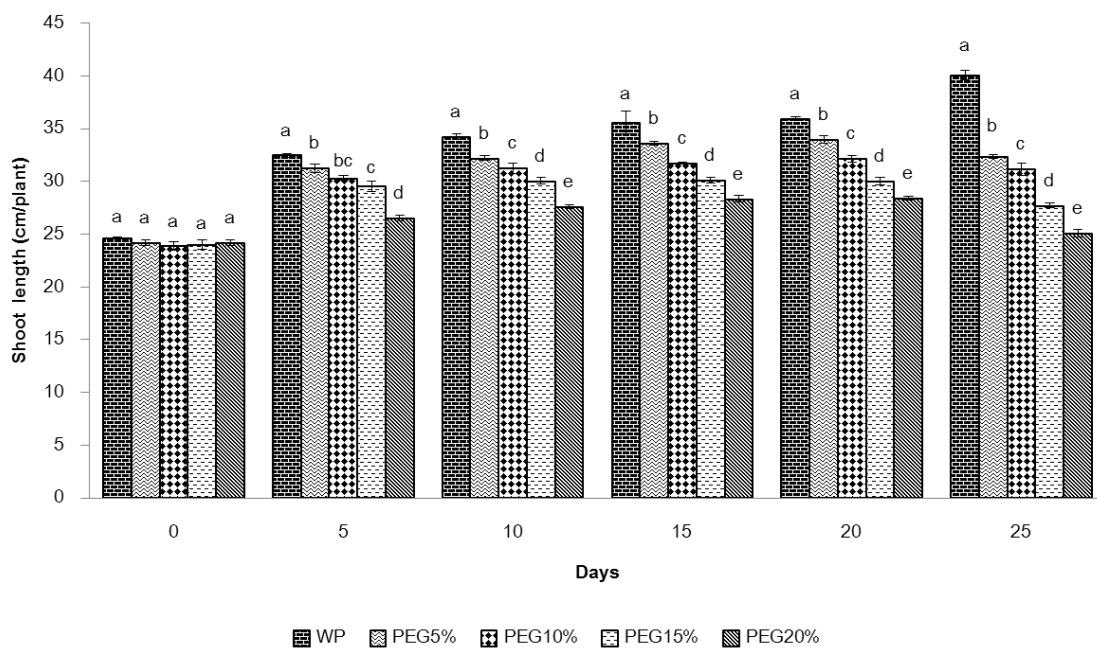
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) มีความยาวของส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 15, 10 และ 5%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตามลำดับ และมีความยาวของส่วนรากที่เพิ่มขึ้นตามระดับความรุนแรงของความเครียดจากสภาวะแล้ง หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 วัน และพบว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีความยาวรากลดลง หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะ 25 วัน ในขณะที่ต้นข้าวที่ได้ความเครียดจากสภาวะแล้ง มีความยาวของส่วนรากมากกว่าต้นข้าวในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 17)

3.3. ความยาวรวมส่วนต้นและราก

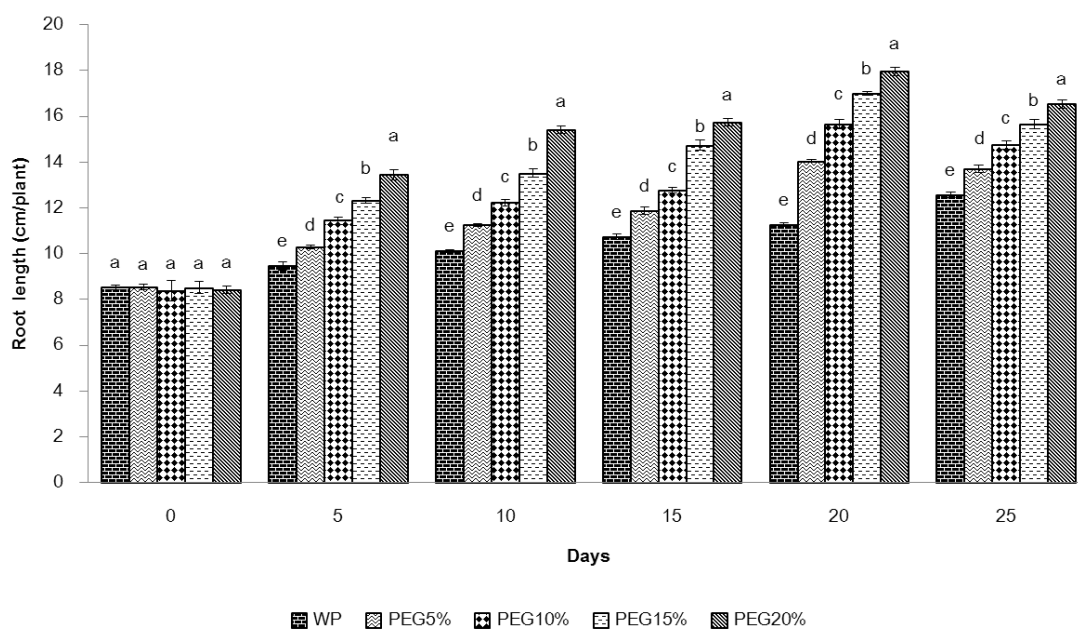
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวในชุดควบคุมและต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10 และ 15%(w/v) มีความยาวรวมส่วนต้นและรากไม่แตกต่างกันและมีความยาวรวมส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน และพบว่า ต้น

ข้าวในชุดควบคุมมีความยาวรวมส่วนต้นและรากไม่แตกต่างกันกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่อยู่ในสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20%(w/v) ตามลำดับ และต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20%(w/v) มีความยาวรวมส่วนต้นและรากไม่แตกต่างกัน และต้นข้าวในชุดควบคุมมีความยาวรวมส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10 และ 15 วัน และพบว่าต้นข้าวในชุดควบคุม มีความยาวรวมส่วนต้นและรากไม่แตกต่างกันกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่อยู่ในสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20%(w/v) ตามลำดับ ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10%(w/v) มีความยาวรวมส่วนต้นและรากไม่แตกต่างกัน ต้นข้าวในชุดควบคุมและต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10%(w/v) มีความยาวรวมส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 20 วัน และพบว่าต้นข้าวในชุดควบคุมมีความยาวรวมส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับ สารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10%(w/v) มีความยาวรวมส่วนต้นและรากไม่แตกต่างกันและมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 15%(w/v) มีความยาวรวมส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 25 วัน และพบว่าต้นข้าวได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นเวลานานจะมีความยาวรวมส่วนต้นและรากลดลง (ภาพประกอบ 18)

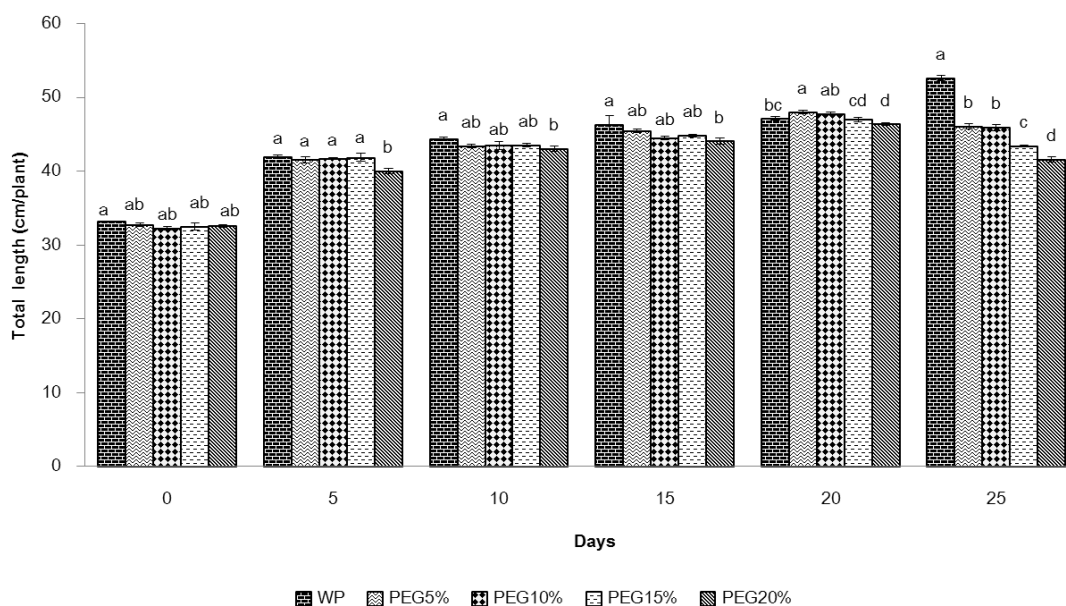
ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง มีอัตราส่วนความยาวรากต่อความยาวต้นมากกว่าต้นข้าวในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 19)



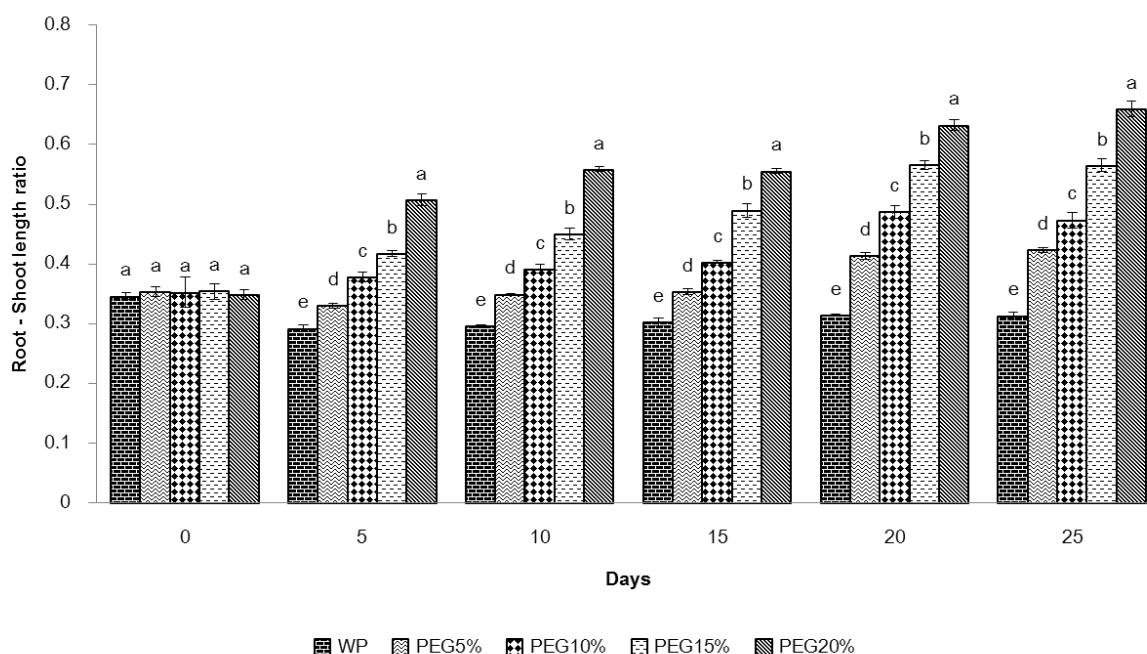
ภาพประกอบ 16 ความยาวต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 17 ความยาวรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 18 ความยาวรวมส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 19 อัตราส่วนความยาวรากต่อความยาวต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

4. อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate)

4.1. อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนต้น

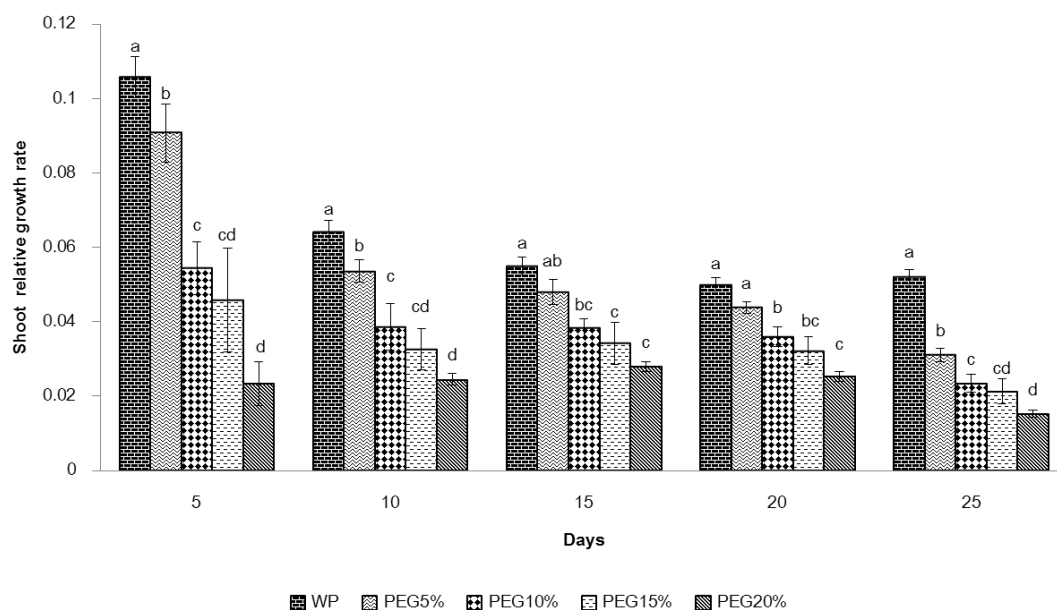
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่มีสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20%(w/v) มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนต้นน้อยกว่าต้นข้าวในชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 25 วัน โดยพบว่าความเครียดจากสภาวะแล้งที่มีสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) ทำให้ต้นข้าวมีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์น้อยกว่าที่มีสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10 และ 15%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยต้นข้าวมีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ลดลงเมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่ในระดับความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 ที่เพิ่มขึ้น (ภาพประกอบ 20)

4.2. อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนราก

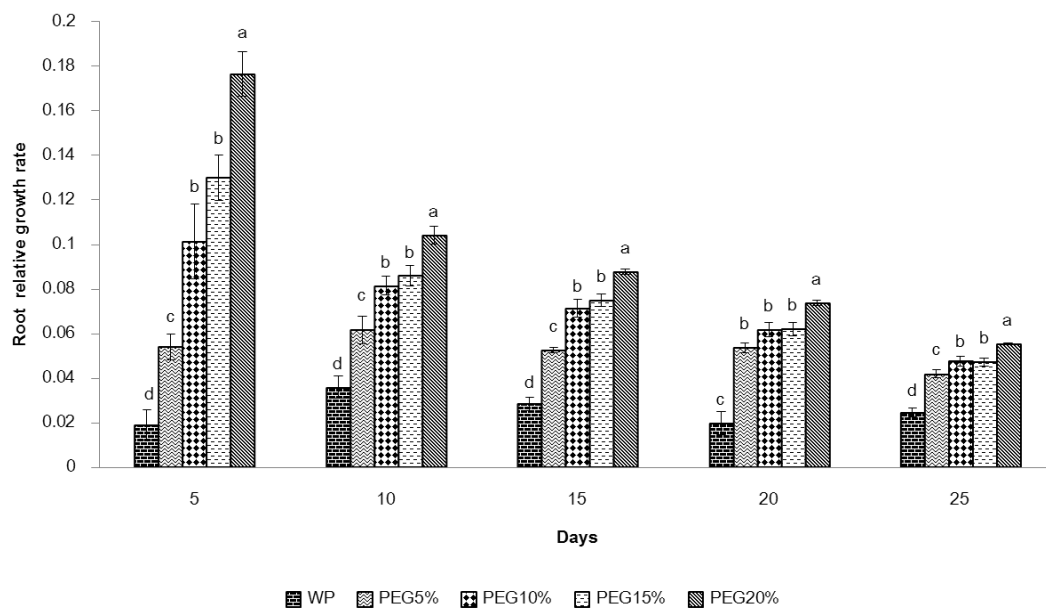
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ปลูกในชุดควบคุมมีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5 และ 10%(w/v) มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนรากไม่แตกต่างกันและมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 15%(w/v) มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10, 15 และ 25 วัน และพบว่า ต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะปกติในชุดควบคุม มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10 และ 15%(w/v) มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนรากไม่แตกต่างกันโดยต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10 และ 15%(w/v) มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์มากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 20 วัน นอกจากนี้ยังพบว่าต้นข้าวมีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนรากที่ลดลงหลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลานาน (ภาพประกอบ 21)

4.3. อัตราการเติบโตสัมพัทธ์รวมในส่วนต้นและราก

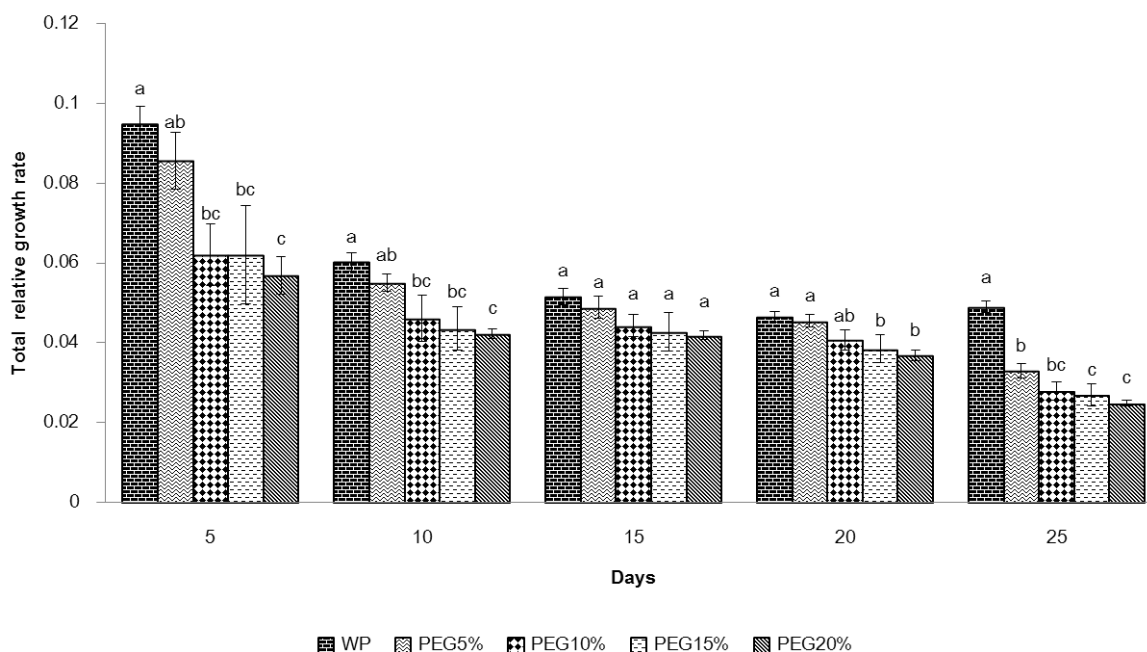
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่มีสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20%(w/v) มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์รวมในส่วนต้นและรากไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างกันกับต้นข้าวในชุดควบคุมหลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งในช่วง 5 – 15 วัน และต้นข้าวสามารถเจริญเติบโตในสภาวะที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่มีสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 15 และ 20%(w/v) และพบว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 มีการเติบโตสัมพัทธ์รวมในส่วนต้นและรากน้อยกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10 และ 15%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 20 และ 25 วัน (ภาพประกอบ 22)



ภาพประกอบ 20 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ± ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



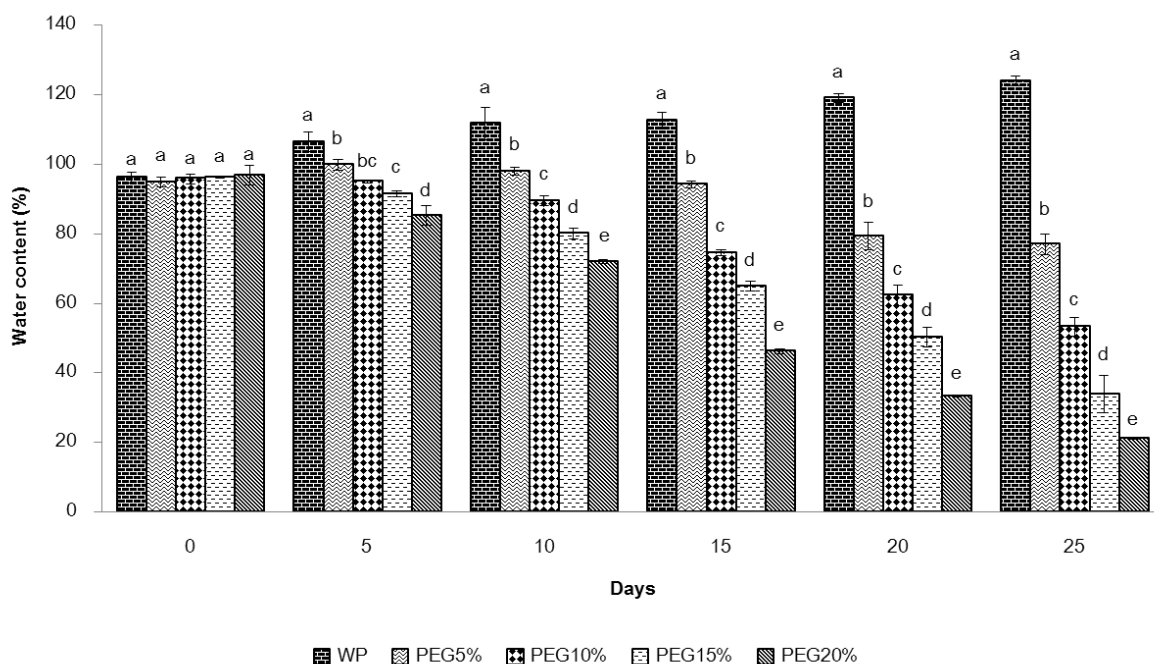
ภาพประกอบ 21 อัตราส่วนสัมพัทธ์ในส่วนรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะ แล้ง ± ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 22 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์รวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

5. ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้น

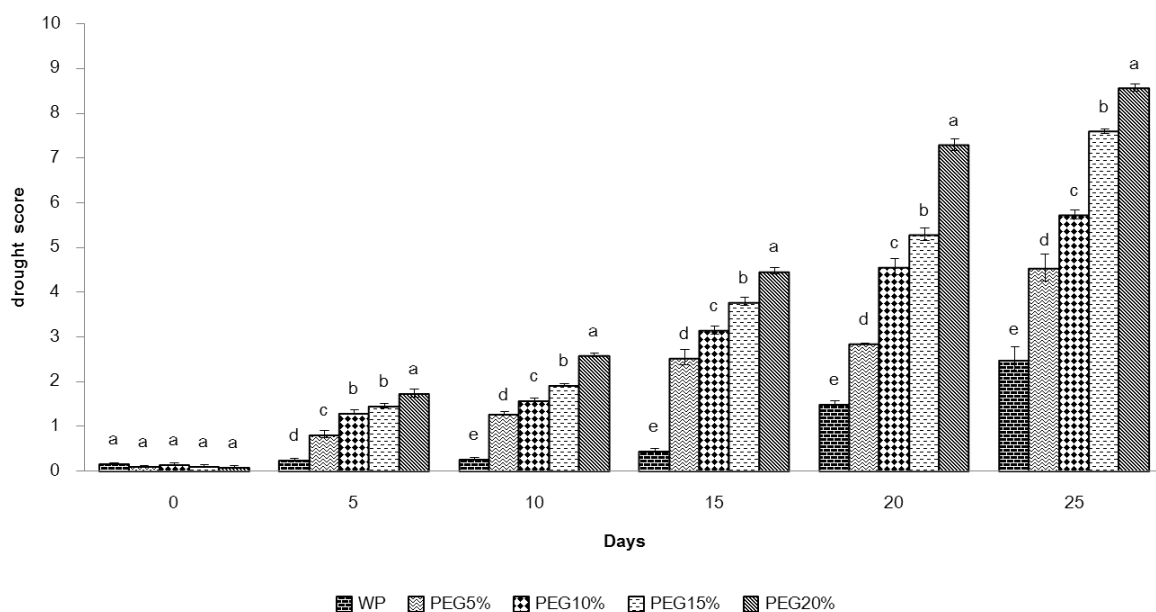
จากผลการทดลองพบว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5%(w/v) มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15 และ 20%(w/v) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นที่ลดลงตามระดับความรุนแรงของความเครียดจากสภาวะแล้ง หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10, 15, 20 และ 25 วัน โดยมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นน้อยกว่าต้นข้าวในชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 23)



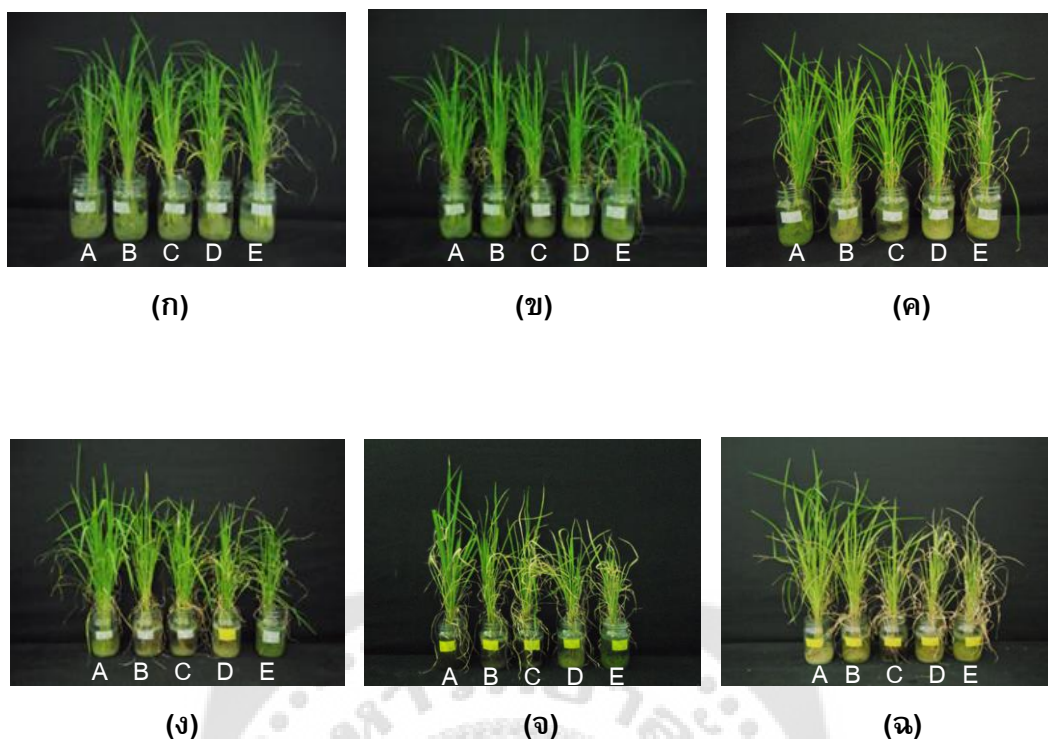
ภาพประกอบ 23 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ± ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

6. คะแนนความเสียหายทางกายภาพของต้นข้าว (Drought score)

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 20%(w/v) มีคะแนนความเสียหายทางกายภาพของต้นข้าวมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10 และ 15%(w/v) ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีคะแนนความเสียหายทางกายภาพของต้นข้าวที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาและระดับความรุนแรงของความเครียดจากสภาวะแล้ง หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 วัน โดยต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่มีระดับความรุนแรงเพิ่มขึ้น พบว่ามีการแสดงอาการเหี่ยวที่ส่วนใบโดยมีการม้วนงอของใบและใบมีสีน้ำตาล (ภาพประกอบ 24, ภาพประกอบ 25)



ภาพประกอบ 24 ค่าคะแนนความเสียหายทางกายภาพของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 25 ต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับความเสียหายทางกายภาพ ตอน 1; (ก) วันที่ 0, (ข) วันที่ 5, (ค) วันที่ 10, (ง) วันที่ 15, (จ) วันที่ 20 และ (ฉ) วันที่ 25

หมายเหตุ A = สารละลายที่มี PEG6000 ความเข้มข้น 0%(w/v)

B = สารละลายที่มี PEG6000 ความเข้มข้น 5%(w/v)

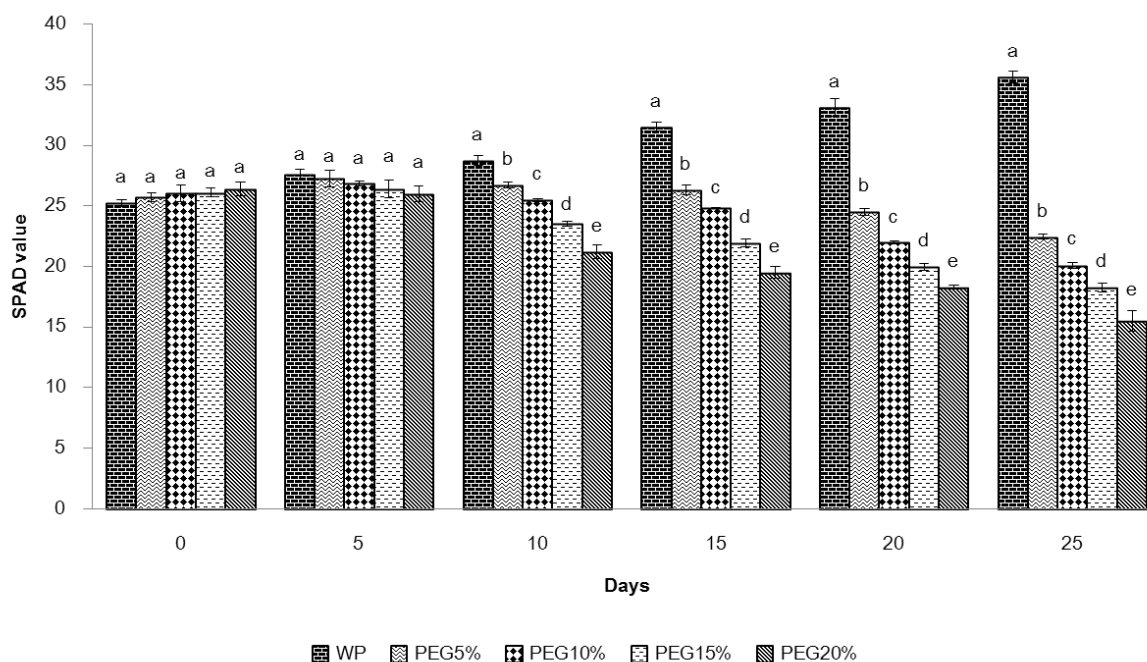
C = สารละลายที่มี PEG6000 ความเข้มข้น 10%(w/v)

D = สารละลายที่มี PEG6000 ความเข้มข้น 15%(w/v)

E = สารละลายที่มี PEG6000 ความเข้มข้น 20%(w/v)

7. ค่าความเขียวของใบ (SPAD value)

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5%(w/v) มีค่าความเขียวของใบมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าความเขียวของใบที่ลดลงเมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและระดับความรุนแรงของความเครียดจากสภาวะแล้ง (ภาพประกอบ 26)



ภาพประกอบ 26 ค่าความเขียวของใบของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

8. ปริมาณคลอโรฟิลล์

8.1. ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5%(w/v) มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในส่วนต้นจะมีปริมาณลดลงเมื่อต้นข้าวได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งในระดับที่รุนแรงมากขึ้น หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 วัน นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่าต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะปกติในชุดควบคุมมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาของการทดลอง(ภาพประกอบ 27)

8.2. ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

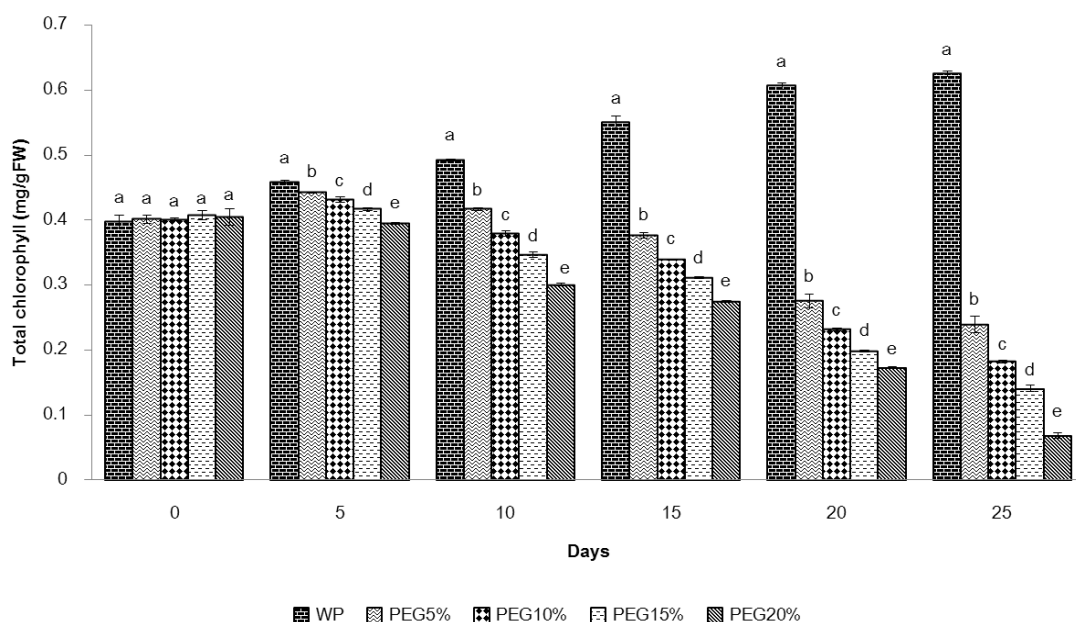
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5%(w/v) มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในส่วนต้นที่ลดลงตามระยะเวลาและระดับความรุนแรงของความเครียดจากสภาวะแล้ง หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 25 วัน นอกจากนี้ต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะปกติในชุดควบคุมมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาของการทดลอง และมีแนวโน้มคล้ายกับการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในส่วนต้น (ภาพประกอบ 28)

8.3. ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี

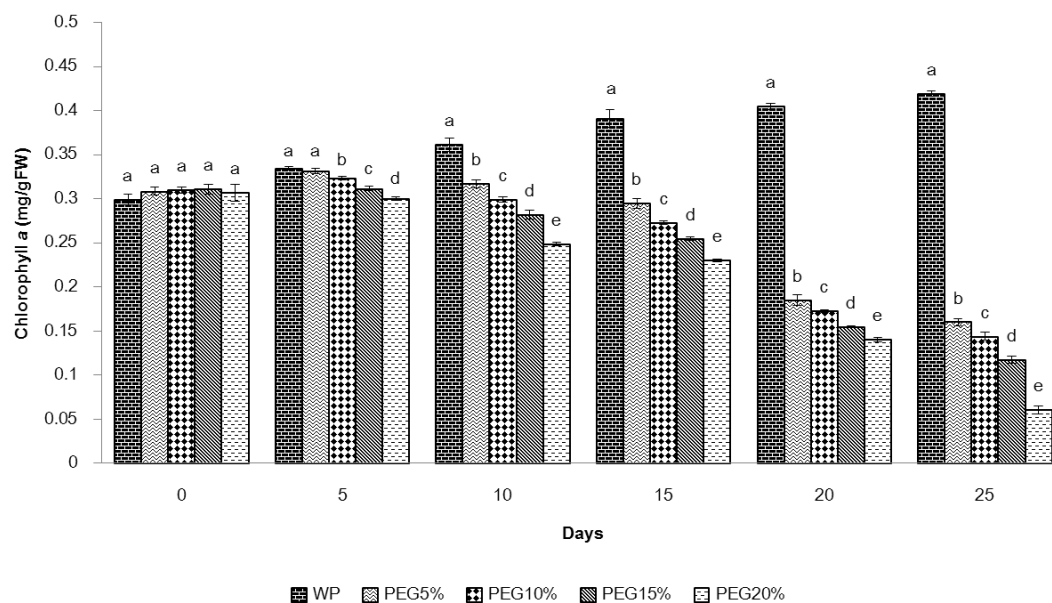
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5%(w/v) มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในส่วนต้นที่ลดลงตามระยะเวลาและระดับความรุนแรงของความเครียดจากสภาวะแล้ง หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10, 15, 20 และ 25 วัน นอกจากนี้ต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะปกติในชุดควบคุมมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 29)

8.4. ปริมาณแคโรทีนอยด์

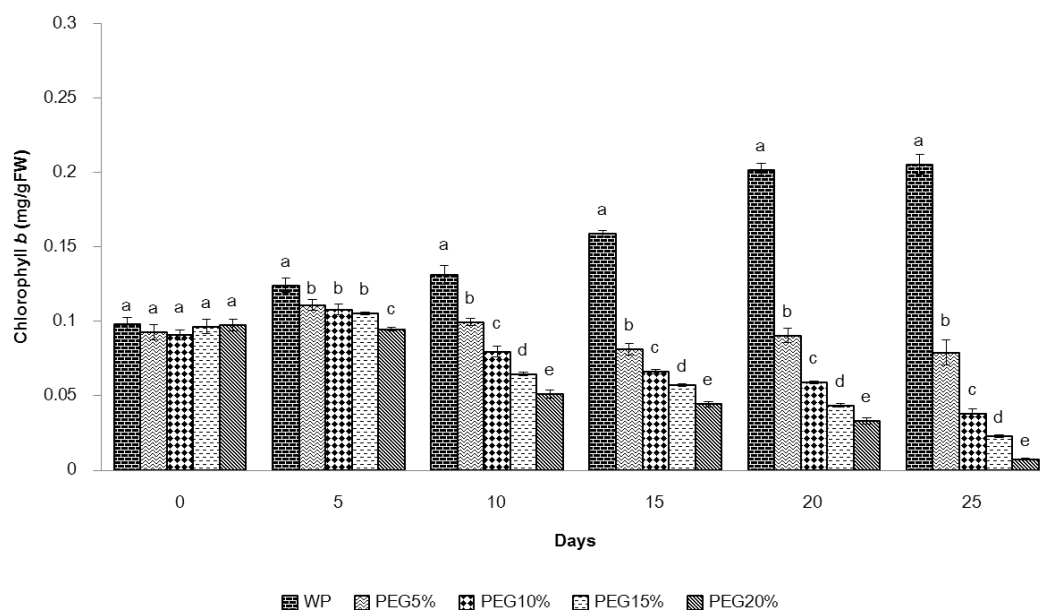
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 5%(w/v) มีการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่าต้นข้าวที่ได้รับสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15 และ 20%(w/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ ที่ลดลงตามระยะเวลาและระดับความรุนแรงของความเครียดจากสภาวะแล้งหลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10, 15, 20 และ 25 วัน และต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะปกติในชุดควบคุมมีการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 30)



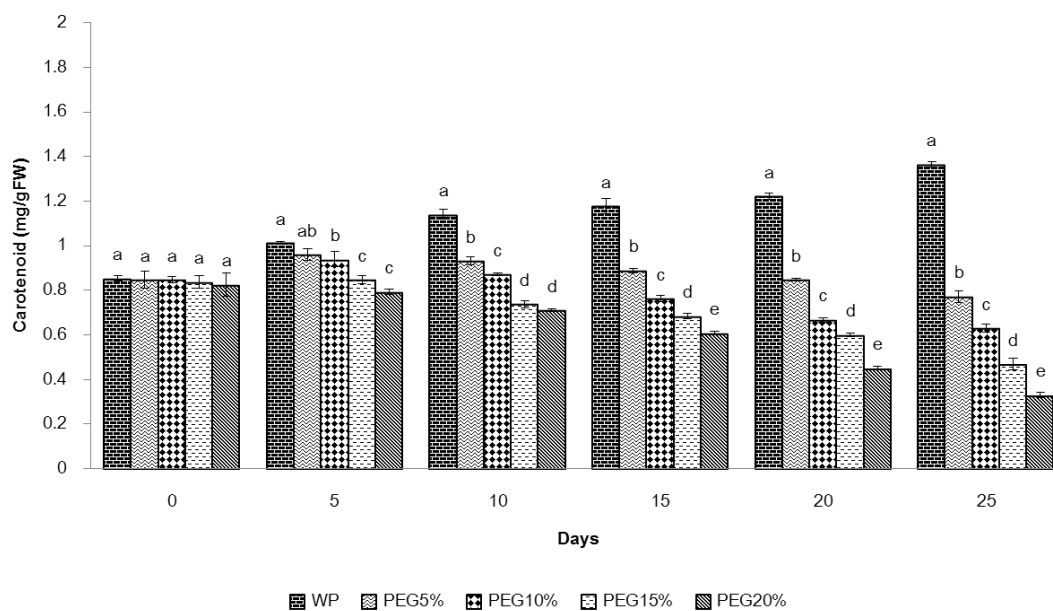
ภาพประกอบ 27 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 28 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 29 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 30 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20-hydroxyecdysone (DHECD)
ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้
ความเครียดจากสภาวะแล้ง

1. น้ำหนักสด

1.1. น้ำหนักสดต้น

จากผลการทดลองในตอนที่ 1 ผู้วิจัยพบว่าต้นข้าวพันธุ์ กข31 สามารถทนต่อระดับความเครียดจากสภาวะแล้งสูงสุดที่มีสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้น 15%(w/v) ดังนั้นจึงใช้ความเข้มข้นของสารละลาย PEG6000 ที่ระดับความเข้มข้นดังกล่าวมาใช้ในการทดลองตอนที่ 2

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 10^{-5} โมลาร์ มีน้ำหนักสดของส่วนต้นไม่แตกต่างกันกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำและต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเพียงอย่างเดียว หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน และการพ่นสาร DHECD ให้กับต้นข้าวส่งผลทำให้น้ำหนักสดของส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ 12.27 และ 18.87% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10 และ 15 วัน ตามลำดับ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีการสะสมน้ำหนักสดของส่วนต้นน้อยกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ นอกจากนี้พบว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมน้ำหนักสดของส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำ 16.33 และ 14.11% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 10 และ 15 ของการทดลอง ตามลำดับ (ภาพประกอบ 31)

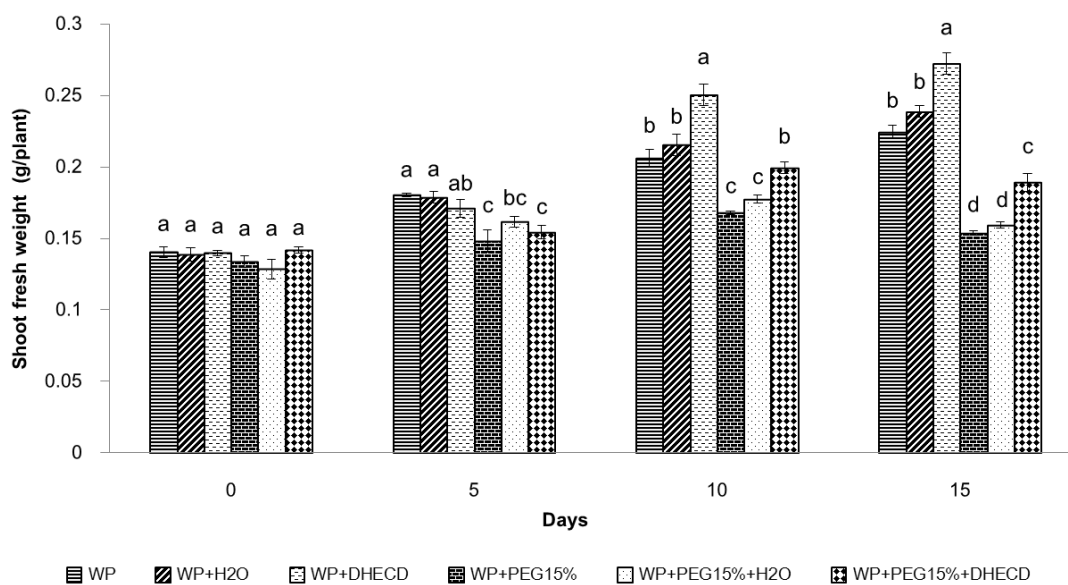
1.2. น้ำหนักสดราก

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีน้ำหนักสดของส่วนรากไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีการสะสมน้ำหนักสดของส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมน้ำหนักสดของส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ 27 และ 32.4% อย่างมี

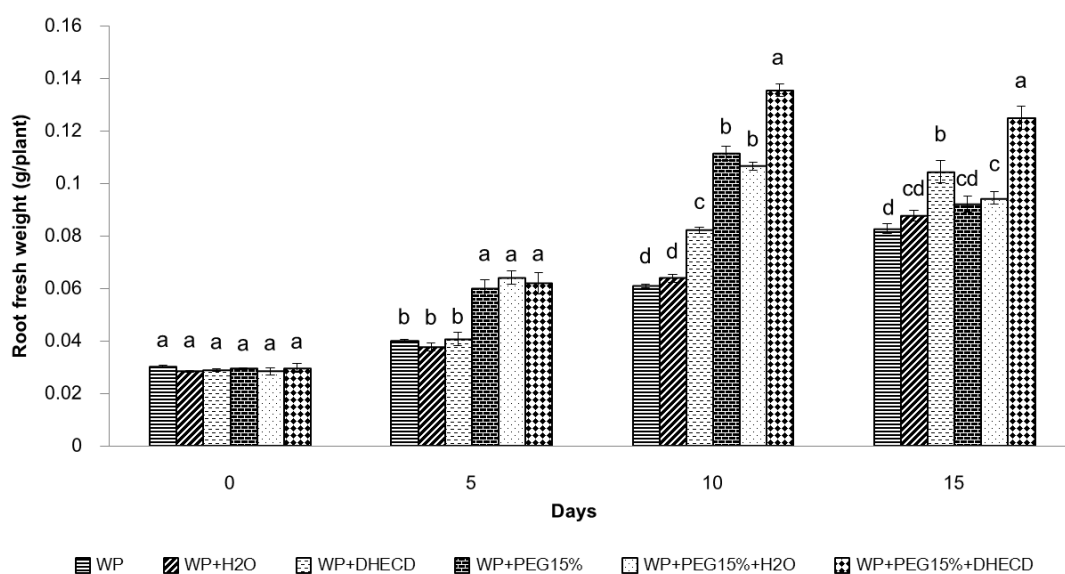
นัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10 และ 15 วัน ตามลำดับ และ ต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยสาร DHECD จะมีน้ำหนักสดของส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำ 28.64 และ 19.3% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 10 และ 15 ของการทดลอง ตามลำดับ (ภาพประกอบ 32)

1.3. น้ำหนักสดรวมในส่วนต้นและราก

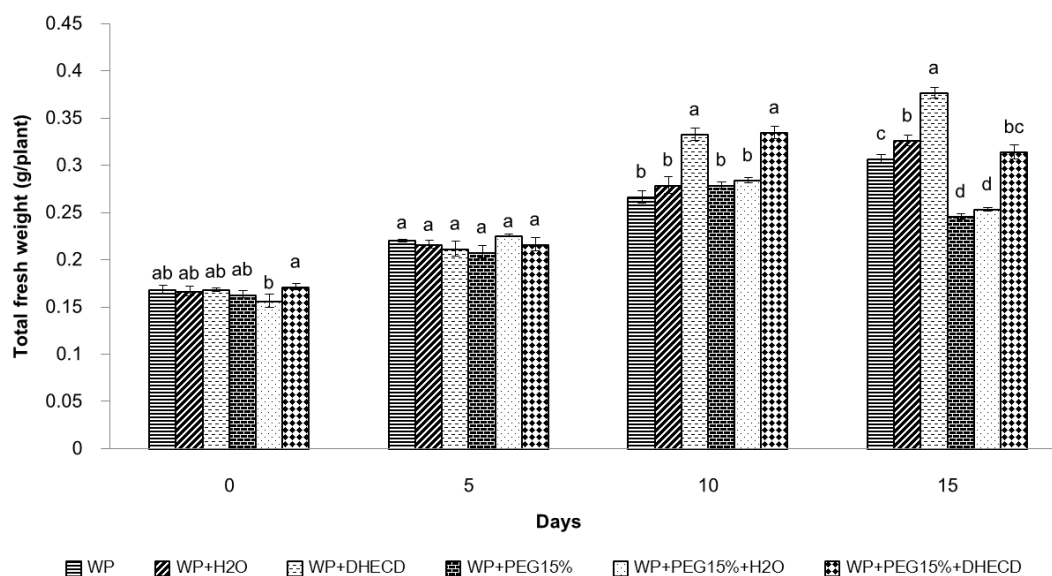
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีน้ำหนักสดรวมในส่วนต้นและรากไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีน้ำหนักสดรวมในส่วนต้นและรากน้อยกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมน้ำหนักสดรวมในส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10 และ 15 วัน ตามลำดับ และต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยสาร DHECD มีน้ำหนักสดรวมในส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 10 และ 15 ของการทดลอง ตามลำดับ (ภาพประกอบ 33)



ภาพประกอบ 31 น้ำหนักสดต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ± ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 32 น้ำหนักสดรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ± ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 33 น้ำหนักสดรวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

2. น้ำหนักแห้ง

2.1. น้ำหนักแห้งต้น

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีน้ำหนักแห้งของส่วนต้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนต้นน้อยกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีน้ำหนักแห้งของส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ 26.39 และ 40.96% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10 และ 15 วันตามลำดับ และต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยสาร DHECD มีน้ำหนักแห้งของส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำ 17.90 และ 9.85% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10 และ 15 วันตามลำดับ โดยการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนต้นจะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกับการสะสมน้ำหนักสดของส่วนต้น (ภาพประกอบ 34)

2.2. น้ำหนักแห้งราก

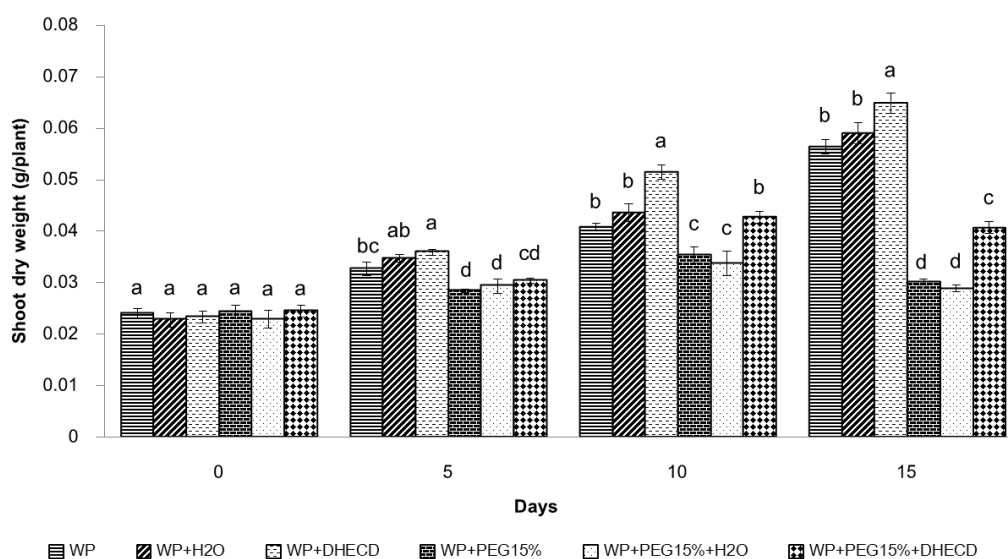
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีน้ำหนักแห้งของส่วนรากไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีน้ำหนักแห้งของส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ 37.08 และ 7.83% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10 และ 15 วันตามลำดับ และต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยสาร DHECD มีน้ำหนักแห้งของส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำ 17.70 และ 23.81% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10 และ 15 วันตามลำดับ โดยการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนรากจะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกับการสะสมน้ำหนักสดของส่วนราก (ภาพประกอบ 35)

2.3. น้ำหนักแห้งรวมในส่วนต้นและราก

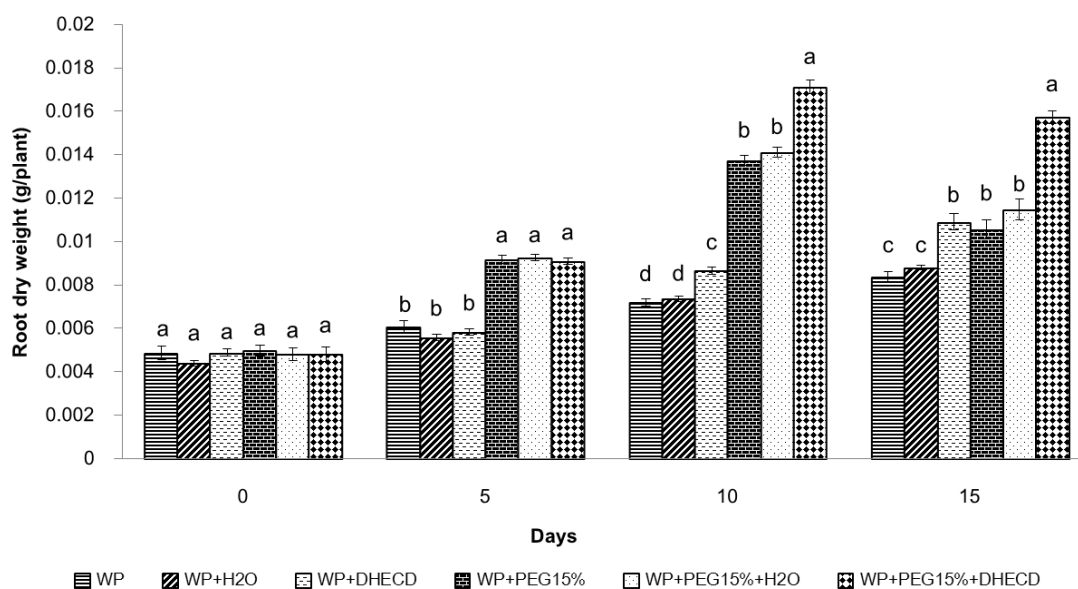
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีน้ำหนักแห้งรวมในส่วนต้นและรากไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีการสะสมน้ำหนักแห้งรวมในส่วนต้นและรากน้อยกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีน้ำหนักแห้งรวมในส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10 และ 15 วันตามลำดับ และต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยสาร DHECD มีน้ำหนักแห้งรวมในส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10 และ 15 วันตามลำดับ (ภาพประกอบ 36)

2.4. อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อน้ำหนักแห้งต้น

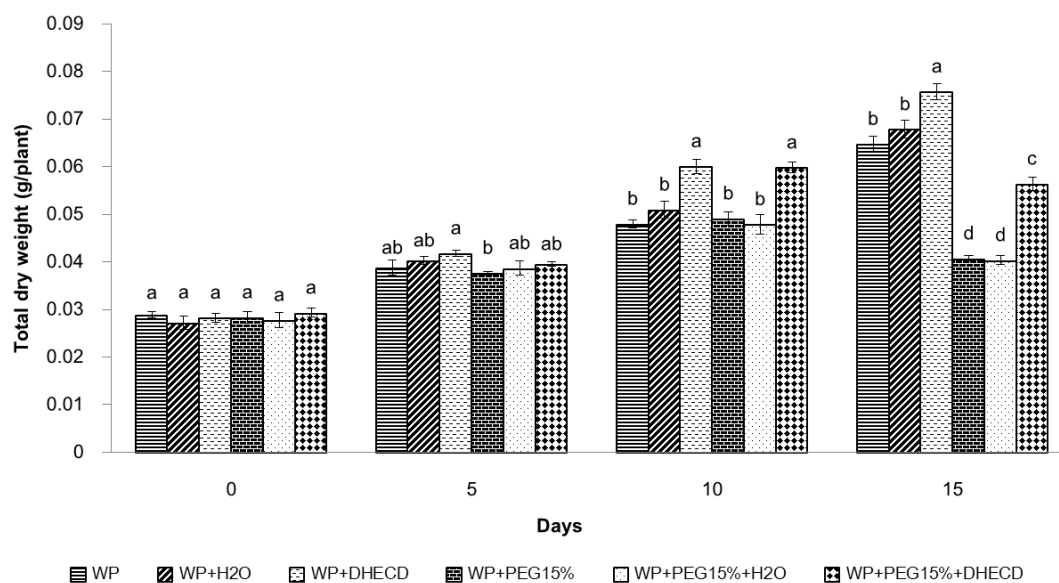
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งของส่วนรากต่อน้ำหนักแห้งของส่วนต้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำตลอดระยะเวลาของการทดลอง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยสาร DHECD มีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งของส่วนรากต่อน้ำหนักแห้งของส่วนต้นไม่แตกต่างกันกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและพ่นด้วยสาร DHECD มีอัตราส่วนน้ำหนักแห้งของส่วนรากต่อน้ำหนักแห้งของส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยสาร DHECD 84.25, 138.80 และ 129.09% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 5, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ (ภาพประกอบ 37)



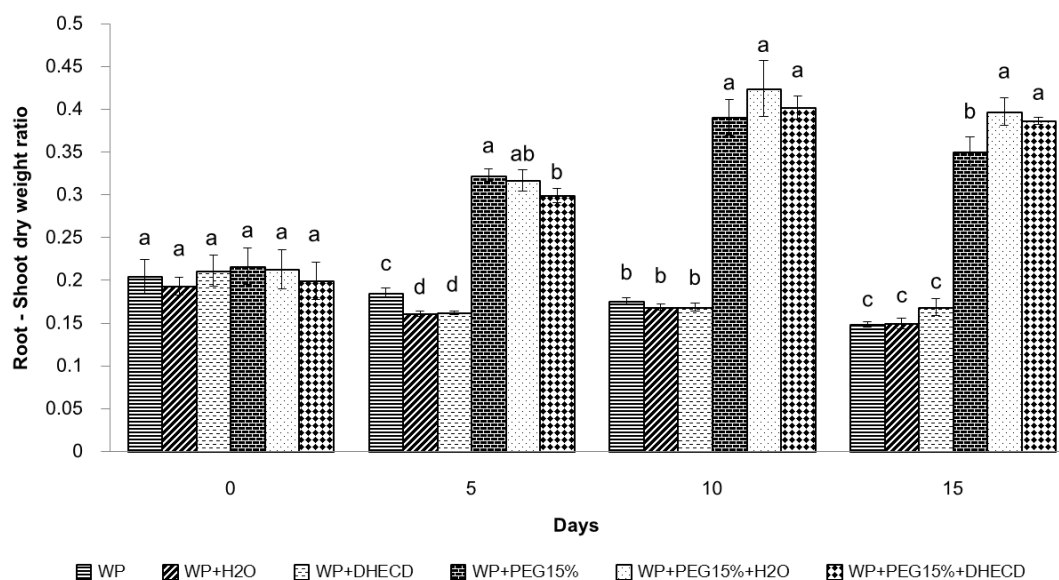
ภาพประกอบ 34 น้ำหนักแห้งต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 35 น้ำหนักแห้งรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 36 น้ำหนักแห้งรวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 37 อัตราส่วนน้ำหนักแห้งรากต่อน้ำหนักแห้งต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

3. ความยาว

3.1. ความยาวต้น

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีความยาวของส่วนต้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีความยาวของส่วนต้นน้อยกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีความยาวของส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ 6.39 และ 6.17% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10 และ 15 วัน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยสาร DHECD มีความยาวของส่วนต้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่พ่นด้วยน้ำที่อยู่ในสภาวะเดียวกัน (ภาพประกอบ 38)

3.2. ความยาวราก

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีความยาวของส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ 12.75, 20.32 และ 18.69% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10 และ 15 วันตามลำดับ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีความยาวของส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การพ่นสาร DHECD ให้กับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ พบว่าต้นข้าวมีความยาวของส่วนรากไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 39)

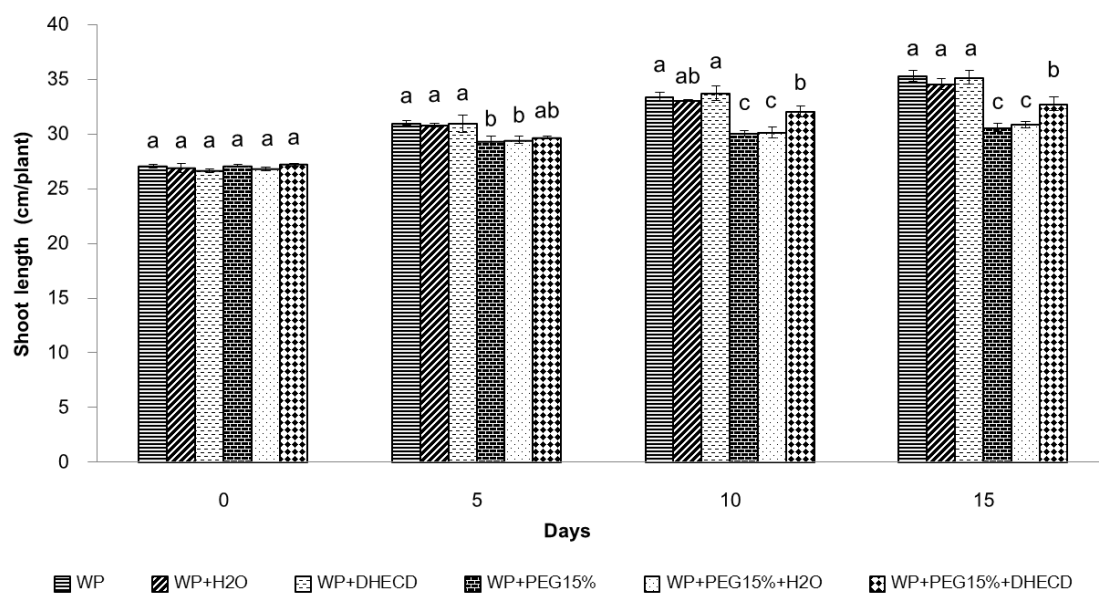
3.3. ความยาวรวมในส่วนต้นและราก

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีความยาวรวมในส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำหลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10 และ 15 วัน ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีความยาวรวมในส่วนต้นและรากน้อยกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การพ่นสาร DHECD ให้กับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ พบว่าต้นข้าวมีความยาวรวมในส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติในวันที่ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในวันที่ 5 พบว่าต้นข้าวที่พ่นสาร DHECD มีความยาวรวมในส่วนต้นและรากไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำ (ภาพประกอบ 40)

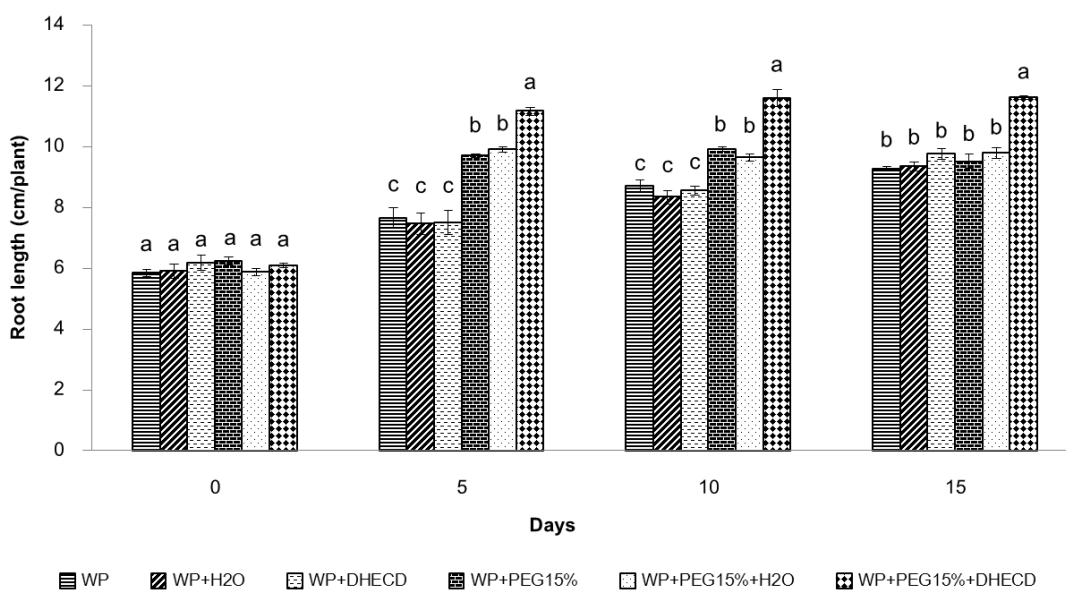
3.4. อัตราส่วนความยาวรากต่อความยาวต้น

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีอัตราส่วนความยาวของส่วนรากต่อความยาวของส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ 12, 13.16 และ 11.83% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีอัตราส่วนความยาวของส่วนรากต่อความยาวของส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การพ่นสาร DHECD กับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติจะช่วยให้ต้นข้าวมีอัตราส่วนความยาวของส่วนรากต่อความยาวของส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ใน

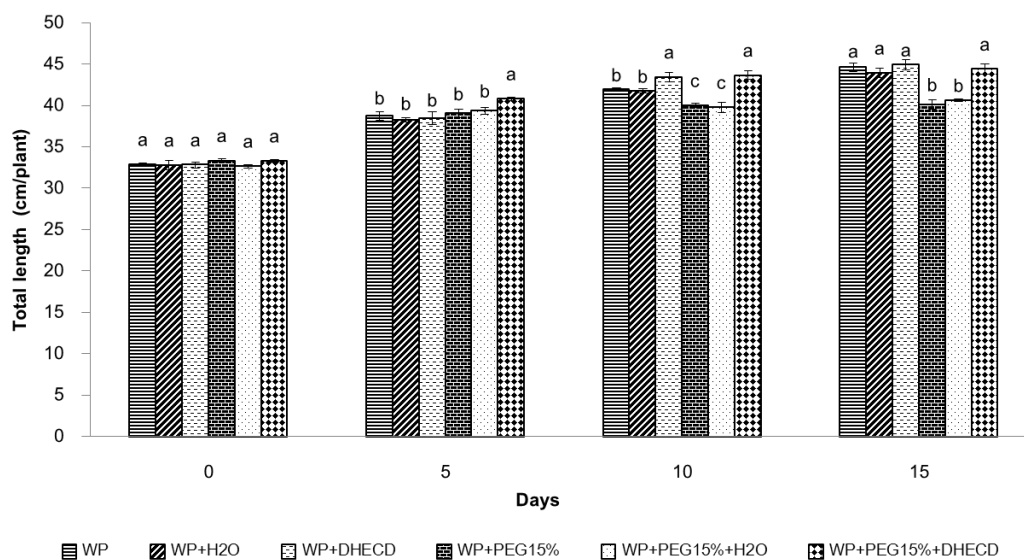
สภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำ 9.76% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในวันที่ 10 ของการทดลอง (ภาพประกอบ 41)



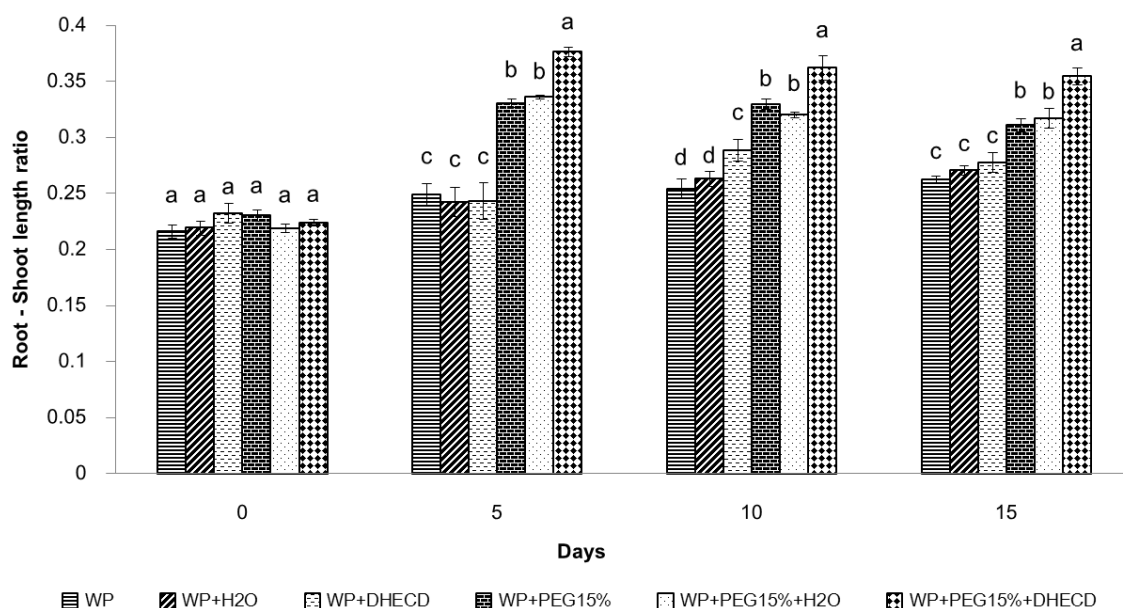
ภาพประกอบ 38 ความยาวต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 39 ความยาวรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 40 ความยาวรวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 41 อัตราส่วนความยาวรากต่อความยาวต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

4. อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate)

4.1. อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนต้น

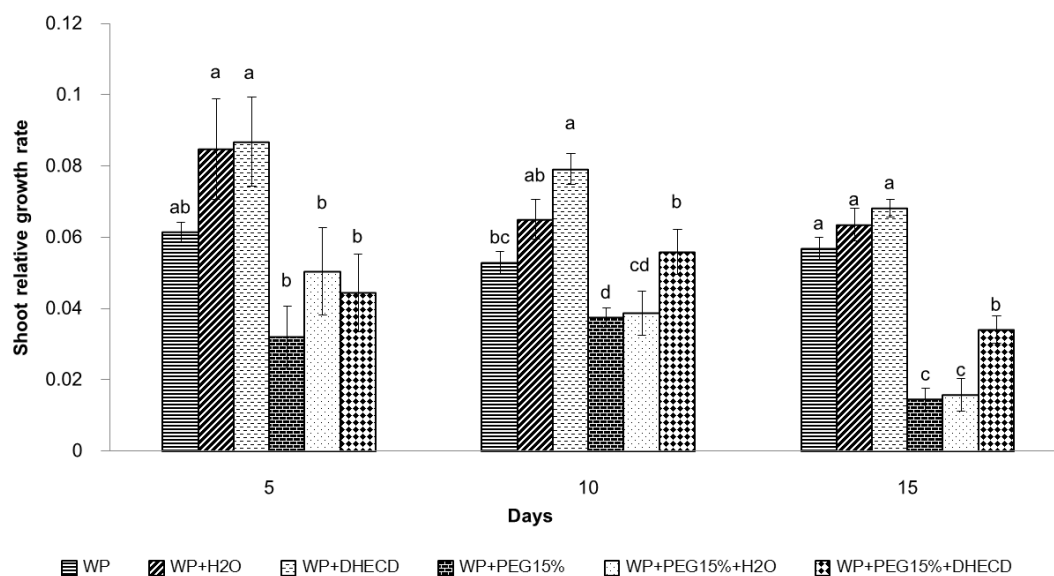
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนต้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนต้นน้อยกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและพ่นด้วยสาร DHECD มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ และการให้สาร DHECD กับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติทำให้ต้นข้าวมีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนต้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำ (ภาพประกอบ 42)

4.2. อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนราก

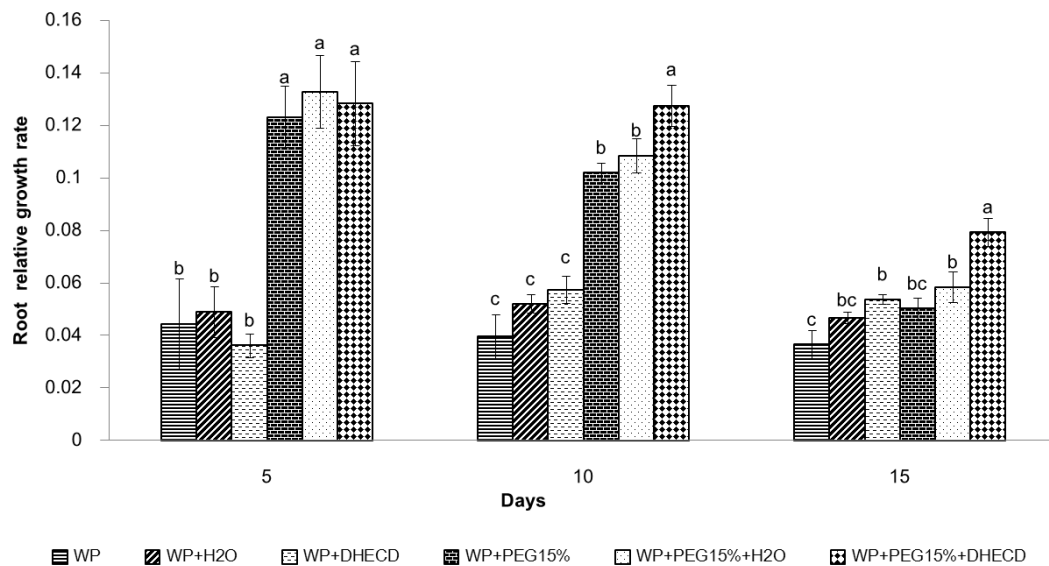
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนรากไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10 และ 15 วัน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยสาร DHECD มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนรากไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่พ่นด้วยน้ำที่อยู่ในสภาวะเดียวกัน (ภาพประกอบ 43)

4.3. อัตราการเติบโตสัมพัทธ์รวมในส่วนต้นและราก

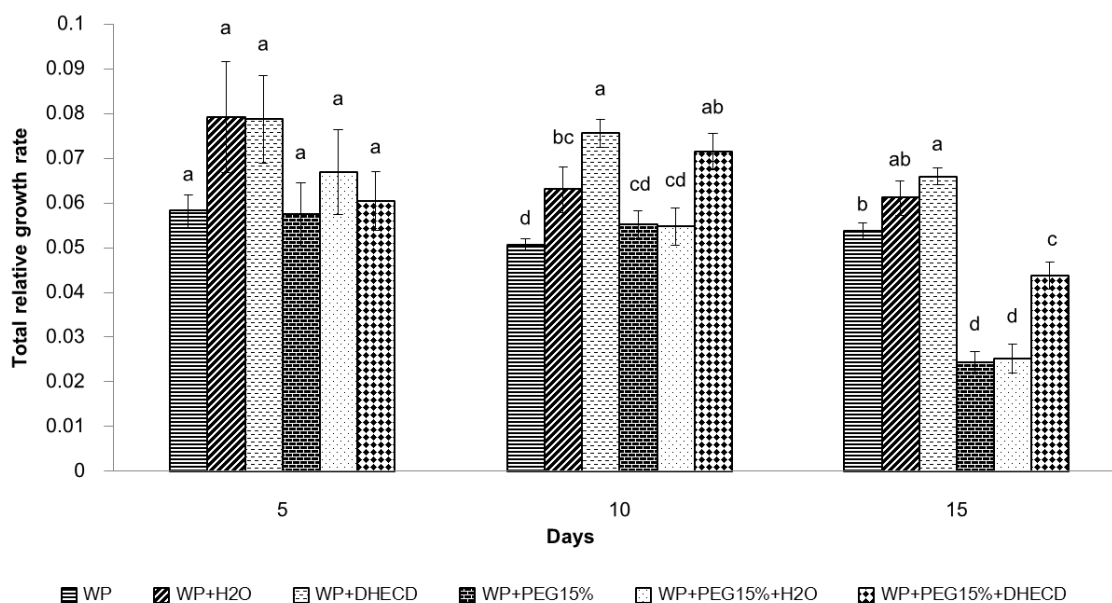
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์รวมในส่วนต้นและรากไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์รวมในส่วนต้นและรากน้อยกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์รวมในส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10 และ 15 วัน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยสาร DHECD มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์รวมในส่วนต้นและรากไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่พ่นด้วยน้ำในวันที่ 5 และ 15 และส่วนในวันที่ 10 พบว่าต้นข้าวที่พ่นด้วยสาร DHECD มีอัตราการเติบโตสัมพัทธ์รวมในส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่พ่นด้วยน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพประกอบ 44)



ภาพประกอบ 42 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ± ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



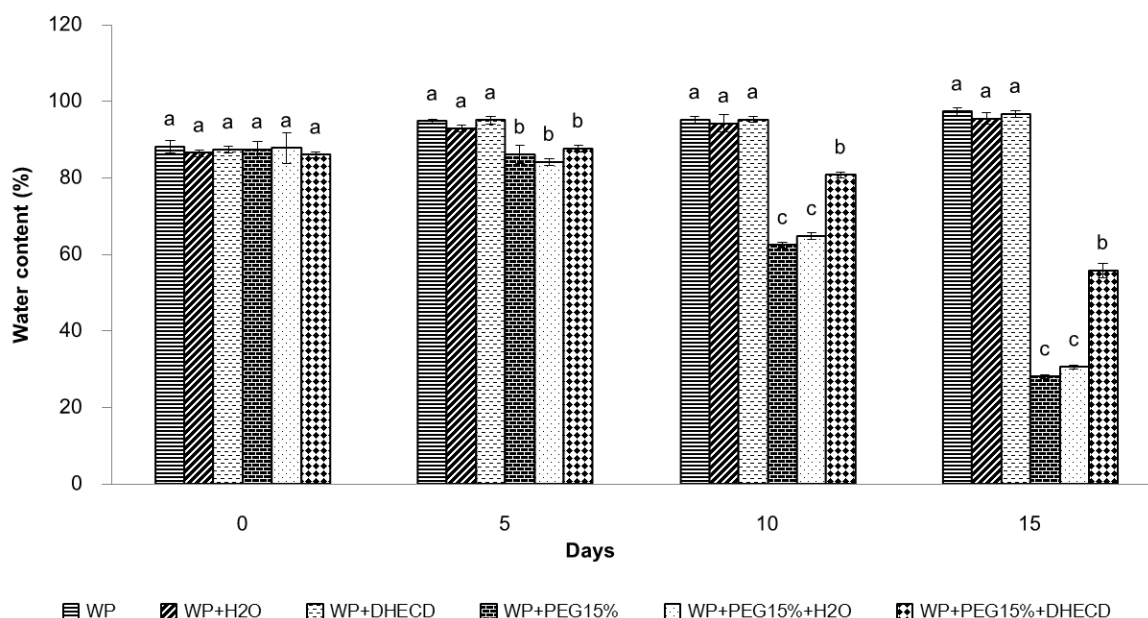
ภาพประกอบ 43 อัตราส่วนสัมพัทธ์ในส่วนรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ± ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 44 อัตราการเติบโตสัมพัทธ์รวมในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

5. ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้น

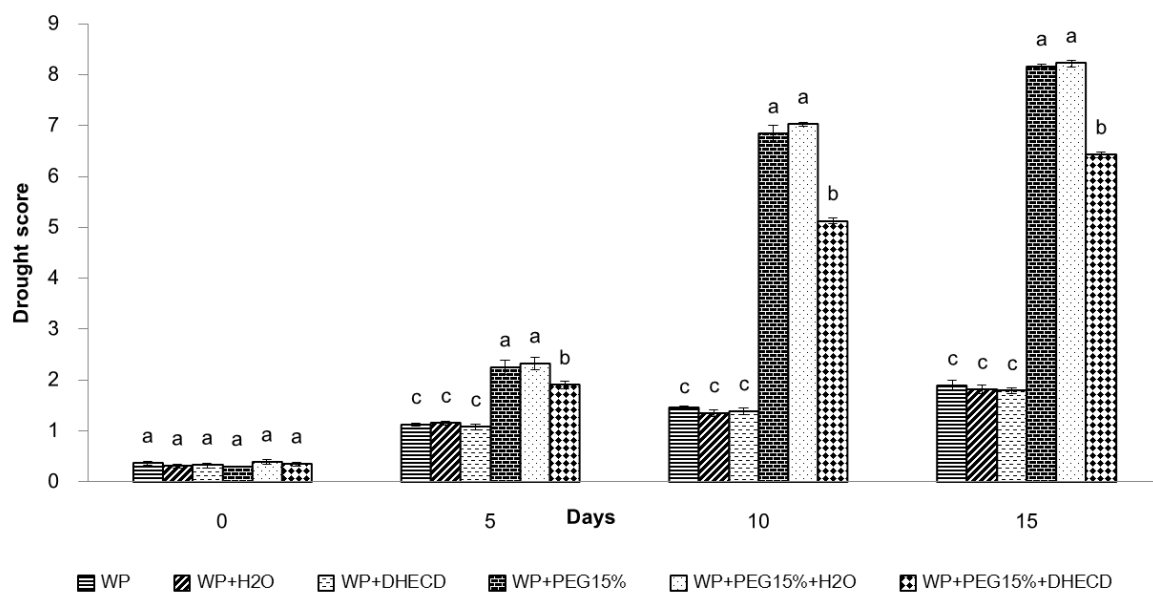
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นน้อยกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ 4.13% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ 24.72 และ 82.62% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 10 และ 15 วัน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยสาร DHECD มีปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่พ่นด้วยน้ำที่อยู่ในสภาวะเดียวกัน (ภาพประกอบ 45)



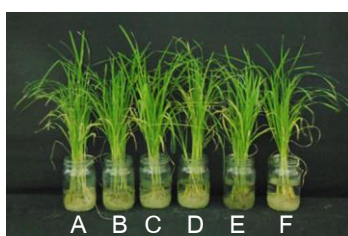
ภาพประกอบ 45 ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

6. คะแนนความเสียหายทางกายภาพของต้นข้าว (Drought score)

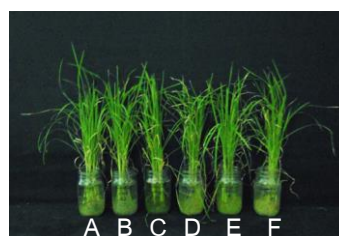
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีคะแนนความเสียหายทางกายภาพของต้นข้าวน้อยกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ 22.37, 37.1 และ 28% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10 และ 15 วัน ตามลำดับ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีคะแนนความเสียหายทางกายภาพของต้นข้าวมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การพ่นสาร DHECD ให้กับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ พบว่าต้นข้าวมีคะแนนความเสียหายทางกายภาพของต้นข้าวไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 46, ภาพประกอบ 47)



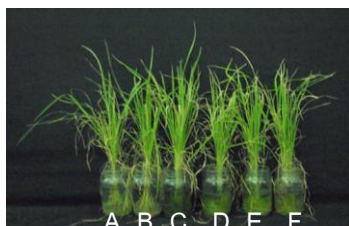
ภาพประกอบ 46 คะแนนความเสียหายทางกายภาพของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจาก
สภาวะแล้ง ± ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



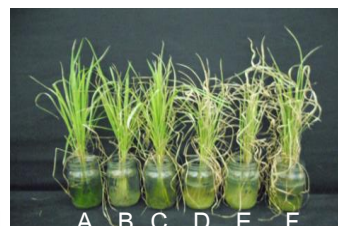
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพประกอบ 47 ต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับความเสียหายทางกายภาพ ตอน 2; (ก) วันที่ 0, (ข) วันที่ 5, (ค) วันที่ 10 และ (ง) วันที่ 15

หมายเหตุ A = สารละลายที่มีธาตุอาหาร WP No.2

B = สารละลายที่มีธาตุอาหาร WP No.2 + ฟันด้วยน้ำ

C = สารละลายที่มีธาตุอาหาร WP No.2 + ฟันด้วย DHECD

D = สารละลายที่มี PEG6000 ความเข้มข้น 15%(w/v)

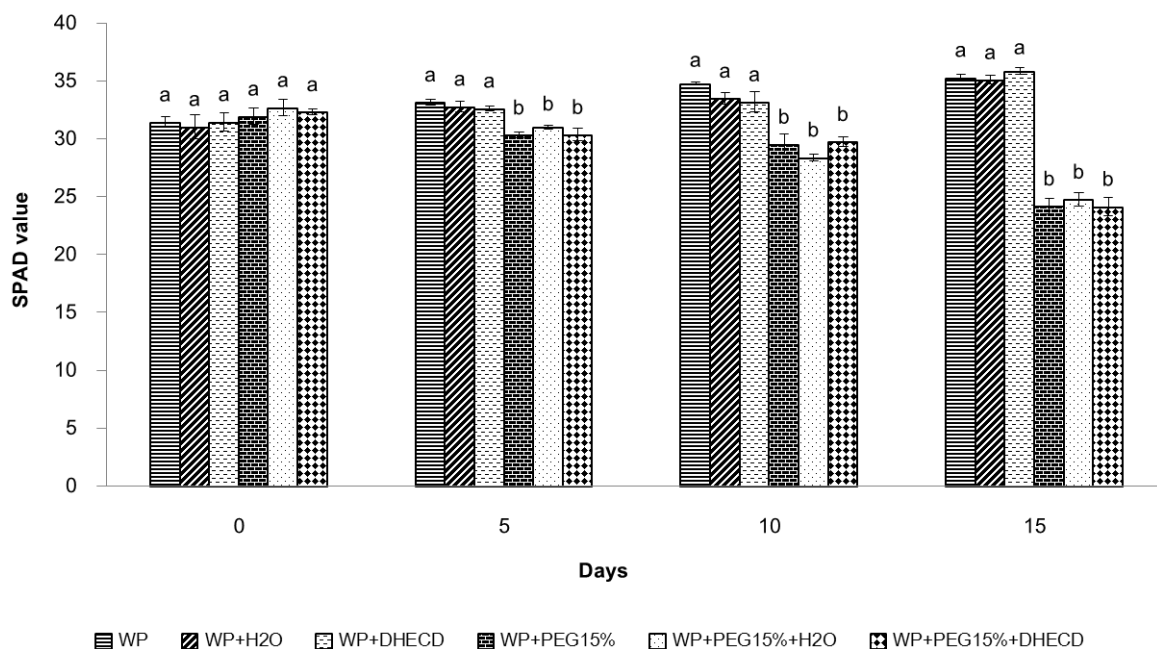
E = สารละลายที่มี PEG6000 ความเข้มข้น 15%(w/v) + ฟันด้วยน้ำ

F = สารละลายที่มี PEG6000 ความเข้มข้น 15%(w/v) + ฟันด้วย DHECD

7. ค่าความเขียวของใบ (SPAD value)

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่ฟันด้วยสาร DHECD มีค่าความเขียวของใบไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่ฟันด้วยน้ำ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีค่าความเขียวของใบน้อยกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ 7.53, 11.56 และ 48.53% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 10 และ 15 วัน โดยมีแนวโน้มของค่าความเขียวของใบลดลงหลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งตลอดระยะเวลาของการทดลอง ในขณะที่การฟันสาร DHECD ให้กับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ

พบว่าต้นข้าวมีค่าความเขียวของใบไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 48)



ภาพประกอบ 48 ค่าความเขียวของใบของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

8. ปริมาณคลอโรฟิลล์

8.1. ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในส่วนต้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ และมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในส่วนต้นน้อยกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ 9.62, 27.28 และ 71.29% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 10 และ 15 วัน โดยมีแนวโน้มของการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในส่วนต้นลดลง หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งตลอดระยะเวลาของการทดลอง ในขณะที่การพ่นสาร DHECD

ให้กับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ พบว่าต้นข้าวมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในส่วนต้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 49)

8.2. ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในส่วนต้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ และมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในส่วนต้นน้อยกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ 6.12, 18.78 และ 46.75% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 10 และ 15 วัน โดยมีแนวโน้มของการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในส่วนต้นลดลงหลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งตลอดระยะเวลาของการทดลอง ในขณะที่การพ่นสาร DHECD ให้กับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ พบว่าต้นข้าวมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในส่วนต้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 50)

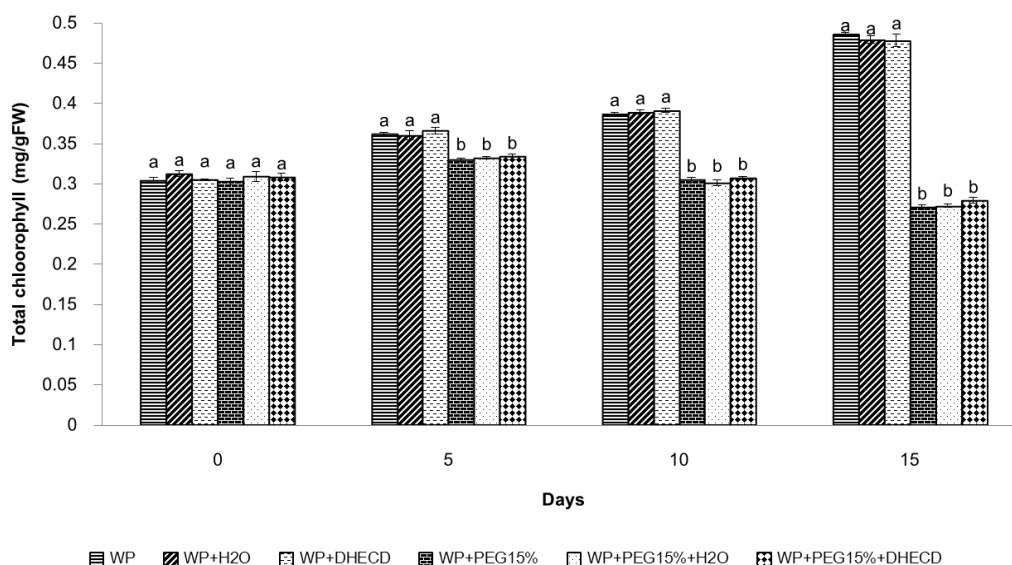
8.3. ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในส่วนต้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ และมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในส่วนต้นน้อยกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ 23.7, 71 และ 185.2% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 10 และ 15 วัน โดยมีแนวโน้มของการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในส่วนต้นลดลงหลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งตลอดระยะเวลาของการทดลอง ในขณะที่การพ่นสาร DHECD ให้กับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ พบว่าต้นข้าวมีการสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์ บี ในส่วนต้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 51)

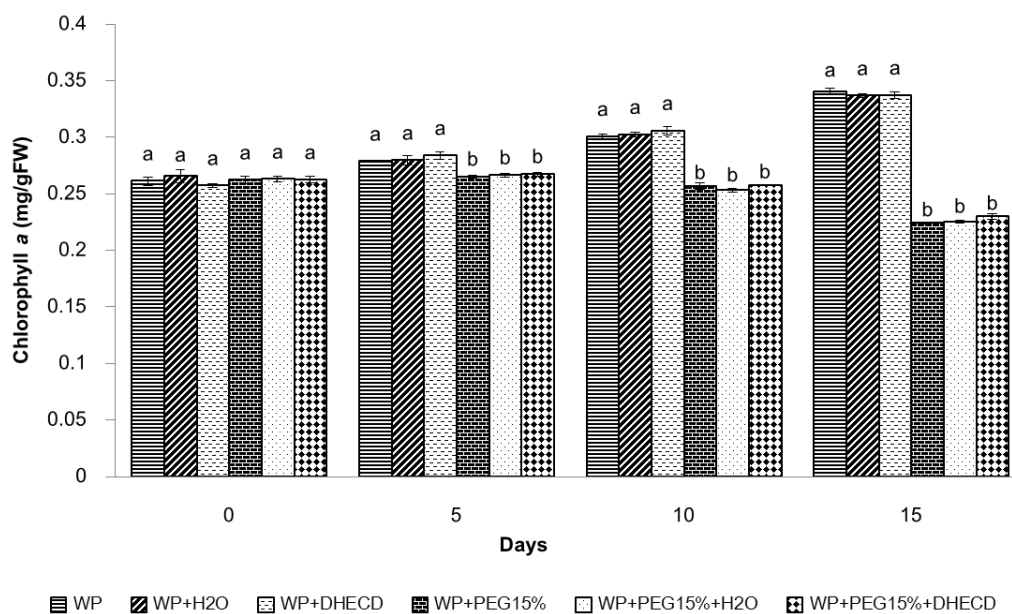
8.4. ปริมาณแคโรทีนอยด์

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ และมีการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์น้อยกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ 13.91, 53.69 และ

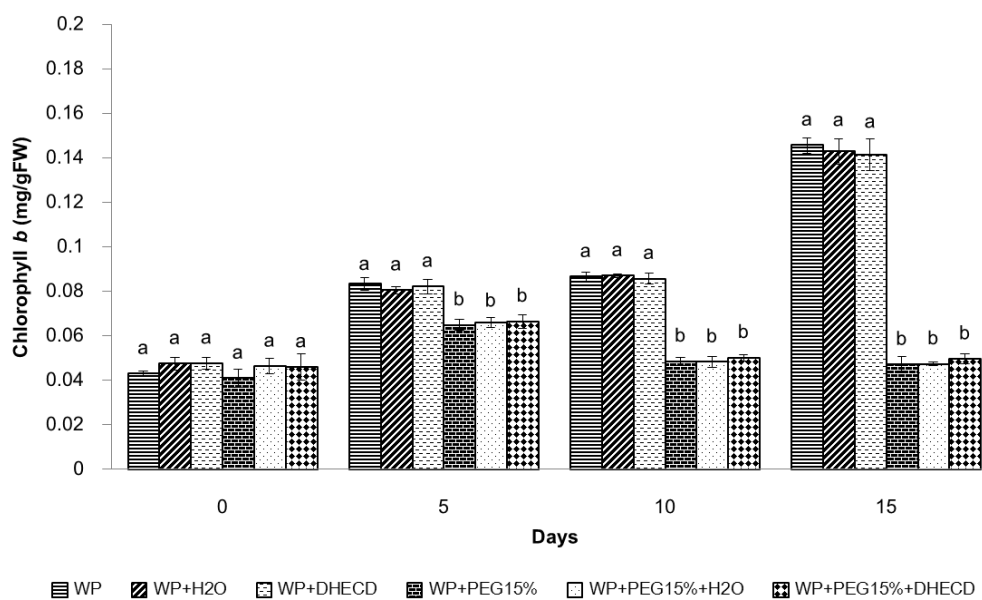
215% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 10 และ 15 วัน โดยมีแนวโน้มของการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงหลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งตลอดระยะเวลาของการทดลอง ในขณะที่การพ่นสาร DHECD ให้กับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติ พบว่าต้นข้าวมีการสะสมปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำตลอดระยะเวลาของการทดลอง (ภาพประกอบ 52)



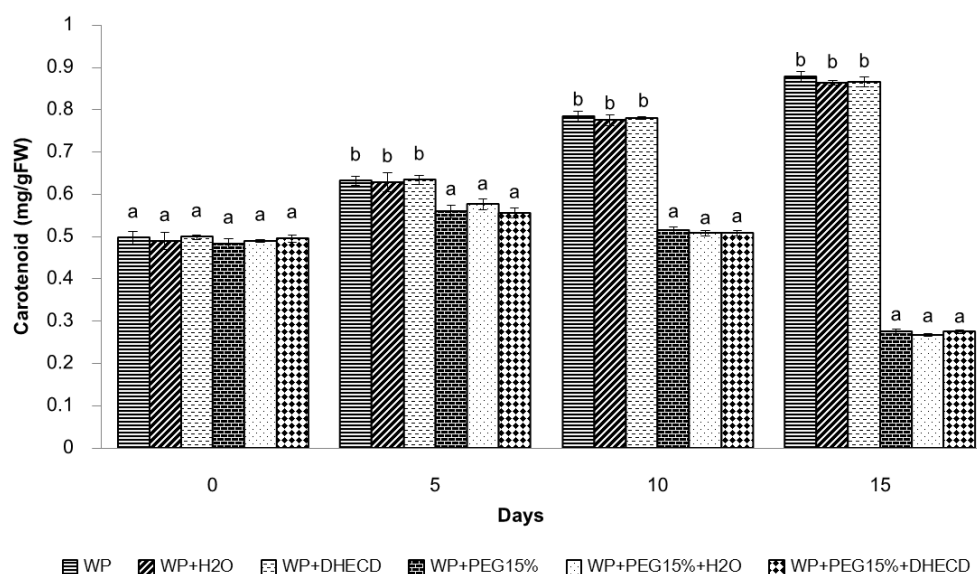
ภาพประกอบ 49 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 50 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง
 $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 51 ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี และปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับ
 ความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 52 ปริมาณแคโรทีนอยด์ของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

9. ปริมาณ MDA

9.1. ปริมาณ MDA ในส่วนต้น

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณ MDA ในส่วนต้นน้อยกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ 5.77, 22.8 และ 16.76% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10 และ 15 วันตามลำดับ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีการสะสมปริมาณ MDA ในส่วนต้นมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การพ่นสาร DHECD ให้กับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติพบว่าต้นข้าวมีการสะสมปริมาณ MDA ในส่วนต้นไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำ (ภาพประกอบ 53)

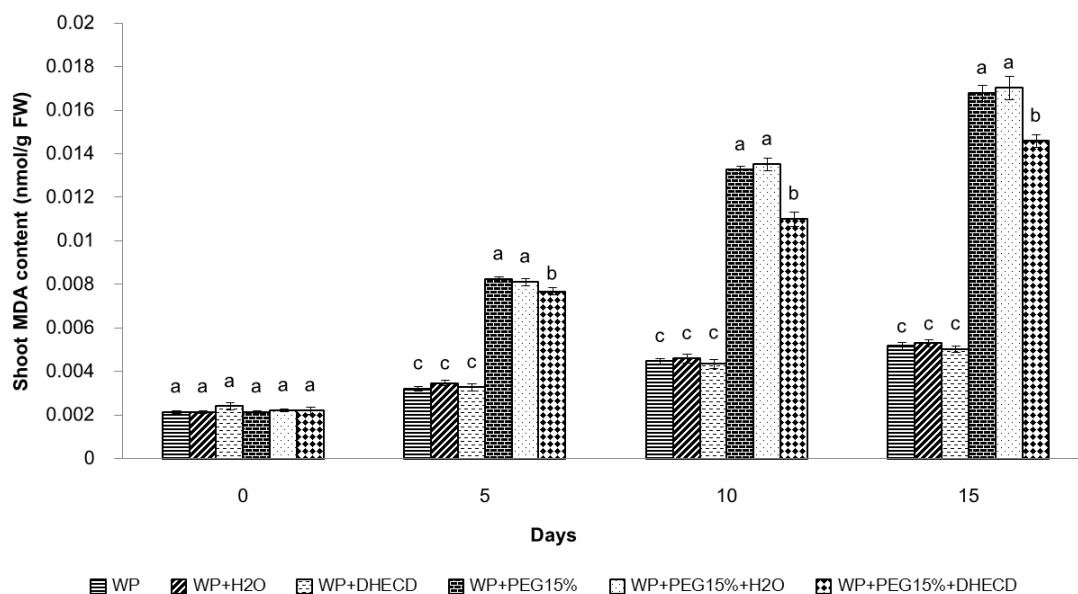
9.2. ปริมาณ MDA ในส่วนราก

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณ MDA ในส่วนรากน้อยกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ 11.36, 14.77 และ 20.70% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะ

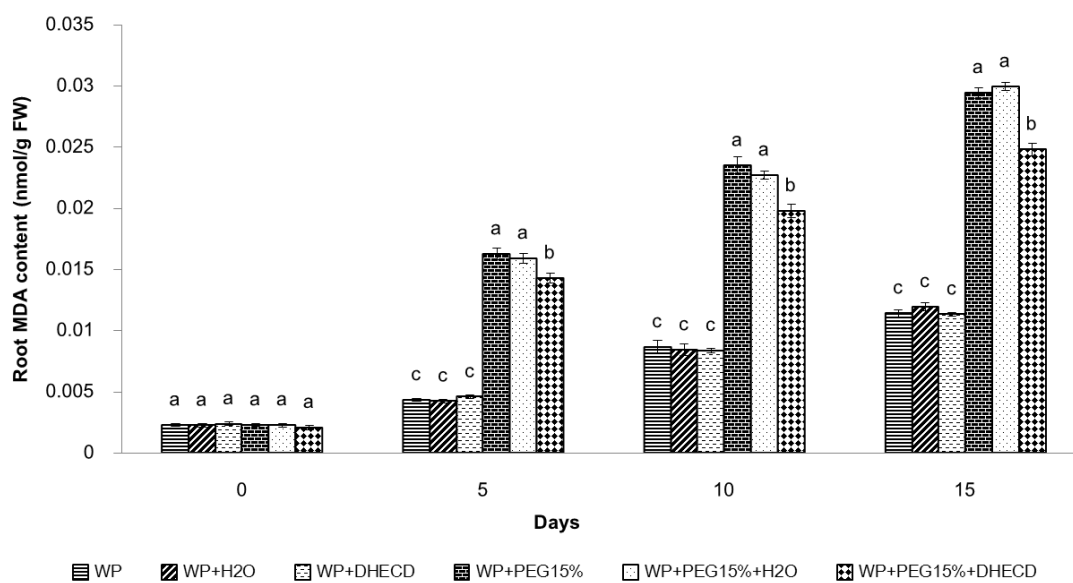
แล้งเป็นระยะเวลา 5, 10 และ 15 วันตามลำดับ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีการสะสมปริมาณ MDA ในส่วนรากมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การพ่นสาร DHECD ให้กับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติพบว่าต้นข้าวมีการสะสมปริมาณ MDA ในส่วนรากไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำ (ภาพประกอบ 54)

9.3. ปริมาณ MDA ในส่วนต้นและราก

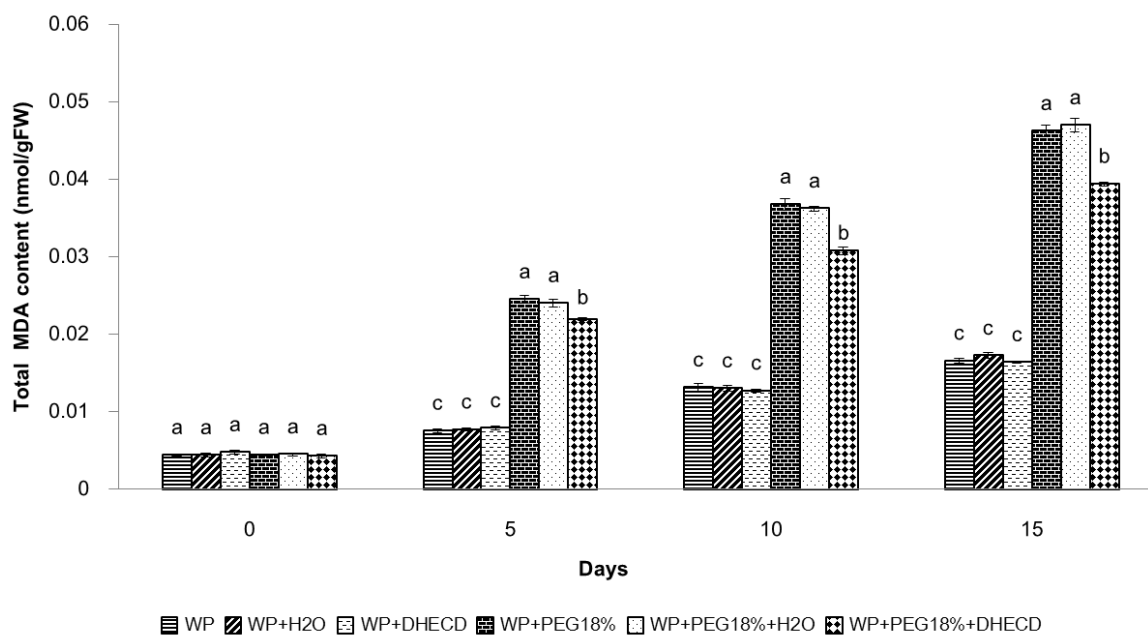
จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณ MDA ในส่วนต้นและรากน้อยกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ 9.4, 17.6 และ 19.25% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10 และ 15 วันตามลำดับ และต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งมีการสะสม ปริมาณ MDA ในส่วนต้นและรากมากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การพ่นสาร DHECD ให้กับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติพบว่าต้นข้าวมีการสะสมปริมาณ MDA ในส่วนต้นและรากไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำ (ภาพประกอบ 55)



ภาพประกอบ 53 ปริมาณ MDA ในส่วนต้นของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง ± ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



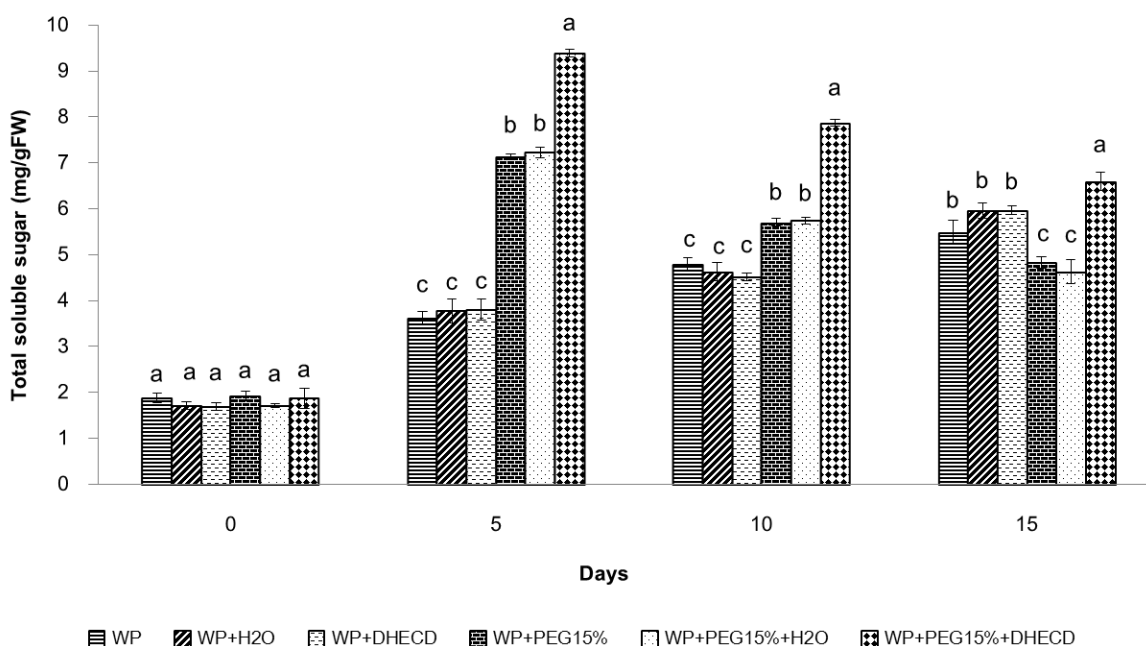
ภาพประกอบ 54 ปริมาณ MDA ในส่วนรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)



ภาพประกอบ 55 ปริมาณ MDA ในส่วนต้นและรากของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

10. ปริมาณน้ำตาลที่สะสมในใบข้าว

จากผลการทดลองพบว่า ต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่พ่นด้วยน้ำ 29.80, 36.91 และ 42.5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5, 10 และ 15 วันตามลำดับ โดยต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมสูงสุดหลังจากได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลา 5 วัน (9.38 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด) และการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมมีแนวโน้มลดลงเมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลายาวนานขึ้น ในขณะที่ต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่อยู่ในสภาวะปกติที่พ่นด้วยน้ำ และมีการสะสมปริมาณน้ำตาลรวมน้อยกว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งในวันที่ 5 และวันที่ 10 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ของการทดลอง (ภาพประกอบ 56)



ภาพประกอบ 56 ปริมาณน้ำตาลที่สะสมในใบข้าวของต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง $\pm$ ค่าความคลาดเคลื่อน (SE; standard error)

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ตอน 1 การหาความสามารถในการทนต่อระดับความรุนแรงของ ความเครียดจากสภาวะแล้งของต้นข้าวพันธุ์ กข31

ข้าว (*Oryza sativa* L.) มีการเจริญเติบโตอยู่สองระยะคือ ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น และระยะการสร้างเซลล์สืบพันธุ์หรือการสร้างเมล็ด ในการการเจริญเติบโตทั้งสองระยะต้องการน้ำในปริมาณที่เพียงพอ (Kamoshita; et al. 2008) ดังนั้นหากข้าวตกอยู่ในสภาวะความเครียดจากสภาวะแล้ง จะทำให้เกิดข้อจำกัดทางด้านการเจริญเติบโต เช่น ทำให้ชีวมวลลดลง (Veena; & Alok. 2015) เนื่องจากความเครียดจากสภาวะแล้งมีผลทำให้ค่าความต้านเต่งภายในเซลล์ลดลง ทำให้เซลล์เกิดการเหี่ยว (Taiz; & Zeiger. 2006) ส่งผลทำให้การยืดขยายตัวของเซลล์ และการแบ่งเซลล์ลดลง (Shao; et al. 2008) ทำให้ข้าวเกิดการปรับตัวทางด้านสรีรวิทยาเพื่อรักษาน้ำภายในเซลล์โดยการปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ (Kadioglu; & Terzi. 2007) แต่การปิดปากใบอาจส่งผลทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงไม่สามารถแพร่เข้าไปในใบได้ทำให้เกิดข้อจำกัดในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Yang; et al. 2014; Singh; et al. 2013) รวมไปถึงการลดกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงทำให้อัตราการสร้างอาหารของข้าวลดลง (Centritto; et al. 2009) ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของข้าวลดลง จากผลการทดลองพบว่าต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งที่มีสารละลาย Polyethylene glycol (PEG6000) ซึ่งเป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ดี ทำให้ภายนอกเซลล์มีความเข้มข้นของสารมากกว่าความเข้มข้นของสารภายในเซลล์ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ภายนอกเซลล์น้อยกว่าปริมาณน้ำที่อยู่ภายในเซลล์ ทำให้เกิดการดูดน้ำของข้าวลดลง (Siviritepe; & Dourado. 1995) และทำให้การเติบโตของข้าวในส่วนของ การสะสม น้ำหนักสดของส่วนต้น น้ำหนักแห้งของส่วนต้น และการเพิ่มความยาวของส่วนต้นรวมไปถึงอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนของต้นลดลงเนื่องจากในสภาวะที่พืชขาดน้ำจะส่งผลทำให้ความเต่งภายในเซลล์ พืชมีค่าลดลง ทำให้อัตราการขยายตัวของเซลล์ลดลง (Ueda; et al. 2004) ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ (Nishiyama I. 1983; Heenan D P. 1984; Namuco; & O'Toole. 1986; Wood; et al. 2006) รายงานว่าความเครียดจากสภาวะแห้งแล้งสามารถส่งผลกระทบต่อ การ

เจริญเติบโตของพืชได้หลายชนิดโดยเฉพาะข้าวที่อยู่ในระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและความเครียดจากสภาวะแล้งส่งผลทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในดินลดเหลือเพียง 25% มีผลทำให้ผลผลิตของต้นข้าวลง 30-40% (Guan-fu FU; et al. 2011) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าข้าวเป็นพืชที่ต้องการน้ำตลอดทั้งวัฏจักรเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น ดังนั้นถ้าหากข้าวได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งจะส่งผลทำให้การสะสมน้ำในท่อน้ำและการสะสมน้ำในท่อน้ำของส่วนต้นลดลงและทำให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาภายในของต้นข้าว (Veena; & Alok. 2015) นอกจากนี้สภาวะขาดน้ำยังส่งผลทำให้พืชเกิดกลไกการปรับตัวเพื่อให้การเจริญของพืชสามารถดำเนินต่อไปได้ เช่น กลไกการรักษาระดับการดูดน้ำโดยการเพิ่มการเติบโตของส่วนรากและลดการเติบโตของส่วนยอด รากพืชที่มีการหยังลึกและแพร่กระจายได้ดีจะช่วยให้พืชสามารถดูดน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สายันท์ สดุดี. 2534) และจากผลการทดลองพบว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง มีการการเติบโตของข้าวในการสะสมน้ำในท่อน้ำของส่วนราก น้ำในท่อน้ำของส่วนราก และความยาวของส่วนรากรวมไปถึงอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ในส่วนรากที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ สุมาลี คงสอดทรัพย์; และวัฒนา พัฒนากุล. (2012) รายงานว่าต้นข้าวที่อยู่ในระยะการเจริญทางด้านลำต้นหรือระยะต้นกล้า เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งจะมีการสะสมน้ำในท่อน้ำของส่วนต้นที่ลดลง แต่จะมีการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำในท่อน้ำของส่วนรากที่เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามหากต้นข้าวได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลานาน จะส่งผลให้กลไกในการปรับตัวของต้นข้าวเพื่อรักษาความสมดุลของน้ำในต้นข้าวทำงานได้น้อยลงลงเป็นผลทำให้ปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นลดลง ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ รังสิมา วิเศษศรี; และวัฒนา พัฒนากุล. (2012) รายงานว่าต้นข้าวโพดที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลานาน จะมีการสะสมปริมาณน้ำสัมพัทธ์ในส่วนต้นลดลง ทำให้ส่งผลต่อสรีรวิทยารวมไปถึงกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช โดยผลความเครียดจากสภาวะแล้งจะทำให้เกิดสารประกอบออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species; ROS) ซึ่งสารเหล่านี้มีความคุณสมบัติในการทำลายเยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์ทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม, ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี และปริมาณแคโรทีนอยด์ มีปริมาณลดลง ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Navarri-Izzo; et al. (1994) รายงานว่าหากพืชได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งเป็นระยะเวลานานจะส่งผลให้เกิดอนุมูลอิสระประเภท superoxide anion radical (O_2^-) และ hydrogen peroxide (H_2O_2) ที่มีความสามารถในการสร้างความเสียหายให้กับโครงสร้างของผนังเซลล์โดยตรง

ส่งผลทำให้เซลล์และองค์ประกอบภายในเซลล์ได้รับความเสียหาย ทำให้ต้นข้าวได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งได้รับความเสียหายทางกายภาพของต้นข้าวที่เพิ่มขึ้นตามระดับความรุนแรงของความเครียดจากสภาวะแล้งและระยะเวลาที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

ตอน 2 ศึกษาผลของสาร 7,8-dihydro-8 α -20- hydroxyecdysone (DHECD) ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวพันธุ์ กข31 ภายใต้ความเครียดจากสภาวะแล้ง

สาร DHECD เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่มีโครงสร้างและคุณสมบัติคล้ายกับบราสสิโนสเตียรอยด์ เช่น การใช้ระดับความเข้มข้นของ บราสสิโนสเตียรอยด์ EBR ที่ระดับ 0.01 μ M และ DHECD ที่ระดับ 0.1 μ M ฉีดพ่นจากภายนอกให้กับต้นกล้าข้าว ทำให้ต้นกล้าข้าวสามารถทนทานอุณหภูมิต่ำได้ดีที่สุดเมื่อพิจารณาจากการรักษาระดับของค่า relative water content (RWC) การลดลงของปริมาณ malondialdehyde (MDA) และการรักษาระดับของดัชนีความเขียวของใบข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูงวิกฤติ (Thussagunpanit; et al. 2013) บราสสิโนสเตียรอยด์เป็นสารที่มีความสามารถในการกระตุ้นการยึดตัวของเซลล์ทำให้องค์ประกอบของเซลล์ยืดยาวมากขึ้น และเร่งการแบ่งตัวของเซลล์ และจัดเป็นสารที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการทนต่อความเครียดต่าง ๆ เช่น ความเครียดจากอุณหภูมิสูงและต่ำ ความเครียดจากภัยแล้ง และความเครียดความจืดเค็มให้กับพืช (Syed; et al. 2011) สารบราสสิโนสเตียรอยด์ช่วยลดการเกิดการสลายอนุมูลอิสระพวก reactive oxygen species (ROS) เช่น superoxide anion radical ($O_2^{\cdot -}$) และ hydrogen peroxide (H_2O_2) ในต้นข้าวโพด ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะขาดน้ำส่งผลทำให้การเกิด lipid peroxidation ลดลง (Neveen; et al. 2015) จากการศึกษาบทบาทของบราสสิโนสเตียรอยด์พบว่า การใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 mg/L จะช่วยส่งเสริมความสามารถในการทนต่อสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และชี้ให้เห็นว่าการใช้สารบราสสิโนสเตียรอยด์ที่ความเข้มข้น 10^{-7} M และ 10^{-9} M สามารถสร้างความทนทานต่อความเครียดจากความเค็มให้กับต้นข้าวได้ (Isha; et al. 2013) จากผลการทดลองพบว่าต้นข้าวที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ความเข้มข้น 10^{-5} โมลาร์ ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์คล้ายกับฮอร์โมนพืชบราสสิโนสเตียรอยด์ เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง มีผลในการช่วยเพิ่มการเติบโตของพืชในส่วนของการสะสมน้ำในส่วนของส่วนต้นและน้ำในส่วนของส่วนราก น้ำหนักแห้งของส่วนต้นและน้ำหนักแห้งของส่วนราก ความยาวของส่วนต้นและรากได้อย่างชัดเจน ซึ่งโดยปกติ

ความเครียดจากสภาวะแล้งจะทำให้อัตราการเติบโตของพืชลดลง เนื่องจากในสภาวะที่พืชขาดน้ำจะส่งผลทำให้ความเต่งภายในเซลล์พืชมีค่าลดลง ทำให้อัตราการขยายตัวของเซลล์ลดลง (Ueda; et al. 2004) ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ ตูลาพร แก้วแก่น; และวัฒนา พัฒนากุล. (2006) พบว่าต้นข้าวที่ปลูกในสภาวะแล้งจะมีการเติบโตทางด้านลำต้นลดลง โดยต้นข้าวมีความยาวของส่วนต้นน้อยกว่าต้นข้าวที่ไม่ได้รับสภาวะแล้ง นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าฮอร์โมนบราสซิโนสเตอรอยด์ยังช่วยกระตุ้นการแพร่กระจายในส่วนของรากต้นข้าว โดยมีผลต่อการกระตุ้นให้ต้นข้าวมีกลไกการปรับตัวทางด้านสรีรวิทยาในการเพิ่มการเจริญของรากเพิ่มพื้นที่ในการดูดน้ำได้มากขึ้น (Anuradha; & Rao. 2003) และยังช่วยในการรักษาปริมาณน้ำภายในเนื้อเยื่อของส่วนรากเมื่อพืชได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง โดยส่งเสริมการแบ่งเซลล์ และการขยายตัวของเซลล์ในลำต้นและลดการเกิด lipid peroxidation ของเยื่อหุ้มเซลล์ จึงช่วยให้ต้นข้าวสามารถเติบโตได้ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ (วีรศิลป์ สอนจรรยา และคนอื่นๆ. 2556: Bajguz; & Alicja. 2014) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ เกษวรา เมทเมรุรัตน์ และคนอื่นๆ (2555) พบว่าสารบราสซิโนสเตอรอยด์แอนาลอก ที่ความเข้มข้น 10^{-9} โมลาร์ สามารถกระตุ้นการเติบโตด้านความยาวยอดม้นสำปะหลัง และเพิ่มปริมาณน้ำหนักราก น้ำหนักแห้งของส่วนรากฝอยของต้นมันสำปะหลัง นอกจากนี้สาร DHECD ยังมีบทบาทในการช่วยให้พืชที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง มีการสะสมน้ำตาลโดยเฉพาะน้ำตาลซูโครส และอนุพันธ์ของน้ำตาลภายในเนื้อเยื่อพืชเพิ่มขึ้น ซึ่งการสะสมสารที่เป็น compatible solute ภายในเซลล์พืชภายใต้สภาวะแล้งส่งผลทำให้ค่า water potential ภายในเซลล์พืชลดลง ทำให้เพิ่มอัตราการดูดน้ำของพืชได้ดีขึ้น ซึ่งเป็นกลไกการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของพืชที่จะช่วยให้พืชสามารถทนต่อสภาวะแล้งได้ (Norwood; et al. 2000: Watanabe; et al. 2000: Izanloo; et al. 2008) เนื่องจากการสะสมน้ำตาลภายในเซลล์พืชเพิ่มขึ้นเมื่อพืชได้รับสภาวะแล้ง โดยน้ำตาลจะทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับเซลล์ ช่วยป้องกันความเสียหายในส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์ และยังทำหน้าที่เป็นสัญญาณภายในเซลล์ในการตอบสนองต่อความเครียดจากปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ของพืชอีกด้วย (Sheen; et al. 1999: Smeekens S. 2000: Hoekstra; et al. 2001) ส่งผลทำให้ความเสียหายทางกายภาพที่เกิดจากการได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งในต้นข้าวที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยสาร DHECD ลดลง โดยปกติแล้วข้าวที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งจะมีค่าความเสียหายทางกายภาพที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ได้รับ ความเครียดจากสภาวะแล้ง ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Uday; & Priti (2009) นอกจากนี้มีรายงานว่าสารบราสซิโนสเตอรอยด์เป็นสารที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการทนต่อ

ความเครียด และจากผลการทดลองพบว่าต้นข้าวที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยสาร DHECD จะมีปริมาณการเกิด MDA ที่ต่ำกว่าพืชที่ได้รับการฉีดพ่นด้วยน้ำและไม่ได้รับการฉีดพ่น ซึ่งโดยปกติพืชที่ได้รับการฉีดพ่นจากสภาวะแล้งจะมีปริมาณการเกิด MDA ที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Syed; et al. (2011) รายงานว่าต้นมะเขือเทศที่ได้รับการบราสซิโนสเตียรอยด์จะสามารถกระตุ้นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการกระบวนการสร้างสารอนุมูลอิสระทำให้ต้นมะเขือเทศได้รับความเสียหายน้อยลงหลังจากได้รับความเครียดจากแคดเมียมภายในดิน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า สารบราสซิโนสเตียรอยด์ช่วยกระตุ้นการตอบสนองกับความเครียดแบบ abiotic เช่น ความเครียดจากสภาวะดินเค็ม ความเครียดจากสภาวะแล้ง ส่งผลทำให้พืชสร้างกลไกในการทนต่อสภาวะความเครียดต่าง ๆ รวมทั้งกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารอนุมูลอิสระที่ช่วยลดความเสียหายที่เกิดจาก ROS ส่งผลให้พืชสามารถทนต่อสภาวะที่ไม่เหมาะสม (Andrzej; & Shamsul et al. 2009) เนื่องจากต้นข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งจะมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาและมีการสร้างกลไกการตอบสนองต่อสภาวะแล้งในรูปแบบที่แตกต่างกัน จากการทดลองพบว่าข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการฉีดพ่นด้วยสาร DHECD จะมีกลไกการตอบสนองต่อสภาวะแล้งโดยเพิ่มการสะสมปริมาณน้ำตาลภายในเซลล์ให้สูงขึ้นเป็นผลทำให้ข้าวมีการสะสมปริมาณน้ำตาลภายในเซลล์ที่เพิ่มมากขึ้น และยังช่วยลดการเกิดลิพิดเพอรอกซิเดชันช่วยให้เซลล์ได้รับความเสียหายน้อยลง และส่งผลให้ต้นข้าวสามารถทนต่อสภาวะแล้งได้ดีขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ วีรศิลป์ สอนจรรยา และคนอื่นๆ. (2556) รายงานว่าต้นข้าวที่ได้รับความเครียดจากความร้อนและได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD ที่ความเข้มข้น 10^{-7} , 10^{-6} และ 10^{-5} โมลาร์มีการสะสมปริมาณน้ำตาลที่มากกว่าต้นข้าวที่อยู่ในชุดควบคุมหลังได้รับความเครียดจากความร้อนเป็นเวลา 9 วัน แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ต้นข้าวพันธุ์ กข31 จะไม่มีการตอบสนองต่อสภาวะแล้งโดยการสะสมโพรลีนซึ่งเป็นสาร compatible solute ชนิดหนึ่ง โดยต้นข้าวพันธุ์ กข31 เมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้งและได้รับการฉีดพ่นด้วยสาร DHECD มีการสะสมโพรลีนในปริมาณที่ไม่แตกต่างกับต้นข้าวที่อยู่ในชุดควบคุมในขณะที่พบการสะสมปริมาณน้ำตาลภายในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จากผลการทดลองพบว่าการพ่นด้วยสาร DHECD ไม่มีผลในการกระตุ้นการสะสมรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เช่น การสะสมปริมาณคลอโรฟิลล์รวม, ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม เอ, ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม บี, ปริมาณแคโรทีนอยด์ ในต้นข้าวพันธุ์ กข31 อีกด้วย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สาร DHECD ที่ความเข้มข้น 10^{-5} โมลาร์ มีบทบาทสำคัญในการช่วยเพิ่มความสามารถในการทนแล้งของข้าวพันธุ์ กข31 โดยส่งผลทำให้พืชมีการเติบโตในการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนต้นและรากเพิ่มขึ้น โดยต้นข้าวพันธุ์ กข31 ที่ได้รับการพ่นด้วยสาร DHECD และได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง มีการเติบโตในส่วนของรากที่มีความยาวรากเพิ่มขึ้น และมีการสะสมน้ำหนักแห้งของส่วนรากเพิ่มขึ้น ซึ่งเห็นได้ชัดเจนกว่าการเติบโตในส่วนของต้น และสาร DHECD มีบทบาทในการเพิ่มการสะสมน้ำตาลรวมภายในเนื้อเยื่อพืชซึ่งเป็นกลไกการปรับตัวทางสรีรวิทยาของพืชเพื่อช่วยในการรักษาปริมาณน้ำภายในเนื้อเยื่อพืชให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชเมื่อได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง และยังสามารถใช้ในการบอกถึงความสามารถในการทนแล้งของพืชได้ และช่วยลดปริมาณ MDA ในต้นข้าว

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าสาร DHECD ช่วยเพิ่มความสามารถในการทนต่อสภาวะแล้งของข้าวพันธุ์ กข31 ได้ดีขึ้น โดยการกระตุ้นการเจริญเติบโตทั้งลำต้นและราก รวมถึงส่งผลทำให้มีการสะสมปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นและลดการเกิดปริมาณ MDA เมื่อต้นข้าวได้รับความเครียดจากสภาวะแล้ง

ข้อเสนอแนะ

สามารถนำสาร DHECD มาใช้ในการศึกษาต่อยอดเพื่อเพิ่มความสามารถในการทนต่อสภาวะแล้งและการเพิ่มผลผลิตของพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ เช่น พืชผักเศรษฐกิจชนิดอื่น ๆ ที่สำคัญในประเทศไทย เพื่อรองรับการแก้ปัญหาผลผลิตทางการเกษตรที่ได้รับผลกระทบจากสภาวะแล้งในอนาคต

บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร. (2546). *ข้าวและธัญพืชเมืองหนาวพันธุ์ดี 30 ปี กรมวิชาการเกษตร*. ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.
- กรมอุตุนิยมหาวิทยาลัย. (2557). สืบค้นเมื่อ 16 มีนาคม 2558, จาก <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=71>
- เกษรรา เมทเมรุรัตน์; ลิลลี่ กาวีตะ; มาลี ณ นคร; และอรอุษา คำสุข. (2555). ผลของสารบราสซิโนสเตียรอยด์มีมิก (DHECD) ต่อการเติบโตทางลำต้นและผลผลิตของมันสำปะหลัง. สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2558, จาก http://www.annualconference.ku.ac.th/cd53/01_059_O212.pdf
- ตุลาพร แก้วแก่น; และวัฒนา พัฒนากุล. (2549). ผลของสภาวะขาดน้ำจากความแล้งและความเครียดเกลือต่อลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการและเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตในข้าวระยะต้นกล้า. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 11(4): 260-268.
- ทวี คุปต์กาญจนากุล. (2541). ความรู้เรื่องข้าวและเทคโนโลยีการผลิตข้าว. เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรเทคโนโลยีการผลิตข้าวหอมมะลิคุณภาพดี. กรมวิชาการเกษตรและกรมส่งเสริมสหกรณ์. หน้า1-13.
- บุญหงส์ จงคิด. (2545). การปรับปรุงพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้ต้านทานแล้งเพื่อปลูกในสภาพไร่. *วารสารสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 10 (1): 26-33.
- ประวิทย์ จันท์แจ่ง. (2533). การวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อความแห้งแล้งในพื้นที่อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. วิทยานิพนธ์. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- รังสิมา วิเศษศรี; และวัฒนา พัฒนากุล. (2012). อิทธิพลของกรดซาลิไซลิกต่อการเจริญเติบโตและเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตของข้าวโพดข้าวเหนียวในสภาวะขาดน้ำ. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. วันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2555. 13: 517-527.
- วรวิทย์ พาณิชย์พัฒน์; สุเทพ ลิ้มทองกุล; และสุเทพ นุชสวาท. (2529). ความรู้เรื่องข้าว. ในการทำน่าน้ำฝน. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. 7(พิเศษ): 49-84.
- วาสนา ผลารักษ์. (2523). ข้าว. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์,มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- วิรัตน์ ภูวิวัฒน์. (2539). อิทธิพลของความเข้มแสงระดับต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของ
คะน้า (Chinese kale: *Brassica alboglabra* Bailey) ที่ปลูกในโรงเรือนตาข่าย. *วารสารเกษตร
พระจอมเกล้า*. 14(2): 3-10.
- วีรศิลป์ สอนจรรยา, คณพล จุฑามณี, ลิลลี่ กาวีตะ, วิจิตร ใจอารีย์, อภิชาติ สุขสำราญ; และ ชีรพัฒน์
เทพแก้ว. (2556). ผลของบราสซิโนสเตอรอยด์ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและลิพิดเพอรอกซิ
เดชันของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ภายใต้ภาวะเครียดจากความร้อน. *วารสารพฤกษศาสตร์ไทย* 5
(ฉบับพิเศษ): 183-190.
- ศูนย์ติดตามและแก้ไขปัญหาภัยพิบัติด้านการเกษตร. สืบค้นเมื่อ 16 มีนาคม 2558, จาก
http://www.moac.go.th/download/article/article_20140430144403.pdf
- สายัณห์ สดุดี. (2537). *สภาวะขาดน้ำในการผลิตพืช*. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. หน้า 202.
- สุมาลี คงสอดทรัพย์; และวัฒนา พัฒนากุล. (2012). ผลของการแช่เมล็ดในกรดแอบไซสิกและพาโคลบิว
ทราโซลต่ออัตราการงอกและการเจริญเติบโตของข้าว (*Oryza sativa* L.) ในสภาวะแล้ง. *การ
ประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. วันที่ 17
กุมภาพันธ์ 2555. 13:401-409.
- สถานการณ์การผลิตและการตลาดข้าวของโลก. สืบค้นเมื่อ 16 มีนาคม 2558, จาก
http://www.ricethailand.go.th/home/images/rice_situation/56-57/may_14.pdf
- สรศักดิ์ หวังสินสุจริต. (2542). *การคัดเลือกพันธุ์ข้าว (Oryza sativa L.) ด้านทนต่อสภาพแล้งโดย
เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ*. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สัญญา มั่นทางกูร. (2556). *ภัยแล้งภาคใต้ตอนบนกับการแก้ไขปัญหา*. สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 10
กรมทรัพยากรน้ำ.
- องค์ความรู้เรื่องข้าว. สืบค้นเมื่อ 14 ธันวาคม 2558, จาก
<http://www.brrd.in.th/rkb/varieties/index.php-file=content.php&id=61.htm>
- Andrzej Bajguz; & Shamsul Hayat. (2009). Effects of brassinosteroids on the plant responses to
environmental stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*. 47: 1-8.

- Anuradha, S. & Rao, S. R. (2003). Application of brassinosteroids to rice seeds (*Oryza sativa* L.) reduced the impact of salt stress on growth, prevented photosynthetic pigment loss and increased nitrate reductase activity. *Plant Growth Regulation*. 40: 29-32.
- Bajguz, A.; & Alicja P.N. (2014). Interactive effect of brassinosteroids and cytokinins on growth, chlorophyll, monosaccharide and protein content in the green alga *Chlorella vulgaris* (Trebouxiophyceae). *Plant Physiology and Biochemistry*. 80: 176-183.
- Baskin, S.I.; & H. Salem. (1997). Oxidants, Antioxidants and Free Radicals. *Taylor & Francis*. London.
- Blumwald, E.; G.S. Aharon; & M.P. Apse. (2000). Sodium transport in plant cells. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1465: 140-151.
- Centritto M; Lauteri M; Monteverdi M C; & Serraj R. (2009). Leaf gas exchange, carbon isotope discrimination, and grain yield in contrasting rice genotypes subjected to water deficits during the reproductive stage. *Journal of Experimental Botany*. 60(8): 2325-2339.
- Chang, T.T. and E.A. Bardenas. (1965). The Morphology and Varietal Characteristics of the Rice Plant. Technical Bulletin 4. *The International Rice Research Institute (IRRI)*. Philippines.
- Chang; G.C. Loresto; J.C. O'Toole; & J.L. Armenta-soto. (1982). Strategy and methodology of breeding rice for drought prone area. In M.R. Vega, ed. Drought Resistance in Crops with Emphasis on Rice. *The International Rice Research Institute*. Manila. pp. 214-244.
- Clouse, S.D.; M. Langford; & T.C. McMorris. (1996). A brassinosteroid-insensitive mutant in *Arabidopsis thaliana* exhibits multiple defects in growth and development. *Plant Physiology*. 111(3): 671-678.
- Clouse; & J.M. Sasse. (1998). BRASSINOSTEROIDS: essential regulators of plant growth and Development. *Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 49: 427-451.
- Daniel I. Arnon. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*. 24:1-15.

- De Datta; S.K.; Malabuyoc; J.A.; & Aragon, E.L. (1988). A field screening technique for evaluating rice germplasm for drought tolerance during the vegetative stage. *Field Crops Research*. 19: 123-134.
- Guan-fu FU; Jian SONG; Jie XIONG; Yu-rong LI; Hui-zhe CHEN; Ming-kai LE; & Long-xing TAO. (2011). Changes of Oxidative Stress and Soluble Sugar in Anthers Involve in Rice Pollen Abortion Under Drought Stress. *Agricultural Sciences in China*. 10(7): 1016-1025.
- Grove; M. D.; G. F. Spencer; W. K. Rohwedde; N. Mandava; J. F. Worley; J. D. Warthen; G. L. Steffens; J. L. Flippen-Anderson; & J. C. Cook. (1979). Brassinolide, a plant growth promoting steroid isolated from *Brassica napus* pollen. *Nature*. 281: 216-217.
- Isha Sharma; Erwan Ching; Shivani Saini; Renu Bhardwaj; & Pratap Kumar Pati. (2013). Exogenous application of brassinosteroid offers tolerance to salinity by altering stress responses in rice variety Pusa Basmati-1. *Plant Physiology and Biochemistry*. 69: 17-26.
- Halliwell, B.; & J.M.C. Gutteridge. (1999). Free Radicals in Biology and Medicine. *Oxford Science Publication*. London.
- Heenan D P. (1984). Low temperature induced floret sterility in the rice cultivars Calrose and Inga as influenced by nitrogen supply. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 24: 255-259.
- Henandez, J.; A. Jimenez; P. Mullineaux; & F. Sevilla. (2000). Tolerance of pea plants (*pisum sativum*) to long-term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. *Plant Cell and Environment*. 23:853-862.
- Hodges, D.M.; Delong, J.M.; Forney, C.F; & Prange, R.K. (1999). Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*. 207: 604-611.
- Hoekstra, F.A.; Golovina, E.A.; & Buitink, J. (2001). Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trends in Plant Science*. 6: 431-438.

- Inze, D; & M.V. Montagu. (2002). Oxidative Stress in Plants. *Taylor and Francis*. London.
- Jongdee.B.; S, Fukai; & M. Cooper. (2002). Leaf water potential and osmotic adjustment as physiological traits to improve drought tolerance in rice. *Field Crops Research*. 76:153-163.
- Kadioglu A; & Terzi R. (2007). A dehydration avoidance mechanism: Leaf rolling. *Botanical Review*. 73(4): 290-302.
- Kamoshita A; Chandra Babu R; Boopathi N M; & Shu F K. (2008). Phenotypic and genotypic analysis of drought-resistance traits for development of rice cultivars adapted to rainfed environments. *Field Crops Research*. 109: 1-23.
- Kerepsi, I.; & G. Galiba. (2000). Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. *Crop Science*. 40: 482-487.
- Kotchoni S.O.; & E.W. Gachomo. (2006). The reactive oxygen species network pathways: an essential prerequisite for perception of pathogen attack and the acquired disease resistance in plants. *Journal of Biosciences*. 31(3): 389-404.
- Krishna, P. (2003). Brassinosteroid-Mediated Stress Responses. *Plant Growth Regulation*. 22: 289-297.
- Lamp, C.A.; Forbes S.J.; & Cade J.W. (1990). Grass of Temperate Australia. *Inkata Press*. Sydney.
- Lawrence J. Marnett. (1999). Lipid peroxidation-DNA damage by malondialdehyde. *Mutation Research*. 424: 83-95.
- Izanloo, A.; Condon, A.G.; Langridge, P.; Tester, M.; & Schnurbusch, T. (2008). Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two South Australian bread wheat cultivars. *Journal of Experimental Botany*. 59(12): 3327-3346.
- Madhava Rao,K.V; & Sresty,T.V.S. (2000). Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. *Plant Science*. 157: 113-128.

- Moldenhauer; K.A.K; & Gibbons. J.H. (2003). Rice morphology and development. In: Smith C.W. and Dilday R.H. (eds.) *Rice: Origin, History, Technology, and Production*. John Wiley & Sons, Inc. USA. pp. 103-127.
- Mohammadkhani, N.; & Heidari, R. (2007). Effects of drought stress on protective enzyme activities and lipid peroxidation in two maize cultivars. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 10(21): 3835-3840.
- Money, N. (1989). Osmotic pressure of aqueous polyethylene glycols: relationship between molecular weight and vapor pressure deficit. *Plant Physiology*. 91: 766-769.
- Namuco O S; & O'Toole J C. (1986). Reproductive stage water stress and sterility.I. Effect of stress during meiosis. *Crop Science*. 26, 317-321.
- Navari-Izzo F; Pinzino C; Quartacci P M F; & Sgherri C L M. (1994). Intercellular membranes: kinetics of superoxide production and changes in thylakoids of resurrection plants upon dehydration and rehydration. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*. 102: 187-191.
- Neveen B. Talaat; Bahaa T. Shawky; & Ahmed S. Ibrahim. (2015). Alleviation of drought-induced oxidative stress in maize (*Zea mays* L.) plants by dual application of 24-epibrassinolide and spermine. *Environmental and Experimental Botany*. 113: 47-58.
- Nishiyama I. (1983). Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXVI. The number of ripened pollen grains and the difference in susceptibility to coolness among spikelets on the panicle. *Japanese Journal of Crop Science*. 52, 307-313.
- Norwood, M.; Truesdale, M.R.; Richter, A.; & Scott, P. (2000). Photosynthetic carbohydrate metabolism in the resurrection plant *Craterostigma plantagineum*. *Journal of Experimental Botany*. 51: 159-165.
- Perl-Treves, R.; & A. Perl. (2002). Oxidative stress: an introduction. In D. Inzé and M.V. Montagn (eds.) *Oxidative Stress in Plant*. Taylor and Francis. London. pp. 1-32.

- Raymond, M.J.; & N. Smirnov. (2002). Proline metabolism and transport in maize seedling at low water potential. *Annals of Botany*. 89:813-823.
- Robbins, N.S.; & Pharr, D.M. (1987). Regulation of photosynthetic carbon metabolism in cucumber by light intensity and photosynthetic period. *Plant Physiology*. 85: 592-597.
- Sasse. (2003). Physiological actions of brassinosteroids: an update. *The Journal of Plant Growth Regulation*. 22(4): 276-288.
- Schonfeld, M.A.; R.C.Johnson; B.F.Carver; & D.W. Mornhiweg. (1988). Water relations in winter wheat as drought resistance indicator. *Crop Science*. 28(3): 526 – 531.
- Shao H B; Chu L Y; Shao M A; Jaleel C A; & Mi H M. (2008). Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. *Comptes Rendus Biologies*. 331:433-441.
- Sheen, J.; Zhou, L.; & Jang, J.C. (1999). Sugars as signaling molecules. *Current Opinion in Plant Biology*. 2: 410-418.
- Sigma-Aldrich. (2558). สืบค้นวันที่ 14 ธันวาคม 2558, จาก
<http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/81260?lang=en®ion=TH>
- Singh A; Sengar K; & Sengar R S. (2013). Gene regulation and biotechnology of drought tolerance in rice. *International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research*. 4(6): 547-552.
- Sivritepe; H.O.; & and A.M. Dourado. (1995). The effect of priming treatments on the viability and accumulation of chromosomal damage in aged pea seeds. *Annals of Botany*. 75 : 165-171.
- Smeekeens, S. (2000). Sugar-induced signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 51: 49-81.
- Suksamrarn, A.; T. Tanachatchairatana; & C Sirigarn. (2002). Stereoselective catalytic hydrogenation of D7-6-ketosteroids in the presence of sodium nitrite. *Tetrahedron* 58: 6033-6038.

- Syed Aiman Hasan; Shamsul Hayat; & Aqil Ahmad. (2011). Brassinosteroids protect photosynthetic machinery against the cadmium induced oxidative stress in two tomato cultivars. *Chemosphere*. 84: 1446-1451.
- Taiz L; & Zeiger E. (2006). Plant Physiology. Fourth Edition. Sinauer Associates. Sunderland, MA. p 764.
- The International Rice Resherch Institute (IRRI). (1985). Fourth Edition. The Flowering Response of the Rice Plant to Photoperiod. *The International Rice Research Institute, Philippines*. The Japan Policy Research Institute.
- Thomas G. Brock. (2558). *Radiation Linked to Oxidative Injury*. สืบค้นวันที่ 14 ธันวาคม 2558, จาก <https://www.caymanchem.com/app/template/Article.vm/article/2165>
- Thussagunpanit, J.; K. Jutamanee; W. Chai-arree; & and L. Kaveeta. (2013). Increasing photosynthetic efficiency and pollen germination with 24-epibrassinolide in rice (*Oryza sativa* L.) under heat stress. *Thai Journal Botany*. 4 (special issue): 135-143.
- T.W. Goodwin; & E.I. Mercer. (1988). Introduction to plant biochemistry. Second Edition. *Pergamon Press*. New York.
- Uday K.; Divi; & Priti Krishna. Brassinosteroid: a biotechnological target for enhancing crop yield and stress tolerance. *New Biotechnology*. 26:131-136.
- Ueda, A.; Kathiresan, A.; Inada, M.; Narita, Y.; Nakamura, T.; Shi, W.; Takabe, T.; & Bennett, J. (2004). Osmotic stress in barley regulates expression of a different set of genes than salt stress does. *Journal of Experimental Botany*. 55: 2213-2218.
- Vajrabhaya, M.; & Vajrabhaya, T. (1991). Somaclonal Variation of Salt Tolerance in Rice. *Biotechnology in Agriculture and Forestry*. p 368-382.
- Vaughan, D.A. (1989). The genus *Oryza* L. Current status of taxonomy. *The International Rice Research Institute*. 138: 1-21.
- Veena PANDEY; & Alok SHUKLA. (2015). Acclimation and Tolerance Strategies of Rice under Drought Stress. *Rice Science*. 22(4): 147-161.

- Watanabe, S.; Kojima, K.; Ide, Y.; & Satohiko, S. (2000). Effects of saline and osmotic stress on proline and sugar accumulation in *Populus euphratica* in vitro. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. 63(3): 199-206.
- Werawattanametin, K.; V. Podimuang; & A. Suksamrarn. (1986). Ecdysteroids from *Vitex glabrata*. *Journal of natural products*. 49(2): 365-366.
- Wood A W; Tan D K Y; Mamun E A; & Sutton B G. (2006). Sorghum can compensate for chilling-induced grain loss. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 192, 445-451.
- Yang P M; Huang Q C; Qin G Y; Zhao S P; & Zhou J G. (2014). Different drought-stress responses in photosynthesis and reactive oxygen metabolism between autotetraploid and diploid rice. *Photosynthetica*. 52(2): 193-202.
- Zhang, J.; H.G. Zheng; A. Aarti; G. Pantuwan; T.T. Nguyen; J.N. Tripathy; A.K. Sarial; S. Robin; R.C. Babu; B.D. Nguyen; S. Sakarung; A. Blum; & H.T. Nguyen. (2001). Locating genomic regions associated with components of drought resistance in rice: Comparative mapping within and across species. *Theoretical and Applied Genetics*. 103: 19-29.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

1. สารเคมีสำหรับสารละลายธาตุอาหารสูตรดัดแปลง WP No.2

(Vajrabhaya and Najrabhya, 1991)

ชื่อสารเคมี	ปริมาณสาร (g/L)
Macroelement	
Potassium nitrate (KNO_3)	0.58
Calcium sulfate (CaSO_4)	0.50
Magnesium sulfate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0.45
Triple super phosphate	0.25
Ammonium sulfate ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)	0.10
Microelement	
di-sodium ethylene diamine tetraacetate (Na_2EDTA)	0.16
Ferrous sulfate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)*	0.12
Manganese sulfate ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	0.015
Boric acid (H_3BO_3)	0.05
Zinc sulfate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	0.0015
Potassium iodine (KI)	0.001
Sodium molybdate ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	0.0001
Copper sulfate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	0.00005
Cobalt chloride ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	0.00005

น้ำเหล็ก 2 ml/L

Unilate 0.06 g/L

*การเตรียม FeSO_4 stock ความเข้มข้น 30 g/L (1L)

1. ชั่ง Na_2EDTA 40 กรัม และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 30 กรัม
2. แยกละลายในน้ำกลั่น 500 ml ที่ละตัว ที่อุณหภูมิ 70-90 องศาเซลเซียส
3. ผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกัน แล้วพ่นพองอากาศประมาณ 3-4 ชั่วโมง จนกระทั่งสารละลายใส

2. การเตรียม 3% sulfosalicylic acid

ชั่งสาร sulfosalicylic acid 3 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3. การเตรียม acid ninhydrin

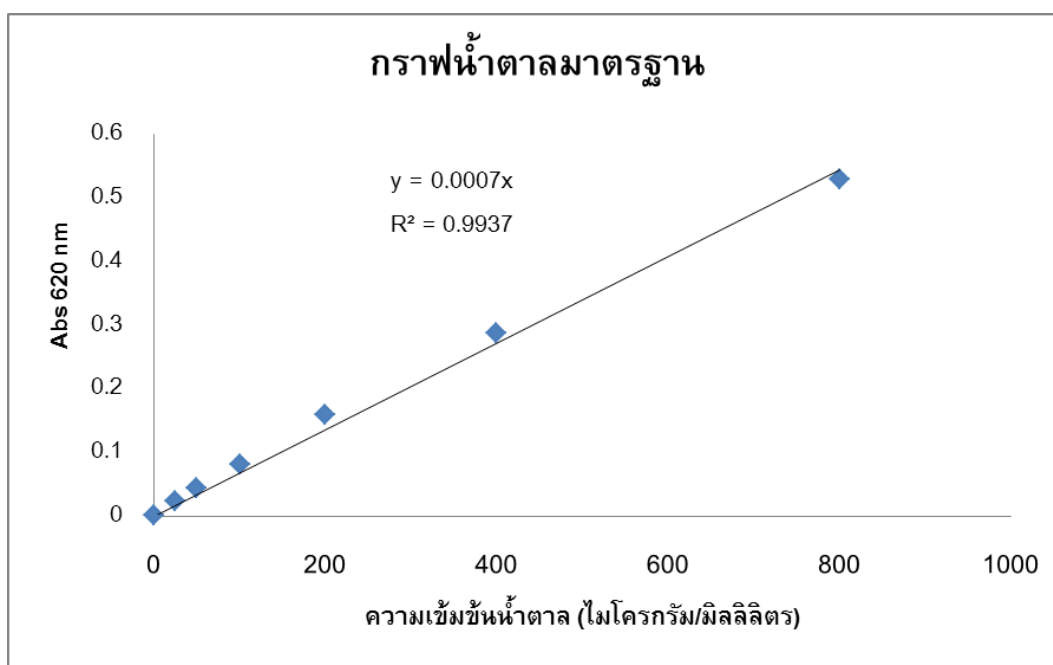
ชั่ง ninhydrin 1.25 กรัม ผสมกับ glacial acetic acid ปริมาตร 30 มิลลิลิตร และ 6 M phosphoric acid 60 มิลลิลิตร นำสารที่ผสมแล้วไปอุ่นบน hot plate และคนให้ละลาย (acid ninhydrin จะต้องเตรียมก่อนทุกครั้งที่ทำกรวิเคราะห์ และเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียสได้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง)

4. การเตรียม PEG6000 ที่ความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20%(w/v)

ชั่งสารละลาย PEG6000 5 กรัมต่อปริมาตรน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร (เตรียมสารละลาย PEG6000 5%(w/v)) สำหรับการเตรียมสารละลาย PEG6000 10, 15 และ 20%(w/v) ใช้ PEG6000 10, 15 และ 20 กรัม ต่อปริมาตรน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ

5. การทำกราฟมาตรฐาน Total Soluble Sugar

เตรียมสารละลายน้ำตาล ความเข้มข้น 25, 50, 100, 200, 400, 800 และ 1600 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร จากสารละลายน้ำตาลมาตรฐานความเข้มข้น 7 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร แล้วนำมาวัดค่า การดูดกลืนแสง เพื่อทำกราฟมาตรฐานของสารละลายน้ำตาล



ภาพประกอบ 57 กราฟน้ำตาลมาตรฐาน





ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล นางสาวกิตติญา พรรณา

วันเดือนปีเกิด 19 ตุลาคม 2533

สถานที่เกิด โรงพยาบาลเชิงคำ จ.พะเยา

สถานที่อยู่ปัจจุบัน 202 หมู่ 14 ต.น้ำแวน อ.เชียงคำ จ.พะเยา

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2551 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
จากโรงเรียนวัฒโนทัยพายัพ เชียงใหม่

พ.ศ. 2555 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี
จากมหาวิทยาลัยพะเยา

พ.ศ. 2558 จบการศึกษาระดับปริญญาโท
จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ