



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงสรีรวิทยาของ
ข้าวหอมมะลิ 105 (*Oryza sativa* L. var. Khao Dawk Mali 105)
และหญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* L.)
ภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง

Study of phenotypic changes of
aromatic rice (*Oryza sativa* L. var. Khao Dawk Mali 105) in comparison
with barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* L.)
under heat stress condition

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงสรีรวิทยาของ
ข้าวหอมมะลิ 105 (*Oryza sativa* L. var. Khao Dawk Mali 105)
และหญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* L.)
ภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง

Study of phenotypic changes of
aromatic rice (*Oryza sativa* L. var. Khao Dawk Mali 105) in comparison
with barnyard grass (*Echinochloa crus-galli* L.)
under heat stress condition

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

b. 12681428

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557 สัญญาเลขที่ 2557-01-04-003 ซึ่งคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้เล็งเห็นผลกระทบจากภาวะการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศและความแปรปรวนของสภาพอากาศที่ส่งผลต่อการผลิตข้าว ที่จะส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหาร (Food security) ของโลกในอนาคตอันใกล้นี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณจึงขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร สจล. ที่สนับสนุนงานวิจัยชิ้นนี้ให้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
บทนำ	1
ตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	12
ผลการทดลอง	18
วิจารณ์ผลการทดลอง	39
สรุปผลการทดลอง	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

วิกฤตภัยธรรมชาติและความแปรปรวนของสภาพอากาศในแต่ละพื้นที่ ไม่เพียงส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์เท่านั้น แต่ยังส่งผลโดยตรงต่อพืชพรรณหลาย ๆ ชนิด รวมทั้ง “ข้าว” ซึ่งเป็นแหล่งอาหารหลักของโลก ทั้งนี้ภาวะโลกร้อนมีผลโดยตรงต่อการผลิตข้าวประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน มีข้าวเป็นพืชอาหารหลักที่ใช้บริโภคภายในประเทศ รวมทั้งเป็นพืชเศรษฐกิจส่งออกที่สำคัญ การที่อุณหภูมิอากาศโดยรวมสูงขึ้นย่อมส่งผลกระทบต่อการผลิตข้าว โดยมีรายงานว่าอุณหภูมิกลางวันที่สูงขึ้นเพียงเล็กน้อย 1-2 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เกษตรกรผู้เป็นหมันและผลผลิตข้าวที่ได้น้อยลง ซึ่งการวิจัยในฟิลิปปินส์พบว่าอุณหภูมิและระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น อันเป็นผลจากสภาวะโลกร้อน ทำให้ประเทศกำลังพัฒนา ที่เป็นแหล่งปลูกข้าวสามารถผลิตข้าวได้น้อยลงร้อยละ 14 ซึ่งจะทำให้ข้าวมีราคาสูงขึ้นถึงร้อยละ 32-37 ภายในปี พ.ศ. 2593 หรือในอีก 37 ปีข้างหน้า (IRRI, 2013) นอกจากนี้ จำนวนประชากรโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ยังอาจส่งผลให้เกิดความต้องการปริมาณอาหารที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย หากการผลิตข้าวยังได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้จะก่อให้เกิดปัญหาต่อความไม่มั่นคงทางอาหาร (Food security) ของโลกอย่างแน่นอน แต่ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางความหลากหลายทางพันธุกรรมของข้าว มีพันธุ์ข้าวที่สามารถปรับตัวได้หลากหลายและจำเพาะต่อสภาพแวดล้อมที่แปรปรวนในแต่ละท้องถิ่น ซึ่งความหลากหลายดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมในการปรับปรุงพันธุ์ได้ มีรายงานว่าข้าวกลุ่ม Indica ซึ่งปลูกกันเป็นหลักในเขตร้อนของภูมิภาคเอเชีย นั้น มีการตอบสนองที่ไวต่ออุณหภูมิที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีลักษณะที่มีความสำคัญของความหลากหลายในการปรับตัวต่อพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง และมีความเป็นไปได้ที่จะนำความหลากหลายดังกล่าวมาใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ให้ทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ (Satake and Yoshida, 1978; Mutsushima et al., 1982)

อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้เกิดความเสียหายระดับเซลล์ตั้งแต่ระดับเล็กน้อยไปจนถึงเซลล์ตายในเวลาเพียงไม่กี่นาที (Schoffl et al., 1999) ภาวะเครียดจากความร้อนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนภายในเซลล์ ไชมันที่เยื่อหุ้มเซลล์ และเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ ในคลอโรพลาสต์ ส่งผลให้เซลล์เสียหายไปในที่สุด ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบแสงที่สอง (photosystem II) ในปฏิกิริยาแสง (light reaction) จะหยุดทำงาน ส่งผลให้ปฏิกิริยาตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏจักรคัลวินเสียสมดุล และหากภาวะเครียดนี้ดำเนินต่อไปเรื่อยๆ สุดท้ายก็อาจจะส่งผลไปถึงการหยุดการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ในคลอโรพลาสต์และไมโทคอนเดรีย รวมทั้งการสลายของเยื่อหุ้มเซลล์และเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์ สูญเสียคุณสมบัติการคัดเลือกและนำสารผ่านเข้า-ออกเซลล์ กระบวนการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิกและโปรตีนถูกยับยั้ง การหายใจระดับเซลล์หยุดและเซลล์ตายไปในที่สุด (Howarth, 2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชแต่ละชนิดจะมีระดับความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่แตกต่างกันแม้แต่ในพืชต้นเดียวกันอวัยวะแต่ละส่วนก็จะมีควมไวหรือความทนทานต่ออุณหภูมิได้ไม่เท่ากันการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ หากเกิดอย่างค่อยเป็นค่อยไปพืชอาจมีกลไกที่สามารถปรับให้เซลล์โครงสร้างหรืออวัยวะต่างๆอยู่ในภาวะสมดุลหรือไม่เกิดอันตรายแต่หากการเปลี่ยนแปลงนั้นเกิดขึ้นอย่างเฉียบพลันหรือเกิดขึ้นมากในระดับที่เกินกว่าที่พืชจะสามารถรักษาสมดุลเอาไว้ได้ โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์จะค่อยเสียหรือหรือถูกทำลายไปจนกระทั่งเซลล์ตายไปในที่สุด (ชุมพล, 2553) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาลักษณะการปรับตัวเชิงสรีรวิทยาต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงของข้าวหอมไทย 2 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (*Oryza sativa* indica cv. Khao Dawk Mali 105) และข้าวปทุมธานี 80 (*O. sativa* cv. Pathumthani 80) ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยและสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง โดยเปรียบเทียบความสามารถในการปรับตัวต่อภาวะเครียดนี้กับวัชพืชรสำคัญในนาข้าว ซึ่งได้แก่ หญ้าข้าวนก (*Echinochloa crus-galli* L.)

นอกจากนี้ พืชยังอาจมีกลไกการปรับตัวต่อสภาวะเครียดจากสิ่งแวดล้อมผ่านกระบวนการสร้างและสะสมกรดแอบไซซิก (Abscisic acid: ABA) ซึ่งเป็นสารควบคุมการเจริญชนิดหนึ่งของพืช เมื่อพืชอยู่ภายใต้สภาวะความเครียด เช่น สภาวะแล้งเซลล์พืชจะสะสมกรดแอบไซซิกในระดับที่เพิ่มสูงขึ้น ผลของกรดแอบไซซิกที่เพิ่มขึ้นในภาวะดังกล่าวที่เห็นได้ชัดคือการปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ (Taiz and Zeiger, 1998; Tradieu and Davies, 1992) ผ่านการสะสมตัวถูกละลายบางชนิด เช่น โพรลีนเพื่อรักษาความต่างศักย์สารละลายภายในเซลล์ไว้ภายในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยกระบวนการรักษาความต่างศักย์ภายในเซลล์เป็นกระบวนการปรับตัวที่สำคัญของพืชกระบวนการหนึ่ง ซึ่งมีรายงานว่าทำให้กรดแอบไซซิกจากภายนอกสามารถกระตุ้นให้พืชเกิดการปรับตัวรูปแบบนี้ได้ภายใต้ภาวะเครียดจากการขาดน้ำในข้าว อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการศึกษาใดที่รายงานเกี่ยวกับผลของการให้กรดแอบไซซิกจากภายนอกที่มีต่อประสิทธิภาพการทนทานต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง และปริมาณการสะสมโพรลีนภายในเซลล์ข้าวหอมไทยทั้งสองสายพันธุ์ดังกล่าว ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยจะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีความสามารถในการทนต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาสายพันธุ์ข้าวและพืชชนิดอื่นต่อไปในอนาคตได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นและรากของข้าวหอมไทย 2 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวปทุมธานี 80 เปรียบเทียบกับวัชพืชรสำคัญในนาข้าว ซึ่งได้แก่ หญ้าข้าวนก
2. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิสูงและผลของการให้กรดแอบไซซิกจากภายนอกที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าวหอมไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพื่อศึกษาปริมาณการสะสมโพรลินในต้นกล้าข้าว เมื่อได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง
4. เพื่อศึกษาปริมาณการสะสมโพรลินในต้นกล้าข้าว เมื่อได้รับกรดแอมไซซิกจากภายนอก
ในภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจเอกสาร

ภาวะโลกร้อนกับการเกษตรและผลกระทบต่อการผลิตข้าว

พื้นที่เกษตรของประเทศไทยครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 30 ของพื้นที่ทั้งประเทศ มีประชากรที่เกี่ยวข้องโดยตรงมากกว่าร้อยละ 40 ของประชากรทั้งหมด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) ระบบการเกษตรร้อยละ 75 เป็นระบบเกษตรอาศัยน้ำฝนมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและฤดูกาล การศึกษาสภาพความแห้งแล้งในรอบหลายร้อยปีของประเทศไทย (Buckley *et al.*, 2007) พบว่ามีผลต่อระบบนิเวศรวมทั้งพื้นที่ป่าและระบบเกษตร

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมีผลกระทบต่อความสมบูรณ์ (Fertility) ของละอองเรณู (Pollen) หรือเกสรตัวผู้ของพืช ซึ่งเมื่อเกิดการผสมกับเกสรตัวเมียจะทำให้พืชติดผล โดยละอองเรณูของพืชชนิดต่างๆ หรือชนิดเดียวกันแต่ต่างสายพันธุ์ ข้าวบางสายพันธุ์มีความอ่อนไหวต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (Baker *et al.*, 1992; Rotter and van DeGeijn, 1999) โดยทำให้อายุข้าวจะสั้นลงและส่งผลทำให้ผลผลิตข้าวลดลง รวมทั้งอาจจะมีผลต่อการระบาดของแมลงและโรคของข้าว (Pinnschmidt *et al.*, 1995; Savary *et al.*, 2005) การขาดน้ำทำให้การผสมเกสรลดลงและลดผลผลิต ข้าวได้ (Ekanayake *et al.*, 1989) ในขณะที่ข้าวบางสายพันธุ์อาจมีละอองเรณูที่ทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดีกว่า เช่น ที่อุณหภูมิสูงถึง 38 องศาเซลเซียส เรณูยังมีความสมบูรณ์เกินกว่าร้อยละ 80 เป็นต้น

ความเครียดที่เกิดจากอุณหภูมิสูง (Temperature stress)

อุณหภูมิที่สูง (Baker and Orlandi, 1995; Kanofsky and Sima, 1995) เกินมากเกินไปกว่าปกติ จะมีผลกระทบโดยตรงต่อพลังงานอิสระของโมเลกุลของสารต่างๆ พลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างพันธะของโมเลกุล รวมไปถึงลักษณะโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์และความต้องการพลังงานที่จะนำไปใช้ในกระบวนการทางชีวเคมีต่างๆ ย่อมจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย พืชแต่ละชนิดจะมีระดับความทนทานต่อการ (ชุมพล, 2553)

เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน แม้แต่ในพืชต้นเดียวกันอวัยวะแต่ละส่วนก็จะมี ความไว หรือความทนทานต่ออุณหภูมิได้ไม่เท่ากัน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหากเกิดอย่าง ค่อยเป็นค่อยไป พืชอาจมีกลไกที่สามารถปรับให้เซลล์หรือโครงสร้างหรืออวัยวะต่างๆ อยู่ในภาวะ สมดุลหรือไม่เกิดอันตราย แต่หากการเปลี่ยนแปลงนั้นเกิดขึ้นอย่างเฉียบพลันหรือเกิดขึ้นมากใน ระดับที่เกินกว่าที่พืชจะสามารถรักษาสมดุลเอาไว้ได้โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์จะค่อยเสียหรือ หรือถูกทำลายไปจนกระทั่งเซลล์ตายไปในที่สุด (ชุมพล, 2553)

อุณหภูมิที่สูงขึ้นเพียงเล็กน้อยอาจมีผลกระทบอย่างมากต่อระบบการสืบพันธุ์ของพืช หลายชนิด เช่น ข้าว มีการศึกษาพบว่าหากพืชได้รับความร้อนหรืออุณหภูมิที่สูงมาก ในช่วงระยะ

ที่พืชเริ่มสร้างดอกหรือกำลังติดผล มักจะส่งผลให้ละอองเรณู (Pollen) เป็นหมัน หรือมีผลผลิตที่ต่ำลงตามลำดับ (ชุมพล, 2553)

ระดับอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเซลล์และโครงสร้างของโปรตีน และเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ในคลอโรพลาสต์นั้นก็เป็นโครงสร้างที่ไวต่อภาวะความเครียดที่เกิดจากอุณหภูมิสูงมาก และมักจะเสียสภาพไป ทำให้ในภาวะที่อุณหภูมิสูงผิดปกติ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจะไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดย (ชุมพล, 2553)

ระบบแสงที่สอง (Photosystem II) ในปฏิกิริยาแสง (Light reaction) จะหยุดทำงาน ซึ่งจะส่งผลให้ปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏจักรคัลวินเสียสมดุล และหากภาวะเครียดนี้ดำเนินต่อไปเรื่อยๆ สุดท้ายก็อาจส่งผลไปถึงการหยุดการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมของกรดนิวคลีอิก (Nucleic acid) และโปรตีน รวมทั้งการสลายของเยื่อหุ้มเซลล์และเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไมโทคอนเดรียซึ่งจะทำให้การหายใจระดับเซลล์หยุด และเซลล์จะตายในที่สุด (ชุมพล, 2553)

จากการศึกษาพบว่าเมื่อเกิดภาวะขาดน้ำจากอุณหภูมิสูง พืชจะมีการสร้างกรดแอบไซซิก (Abscisic acid) เพิ่มมากขึ้นซึ่งจะเป็นสัญญาณทางเคมี (Chemical signal) ที่ทำให้พืชรับรู้ว่เกิดภาวะขาดน้ำ และทำให้เกิดการตอบสนองของต่อภาวะขาดน้ำในลักษณะที่แตกต่างกันไปในอวัยวะแต่ละส่วนของพืช รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงในด้านการเจริญเติบโต และพัฒนาการต่างๆ ของพืช เช่น ปากใบจะปิดให้แคบลง และมีอัตราการเจริญเติบโตของรากสูงกว่ายอด มีลักษณะสัญญาณวิทยาบางประการเปลี่ยนแปลงไป เช่น มีการสร้างขนมากขึ้น เปลือกไม้หนาขึ้น มีหนามมากขึ้น เป็นต้น มีการพัฒนาของอวูลไปเป็นเมล็ดเร็วขึ้น หรือมีละอองเรณูที่เป็นหมันหรือไม่มีชีวิตมากขึ้น ดอกที่สร้างขึ้นมามีลักษณะผิดปกติ และใบร่วง (ชุมพล, 2553)

ในทางสรีรวิทยาพบว่าขณะที่เกิดภาวะขาดน้ำ เมื่อแรงดันเต่งลดลง พืชจะพยายามหาทางรักษาภาวะอ้ารงดุลเอาไว้ กลไกอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นคือ การสร้างสารประกอบไนโตรเจนและคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้เพิ่มมากขึ้นในเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงให้เป็นน้ำตาล เพื่อลดค่าซลลัศกัย์ภายในเซลล์ และทำให้เกิดการออสโมซิสของน้ำกลับเข้ามาในเซลล์ให้มากขึ้น เพื่อชะลอการไม่ไห้แรงดันเต่งลดลง ทำให้เซลล์รักษาสภาพเอาไว้ได้ (ชุมพล, 2553)

ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับกลไกการปรับตัวของข้าวหอมไทยต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงว่าผ่านกระบวนการกระตุ้นการตอบสนองต่อกรดแอบไซซิกหรือไม่ และสามารถรักษาภาวะสมดุลภายในเซลล์ด้วยการสะสมกรดอะมิโนบางชนิดได้หรือไม่ จึงเป็นการศึกษาที่สำคัญต่อการพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ข้าวของไทยในอนาคต

กรดแอบไซซิก (ABSCISIC ACID : ABA)

กรดแอบไซซิก (ABA) เป็นสารควบคุมการเจริญชนิดหนึ่งของพืช ซึ่งเมื่อพืชอยู่ภายใต้สภาวะความเครียด เช่น สภาวะแล้งจะมีปริมาณกรดแอบไซซิกเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้กรดแอบไซซิกยังมีผล ในการกระตุ้นให้มีการสะสมตัวถูกละลายบางชนิด เช่น โพรลีน

Abscisic acid (ABA) ได้รับการตรวจพบและทราบคุณลักษณะทางเคมีในปี ค.ศ.1963 โดย Frederick T. Addicott และเพื่อนร่วมงาน ศึกษาสารประกอบที่เกี่ยวข้องกับการร่วงหลุดของผลฝ้าย และการตั้งชื่อสารประกอบชนิดแรกนี้ออกฤทธิ์ได้นี้ว่า abscisic II สารนี้จะชักนำให้เกิดการร่วง นอกจากนี้ยังมีผลตรงข้ามกับ auxins คือ ยับยั้งการเจริญเติบโต

ปัจจุบันฮอร์โมนที่ชักนำให้เกิดการร่วง คือ ethylene ส่วน ABA ที่พบว่าชักนำให้ผลฝ้ายร่วงแต่เดิมนั้น มาจากผลของ ABA ไปกระตุ้นการสร้าง ethylene ก่อน แล้วจึงส่งผลให้เกิดการร่วงตามมา นอกจากนี้ ABA เป็นฮอร์โมนพืชที่ควบคุมการพักตัว การควบคุมการเจริญเติบโตของพืชโดยให้ผลตรงข้ามกับผลของ auxins, GA และ cytokinin หน้าที่สำคัญของ ABA อีกอย่างหนึ่งคือ ควบคุมการเปิดปิดของปากใบ โดยเฉพาะเมื่อพืชอยู่ในสภาวะเครียด ไม่ว่าจะเป็นภาวะแล้ง ภาวะเค็ม หรือภาวะที่อุณหภูมิสูง จึงมีการเรียก ABA ด้านการเป็นฮอร์โมนในภาวะเครียดว่า “stress hormone”(Hartung and Davies, 1994)

กรดแอบไซซิก ทำหน้าที่สำคัญในวงจรชีวิตของพืชโดยการทำให้พืชสามารถที่จะชะลอหรือหยุดกิจกรรมต่างๆ และอยู่รอดภายใต้สภาวะที่แวดล้อมที่ไม่เหมาะสมในสภาพของระยะพักการหลุดพ้นจากระยะพักเกิดขึ้นได้โดยการลดระดับของกรดแอบไซซิกและเพิ่ม promotive hormone โดยทั่วไป คือ GA นอกจากนี้แสงสีแดงหรืออุณหภูมิต่ำก็สามารถทำให้พืชหลุดจากระยะพักตัวได้โดยชักนำให้เกิด GA โดยผ่านการทำงานของรงควัตถุ phytochrome (นันทนา อังกินันท์, 2549) บทบาททางสรีรวิทยาของกรดแอบไซซิก มีดังนี้

1) ชักนำการปิดปากใบ (stoma) และเพิ่มความสามารถในการดูดน้ำและแร่ธาตุ

ภายใต้ภาวะเค็มและภาวะขาดน้ำ กรดแอบไซซิกเพิ่มขึ้นที่รากและใบ กรดแอบไซซิกที่เพิ่มที่รากมากเนื่องจากเป็นบริเวณที่สัมผัสกับภาวะเครียดโดยตรง และ กรดแอบไซซิกที่เพิ่มขึ้นที่ส่วนของยอดและใบอ่อนเกิดจากการลำเลียงทั้งทาง phloem จากใบที่เจริญเต็มที่และทาง xylem จากราก กรดแอบไซซิกที่เพิ่มสูงขึ้นในใบทำให้ stoma เริ่มหุบและปิดในที่สุด จึงช่วยลดการเสียน้ำทางปากใบ กรดแอบไซซิกที่สังเคราะห์เพิ่มขึ้นที่รากมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมสมดุลของน้ำในต้นพืชในภาวะที่ไม่เหมาะสมโดยเพิ่มการเคลื่อนที่ของน้ำและแร่ธาตุให้ไหลเข้ามาในรากได้ดีขึ้น โดยกรดแอบไซซิกมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายใน lipids และ protein transporter ของ membrane ลดความต้านทานของน้ำที่ผ่านไปทาง apoplast และ membrane ทำให้ค่า water potential gradient ระหว่างดินและรากมีความแตกต่างเพิ่มขึ้น จึงเพิ่มความสามารถในการดูดน้ำของราก และเพิ่มอัตราการเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของรากด้วย (นันทนา อังกินันท์, 2549) นอกจากนี้ (Saab et al, 1990) ยังพบ การสะสมของ ABA ในส่วนปลายของรากพืชที่ได้รับความแล้ง จะมีการยืดยาว เพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในน้ำที่มีค่าศักย์ของน้ำ (water potential หรือ Ψ) ต่ำ

2) บทบาทต่อการต้านความเย็นและการทนเค็ม

เมื่อพืชตกอยู่ในภาวะขาดน้ำพืชจะสังเคราะห์กรดแอบไซซิกสูงขึ้น สภาวะ ดังกล่าวเกิดขึ้นเช่นเดียวกันถ้าพืชตกอยู่ในดินเค็ม หรือเผชิญกับสภาพอุณหภูมิต่ำ หนาวเย็น หรือพืชบางชนิดต้องทนอยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน สภาพ ดังกล่าวจะพบว่าพืชมีการสูญเสียน้ำออกจากโพทโทพลาสต์ แสดงว่าเมื่อตกอยู่ใน สภาวะเครียดต่างๆ จะมีการกระตุ้นการสังเคราะห์กรดแอบไซซิก ต่อจากนั้นกรด แอบไซซิกจึงมีผลไปลดกระบวนการต่างๆ ในพืชลง ความเครียดจากการขาดน้ำทำให้ ความต่งลดลงมีผลไปกระตุ้นยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์กรดแอบไซซิก ความเครียด จากสาเหตุอื่นๆ ก็เช่นกันจะไปกระตุ้นการสังเคราะห์กรดแอบไซซิก โดยไปมีผล กระตุ้นการถอดรหัส (transcription) อาทิเช่น ภาวะการแข็ง (hardens) ของพืช เป็นการต้านการถูกทำลายจากความเย็นเยือกแข็ง (frost damage) (วันที สว่าง อารมณ, 2542)

3) บทบาทต่อการพักตัวของพืช

Wareing และเพื่อนร่วมงานพบว่าปริมาณกรดแอบไซซิกที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการพัก ตัวของตาและใบ โดยมักจะมีความสัมพันธ์กับสภาพวันสั้นในช่วงปลายฤดูร้อน นอกจากนี้การให้กรดแอบไซซิกแก่ตาที่มีการเจริญตามปกติก็ทำให้ตาพืชหลายชนิดมี การพักตัวเช่นกัน การทดลองเหล่านี้เสนอแนะว่าเมื่อกรดแอบไซซิกถูกสังเคราะห์ขึ้น ที่ใบแล้วจึงเคลื่อนย้ายไปสู่ตาพืช อย่างไรก็ตามก็มีงานทดลองในพืชอีกหลายชนิดที่ ให้ผลขัดแย้งกันเกี่ยวกับกรดแอบไซซิกในเรื่องดังกล่าว (วันที สว่างอารมณ, 2542)

4) การควบคุมการสังเคราะห์โปรตีน

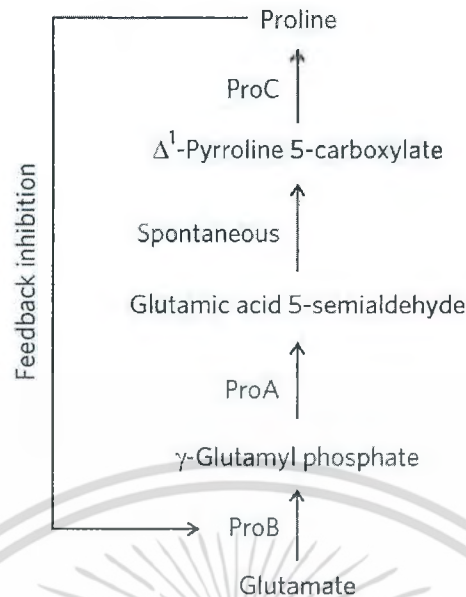
กรดแอบไซซิกมีผลต่อการสังเคราะห์โปรตีนภายใต้สภาวะหลายสถานการณ์ เช่น การช็อกด้วยความร้อน การปรับตัวอันเนื่องมาจากความเย็นและช่วงการทนต่อความ เค็ม การทำให้พืชตกอยู่ในสภาวะดังกล่าวแล้วให้กรดแอบไซซิก พบว่าพืชมีการ ถอดรหัสยีน (transcription) ซึ่งนำไปสู่การสังเคราะห์โปรตีนชนิดใหม่เกิดขึ้น กรด แอบไซซิกมีผลทำให้ mRNA (messenger RNA) ลดปริมาณลงได้ นอกจากนี้การศึกษา ในระดับโมเลกุลโดยการแยกออร์แกนเนลล์ออกมาเพื่อศึกษาอิทธิพลของฮอร์โมนผ่าน การควบคุมยีน ทำให้ทราบถึงวิธีการควบคุมของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (วันที สว่างอารมณ, 2542)

โพรลีน (Proline)

โพรลีนคือ กรดอะมิโนชนิดหนึ่งถูกสร้างขึ้นมาจากกรดกลูตามิกโดยทั่วไปพืชจะมีการสะสมโพรลีนอยู่แล้วแต่มีอยู่ในระดับต่ำและถูกควบคุมโดยกระบวนการ feedback inhibition (Gzik, 1996) เมื่อได้รับสภาพขาดน้ำจะส่งผลให้น้ำในพืชลดลงพืชจะมีการลดศักย์ของน้ำเพื่อช่วยให้เกิดความต่างศักย์ของน้ำระหว่างดินกับพืชเมื่อน้ำในดินลดน้อยลงจนถึงจุดที่พืชดึงไปใช้ได้้น้อยมากพืชจะปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ (สายันท์, 2537) ในการรักษาศักย์ของน้ำพืชจะมีกระบวนการปรับแรงดันออสโมติกภายในเซลล์พืชจะมีการสะสมสารบางชนิดในรูปของสารละลายเช่นโพรลีนไกลซีนบีเทนกรดอินทรีย์และน้ำตาลภายในไซโตพลาสซึม (Hore *et al.*, 1998) ได้มีการศึกษาของ Chang and Dandeker (1995) รายงานว่าภายใต้สภาพที่เซลล์ถูกทำลายหรือได้รับอันตรายมีการสะสมปริมาณโพรลีนที่สูงซึ่งเป็นการสะสมสารประกอบไนโตรเจน (Barnett and Naylor, 1966) และคาร์บอนไว้ภายในเซลล์ซึ่งพืชจะได้นำไปใช้ในการเจริญเติบโต หลังจากพ้นจากสภาพขาดน้ำและพบว่าโพรลีนยังช่วยป้องกันการถูกทำลายของเยื่อหุ้มเซลล์และรักษาไม่ให้โปรตีนเสื่อมสภาพในระหว่างที่พืชได้รับสภาพแห้งแล้ง (Ain-Lhont *et al.*, 2000)

กระบวนการสร้างโพรลีน (Proline Biosynthesis)

กระบวนการสร้างโพรลีน เริ่มต้นจากสาร glutamate โดยมีเอนไซม์ β -glutamyl kinase และ glutamyl-semialdehyde dehydrogenase ซึ่งเป็นเอนไซม์คู่แรกของกระบวนการ จากปฏิกิริยาในช่วงนี้จะได้สาร β -glutamyl-semialdehyde ต่อจากนั้นเกิดกระบวนการ dehydration โดยไม่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง ผลของปฏิกิริยาจะได้ Δ^1 -pyrroline-5-carboxylate จากนั้นก็เกิดปฏิกิริยา reduction โดยใช้เอนไซม์ pyrroline-5-carboxylate reductase จากปฏิกิริยานี้จะได้สารโพรลีน โดยที่บางส่วนจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสร้างโปรตีน บางส่วนเคลื่อนย้ายเข้าสู่ท่อลำเลียงอาหาร (Hanson and Hitz, 1982)



รูปที่ 1 กระบวนการสร้างโพรลีน (ที่มา: Nature Chemical Biology)

กระบวนการสลายตัวของโพรลีน

การสลายตัวของโพรลีนเกิดจากกระบวนการ proline oxidation ของเอนไซม์ prolineoxidase ผลจากปฏิกิริยานี้จะได้ pyrroline-5-carboxylate และจาก pyrroline-5-carboxylate จะเกิดปฏิกิริยาอีกขั้นตอนหนึ่งโดยใช้เอนไซม์ได้ pyrroline-5-carboxylate dehydrogenase ได้ glutamate (Boggeset *et al.*, 1976) กระบวนการสลายตัวของโพรลีนจะเกิดขึ้นเมื่อพืชอยู่ในสภาพปกติ แต่ถ้าขาดน้ำกระบวนการ proline oxidation จะถูกยับยั้ง (Jones and Rawson, 1979) การสังเคราะห์โพรลีนถูกควบคุมโดยเอนไซม์ pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS) ซึ่งเอนไซม์นี้จะถูกควบคุมโดยกระบวนการ feedback inhibition เมื่อขาดน้ำจะเกิดการสูญเสีย feedback inhibition พืชจะกระตุ้นให้สังเคราะห์โพรลีน โดยปริมาณโพรลีนที่มากขึ้นนี้จะไม่ส่งผลกลับไปยับยั้งกระบวนการสร้างโพรลีน (DeLauney and Verma, 1993)

สาเหตุของการสะสมโพรลีนเมื่อพืชอยู่ในสภาพขาดน้ำมี 3 ประการ

1. เมื่อพืชขาดน้ำทำให้กระบวนการสร้าง glutamyl -β - semialdehyde เกิดขึ้นได้ดีแต่ยับยั้งกระบวนการเปลี่ยน glutamate ไปเป็น 2-oxoglutamate จึงเป็นการส่งเสริมกระบวนการสร้าง pyrroline-5-carboxylate (P5C) เพิ่มขึ้น (Boggeset *et al.*, 1976) เมื่อพืชมีปริมาณ P5C สูงจึงทำให้พืชสร้างโพรลีนเพิ่มขึ้น

2. เมื่อพืชอยู่ภายใต้สภาวะขาดน้ำ กระบวนการ proline oxidation ถูกยับยั้ง โพรลีนถูกเปลี่ยนไปเป็น glutamate ซ้ำลง (Boggeset *et al.*, 1976)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สภาพขาดน้ำทำให้กระบวนการสร้างโปรตีนช้าลงเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสะสมโปรตีนเพิ่มขึ้น

พืชกับการสะสมโปรตีน

ธวัช (2535) รายงานว่าข้าวโพดที่มีพันธุกรรมที่แตกต่างกันจะมีการสะสมโปรตีนแตกต่างกันโดยในพันธุ์ผสมเปิดมีแนวโน้มการสะสมโปรตีนในปริมาณที่สูงกว่าในพันธุ์ลูกผสมการสะสมโปรตีนจะเริ่มเมื่อข้าวโพดอยู่ในสภาพขาดน้ำปานกลางถึงรุนแรงโดยในกลุ่มพันธุ์ที่มีการสะสมโปรตีนสูงกว่าจะให้ผลผลิตต่ำแต่ในกลุ่มพันธุ์ที่มีการสะสมโปรตีนต่ำจะให้ผลผลิตสูงกว่า

นวรรตน์และสุพวงษ์ (2537) รายงานว่าหญ้ากินนีสีม่วง (*Panicum maximum*) มีการสะสมโปรตีนเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำ

นวรรตน์และคณะ (2540) ได้รายงานถึงอิทธิพลของสภาวะขาดน้ำต่อการสะสมโปรตีนในข้าวโพดระยะออกช่อดอกตัวผู้พบว่าปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นเมื่อข้าวโพดขาดน้ำมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับผลผลิต

วารีย์ (2546) ทำการทดสอบเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนระหว่างพันธุ์ลูกผสมกับพันธุ์พ่อแม่พบว่าโคลนพันธุ์ลูกผสมที่ได้จากพ่อแม่ที่มีการสะสมโปรตีนเพิ่มขึ้นสูงเมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำนั้นลูกผสมที่ได้ทุกพันธุ์มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าพันธุ์พ่อแม่ส่วนในคู่ผสมระหว่างพ่อแม่ที่มีการสะสมโปรตีนเพิ่มขึ้นสูงกับเพิ่มขึ้นค่อนข้างต่ำเมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำและในคู่ผสมระหว่างพ่อแม่ที่มีการสะสมโปรตีนเพิ่มขึ้นค่อนข้างต่ำเมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำพบว่าโคลนพันธุ์ลูกผสมที่ได้ส่วนใหญ่่นั้นมีความแตกต่างทางสถิติจากพันธุ์พ่อแม่แต่มีบางพันธุ์ที่มีปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นอยู่ระหว่างปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นของพันธุ์พ่อแม่

ชนิษฐา (2548) รายงานว่าไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างความสามารถในการทนแล้งกับปริมาณโปรตีนที่สะสมในช่วงที่ขาดน้ำในการตรวจสอบลักษณะการสะสมปริมาณโปรตีนในพันธุ์อ้อยทนแล้งและพันธุ์อ้อยที่ไม่ทนแล้งแต่ลักษณะความสูงมีแนวโน้มที่สัมพันธ์กับการจัดกลุ่มพันธุ์ทนแล้งและไม่ทนแล้ง

พันธุ์ข้าวบาร์เลย์ที่มีผลผลิตดีในสภาพแล้งจะมีการสะสมโปรตีนในปริมาณที่สูงเมื่อขาดน้ำในระยะต้นอ่อนแต่ในพันธุ์ที่อ่อนแอต่อสภาพขาดน้ำคือผลผลิตต่ำเมื่อเกิดสภาพขาดน้ำจะมีการสะสมโปรตีนในปริมาณที่ต่ำกว่าพันธุ์ที่ทนต่อสภาพขาดน้ำ (Stewart and Hanson, 1980) และพันธุ์ที่มีการสะสมโปรตีนในปริมาณสูงจะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเมื่อพ้นจากสภาพขาดน้ำ

Newton *et al.* (1986) รายงานว่า *Pinustaeda* L. เมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำจะส่งผลให้มีการสะสมปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น

Andrade *et al.* (1995) รายงานว่าในถั่วพันธุ์ที่ไม่ต้านทานแล้งมีการสะสมโปรตีนสูงเมื่อได้รับการรดน้ำ

ใน sugar beets (*Beta vulgaris* L.) พบว่าเมื่อได้รับสภาพแล้งและสภาพดินเค็มจะส่งผลให้มีการสะสมโพรลีนเพิ่มมากขึ้นสัดส่วนของกรดอะมิโนเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดสภาพแล้งและสภาพดินเค็มพบว่า aspartic และ glutamic acids เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่ากรดอะมิโนอื่น (Gzik, 1996)

Yi-Zhi and Tian (2000) รายงานว่าในถั่วเหลืองพันธุ์ที่ผลผลิตสูงคือหนานทอนต่อสภาพขาดน้ำเมื่อเกิดสภาพขาดน้ำจะมีการสะสมโพรลีนเพิ่มมากกว่าในพันธุ์ที่ไม่ทนต่อสภาพขาดน้ำ

Hien *et al.* (2003) พบว่าสามารถใช้การสะสมโพรลีนในรากเป็นดัชนีในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวทนแล้งและทนเค็มได้ในข้าวที่ทนแล้งและทนเค็มจะเริ่มมีการสะสมโพรลีนเมื่อได้รับสภาพแล้งและสภาพเค็มก่อนพันธุ์ที่ไม่ทนแล้งและทนเค็ม

Su and Wu (2004) พบว่าเมื่อทำการถ่ายยีนที่สามารถผลิตเอนไซม์ pyrroline-5-carboxylate synthetase ได้มาก จาก mothbean ไปยังข้าวทำให้ข้าวมีการสะสมโพรลีนเพิ่มมากขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพแล้งในข้าวที่มีการถ่ายยีนในช่วงที่ 3 พบว่าสามารถทนสภาพแล้งและสภาพดินเค็มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกว่าข้าวพวกที่ไม่ได้ถ่ายยีนโดยที่จะมีการเจริญเติบโตของรากและยอดก่อนข้าวพวกที่ไม่ได้ถ่ายยีน

Wang *et al.* (2004) พบว่าปริมาณโพรลีนที่เพิ่มขึ้นในใบ *Corispermum mongolicum* ซึ่งเป็นพันธุ์ไม่ต้านทานแล้งอาจเป็นอาการเมื่อพืชได้รับสภาพแล้ง

ในถั่วเหลืองที่มีการถ่ายยีนที่สามารถผลิตเอนไซม์ P5CR จาก *Arabidopsis* ทำการเปรียบเทียบระหว่างพวก sense, antisense และถั่วเหลืองปกติพบว่าเมื่อนำให้น้ำในถั่วเหลืองพวก sense จะแสดงอาการขาดน้ำเพียงเล็กน้อยมี pyrroline-5-carboxylate reductase สูงทำให้สามารถผลิตโพรลีนได้สูงเมื่อเทียบกับถั่วเหลืองปกติและพวก antisense และเมื่อนำน้ำอีกครั้งหลังสภาพแล้งพวก sense จะมี proline dehydrogenase สูงกว่าถั่วเหลืองปกติและพวก antisense (De Ronde *et al.*, 2004)

Molinari *et al.* (2004) พบว่าใน *Carrizo citrange* เมื่อถ่ายยีนกลายพันธุ์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ pyrroline-5-carboxylate synthetase ได้แต่จะไม่เกิดกระบวนการ feedback inhibition เมื่ออยู่ในสภาวะที่ได้รับน้ำปกติพบว่าจะไม่มีความแตกต่างระหว่างพืชที่ถ่ายยีนกับไม่ได้ถ่ายยีนแต่เมื่อหลังจากไม่ได้รับน้ำ 15 วันพบว่าพืชพวกที่มีการถ่ายยีนอัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าพวกที่ไม่ได้ถ่ายยีน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

พืชที่ใช้ในการทดลอง

ข้าว (*Oryza sativa* L.) พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (KDML 105)

ข้าว (*Oryza sativa* L.) พันธุ์ปทุมธานี 80 (RD 31)

หญ้าข้าวนก (*Echin อองศาเซลเซียส hloa crus-galli* L.)

สถานที่ปลูกพืชทดลอง

ทำการทดลองในตู้ควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (ยี่ห้อ TOP+ รุ่น KK 1200) บริเวณชั้น 1 อาคารบุนนาค คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อุปกรณ์การศึกษา

1. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ปลูก

- ขวดแก้วขนาด 100 มิลลิลิตร
- ภาชนะพลาสติก
- กระบะทราย 30x 30 ตารางเซนติเมตร
- ทราย
- เครื่องแก้วสำหรับฉีดพ่นสารเคมี
- ลูกยาง
- กระบอกตวง

2. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการเจริญเติบโตของพืช

- กรรไกรตัดตัวอย่างพืช
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งของหน่วยกรัม
- ไม้บรรทัด
- ตู้อบตัวอย่างพืช (Hot air oven)
- อลูมิเนียมฟอยล์

3. วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดและวัดปริมาณโปรตีน

- ตู้แช่แข็งสำหรับเก็บตัวอย่าง (Deep Freezer) อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส
- โกร่งบด
- กระดาษกรองเบอร์ 1
- หลอดทดลองขนาด 30 มิลลิลิตร
- กรวยแก้ว
- ไมโครปิเปต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Waterbath)
- เครื่องเขย่าผสมสาร (Vortex mixer)
- เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)
- Cuvette
- อลูมิเนียมฟอยล์

สารเคมี

1. สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมอาหารเหลว สูตร WP สำหรับใช้เพาะเลี้ยงต้นข้าว

- Macroelements

KNO_3	58	mg
CaSO_4	50	mg
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	45	mg
Triple super phosphate	25	mg
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	10	mg

- Microelements

Na_2EDTA^a	160	mg
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}^a$	120	mg
$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	15	mg
H_3BO_3	5	mg
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.5	mg
KI	1	mg
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.1	mg
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.05	mg
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.05	mg
น้ำกรอง	800	mg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารละลายกรดแอบไซซิก

- (\pm) Abscisic acid (Sigma); 99% pure; (5-[1-hydroxy-2,6,6-trimethyl-4-oxo-cyclohex-en-1-yl]-3-methyl-{2Z,4E}-pentadienoic acid);
 $C_{15}H_{20}O_4$; MW. 264.3
- Ethanol
- Triton x-100
- น้ำกลั่น

3. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโพรลีน

- Sulfosalicylic acid
- Glacial acetic acid
- Acid ninhydrin
- Proline (Pyrrolidine-2-carboxylic acid)
- Toluene



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาผลของอุณหภูมิสูงต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และหญ้าข้าวนก

- 1.1 วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) โดยมีจำนวนซ้ำ 4 ซ้ำซ้ำละ 4 ต้นสำหรับวัดการเจริญเติบโต
- 1.2 เพาะเมล็ดข้าวทั้งสองสายพันธุ์ จำนวนสายพันธุ์ละ 300 เมล็ด โดยนำเมล็ดข้าวแช่น้ำ 1 คืน ก่อนนำมาบงทรายเป็นเวลา 7 วัน เพื่อย้ายปลูกต่อไป
- 1.3 เมื่อต้นกล้าอายุ 7 วันนับจากวันเพาะ คัดเลือกต้นกล้าขนาดใกล้เคียงกันสายพันธุ์ละ 192 ต้น เพื่อย้ายปลูกในขวดแก้วที่มีสารละลายธาตุอาหารสูตรดัดแปลง WP No.2 จำนวนขวดละ 4 ต้น โดยแบ่งเป็นสามหน่วยการทดลอง โดยสองหน่วยการทดลองที่จำลองภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงจะปลูกในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 และ 45 องศาเซลเซียส และอีกหนึ่งหน่วยการทดลองควบคุมปลูกที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ทำการควบคุมระดับของสารละลายธาตุอาหาร โดยเติมน้ำให้สารละลายอยู่ในระดับเดียวกันกับตอนเริ่มต้นการทดลองทุกวัน และเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุกสัปดาห์
- 1.4 บันทึกการเติบโตทั้งหมดทุก 3 วัน เป็นเวลา 15 วัน โดยวัดความยาวของลำต้น (โดยวัดจากส่วนที่อยู่โคนต้นถึงบริเวณยอดที่ยาวที่สุด) ความยาวราก (โดยทำการวัดจากส่วนโคนต้นถึงปลายรากที่ยาวที่สุด จากนั้นนำตัวอย่างมาแยกส่วนต้น และรากเพื่อชั่งน้ำหนักสด จากนั้นนำไปอบในตู้อบตัวอย่างพืชที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง
- 1.5 นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

2. ศึกษาผลของอุณหภูมิสูงและผลของการให้กรดแอบไซซิกจากภายนอกต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

- 2.1 วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) โดยมีจำนวนซ้ำ 4 ซ้ำซ้ำละ 4 ต้นสำหรับวัดการเจริญเติบโต
- 2.2 เพาะเมล็ดข้าวทั้งสองสายพันธุ์ จำนวนสายพันธุ์ละ 300 เมล็ด โดยนำเมล็ดข้าวแช่น้ำ 1 คืน ก่อนนำมาบงทรายเป็นเวลา 7 วัน เพื่อย้ายปลูกต่อไป
- 2.3 เมื่อต้นกล้าอายุ 7 วันนับจากวันเพาะ คัดเลือกต้นกล้าขนาดใกล้เคียงกันสายพันธุ์ละ 192 ต้น เพื่อย้ายปลูกในขวดแก้วที่มีสารละลายธาตุอาหารสูตรดัดแปลง WP No.2 จำนวนขวดละ 4 ต้น โดยแบ่งเป็นสองหน่วยการทดลอง โดยสองหน่วยการทดลองที่จำลองภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงจะปลูกในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส และอีกหนึ่งหน่วยการทดลองควบคุมปลูกที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ทำการควบคุมระดับของสารละลายธาตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหาร โดยเติมน้ำให้สารละลายอยู่ในระดับเดียวกันกับตอนเริ่มต้นการทดลองทุกวัน และเปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุกสัปดาห์

- 2.4 แบ่งต้นกล้าข้าวในข้อ 3 ออกเป็น 4 ชุดการทดลอง เพื่อพ่นด้วยสารละลายของกรดแอบไซซิกที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ คือ 50, 100, และ 200 ไมโครโมลาร์ โดยทำการฉีดพ่นสารละลายของกรดแอบไซซิกในระยะเวลา 6.30 น. ทุกๆ วัน เป็นเวลา 15 วัน ซึ่งการทดลองที่ต้องฉีดพ่นในช่วงเช้ามีดทุกวันเพื่อป้องกันการปิดปากใบของพืช
- 2.5 บันทึกการเติบโตทั้งหมดทุก 3 วัน เป็นเวลา 15 วัน โดยวัดความยาวของลำต้น (โดยวัดจากส่วนที่อยู่โคนต้นถึงบริเวณยอดที่ยาวที่สุด) ความยาวราก (โดยทำการวัดจากส่วนโคนต้นถึงปลายรากที่ยาวที่สุด จากนั้นนำตัวอย่างมาแยกส่วนต้น และรากเพื่อชั่งน้ำหนักสด จากนั้นนำไปอบในตู้อบตัวอย่างพืชที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง
- 2.6 นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

3. การศึกษาผลของการสะสมโปรตีนเมื่อต้นข้าวได้รับกรดแอบไซซิกจากภายนอกในภาวะอุณหภูมิสูงและในอุณหภูมิปกติ

- 3.1 การวางแผนการทดลองวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยมีจำนวนซ้ำ 3 ซ้ำ ซ้ำละ 15 ต้น
- 3.2 ศึกษาผลของการสะสมโปรตีนในใบข้าวเมื่อต้นข้าวได้รับกรดแอบไซซิกจากภายนอกในภาวะอุณหภูมิสูงและในอุณหภูมิปกติ
 - 3.2.1 ทำการเพาะเมล็ดข้าวจำนวน 1300 เมล็ด/สายพันธุ์ โดยการนำเมล็ดข้าวแช่ในน้ำเป็นเวลา 1 คืน จากนั้นนำมาเพาะบนทราย เป็นเวลา 12 วัน
 - 3.2.2 เมื่อต้นกล้าอายุครบ 12 วัน นับจากวันเพาะ คัดเลือกต้นกล้าที่มีขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 1080 ต้น/สายพันธุ์ จากนั้นย้ายต้นกล้าแต่ละสายพันธุ์ลงไปปลูกในขวดแก้วที่มีสารละลายธาตุอาหารสูตรดัดแปลง WP (ภาคผนวก ก) จำนวนขวดละ 15 ต้น เป็นเวลา 9 วัน โดยวางขวดแก้วที่มีต้นข้าวไว้ในที่ ที่ได้รับแสงตามธรรมชาติปกติ
 - 3.2.3 แบ่งต้นกล้าข้าวในข้อ 3.2.2 ออกเป็น 4 ชุดการทดลอง/สายพันธุ์ เพื่อฉีดพ่นสารละลายกรดแอบไซซิกโดยใช้ความเข้มข้นที่ 50 ไมโครโมลาร์ ซึ่งความเข้มข้นนี้มีความเหมาะสมในการชักนำให้พืชเกิดการกระตุ้นการเจริญเมื่อได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงได้ โดยมีชุดการทดลองควบคุมคือ ชุดการทดลองที่ไม่มีการฉีดพ่นที่อยู่อุณหภูมิปกติ และแบ่งออกเป็นชุดการทดลองต่างๆ ดังนี้ คือ อุณหภูมิปกติที่ 30 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สิ่งทดลองที่ 2 ข้าว RD 31 + 50 μ M ABA
- สิ่งทดลองที่ 3 ข้าว KDML 105
- สิ่งทดลองที่ 4 ข้าว KDML 105 + 50 μ M ABA

อุณหภูมิสูงที่ 40 องศาเซลเซียส

- สิ่งทดลองที่ 1 ข้าว RD 31
- สิ่งทดลองที่ 2 ข้าว RD 31 + 50 μ M ABA
- สิ่งทดลองที่ 3 ข้าว KDML 105
- สิ่งทดลองที่ 4 ข้าว KDML 105 + 50 μ M ABA

โดยทำการฉีดพ่นสารละลายกรดแอบไซซิกในช่วงเวลา 6.30 น. ทุกๆ วัน เป็นเวลา 15 วัน เพื่อป้องกันการปิดปากใบของพืช

- 3.2.4 เก็บผลการทดลองโดย วัดความยาวของต้นกล้าและชั่งน้ำหนักสดส่วนลำต้น จากชุดทดลองต่างๆ ในวันที่ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 หลังจากการฉีดพ่นกรดแอบไซซิก
- 3.2.5 วัดปริมาณโพรงเส้นใบข้าวซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของ Bates และคณะ (1973)(ภาคผนวก ก) จากชุดการทดลองต่างๆในวันที่ 0, 3, 6, 9, 12, และ 15 หลังจากการฉีดพ่นกรดแอบไซซิก
- 3.2.6 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ด้วยโปรแกรม SPSS และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

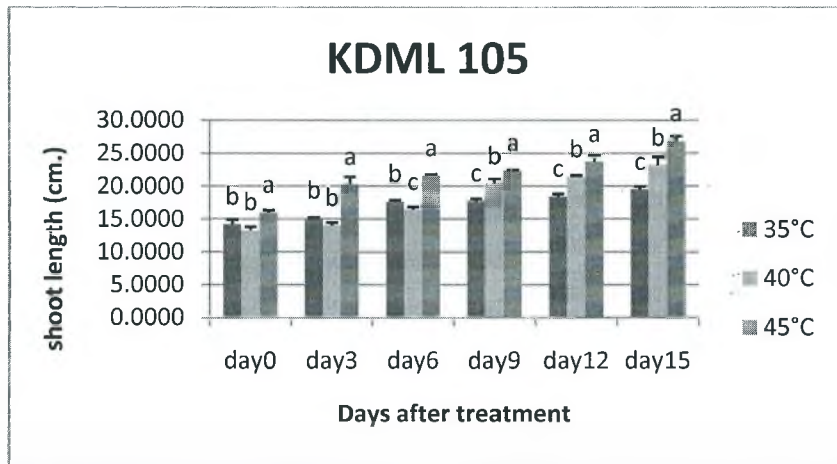
1. ศึกษาผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ ที่มีต่อความยาวใบและความยาวราก

1.1 ผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่มีต่อความยาวใบของต้นกล้าข้าว และหญ้าข้าวนก

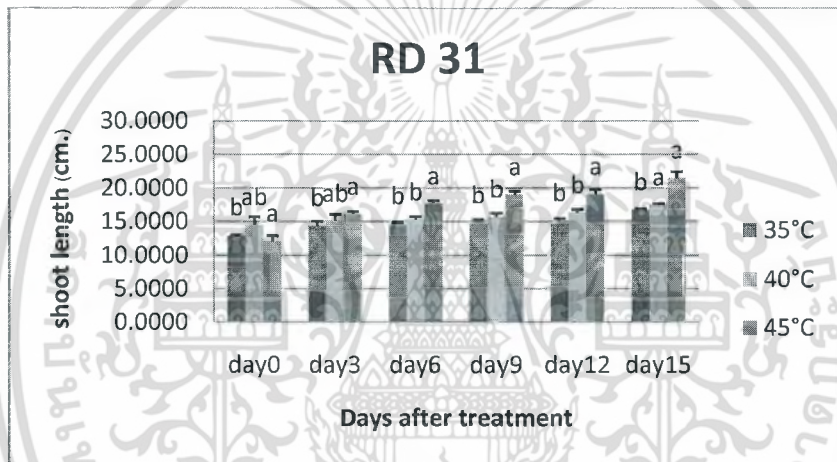
1.1.1 เมื่อต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้รับภาวะความเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 40 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่า มีการตอบสนองทางด้านความยาวของกาบใบที่แตกต่างกันภายใต้ความรุนแรงของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ต่างกัน โดยความยาวของกาบใบต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 เพิ่มขึ้นหลังจากได้รับอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส ในขณะที่ความยาวของกาบใบต้นกล้าข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูงที่ 40 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกับความยาวของกาบใบต้นกล้าข้าวที่ปลูกในภาวะปกติ (35 องศาเซลเซียส) แต่เมื่อต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้รับอุณหภูมิสูงที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาตั้งแต่ 9 วันเป็นต้นไป พบว่าความยาวของกาบใบเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับต้นกล้าข้าวที่ได้รับอุณหภูมิปกติ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า ต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีการตอบสนองทางด้านความยาวของกาบใบ ต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงในเชิงบวกซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการปรับตัวของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่อภาวะความเครียดจากอุณหภูมิสูงได้

1.1.2 การตอบสนองทางด้านความยาวของกาบใบของต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 เมื่อได้รับความเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียสคล้ายคลึงกับการตอบสนองที่พบในข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยความยาวของกาบใบต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องหลังจากได้รับอุณหภูมิได้รับอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส แต่ต้นกล้าข้าวที่ได้รับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีความยาวของกาบใบ ไม่แตกต่างจากต้นกล้าข้าวที่ปลูกในอุณหภูมิปกติ

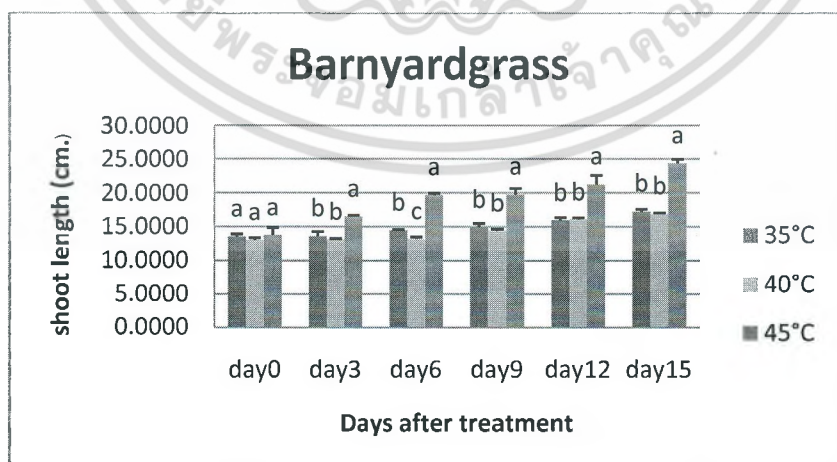
1.1.3. ความยาวของกาบใบของต้นกล้าหญ้าข้าวนก ที่ปลูกภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 40 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกับต้นกล้าหญ้าข้าวนกที่ปลูกในอุณหภูมิปกติ แสดงให้เห็นว่าภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 40 องศาเซลเซียส ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการตอบสนองทางด้านความยาวของกาบใบของต้นกล้าหญ้าข้าวนก ในขณะที่ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส สามารถกระตุ้นให้ต้นกล้าหญ้าข้าวนกมีการเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) ซึ่งผลการทดลอง แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าภายใต้อุณหภูมิอากาศ 45 องศาเซลเซียส ส่งเสริมการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกซึ่งเป็นวัชพืชสำคัญในนาข้าว



รูปที่ 1 ความยาวใบของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาวะอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) และภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง (40, 45 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 2 ความยาวใบของต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 ในภาวะอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) และภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง (40, 45 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 3 ความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าวนกในภาวะอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) และภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง (40, 45 องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงความยาวใบของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในแต่ละช่วงเวลาที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	ความยาวใบ (เซนติเมตร) \pm standard error		
	อุณหภูมิ 35°C	อุณหภูมิ 40°C	อุณหภูมิ 45°C
0	14.2250 \pm 0.6792 ^b	13.3500 \pm 0.5042 ^b	16.0000 \pm 0.3342 ^a
3	15.1250 \pm 0.0853 ^b	14.0250 \pm 0.4308 ^b	20.3000 \pm 1.0977 ^a
6	17.6500 \pm 0.2533 ^b	16.4250 \pm 0.4110 ^c	21.6000 \pm 0.1958 ^a
9	17.7500 \pm 0.3524 ^c	20.4000 \pm 0.7047 ^b	22.4000 \pm 0.1080 ^a
12	18.4500 \pm 0.3594 ^c	21.4000 \pm 0.2273 ^b	23.7750 \pm 0.9223 ^a
15	19.5000 \pm 0.4083 ^c	23.2000 \pm 1.2610 ^b	26.8500 \pm 0.8150 ^a

ตารางที่ 2 แสดงความยาวใบของข้าวปทุมธานี 80 ในแต่ละช่วงเวลาที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	ความยาวใบ (เซนติเมตร) \pm standard error		
	อุณหภูมิ 35°C	อุณหภูมิ 40°C	อุณหภูมิ 45°C
0	12.9500 \pm 0.0854 ^b	14.4750 \pm 1.2304 ^{ab}	12.0500 \pm 0.8451 ^a
3	14.3750 \pm 0.6839 ^b	15.0500 \pm 1.0020 ^{ab}	16.1000 \pm 0.4090 ^a
6	14.6750 \pm 0.2533 ^b	15.2750 \pm 0.4608 ^b	17.6500 \pm 0.5180 ^a
9	14.8000 \pm 0.4882 ^b	15.6750 \pm 0.6028 ^b	19.0250 \pm 0.5515 ^a
12	15.1250 \pm 0.3146 ^b	16.3250 \pm 0.5072 ^b	19.0750 \pm 0.7296 ^a
15	16.7750 \pm 0.1548 ^b	17.5000 \pm 0.1750 ^a	21.5000 \pm 0.9827 ^a

ตารางที่ 3 แสดงความยาวใบของหญ้าข้าวนก ในแต่ละช่วงเวลาที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	ความยาวใบ (เซนติเมตร) \pm standard error		
	อุณหภูมิ 35°C	อุณหภูมิ 40°C	อุณหภูมิ 45°C
0	13.5250 \pm 0.3705 ^a	13.0000 \pm 0.3440 ^a	13.7500 \pm 1.1087 ^a
3	13.5750 \pm 0.6799 ^b	13.0750 \pm 0.1377 ^b	16.5000 \pm 0.1826 ^a
6	14.4500 \pm 0.1323 ^b	13.1750 \pm 0.2869 ^c	19.7000 \pm 0.2594 ^a
9	14.9250 \pm 0.5558 ^b	14.3750 \pm 0.2562 ^b	19.7750 \pm 0.2562 ^a
12	15.9250 \pm 0.3966 ^b	16.0250 \pm 0.2594 ^b	21.3000 \pm 1.2871 ^a
15	17.2750 \pm 0.3276 ^b	16.8750 \pm 0.1931 ^b	24.4000 \pm 0.5492 ^a

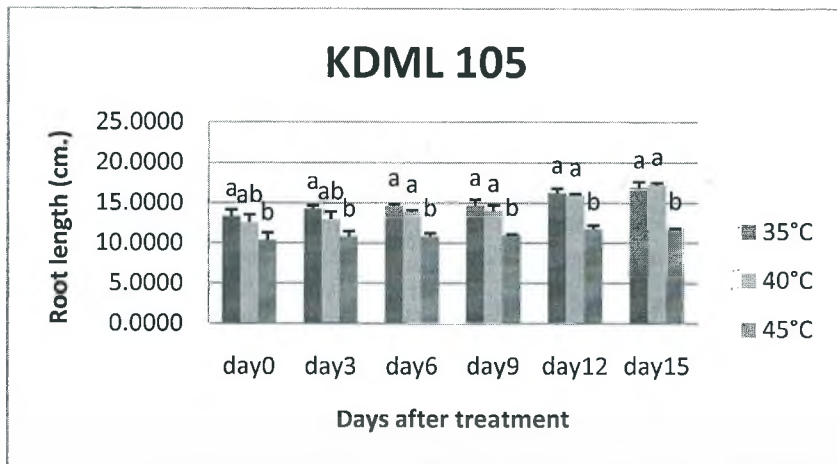
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่มีต่อความยาวรากของต้นกล้าข้าว และหญ้าข้าวนก

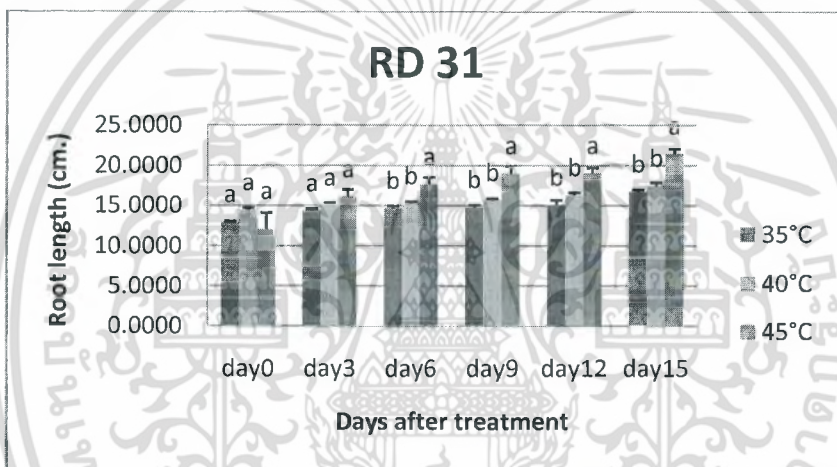
1.2.1 เมื่อต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้รับภาวะความเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 40 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่ามีการตอบสนองทางด้านความยาวของรากที่แตกต่างกัน ภายใต้ความรุนแรงของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่แตกต่างกัน โดยความยาวของรากต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ภายหลังจากได้รับอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียสและ 40 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกับความยาวของรากต้นกล้าข้าวที่ปลูกในภาวะปกติ (35 องศาเซลเซียส) แต่เมื่อต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้รับอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส พบว่าความยาวของรากหยุดการเจริญเติบโต เมื่อเทียบกับต้นกล้าข้าวที่ได้รับอุณหภูมิปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า ต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไม่มีการตอบสนองทางด้านความยาวของรากต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงในเชิงบวกซึ่งบ่งบอกถึงว่าไม่มีความสามารถในการปรับตัวของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่อภาวะความเครียดจากอุณหภูมิสูงได้

1.2.2 การตอบสนองทางด้านความยาวของรากของต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 เมื่อได้รับภาวะความเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 40 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่า มีการตอบสนองทางด้านความยาวของรากที่แตกต่างกัน ภายใต้ความรุนแรงของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่แตกต่างกัน โดยความยาวของรากต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 เพิ่มขึ้นภายหลังจากได้รับอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส ในขณะที่ความยาวของรากต้นกล้าข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูงที่ 40 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกับความยาวของรากต้นกล้าข้าวที่ปลูกในภาวะปกติ (35 องศาเซลเซียส) แต่เมื่อต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 ได้รับอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาตั้งแต่ 3 วันเป็นต้นไป พบว่าความยาวของรากเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับต้นกล้าข้าวที่ได้รับอุณหภูมิปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 มีการตอบสนองทางด้านความยาวของรากต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงในเชิงบวกซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการปรับตัวของต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 ต่อภาวะความเครียดจากอุณหภูมิสูงได้

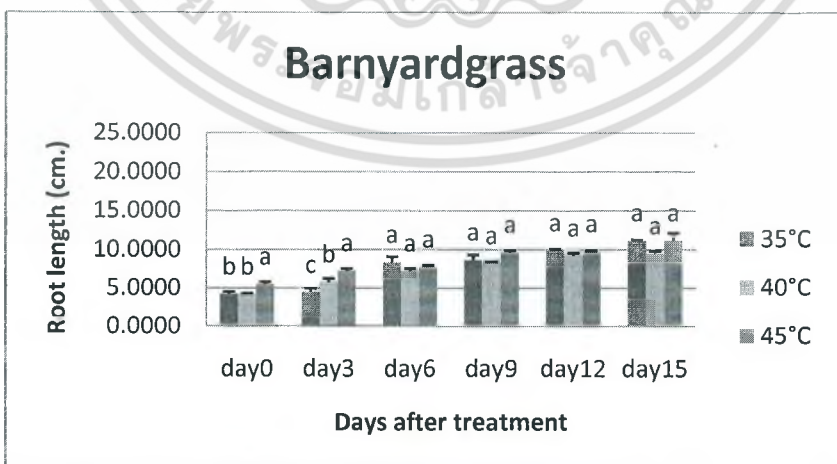
1.2.3 ความยาวของรากต้นกล้าหญ้าข้าวนก ที่ปลูกภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 40 และ 45 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกับต้นกล้าหญ้าข้าวนกที่ปลูกในอุณหภูมิปกติ แสดงให้เห็นว่าภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงไม่ได้ส่งผลกระทบต่อ การตอบสนองทางด้านความยาวรากต้นกล้าหญ้าข้าวนก ซึ่งผลการทดลอง แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าภายใต้ความเครียดจากอุณหภูมิสูง ไม่ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางรากของหญ้าข้าวนกซึ่งเป็นวัชพืชสำคัญในนาข้าว



รูปที่ 4 ความยาวรากของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาวะอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) และภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง (40, 45 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 5 ความยาวรากของต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 ในภาวะอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) และภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง (40, 45 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 6 ความยาวรากของต้นกล้าหญ้าข้าวฉาบ ในภาวะอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) และภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง (40, 45 องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงความยาวรากของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในแต่ละช่วงเวลาที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	การเจริญเติบโตในต้นกล้าข้าว (เซนติเมตร) \pm standard error		
	อุณหภูมิ 35°C	อุณหภูมิ 40°C	อุณหภูมิ 45°C
0	13.3750 \pm 0.7857 ^a	12.6000 \pm 0.9336 ^b	10.4000 \pm 0.8954 ^b
3	14.3000 \pm 0.3851 ^a	12.9750 \pm 0.9810 ^b	10.8500 \pm 0.6305 ^b
6	14.6250 \pm 0.2562 ^a	13.8750 \pm 0.2394 ^a	10.8750 \pm 0.3728 ^b
9	14.7000 \pm 0.7405 ^a	14.0000 \pm 0.7360 ^a	10.9750 \pm 0.1377 ^b
12	16.2750 \pm 0.5360 ^a	15.9500 \pm 0.1936 ^a	11.7500 \pm 0.4787 ^b
15	16.9250 \pm 0.6981 ^a	17.2500 \pm 0.2398 ^a	11.7750 \pm 0.0479 ^b

ตารางที่ 5 แสดงความยาวรากของข้าวปทุมธานี 80 ในแต่ละช่วงเวลาที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	การเจริญเติบโตในต้นกล้าข้าว (เซนติเมตร) \pm standard error		
	อุณหภูมิ 35°C	อุณหภูมิ 40°C	อุณหภูมิ 45°C
0	12.9500 \pm 0.1041 ^a	14.4750 \pm 0.2594 ^a	12.0500 \pm 2.0662 ^a
3	14.3750 \pm 0.2562 ^a	15.0500 \pm 0.3096 ^a	16.1000 \pm 0.9336 ^a
6	14.6750 \pm 0.2658 ^b	15.2750 \pm 0.2097 ^b	17.6500 \pm 0.9023 ^a
9	14.8000 \pm 0.2658 ^b	15.6750 \pm 0.2097 ^b	19.0250 \pm 0.9023 ^a
12	15.1250 \pm 0.5721 ^b	16.3250 \pm 0.3198 ^b	19.0750 \pm 0.6750 ^a
15	16.7750 \pm 0.2428 ^b	17.5000 \pm 0.4103 ^b	21.5000 \pm 0.5902 ^a

ตารางที่ 6 แสดงความยาวรากของข้าวหญ้าข้าวนก ในแต่ละช่วงเวลาที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	การเจริญเติบโตในต้นกล้าข้าว (เซนติเมตร) \pm standard error		
	อุณหภูมิ 35°C	อุณหภูมิ 40°C	อุณหภูมิ 45°C
0	4.2250 \pm 0.2626 ^b	4.2000 \pm 0.0707 ^b	5.5250 \pm 0.3038 ^a
3	4.4750 \pm 0.4366 ^c	5.8000 \pm 0.4708 ^b	7.2750 \pm 0.2780 ^a
6	8.3500 \pm 0.7331 ^a	7.2250 \pm 0.3425 ^a	7.7500 \pm 0.2255 ^a
9	8.6750 \pm 0.6537 ^a	8.2500 \pm 0.1848 ^a	9.6000 \pm 0.3189 ^a
12	9.8750 \pm 0.2323 ^a	9.2000 \pm 0.3697 ^a	9.7500 \pm 0.1323 ^a
15	11.1750 \pm 0.1109 ^a	9.5000 \pm 0.1323 ^a	11.1750 \pm 0.9569 ^a

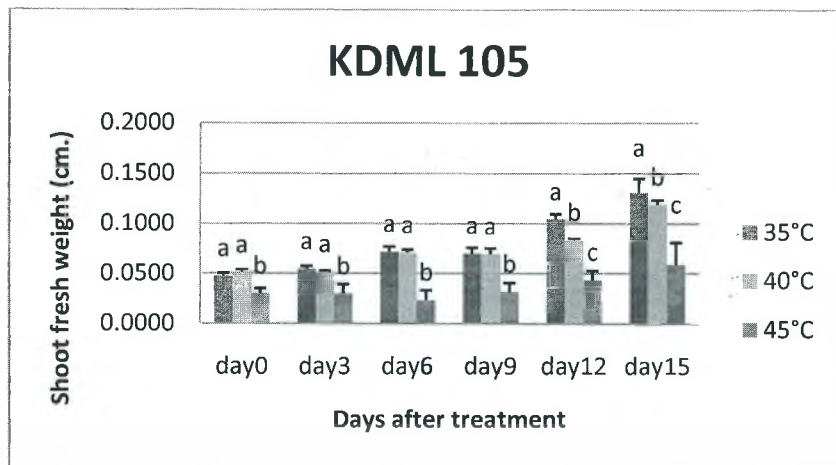
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ศึกษาผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ ที่มีต่อน้ำหนักสโตไบและน้ำหนักสตราก

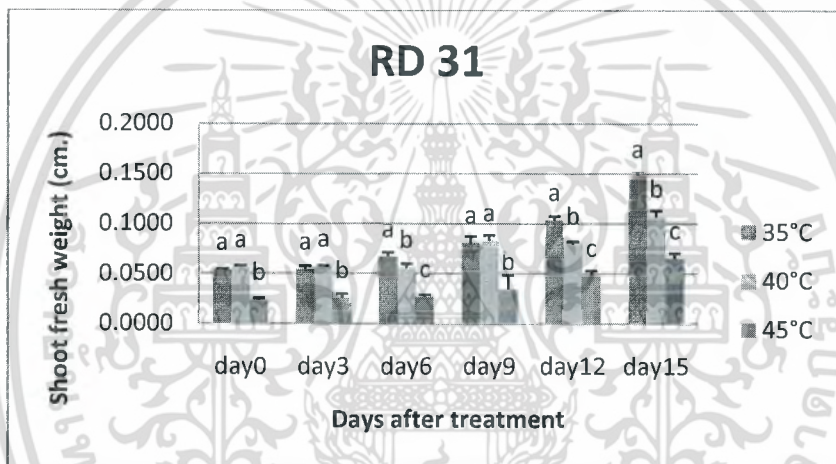
2.1 ผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่มีต่อน้ำหนักสโตไบของต้นกล้าข้าว และหญ้าข้าวนก

2.1.1 ต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวปทุมธานี 80 มีรูปแบบการตอบสนองต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 40 และ 45 องศาเซลเซียส ที่คล้ายคลึงกัน โดยมีการสะสมน้ำหนักสโตไบที่แตกต่างกันภายใต้ความรุนแรงของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ต่างกัน ต้นกล้าข้าวทั้งสองสายพันธุ์สามารถรักษาน้ำหนักสโตไบหลังจากได้รับอุณหภูมิสูงที่ 40 องศาเซลเซียสได้ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักสโตไบของต้นกล้าข้าวที่ปลูกในภาวะอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) แต่ภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส น้ำหนักสโตไบของต้นกล้าข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แสดงให้เห็นว่าผลจากภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส ทำให้ต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวปทุมธานี 80 เจริญเติบโตทางลำต้นช้าลง

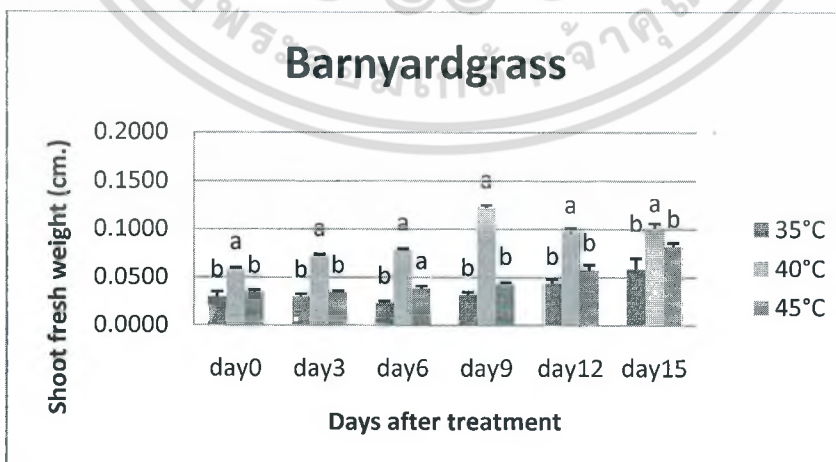
2.1.2 เมื่อต้นกล้าหญ้าข้าวนกได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 40 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสกระตุ้นการเจริญเติบโตทางลำต้นของต้นกล้าหญ้าข้าวนก ทำให้สะสมน้ำหนักสโตไบในระดับที่สูงกว่าต้นกล้าข้าวที่ปลูกในภาวะอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) ในขณะเดียวกัน ถึงแม้ว่าน้ำหนักสโตไบของหญ้าข้าวนกที่ปลูกภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียสจะไม่สูงเท่าน้ำหนักสโตไบที่ปลูกภายใต้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แต่น้ำหนักสโตไบก็ยังคงสูงเมื่อเทียบกับต้นกล้าหญ้าข้าวนกที่ปลูกในภาวะอุณหภูมิปกติ แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง ต้นกล้าหญ้าข้าวนกสามารถปรับตัวทางด้านการเจริญเติบโตทางลำต้นได้ดี และยิ่งไปกว่านั้นอุณหภูมิอากาศที่ 40 องศาเซลเซียส จะส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นของต้นกล้าหญ้าข้าวนก ซึ่งเป็นวัชพืชสำคัญในนาข้าว



รูปที่ 7 น้ำหนักสดใบของต้นกล้าข้าวชาวดอกมะลิ 105 ในภาวะอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) และภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง (40, 45 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 8 น้ำหนักสดใบของต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 ในภาวะอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) และภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง (40, 45 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 9 น้ำหนักสดใบของต้นกล้าหญ้าข้าวนก ในภาวะอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) และภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง (40, 45 องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงน้ำหนักสดใบของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในแต่ละช่วงเวลาที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักสดใบ (กรัม) \pm standard error		
	อุณหภูมิ 35°C	อุณหภูมิ 40°C	อุณหภูมิ 45°C
0	0.0475 \pm 0.0030 ^b	0.0511 \pm 0.0031 ^b	0.0299 \pm 0.0050 ^a
3	0.0511 \pm 0.0029 ^b	0.0519 \pm 0.0010 ^b	0.0299 \pm 0.0095 ^a
6	0.0718 \pm 0.0051 ^b	0.0708 \pm 0.0031 ^b	0.0234 \pm 0.0100 ^a
9	0.0702 \pm 0.0057 ^b	0.0692 \pm 0.0058 ^b	0.0318 \pm 0.0089 ^a
12	0.1042 \pm 0.0053 ^b	0.0834 \pm 0.0017 ^c	0.0437 \pm 0.0090 ^a
15	0.1309 \pm 0.0142 ^{ab}	0.1192 \pm 0.0043 ^b	0.0592 \pm 0.0219 ^a

ตารางที่ 8 แสดงน้ำหนักสดใบของต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 ในแต่ละช่วงเวลาที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักสดใบ (กรัม) \pm standard error		
	อุณหภูมิ 35°C	อุณหภูมิ 40°C	อุณหภูมิ 45°C
0	0.0541 \pm 0.0009 ^a	0.0566 \pm 0.0016 ^a	0.0238 \pm 0.0019 ^a
3	0.0546 \pm 0.0034 ^b	0.0575 \pm 0.0007 ^b	0.0257 \pm 0.0042 ^a
6	0.0671 \pm 0.0043 ^{ab}	0.0563 \pm 0.0039 ^b	0.0270 \pm 0.0019 ^a
9	0.0806 \pm 0.0067 ^b	0.0830 \pm 0.0055 ^b	0.0344 \pm 0.0141 ^a
12	0.1033 \pm 0.0040 ^a	0.0796 \pm 0.0024 ^b	0.0480 \pm 0.0050 ^a
15	0.1468 \pm 0.0060 ^a	0.1069 \pm 0.0060 ^b	0.0654 \pm 0.0053 ^b

ตารางที่ 9 แสดงน้ำหนักสดใบของต้นกล้าหญ้าข้าวนก ในแต่ละช่วงเวลาที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ (mean \pm standard error)

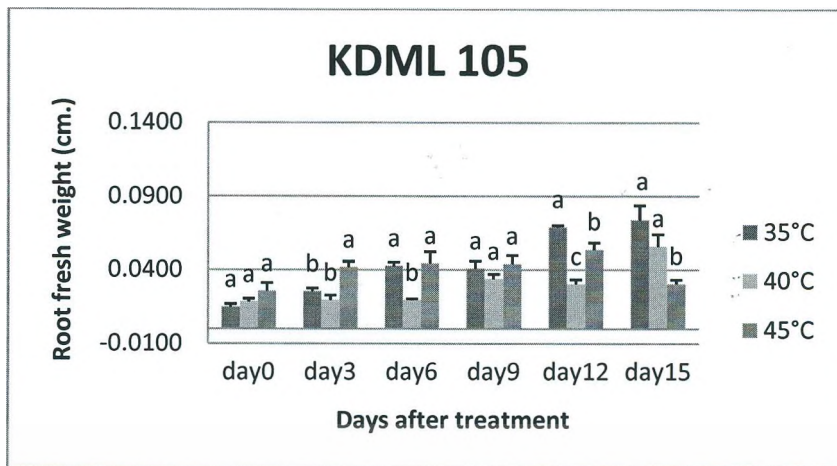
ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักสดใบ (กรัม) \pm standard error		
	อุณหภูมิ 35°C	อุณหภูมิ 40°C	อุณหภูมิ 45°C
0	0.0299 \pm 0.0052 ^a	0.0588 \pm 0.0015 ^a	0.0343 \pm 0.0028 ^a
3	0.0296 \pm 0.0034 ^b	0.0725 \pm 0.0017 ^{ab}	0.0346 \pm 0.0015 ^a
6	0.0234 \pm 0.0021 ^b	0.0783 \pm 0.0017 ^b	0.0390 \pm 0.0023 ^a
9	0.0318 \pm 0.0029 ^b	0.1227 \pm 0.0024 ^b	0.0435 \pm 0.0015 ^a
12	0.0437 \pm 0.0048 ^a	0.0967 \pm 0.0050 ^a	0.0578 \pm 0.0058 ^a
15	0.0592 \pm 0.0113 ^a	0.0986 \pm 0.0077 ^a	0.0822 \pm 0.0039 ^a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

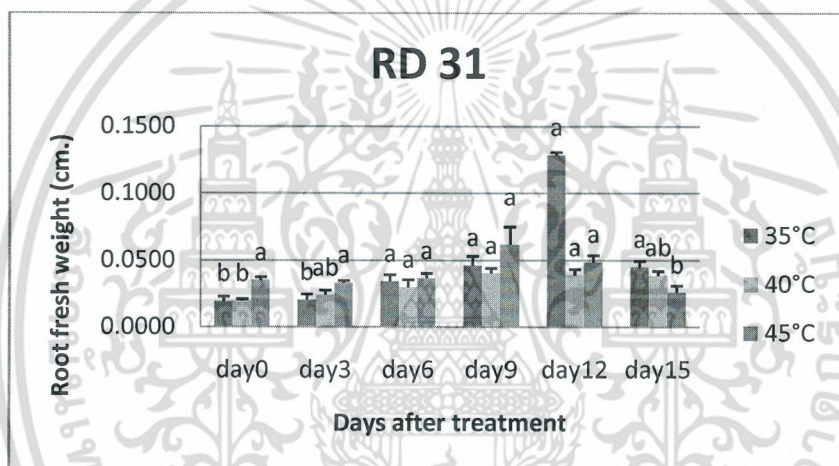
2.2 ผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่มีต่อน้ำหนักสตรากของต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าววน

2.2.1 เมื่อต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวปทุมธานี 80 ได้รับภาวะความเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 40 และ 45 องศาเซลเซียส อัตราการเจริญเติบโตทางรากลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเทียบกับต้นกล้าข้าวที่ได้รับอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงนี้ได้ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตทางรากของต้นกล้าข้าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงวันที่ 15 ของการทดลอง ที่พบว่าน้ำหนักสตรากลดลง นั่นคือ เซลล์มีการสูญเสียน้ำที่เป็นองค์ประกอบหลักอย่างมาก ซึ่งอาจจะส่งผลต่อทำให้เซลล์ตายในที่สุดได้

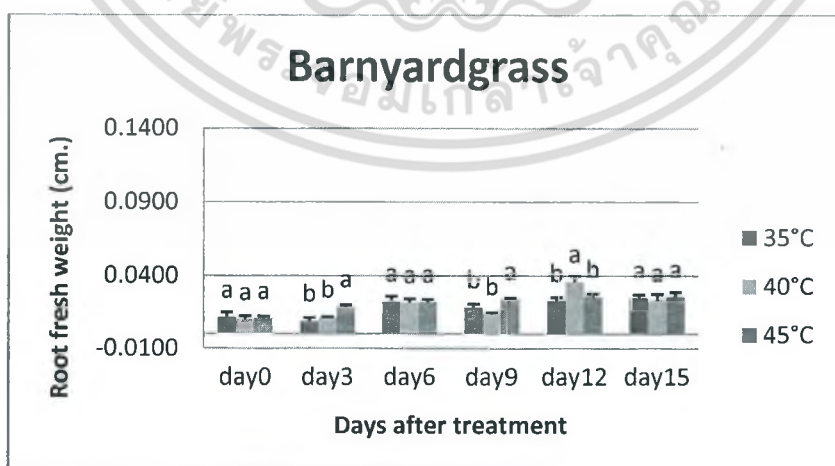
2.2.2 น้ำหนักสตรากของต้นกล้าหญ้าข้าววนที่ปลูกภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 40 และ 45 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างจากน้ำหนักสตรากของต้นกล้าที่ปลูกในอุณหภูมิปกติ แสดงให้เห็นว่าภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 40 และ 45 องศาเซลเซียส ไม่ได้ส่งผลกระทบต่ออัตราการตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโตทางรากของต้นกล้าหญ้าข้าววน อีกนัยหนึ่งคือ ต้นกล้าหญ้าข้าววนมีการปรับตัวต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงได้ดี



รูปที่ 10 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาวะปกติจากอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) และภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง (40, 45 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 11 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 ในภาวะปกติจากอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) และภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง (40, 45 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 12 น้ำหนักสดรากของต้นกล้าหญ้าข้าวนก ในภาวะปกติจากอุณหภูมิปกติ (35 องศาเซลเซียส) และภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง (40, 45 องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 แสดงน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในแต่ละช่วงเวลาที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักสดราก (กรัม) \pm standard error		
	อุณหภูมิ 35°C	อุณหภูมิ 40°C	อุณหภูมิ 45°C
0	0.0148 \pm 0.0020 ^a	0.0183 \pm 0.0023 ^a	0.0256 \pm 0.0056 ^a
3	0.0254 \pm 0.0021 ^b	0.0194 \pm 0.0035 ^b	0.0420 \pm 0.0039 ^a
6	0.0428 \pm 0.0025 ^a	0.0194 \pm 0.0010 ^b	0.0446 \pm 0.0079 ^a
9	0.0410 \pm 0.0052 ^a	0.0339 \pm 0.0033 ^a	0.0443 \pm 0.0057 ^a
12	0.0691 \pm 0.0013 ^a	0.0305 \pm 0.0031 ^c	0.0540 \pm 0.0046 ^b
15	0.0740 \pm 0.0098 ^a	0.0562 \pm 0.0082 ^a	0.0306 \pm 0.0030 ^b

ตารางที่ 11 แสดงน้ำหนักสดรากของต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 ในแต่ละช่วงเวลาที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักสดราก (กรัม) \pm standard error		
	อุณหภูมิ 35°C	อุณหภูมิ 40°C	อุณหภูมิ 45°C
0	0.0195 \pm 0.0033 ^b	0.0196 \pm 0.0014 ^b	0.0353 \pm 0.0022 ^a
3	0.0206 \pm 0.0039 ^b	0.0240 \pm 0.0038 ^{ab}	0.0333 \pm 0.0015 ^a
6	0.0344 \pm 0.0049 ^a	0.0300 \pm 0.0055 ^a	0.0366 \pm 0.0038 ^a
9	0.0462 \pm 0.0070 ^a	0.0404 \pm 0.0038 ^a	0.0621 \pm 0.0130 ^a
12	0.1286 \pm 0.0020 ^a	0.0390 \pm 0.0044 ^a	0.0488 \pm 0.0050 ^a
15	0.0450 \pm 0.0046 ^a	0.0388 \pm 0.0032 ^{ab}	0.0262 \pm 0.0049 ^b

ตารางที่ 12 แสดงน้ำหนักสดรากของต้นกล้าหญ้าข้าวนก ในแต่ละช่วงเวลาที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเปรียบเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักสดราก (กรัม) \pm standard error		
	อุณหภูมิ 35°C	อุณหภูมิ 40°C	อุณหภูมิ 45°C
0	0.0116 \pm 0.0034 ^a	0.0098 \pm 0.0025 ^a	0.0107 \pm 0.0014 ^a
3	0.0088 \pm 0.0024 ^b	0.0115 \pm 0.004 ^b	0.0187 \pm 0.0014 ^a
6	0.0227 \pm 0.0033 ^a	0.0216 \pm 0.0026 ^a	0.0220 \pm 0.0018 ^a
9	0.0181 \pm 0.0025 ^b	0.0134 \pm 0.0014 ^b	0.0241 \pm 0.0008 ^a
12	0.0228 \pm 0.0022 ^b	0.0358 \pm 0.0047 ^a	0.0242 \pm 0.0024 ^b
15	0.0248 \pm 0.0020 ^a	0.0230 \pm 0.0044 ^a	0.0255 \pm 0.0031 ^a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

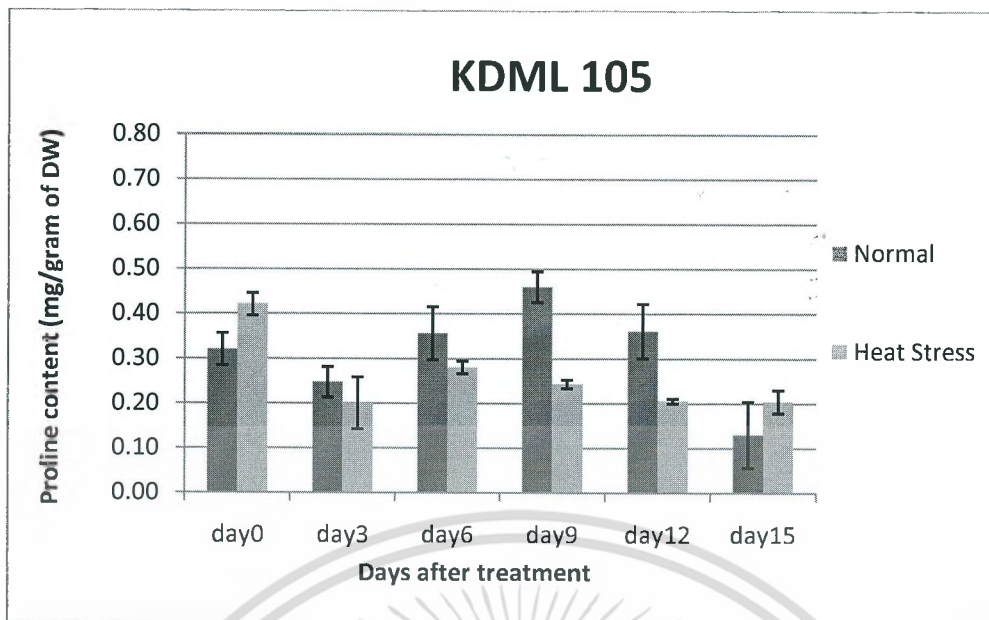
3. การศึกษาผลของอุณหภูมิสูงต่อการสะสมโพสลินในต้นกล้าข้าว

3.1. การศึกษาผลของอุณหภูมิสูงต่อการสะสมโพสลินในต้นกล้าข้าวชาวดอกมะลิ 105

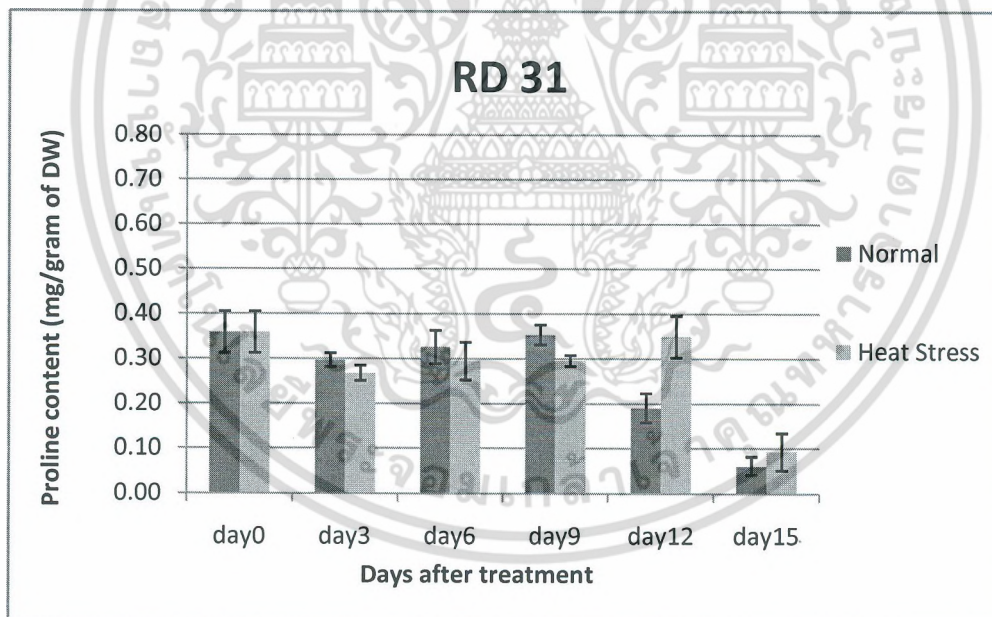
ปริมาณการสะสมโพสลินภายในเซลล์ต้นกล้าข้าวชาวดอกมะลิ 105 เมื่อได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง พบว่ามีปริมาณโพสลินลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับต้นกล้าข้าวที่ได้รับอุณหภูมิปกติ แต่ยังคงมีแนวโน้มการสะสมโพสลินที่เพิ่มสูงขึ้น ภายหลังจากได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงเป็นเวลา 15 วัน แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าข้าวชาวดอกมะลิ 105 มีการปรับตัวต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงได้ช้ากว่าต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 แต่มีการสะสมโพสลินในระดับที่สูงกว่าในต้นกล้าข้าวชาวดอกมะลิ 105 แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกของการได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงต้นกล้าข้าวชาวดอกมะลิ 105 ไม่ได้มีกระบวนการปรับตัวต่อภาวะเครียด ผ่านกระบวนการสะสมโพสลิน แต่การสะสมโพสลินภายในเซลล์ต้นกล้าข้าวชาวดอกมะลิ 105 สามารถทำได้ดีกว่าข้าวปทุมธานี 80

3.2. การศึกษาผลของอุณหภูมิสูงต่อการสะสมโพสลินในต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80

เมื่อต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 ได้รับอุณหภูมิสูง พบว่าการสะสมโพสลินของต้นกล้าข้าวนี้ไม่ได้แตกต่างจากต้นกล้าข้าวภาวะปกติ จนกระทั่งภายหลังจากได้รับอุณหภูมิสูงเป็นเวลา 12 วัน พบว่าการสะสมโพสลินภายในเซลล์เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับการสะสมโพสลินภายในเซลล์ของต้นกล้าข้าวที่ได้รับอุณหภูมิปกติ ณ เวลาเดียวกัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 ปรับตัวต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงผ่านกระบวนการสะสมโพสลินได้ดี



รูปที่ 13 การสะสมโปรตีนในแต่ละวันของข้าวชาวดอกมะลิ 105 ในภาวะอุณหภูมิปกติและภาวะอุณหภูมิสูง



รูปที่ 14 การสะสมโปรตีนในแต่ละวันของข้าวปทุมธานี 80 ในภาวะอุณหภูมิปกติและภาวะอุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 แสดงปริมาณการสะสมโพรลินในแต่ละวันของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาวะอุณหภูมิปกติและภาวะอุณหภูมิสูง (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณการสะสมโพรลินในต้นกล้าข้าว (มิลลิกรัม) \pm standard error	
	อุณหภูมิปกติ	อุณหภูมิสูง
0	0.2860 \pm 0.0358 ^a	0.4214 \pm 0.0250 ^a
3	0.2476 \pm 0.0340 ^a	0.2009 \pm 0.0584 ^a
6	0.3569 \pm 0.0588 ^a	0.0584 \pm 0.0140 ^a
9	0.4601 \pm 0.0344 ^a	0.2442 \pm 0.0096 ^a
12	0.3620 \pm 0.0603 ^a	0.0907 \pm 0.1148 ^a
15	0.1305 \pm 0.0736 ^a	0.2046 \pm 0.0257 ^a

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 14 แสดงปริมาณการสะสมโพรลินในแต่ละวันของข้าวปทุมธานี 80 ในภาวะอุณหภูมิปกติและภาวะอุณหภูมิสูง (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณการสะสมโพรลินในต้นกล้าข้าว (มิลลิกรัม) \pm standard error	
	อุณหภูมิปกติ	อุณหภูมิสูง
0	0.5884 \pm 0.0536 ^a	0.4919 \pm 0.0830 ^a
3	0.2974 \pm 0.0156 ^a	0.2685 \pm 0.0170 ^a
6	0.3263 \pm 0.0373 ^a	0.2950 \pm 0.0420 ^a
9	0.3541 \pm 0.0225 ^a	0.2962 \pm 0.0123 ^a
12	0.1910 \pm 0.0325 ^a	0.3495 \pm 0.0465 ^a
15	0.0615 \pm 0.0197 ^a	0.0926 \pm 0.0406 ^a

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

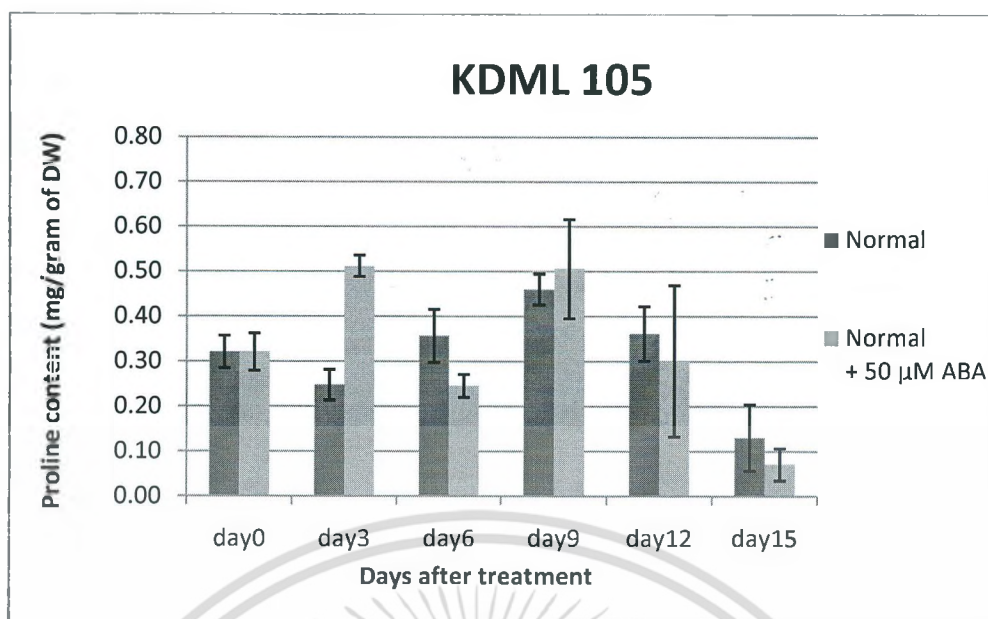
4. การศึกษาการสะสมปริมาณโพรลินในต้นกล้าข้าว เมื่อได้รับกรดแอมไซซิกภายนอกในภาวะปกติ

4.1. การศึกษาการสะสมปริมาณโพรลินในต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อได้รับกรดแอมไซซิกภายนอกในภาวะปกติ

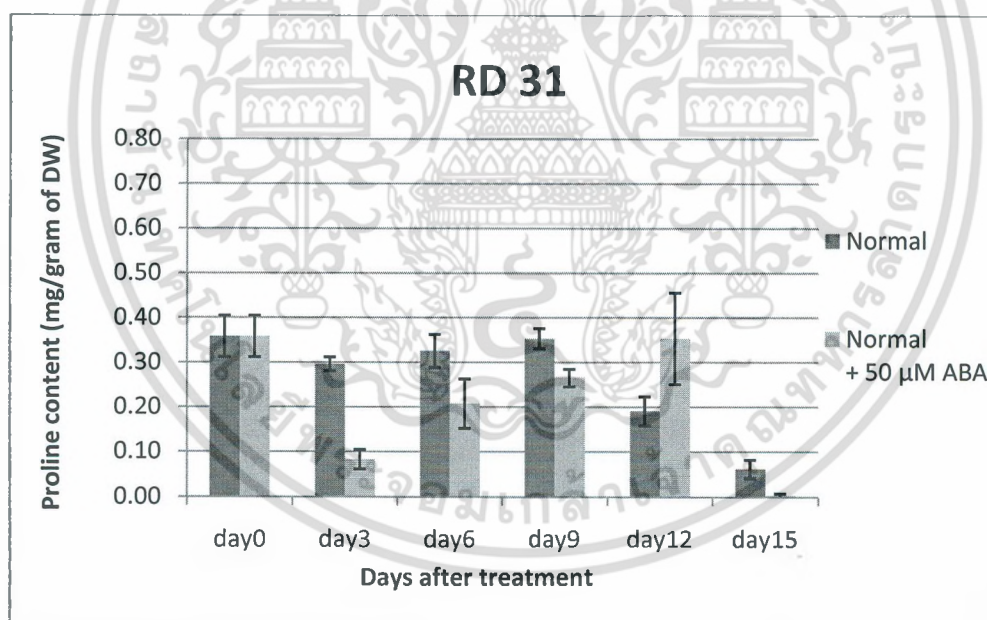
ในภาวะปกติเมื่อต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ได้รับการฉีดพ่นกรดแอมไซซิกจากภายนอกนั้นพบว่า ในวันที่ 3 หลังจากการฉีดพ่น มีปริมาณการสะสมโพรลินที่เพิ่มสูงขึ้น หลังจากนั้นในวันที่ 6 จึงมีโพรลินที่ลดต่ำลง และมีปริมาณโพรลินที่สูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 9 หลังจากการฉีดพ่นและลดลงต่อเนื่องตามลำดับตลอดการทดลอง

4.2. การศึกษาการสะสมปริมาณโพรลินในต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 เมื่อได้รับกรดแอมไซซิกภายนอกในภาวะปกติ

เมื่อข้าวปทุมธานี 80 ได้รับกรดแอมไซซิกจากภายนอกในอุณหภูมิปกติ พบว่ามีปริมาณการสะสมโพรลินลดลงในวันที่ 3 หลังจากการฉีดพ่นกรดแอมไซซิก จากนั้นมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพรลินอย่างต่อเนื่องตามลำดับ แต่น้อยกว่าปริมาณโพรลินในชุดการทดลองที่ไม่ได้พ่นกรดแอมไซซิก ทั้งนี้ผลที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากผลของการฉีดพ่นตัวทำละลายกรดแอมไซซิกจากภายนอกที่ไปลดผลกระทบจากภาวะเครียดออกซิเดติก ที่เป็นผลต่อเนื่องจากการให้อุณหภูมิสูง ทำให้ปริมาณการสะสมโพรลินภายในเซลล์ต้นกล้าข้าวที่ได้รับการฉีดพ่นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นใดๆ



รูปที่ 15 การสะสมโพรลีนในแต่ละวันของข้าวชาวดอกมะลิ 105 ในภาวะอุณหภูมิปกติและได้รับกรดแอบไซซิกจากภายนอก



รูปที่ 16 การสะสมโพรลีนในแต่ละวันของข้าวปทุมธานี 80 ในภาวะอุณหภูมิปกติและได้รับกรดแอบไซซิกจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15 แสดงปริมาณการสะสมโพรงลินในแต่ละวันของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาวะอุณหภูมิกปกติและได้รับกรดแอบไซซิกจากภายนอก (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณการสะสมโพรงลินในต้นกล้าข้าว (มิลลิกรัม) \pm standard error	
	อุณหภูมิกปกติ	อุณหภูมิกปกติ + 50 μ M ABA
0	0.2860 \pm 0.0358 ^a	0.3213 \pm 0.0415 ^a
3	0.2476 \pm 0.0340 ^a	0.5118 \pm 0.0237 ^b
6	0.3569 \pm 0.0588 ^a	0.2455 \pm 0.0254 ^a
9	0.4601 \pm 0.0344 ^a	0.5060 \pm 0.1106 ^a
12	0.3620 \pm 0.0603 ^a	0.3005 \pm 0.1679 ^a
15	0.1305 \pm 0.0736 ^a	0.0709 \pm 0.0360 ^a

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 16 แสดงปริมาณการสะสมโพรงลินในแต่ละวันของข้าวปทุมธานี 80 ในภาวะอุณหภูมิกปกติและได้รับกรดแอบไซซิกจากภายนอก (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณการสะสมโพรงลินในต้นกล้าข้าว (มิลลิกรัม) \pm standard error	
	อุณหภูมิกปกติ	อุณหภูมิกปกติ + 50 μ M ABA
0	0.5884 \pm 0.0536 ^a	0.3590 \pm 0.0463 ^a
3	0.2974 \pm 0.0156 ^a	0.0834 \pm 0.0217 ^b
6	0.3263 \pm 0.0373 ^a	0.2080 \pm 0.0555 ^a
9	0.3541 \pm 0.0225 ^a	0.2660 \pm 0.0197 ^a
12	0.1910 \pm 0.0325 ^a	0.3536 \pm 0.1022 ^a
15	0.0615 \pm 0.0197 ^a	0.0043 \pm 0.0043 ^a

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

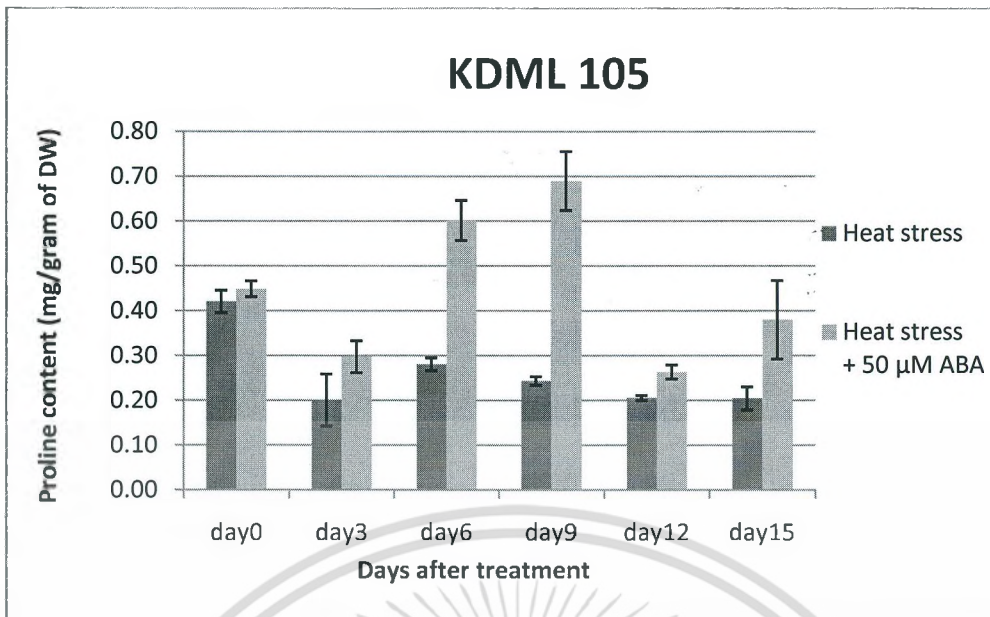
5. การศึกษาการสะสมปริมาณโพรงในต้นกล้าข้าว เมื่อได้รับกรดแอบไซซิกภายนอกในภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง

5.1. การศึกษาการสะสมปริมาณโพรงในต้นกล้าข้าวชาวดอกมะลิ 105 เมื่อได้รับกรดแอบไซซิกภายนอกในภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง

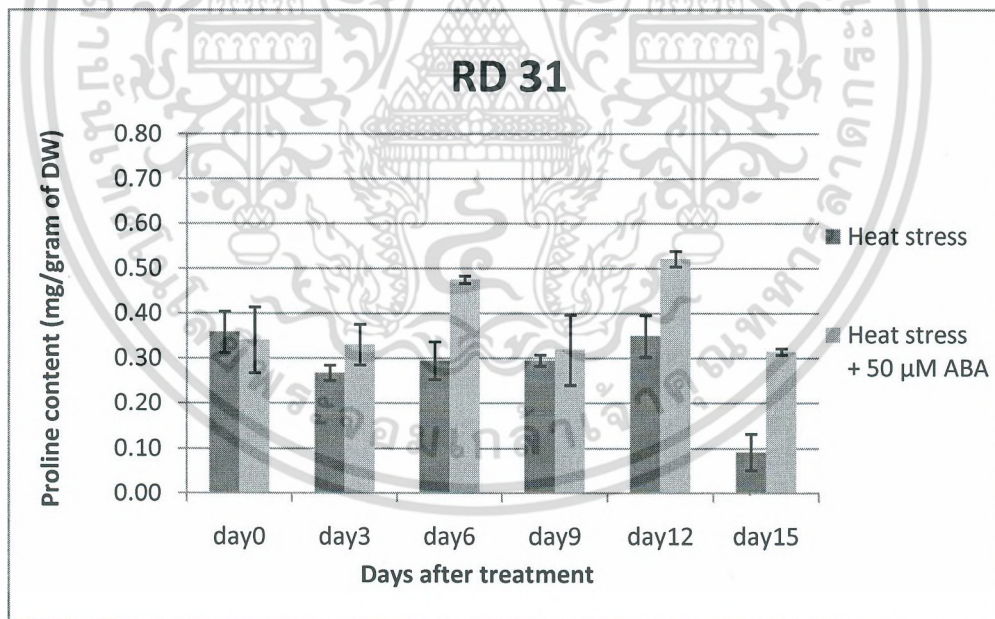
เมื่อต้นกล้าข้าวชาวดอกมะลิ 105 ได้รับกรดแอบไซซิกในภาวะอุณหภูมิสูงพบว่า ในวันที่ 3 หลังจากการฉีดพ่น มีปริมาณการสะสมโพรงที่เพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งในวันที่ 6 และ 9 มีปริมาณโพรงที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีปริมาณสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของข้าวปทุมธานี 80 จากนั้นพบว่าปริมาณโพรงลดต่ำลงในวันที่ 12 หลังจากการทดลอง การสะสมโพรงภายในเซลล์ต้นกล้าข้าวชาวดอกมะลิ 105 ภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงและได้รับกรดแอบไซซิกจากภายนอกสอดคล้องกับการสะสมโพรงในเซลล์ต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 ภายใต้สภาวะเดียวกัน โดยปริมาณโพรงในข้าวชาวดอกมะลิ 105 อยู่ในระดับที่สูงกว่าข้าวปทุมธานี 80 ซึ่งสอดคล้องผลการปรับตัวเชิงสรีรวิทยาของข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ ที่พบว่า ข้าวชาวดอกมะลิ 105 สามารถรักษาน้ำหนักสดต้นไว้ได้ดีกว่าข้าวปทุมธานี 80 เมื่อได้รับกรดแอบไซซิกจากภายนอกภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง

5.2. การศึกษาการสะสมปริมาณโพรงในต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 เมื่อได้รับกรดแอบไซซิกภายนอกในภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง

ต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 เมื่อได้รับการฉีดพ่นกรดแอบไซซิกในภาวะอุณหภูมิสูงพบว่าปริมาณการสะสมโพรงเพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 3 หลังจากการฉีดพ่นกรดแอบไซซิกและเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับตลอดการทดลอง จนในวันที่ 15 พบว่ามีปริมาณโพรงที่ลดลงแต่พบว่ามีมากกว่าปริมาณโพรงของต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 ที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นกรดแอบไซซิกจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การให้กรดแอบไซซิกจากภายนอกสามารถกระตุ้นให้ต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 ปรับตัวต่อความเครียดจากอุณหภูมิสูงได้โดยการสะสมโพรงในระดับที่สูงขึ้น



รูปที่ 17 การสะสมโพรลีนในแต่ละวันของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาวะอุณหภูมิสูงและได้รับกรดแอบไซซิกจากภายนอก



รูปที่ 18 การสะสมโพรลีนในแต่ละวันของข้าวปทุมธานี 80 ในภาวะอุณหภูมิสูงและได้รับกรดแอบไซซิกจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 17 แสดงปริมาณการสะสมโพรงลินในแต่ละวันของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาวะอุณหภูมิสูง และได้รับกรดแอบไซซิกจากภายนอก (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณการสะสมโพรงลินในต้นกล้าข้าว (มิลลิกรัม) \pm standard error	
	อุณหภูมิสูง	อุณหภูมิสูง + 50 μ M ABA
0	0.4214 \pm 0.0250 ^a	0.4494 \pm 0.0175 ^a
3	0.2009 \pm 0.0584 ^a	0.2980 \pm 0.0355 ^a
6	0.0584 \pm 0.0140 ^a	0.6021 \pm 0.0448 ^b
9	0.2442 \pm 0.0096 ^a	0.6897 \pm 0.1359 ^b
12	0.0907 \pm 0.1148 ^a	0.2640 \pm 0.0156 ^a
15	0.2046 \pm 0.0257 ^a	0.3796 \pm 0.0875 ^a

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 18 แสดงปริมาณการสะสมโพรงลินในแต่ละวันของข้าวปทุมธานี 80 ในภาวะอุณหภูมิสูงและได้รับกรดแอบไซซิกจากภายนอก (mean \pm standard error)

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณการสะสมโพรงลินในต้นกล้าข้าว (มิลลิกรัม) \pm standard error	
	อุณหภูมิสูง	อุณหภูมิสูง + 50 μ M ABA
0	0.4919 \pm 0.0830 ^a	0.3411 \pm 0.0735 ^a
3	0.2685 \pm 0.0170 ^a	0.3314 \pm 0.0454 ^a
6	0.2950 \pm 0.0420 ^a	0.4756 \pm 0.1020 ^a
9	0.2962 \pm 0.0123 ^a	0.3193 \pm 0.0786 ^a
12	0.3495 \pm 0.0465 ^a	0.5220 \pm 0.0174 ^a
15	0.0926 \pm 0.0406 ^a	0.3151 \pm 0.0069 ^b

*ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่เหมือนกันตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี LSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. ศึกษาผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นและรากของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 80 และหญ้าข้าวนก

จากการทดลองพบว่าต้นกล้าข้าวหอมไทยสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และข้าวปทุมธานี 80 มีการตอบสนองเชิงสรีรวิทยาต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงทั้ง 2 ระดับ (40 และ 45 องศาเซลเซียส) ที่คล้ายคลึงกัน โดยอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นของต้นกล้าข้าว เนื่องจากพบความยาวของกาบใบต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวปทุมธานี 80 เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความยาวของกาบใบต้นกล้าข้าวได้รับอุณหภูมิสูงที่ 40 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างกับความยาวของกาบใบต้นกล้าข้าวที่ปลูกในภาวะปกติ (35 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้ ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 45 องศาเซลเซียส ยังคงสามารถกระตุ้นให้ต้นกล้าหญ้าข้าวนกซึ่งเป็นวัชพืชสำคัญในนาข้าวมีการเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าภายใต้อุณหภูมิอากาศ 45 องศาเซลเซียส ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นของต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าวนก ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการปรับตัวของต้นกล้าข้าวและหญ้าข้าวนกต่อภาวะความเครียดจากอุณหภูมิสูงได้ แต่น้ำหนักสดต้นที่ลดลงแสดงให้เห็นว่าน้ำภายในเซลล์พืชลดลง เนื่องจากการคายน้ำของพืชอย่างรวดเร็วภายใต้อุณหภูมิอากาศที่สูงนี้ ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้น้ำในการเจริญเติบโตระยะต้นกล้า ทำให้ใบแคบลง ลำต้นไม่แข็งแรง หักง่าย และอาจส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าวที่ลดลงในที่สุด

ทั้งนี้ ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงยังคงส่งเสริมการเจริญเติบโตทางรากของต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 เมื่อเทียบกับภาวะอุณหภูมิปกติ รากพืชปรับตัวให้สามารถดูดน้ำจากภายนอกได้เพิ่มมากขึ้นโดยการเพิ่มพื้นที่ผิวของรากให้ยืดยาวออกหรือเพิ่มจำนวนรากฝอยเป็นต้น (Stuedle, 2000) ในขณะที่ภาวะเครียดนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทางรากของต้นกล้าข้าวหอมมะลิ 105 และหญ้าข้าวนก ทั้งในแง่ของความยาวรากและน้ำหนักสดรากที่ไม่แตกต่างไปจากต้นกล้าที่ปลูกในอุณหภูมิปกติ แสดงให้เห็นว่าภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ 40 และ 45 องศาเซลเซียส ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโตทางรากของต้นกล้าข้าวหอมมะลิ 105 และต้นกล้าหญ้าข้าวนก อีกนัยหนึ่งคือ ต้นกล้าข้าวมีการปรับตัวต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงได้ดี แต่อุณหภูมิสูงนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตทางรากของต้นกล้าหญ้าข้าวนก

รายงานการวิจัยฉบับนี้เป็นรายงานแรก que แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าภาวะเครียดจากอุณหภูมิพื้นผิวโลกที่เพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลอย่างไรต่อการเจริญเติบโตของข้าวหอมมะลิ 105 เปรียบเทียบกับวัชพืชสำคัญในนาข้าว นั่นคือ หญ้าข้าวนก ในช่วงระยะแรกของการปลูกข้าว รวมถึงทำให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นถึงการเปลี่ยนแปลงของนิเวศนาข้าวในช่วงฤดูปลูกระหว่างข้าวและหญ้าข้าวนกภายใต้ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง โดยผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้ทนต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง อีกทั้งยังเป็นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเมินเหตุการณ์ล่วงหน้าก่อนเกิดจริง เพื่อเตรียมความพร้อมด้านความมั่นคงทางอาหาร ภายใต้ภาวะโลกร้อน ที่อุณหภูมิพื้นผิวโลกสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2. การศึกษาผลของอุณหภูมิสูงและการให้กรดแอบไซซิกจากภายนอกต่อการสะสมโพสลินในต้นกล้าข้าวหอมไทย

การให้กรดแอบไซซิกจากภายนอกแก่ต้นกล้าข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ มีผลทำให้มีการสะสมโพสลินเพิ่มมากขึ้นในภาวะอุณหภูมิสูง จะเห็นได้ว่าการเพิ่มมากขึ้นของปริมาณโพสลินนั้นเป็นผลมาจากกรดแอบไซซิก ซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณโพสลินในภาวะอุณหภูมิปกติ นั้นน้อยกว่าปริมาณโพสลินของต้นกล้าข้าวที่อยู่ในภาวะอุณหภูมิสูง ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่ว่าโพสลินเป็นกรดอะมิโนที่สะสมในภาวะเครียดเมื่อพืชได้รับภาวะแล้งหรือภาวะเค็ม (Greenway and Munns, 1980 ; Ansary and Burlyn, 1987 ; Ingoynet *et al.*, 1992 ; Cabrera *et al.*, 1994 ; Luttet *et al.*, 1996 ; Liu and Zhu, 1997 ; Mottionet *et al.*, 1997 ; Iyer and Caplan, 1998) ซึ่งอุณหภูมิสูงก็จัดว่าเป็นภาวะเครียดเช่นกัน ดังนั้น การทดลองครั้งนี้จึงใช้โพสลินเป็นตัวชี้วัดต่อการปรับตัวของข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ ที่ได้รับภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง ซึ่งอาจจะมีการตรวจสอบโดยการเก็บผลการทดลอง แบบอื่นไปด้วยเช่น การชั่งน้ำหนักสด และความสูงของส่วนลำต้นที่เป็นสีเขียว จึงจะสามารถให้ข้อสรุปที่แน่นอนเกี่ยวกับรูปแบบความสัมพันธ์ของโพสลิน กรดแอบไซซิกและภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

ภาวะอุณหภูมิสูงนั้นชักนำให้ข้าวมีการสะสมโพสลินมากกว่าในภาวะปกติ โดยในภาวะอุณหภูมิสูงข้าวปทุมธานี 80 มีปริมาณโพสลินมากกว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ตลอดการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gzik (1996) ที่พบว่าเมื่อพืชได้รับสภาพแล้งและสภาพเค็มจะส่งผลให้มีการสะสมโพสลินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสภาพแล้งและเค็มนั้นจัดว่าเป็นสภาวะเครียดที่เกิดขึ้นกับพืชเช่นเดียวกับสภาวะอุณหภูมิสูง ดังนั้น ผลการทดลองจึงน่าจะมีความเป็นไปได้ที่จะสอดคล้องกันในส่วนของปริมาณโพสลินของพืชที่เพิ่มขึ้นในภาวะอุณหภูมิสูง ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าข้าวมีการสะสมโพสลินเพื่อตอบสนองต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงนั้นน่าจะเป็นลักษณะหนึ่งที่ทำให้มีความสามารถในการต้านทานต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง และการฉีดพ่นกรดแอบไซซิกให้แก่ต้นกล้าข้าวทั้งสองสายพันธุ์ทั้งในภาวะปกติและภาวะอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการกระตุ้นส่งผลให้ต้นกล้าข้าวมีการสะสมโพสลินเพิ่มสูงขึ้นทั้ง 2 สายพันธุ์และมีการสะสมโพสลินมากกว่าชุดควบคุมการทดลองที่ไม่ได้รับการฉีดพ่นกรดแอบไซซิกจากภายนอก แต่การกระตุ้นด้วยกรดแอบไซซิกจากภายนอกในภาวะปกตินั้นไม่สามารถทำให้มีการสะสมโพสลินเพิ่มมากขึ้นเหมือนกับการกระตุ้นจากภายนอกโดยความเครียดจากอุณหภูมิสูงได้ ซึ่งคาดว่า การฉีดพ่นกรดแอบไซซิกจากภายนอกในภาวะอุณหภูมิสูงนั้น อาจมีผลช่วยให้ต้นกล้าข้าวมีความต้านทานต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

1. ศึกษาผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นและรากของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 80 และหญ้าข้าวนก

ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูง 45 องศาเซลเซียส ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นและรากของต้นกล้าข้าวปทุมธานี 80 ในขณะที่ยังคงส่งเสริมการเจริญเติบโตทางลำต้นของต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 และหญ้าข้าวนก แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทางราก อย่างไรก็ตาม ภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงส่งผลเชิงลบต่อประสิทธิภาพในการรักษา้ำภายในเซลล์ต้นกล้าข้าว

2. การศึกษาผลของการสะสมโพรลีน เมื่อได้รับกรดแอบไซซิกจากภายนอกในภาวะอุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูง

การฉีดพ่นกรดแอบไซซิกจากภายนอกที่ความเข้มข้น 50 μM ในภาวะอุณหภูมิสูงนั้น ส่งผลต่อการกระตุ้นให้เซลล์ต้นกล้าข้าวสะสมโพรลีนในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นในต้นกล้าข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ แต่จะไม่สามารถกระตุ้นให้มีการสะสมโพรลีนภายใต้ภาวะปกติได้ โดยพบว่าต้นกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ถูกกระตุ้นให้มีการสะสมโพรลีนในต้นกล้าข้าวได้มากกว่าต้นกล้าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 80 ดังนั้นการฉีดพ่น ABA จากภายนอกที่ความเข้มข้น 50 μM สามารถกระตุ้นให้เซลล์ต้นกล้าข้าวสะสมโพรลีนในปริมาณที่สูงขึ้น เพื่อปรับตัวต่อภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงได้ โดยข้าวพันธุ์ที่ปรับตัวได้ดีต่อภาวะอุณหภูมิสูงได้ดีที่สุดคือ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

เอกสารอ้างอิง

กนิดา ธนเจริญชนภาส และ โอรส รักชาติ. ผลกระทบของภาวะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในฤดูการปลูก ที่มีต่อผลผลิตและอนุภาคเม็ดแป้งของข้าวหอมไทย (*Oryza sativa* L.) พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105. ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; ภาควิชาอุตสาหกรรม การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

ชนิษฐา วันสา. 2548. การตรวจสอบระดับการสะสมโปรตีนในพันธุ์อ้อยทนต์และไม้ทนต์. ปัญหาพิเศษปริญญาตรีมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชุมพล คุณวาสี. (ม.ป.ป.). การตอบสนองและการควบคุมภายในพืช. ใน เอกสารประกอบการสอน วิชา General Biology. (หน้า 10-12). ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธวัช เรืองโสภณ. 2535. การประเมินระดับความทนแล้งของข้าวโพดต่างพันธุ์กรรมโดยใช้การสะสมปริมาณโปรตีนเป็นดัชนี. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นวรรตน์ อุดมประเสริฐ และสุวพงษ์ สวัสดิ์พานิชย์. 2537. อิทธิพลของสภาวะขาดน้ำต่อปริมาณโปรตีนและคุณภาพของอาหารสัตว์. รายงานผลการวิจัยประจำปี 2537. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นวรรตน์ อุดมประเสริฐ, จันทร์จรีกิจจานนท์, ราเชนทร์ธีรพรและเอนกนันต์มาช่วย. 2540. อิทธิพลของสภาวะขาดน้ำในระยะออกช่อดอกต่อผู้ต่อระดับของโปรตีนและเอบีเอและผลผลิตของข้าวโพด. รายงานผลการวิจัยประจำปี 2540. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บงกช โพธิ์จรงค์. 2557. ผลของภาวะเครียดจากอุณหภูมิสูงและการให้กรดแอบไซซิกจากภายนอกที่มีผลต่อการเติบโตของข้าวหอมไทย (*Oryza sativa* L.). ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วารีย์ เวรวรรณ์. 2547. รูปแบบของไอโซไซม์ของอ้อยที่ได้รับสภาวะขาดน้ำในสภาพการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและโรงเรือน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พินิจ จันทรและคณะ. 2555. 100 พันธุ์ข้าวไทย...อาหารสู่ครัวโลก. กรุงเทพฯ: ปัญญาชน. 200 หน้า.

พงศธร กล่อมสกุล. 2547. ผลของกรดแอบไซซิกจากภายนอกที่มีต่อการเจริญเติบโต การสะสมโปรตีน และการแสดงออกของยีนในข้าว *Oryza sativa* L. เมื่ออยู่ในสภาวะแล้งและเค็ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
กรุงเทพมหานคร.

- สายันท์สุดดี. 2537. สภาวะขาดน้ำในการผลิตพืช. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะ
ทรัพยากรธรรมชาติมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 202 หน้า (พิมพ์ครั้งที่ 2).
- สุจริต คุณธนกุลวงศ์และคณะ. 2549. The Impact of Climate Change on Irrigation
Systems and Adaptation Measures. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- สุมาลี คงสอดทรัพย์ และวัฒนา พัฒนากุล. 2012. ผลของการแช่เมล็ดในกดแบไซซิกและพาโคล
บิวทราโซลต่ออัตราการงอกและการเจริญเติบโตของข้าว (*Oryza sativa* L.) ในสภาวะ
แล้ง. Graduate Research Conference. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.
- อาคม กาญจนประโชติ. 2542. ธัญพืช. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- อิทธิสุนทร นันทกิจ. (ม.ป.ป.). การออกแบบและจัดการผักสลัดที่ปลูกในระบบ NFT เป็นการค้า.
คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,
กรุงเทพมหานคร
- อรรควุฒิ ทิศน์สองชั้น. เรื่องของข้าว. ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตร
ศาสตร์, กรุงเทพมหานคร
- Ain-Lhont, F., Zunzunegui, F.A., Diaz Barradas, M.C., Tirado, R., Clavijio, A. and
Novo, F.C. 2000. Comparision of proline accumulation in Mediterranean
shrubs subjected to natural and experimental water deficit. *Plant Soil*.
230: 175-183.
- Andrade, J.L., Saavedra A.L. and Trejo C.L. 1995. Proline accumulation in leaves
of four cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. with different drought tolerance.
Phyton-International Journal of Experimental Botany. 57: 149-157.
- Ansary,E.M. and Buriyn, E.M. 1987. The effect of sodium chloride on solute
potential and proline accumulation in soybeen leaves. *Plant Physiology*.
83: 238-240.
- Barnett, N.M. and Naylor, A.W. 1966. Amino acid and protein metabolism in
Bermudagrass during water stress.*Plant Physiology*. 41: 1222-1230.
- Bates, L.S., Woldern R.P. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free
proline for water stress studies. *Plant Soil* 39: 205-208

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Boggess, S.F., Stewart, C.R., Aspinall, D. and Paleg, L.G. 1976. Effect of water stress on proline synthesis from radioactive precursors. *Plant Physiology*. 58: 398-401.
- Buckley, P. J., Clegg, J., and Wang, C. 2007a. Is the relationship between inward FDI and spillover effects linear? An empirical examination of the case of China. *Journal of International Business Studies*. 38(3): 447-459.
- Buckley, P.J., Clegg, J., and Wang, C. 2007b. The impact of foreign ownership, local ownership and industry characteristics on spillover benefits from foreign direct investment in China. *International Business Review*. 16(2): 142-158.
- Chbrera, H.M., Argandono, V.H., Zunige, G.E., Corcuera, L.J. 1998. Effect of infestation aphids and water status of barley and insect development. *Phytochemistry*. 40 (4):1083-1088.
- Chandler, PM. and Robertson, M. 1994. Gene expression regulated by abscisic acid and its relation to stress tolerance. *Annual Review of Plant Physiology Plant Molecular Biology*. 45: 113-141.
- Chang, H.H. and Dendeker, A.M. 1995. Regulation of proline accumulation in response to drought and heat stress in cotton. *African Crop Science*. 8 (1): 92-58.
- Chbrera, H.M., Argandono, V.H. and Corcuera, L.J. 1994. Metabolic changes in barley seedling at different aphid infestation levels. *Phytochemistry*. 35(2): 317-319
- Delauney, A.J. and Verma, D.P.S. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *The Plant Journal*. 4: 215-223.
- De Ronde, J. A., Cress, W. A., Krüger, G., H. J., Strasser, R. J. and Van Staden, J. 2004. Photosynthetic response of transgenic soybean plants, containing an Arabidopsis P5CR gene, during heat and drought stress. *Journal of Plant Physiology*. 161: 1211-1224.
- Ekanayake, I.J., S.K. DeDatte, and P.L. Steponkus. 1989. Spikelet sterility and flowering response of rice to water stress at anthesis. *Annals of botany*. 63: 257-264.

- Greenway, H. and Munns, R. 1980. Mechanism of salt tolerance in nonhalophyte. *Annual Review of Plant Physiology*. 31: 149-190.
- Gzik, A. 1996. Accumulation of proline and pattern of α -amino acids in sugar beet plants in response to osmotic, water and salt stress. *Environmental and Experimental Botany*. 36: 29-38.
- Hare, P.D., Cress, W.A. and Staden, J.V. 1998. Dissecting the role of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell & Environment*. 21: 535-553.
- Hanson, A.D. and Hitz, W.D. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Annual Review of Plant Physiology*. 33: 163-203.
- Hartung, W., Zhang, J., and Davies, W.J. 1994. Does abscisic acid have a stress physiological role in maize plants growing in heavily compacted soil. *Journal of Experimental Botany*. 45: 221-226.
- Hien, D.T., Jacobs, M., Angenon, G., Hermans, C., Thu, T.T., Son, L.V. and Roosen, N.H. 2003. Proline accumulation and pyrroline-5-carboxylate synthetase gene properties in three rice cultivars differing in salinity and drought tolerance. *Plant Science*. 165: 1059-1068.
- Ingoyen, J.J., Emerich, D.W. and Sanchez-Diaz, M. 1992. Alfalfa leaf senescence induced by drought stress: Photosynthesis, hydrogen peroxide metabolism, lipid peroxidation and ethylene evolution. *Physiologia Plantarum*. 48:67-72.
- Ingoyen, J.J., Emerich, D.W. and Sanchez-Diaz, M. 1992. Water stress indicated changes in concentrations of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*. 84: 55-60.
- Ingoyen, J.J., Emerich, D.W. and Sanchez-Diaz, M. 1992. Phosphoenolpyruvate carboxylase, malate and alcohol dehydrogenase activities in alfalfa (*Medicago sativa*) nodules under water stress. *Physiologia Plantarum*. 84: 61-66.
- Iyer, S. and Caplan, A. 1998. Products of proline catabolism can induce osmotically regulated genes in rice. *Plant Physiology*. 116: 203-211.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Jeschke WD, Peuke AD, Pate JS, Hartung W. 1997. Transport, synthesis and catabolism of abscisic acid (ABA) in intact plants of castor bean (*Ricinus communis* L.) under phosphate deficiency and moderate salinity. *Journal of Experimental Botany*. 48: 1737-47.
- Jones, M.M. and Rawson, H.M. 1979. Influence of rate of development of leaf water deficits upon photosynthesis, leaf conductance, water use efficiency and osmotic potential in sorghum. *Plant Physiology*. 45: 103-111.
- Liu, J. and Zhu, J.K. 1997. Proline accumulation and salt-stress-induced gene expression in a salt-hypersensitive mutant of *Arabidopsis*. *Plant Physiology*. 11:591-596.
- Matsushima, S., Ikewada, H., Maeda, A., Honma, S. and Niki, H. 1982. Studies on rice cultivation in the tropics. Yielding and ripening response of the rice plant to the extremely hot and dry climate in Sudan. *Jpn. L. Trop. Agriculture and the Environment*. 26: 19-25.
- Mattioni, C., Lacerenza, N.G., Trocoli, J., DeLeonardis, A.N. and DeFonzo, N. 1997. Water and salt stress induce alterations in proline metabolism of *Triticum durum* seedling. *Physiologia Plantarum*. 101:787-792.
- Molinari, H. B. C., Marur, C. J., J. Filho, C. B., Kobayashi, A. K., Pileggi, M., R. Júnior, P. L., Pereira, L. F.P. and Vieira, L. G. E. 2004. Osmotic adjustment in transgenic citrus rootstock Carrizo citrange (*Citrus sinensis* Osb. x *Poncirus trifoliata* L. Raf.) overproducing proline. *Plant Science*. 167: 1375-1381.
- Newton, R. J., Sen, S. and Puryear, J. D. 1986. Free proline changes in *Pinus taeda* L. callus in response to drought stress. *Tree Physiology*. 1: 325-332.
- Pinnschmidt, H.O., Batchelor, W.D., and Teng, P.S. 1995. Simulation of multiple species pest damage in rice using CERES-Rice. *Agricultural Systems*. 48:193-222.
- Rotter, R. and Van de Geijn, S.C. 1999. Climate change effects on plant growth, crop yield and livestock. *Climatic Change*. 43:651.

- Saab IN., Sharp RE., Pritchard J. and Voetburg GS. 1990. Increased endogenous abscisic acid maintains primary root growth and inhibits shoot growth of maize seedlings at low water potential. *Plant Physiology*. 93:1329–36.
- Satake, T. and Yoshida. 1978. High temperature induced sterility indica rice at flowering. *Jpn. J. Crop Science*. 47: 6-17.
- Savary, S., Castilla, N.P., Elaegui, F.A., and Teng, P.S. 2005. Multiple effects of two drivers of agricultural change, labour shortage and water scarcity, rice pests profiles in tropical asia. *Field crops Research*. 91:263-271.
- Steudle, E. 2000. Water uptake by root: effects of water deficits. *Journal of Experimental Botany*. 51: 1531-1542.
- Stewart, C.R. and Hanson, A.D. 1980. Proline accumulates as a metabolic response to water stress. In *Adaptation of Plant to Water and High Temperature*. John Wiley & Sons. Toronto.
- Su, J. and Wu R. 2004. Stress-inducible synthesis of proline in transgenic rice confers faster growth under stress conditions than that with constitutive synthesis. *Plant Science*. 166: 941-948.
- Veeravalli K., Boyd D., Iverson B.L., Beckwith J and Georgiou G. 2011. Laboratory evolution of glutathione biosynthesis reveals natural compensatory pathways. *Nature Chemical Biology*. 7: 101–105
- Wang, S., Wan C., Wang Y., Chen H., Zhou Z., Fu H. and Sosebee, R.E. 2004. The characteristics of Na, K and free proline distribution in several drought resistant plants of the Alxa Desert, China. *Journal of Arid Environments*. 56: 525-539.
- Yi-Zhi, Z and Tian, L.2000. Changes of proline levels and abscisic acid content in tolerant/sensitive cultivars of soybean under osmotic conditions. *Soybean Genetics Newsletter* 27 [Online journal]. URL http://www.soygenetics.org/articles/sgn_2000-011.htm

ภาคผนวก

1. ขั้นตอนการเตรียมอาหารเหลว WP สำหรับใช้เพาะเลี้ยงข้าว

1.1 Macroelements

KNO_3	58	mg
CaSO_4	50	mg
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	45	mg
Triple super phosphate	25	mg
$(\text{NH}_4)_4\text{SO}_4$	10	mg

1.2 Microelements

Na_2EDTA^a	160	mg
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}^a$	120	mg
$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	15	mg
H_3BO_3	5	mg
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.5	mg
KI	1	mg
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.1	mg
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.05	mg
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.05	mg
H_2O	800	mg

ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารละลายและนำ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ที่เตรียมสารละลาย
เข้มข้นไว้ใส่ลงไป 2 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาณด้วยน้ำให้ได้ 1 ลิตร

^a วิธีการเตรียม FeSO_4 30g/L

Na_2EDTA	40	g
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	30	g

ผสมสารละลายทั้งสองชนิดให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารละลายจากนั้นเติมน้ำเพื่อปรับ
ปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

2. ขั้นตอนการเตรียมสารละลายกรดแอบไซซิก

- 2.1 สารเคมีที่ใช้คือ (\pm) Abscisic acid (Sigma); 99% pure; (5-[1-hydroxy-2,6,6-trimethyl-4-oxo-cyclohex-en-1-yl]-3-methyl-(2Z,4E)-pentadienoic acid); $C_{15}H_{20}O_4$; MW. 264.3
- 2.2 วิธีการเตรียม stock 500, 1000 และ 2,000 μ M ABA ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
ชั่งกรดแอบไซซิกหนัก 2.64 มิลลิกรัม (เตรียม stock 500 μ M ABA) ละลายด้วย ethanol 500 μ l คนจนให้ได้สารละลายใส เติมน้ำกลั่นลงไปผสมให้เข้ากัน และเติม 100 μ l ของ Triton x - 100 จากนั้นปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 20 มิลลิลิตร สำหรับการเตรียม stock 1,000 และ 2,000 μ M ABA ให้ใช้วิธีการเดียวกันกับข้างต้น แต่ใช้กรดแอบไซซิก 5.27 และ 10.57 กรัม ตามลำดับ
- 2.3 วิธีการเตรียม working concentration ของ ABA solution
ทำการเจือจาง stock solution ของ ABA ด้วยน้ำกลั่น โดยใช้ Stock ABA : น้ำกลั่น ในอัตรา 1:9 ตามลำดับ ผสมให้เข้ากัน

3. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณโพรลีน ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีการของ Bates และคณะ(1973)

- 3.1 บดใบข้าวหนัก 0.03 กรัม ด้วยโถรงบดให้ละเอียด เติม 3% (สต็อก 99 %) sulfosalicylic acid (w/v) 5 ml ลงในโถรงบด
- 3.2 นำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วดูดสารละลายที่ได้จำนวน 1 ml ใส่ในหลอดทดลอง
- 3.3 เติม 0.5 ml glacial acetic acid และ 0.5 ml acid ninhydrin (ภาคผนวก ก) ที่เตรียมเสร็จใหม่ๆ แล้วนำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พร้อมกับต้ม Proline standard
- 3.4 เมื่อครบ 1 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาทันทีโดยการนำหลอดทดลองแช่ในน้ำแข็ง 10 นาที
- 3.5 เติม toluene 2 ml ผสมสารให้เข้ากันโดยใช้ vortex นาน 15.20 วินาที ตั้งทิ้งไว้ 1-2 นาที
- 3.6 ดูดสารละลายที่มีสีชมพูในชั้นของ toluene มาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm ด้วย เครื่องspectrophotometer โดยใช้ toluene เป็น blank เทียบกับกราฟมาตรฐาน (standard curve) ของโพรลีนที่รู้ความเข้มข้นแน่นอน

4. วิธีการเจือจาง Proline standard

วิธีคำนวณหาปริมาณโปรลีนสแตนดาร์ดในสต็อกจาก 115.13 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

$$1\text{m} = 115.13 \text{ mg/ml}$$

$$m_1v_1 = m_2v_2$$

$$(1\text{M})(v) = (2.5 \text{ mM})(2\text{ml})$$

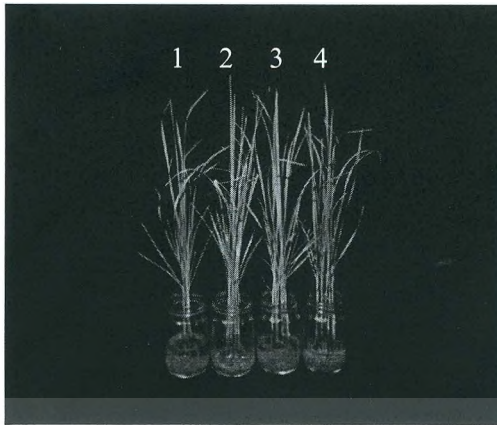
$$V = 5 \mu\text{l}$$

4.1 เมื่อคำนวณเสร็จจะได้ปริมาณโปรลีน 5 ไมโครลิตร ผสมกับ sulfosalicylic acid ในปริมาณ 1995 ไมโครลิตรจะได้ โปรลีนที่ความเข้มข้น 2.5 มิลลิโมลาร์

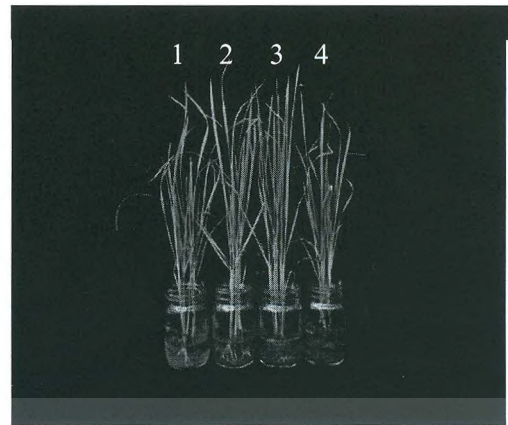
4.2 เจือจางโปรลีนต่อไปทีละครึ่ง โดยดูดสารจากหลอดทดลองที่มีความเข้มข้น 2.5 มิลลิโมลาร์ มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่ใส่ sulfosalicylic acid ไว้แล้ว 1 มิลลิลิตร จะได้โปรลีนที่ความเข้มข้น 1.25 มิลลิโมลาร์ จากนั้นให้เจือจางต่อไปเรื่อยๆ อีก 9 ความเข้มข้นและเตรียมหลอดเปรียบเทียบ



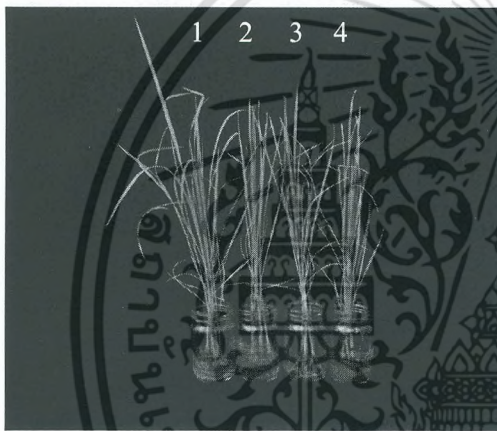
รูปที่ 19 การเจือจางความเข้มข้นของปริมาณโปรลีนทั้งหมด 11 ความเข้มข้น และชุดควบคุมการทดลอง



วันที่ 6



วันที่ 9



วันที่ 12



วันที่ 15

รูปที่ 20

แสดงการเจริญเติบโตในแต่ละวันที่เก็บผลการทดลองของข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร WP โดยได้รับกรดแอบไซซิกที่ความเข้มข้น $50 \mu\text{M}$ เป็นเวลา 15 วัน หลังจากการเจริญเติบโตตามปกติ เป็นเวลา 21 วัน (3 สัปดาห์)

- โดยที่
- 1 = ชุดควบคุมภาวะอุณหภูมิปกติ 30°C
 - 2 = ชุดควบคุมภาวะอุณหภูมิสูง 40°C
 - 3 = ชุดภาวะอุณหภูมิปกติ 30°C + ฉีดพ่นด้วย $50 \mu\text{M}$ ABA
 - 4 = ชุดภาวะอุณหภูมิสูง 40°C + ฉีดพ่นด้วย $50 \mu\text{M}$ ABA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วันที่ 6



วันที่ 9



วันที่ 12



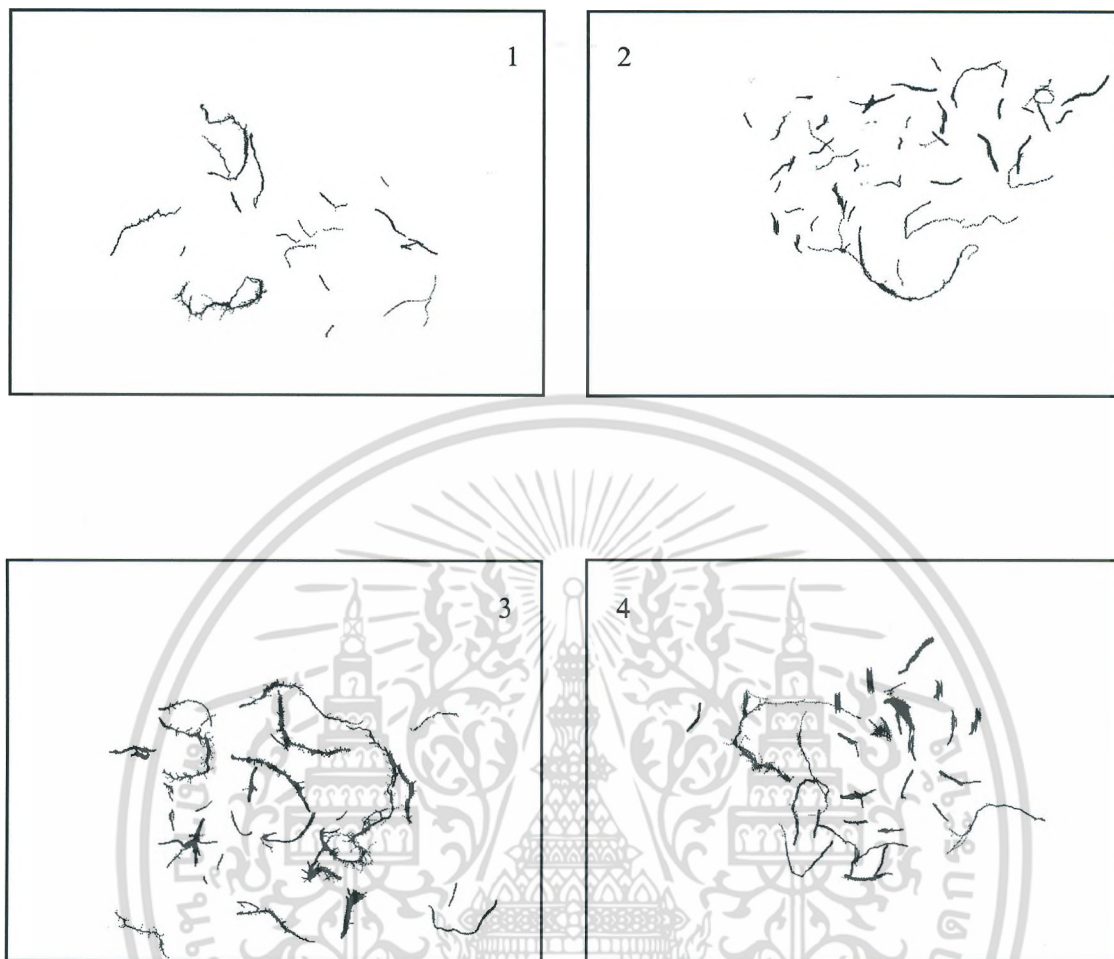
วันที่ 15

รูปที่ 21

แสดงการเจริญเติบโตในแต่ละวันที่เก็บผลการทดลองของข้าวปทุมธานี 80 เมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร WP โดยได้รับกรดแอบไซซิกที่ความเข้มข้น $50 \mu\text{M}$ เป็นเวลา 15 วัน หลังจากการเจริญเติบโตตามปกติ เป็นเวลา 21 วัน (3 สัปดาห์)

- โดยที่
- 1 = ชุดควบคุมภาวะอุณหภูมิปกติ 30°C
 - 2 = ชุดควบคุมภาวะอุณหภูมิสูง 40°C
 - 3 = ชุดภาวะอุณหภูมิปกติ 30°C + ฉีดพ่นด้วย $50 \mu\text{M}$ ABA
 - 4 = ชุดภาวะอุณหภูมิสูง 40°C + ฉีดพ่นด้วย $50 \mu\text{M}$ ABA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22

ความยาวของรากในวันที่ 37 ของ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร WP โดยได้รับกรดแอบไซซิกที่ความเข้มข้น $50 \mu\text{M}$ เป็นเวลา 15 วัน หลังจากการเจริญเติบโตตามปกติเป็นเวลา 21 วัน (3 สัปดาห์)

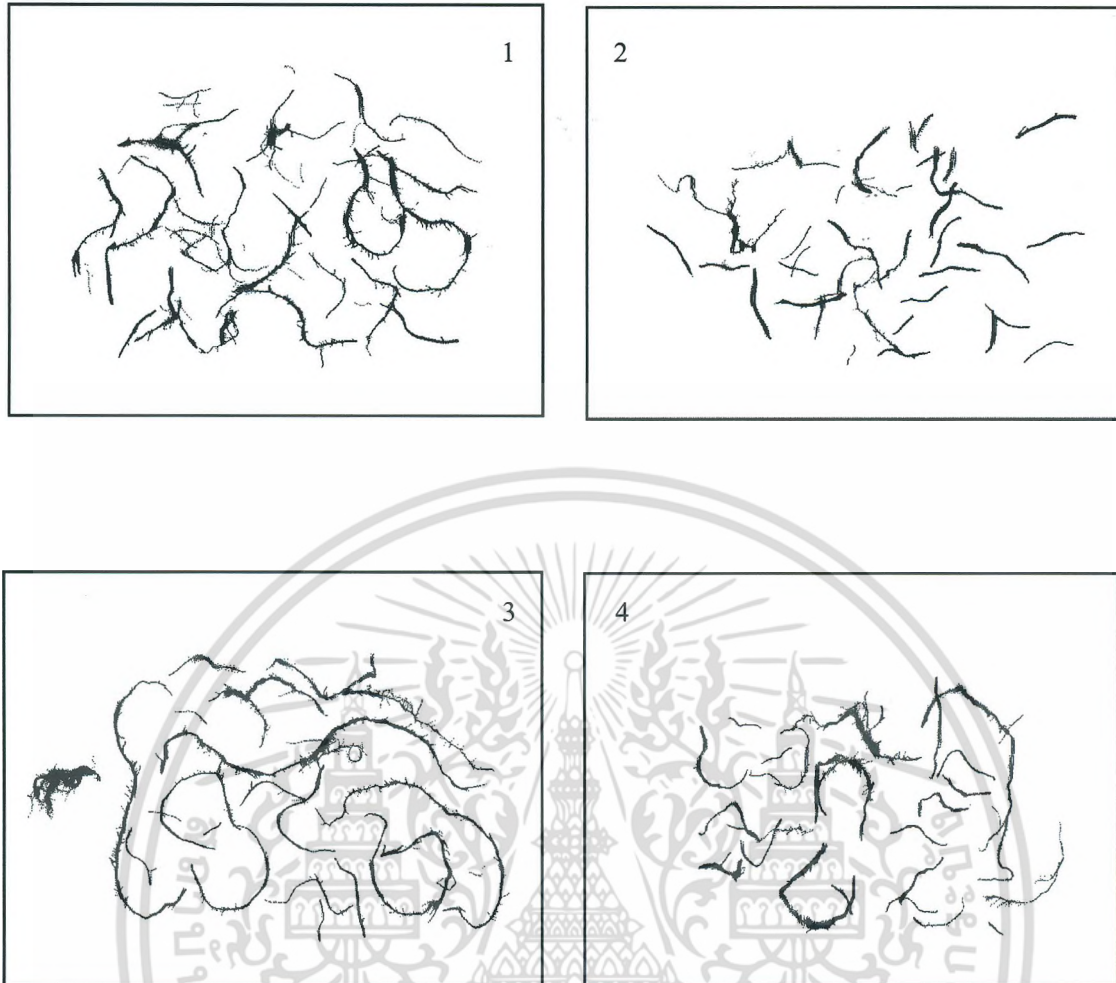
โดยที่ 1 = ชุดควบคุมภาวะอุณหภูมิปกติ 30°C

2 = ชุดควบคุมภาวะอุณหภูมิสูง 40°C

3 = ชุดภาวะอุณหภูมิปกติ 30°C + ฉีดพ่นด้วย $50 \mu\text{M}$ ABA

4 = ชุดภาวะอุณหภูมิสูง 40°C + ฉีดพ่นด้วย $50 \mu\text{M}$ ABA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 23

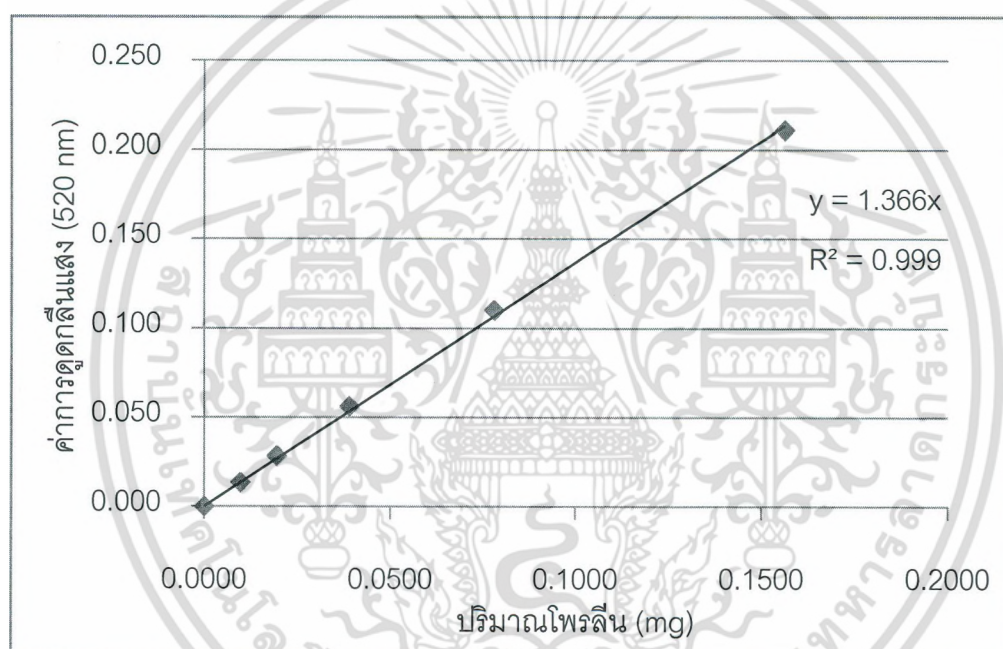
แสดงความยาวของรากในวันที่ 37 ของข้าวปทุมธานี 80 เมื่อปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร WP โดยได้รับกรดแอบไซซิกที่ความเข้มข้น $50 \mu\text{M}$ เป็นเวลา 15 วัน หลังจากการเจริญเติบโตตามปกติเป็นเวลา 21 วัน (3 สัปดาห์)

- โดยที่
- 1 = ชุดควบคุมภาวะอุณหภูมิปกติ 30°C
 - 2 = ชุดควบคุมภาวะอุณหภูมิสูง 40°C
 - 3 = ชุดภาวะอุณหภูมิปกติ 30°C + ฉีดพ่นด้วย $50 \mu\text{M}$ ABA
 - 4 = ชุดภาวะอุณหภูมิสูง 40°C + ฉีดพ่นด้วย $50 \mu\text{M}$ ABA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟมาตรฐานโพรลิน ในการวิเคราะห์ปริมาณโพรลิน

ปริมาณโพรลิน (mg)	ค่าการดูดกลืนแสง (520 nm)
0.0000	0.000
0.0097	0.013
0.0195	0.028
0.0390	0.056
0.0781	0.110
0.1562	0.211



รูปที่ 24 กราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณโพรลิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้