

ผลของสภาวะขาดน้ำต่อการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์
ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโพรลีน และการเจริญเติบโตของข้าว
Effect of Drought Stress on Electrolyte Leakage,
Photosynthetic Pigment Concentrations, Proline Content
and Growth of Rice (*Oryza sativa* L.)

คงเอก ศิริงาม*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

Kongake Siringam*

Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University,

Anusaowaree, Bangkokhen, Bangkok 10220

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโพรลีน และการเจริญเติบโตของข้าวที่ตอบสนองต่อสภาวะขาดน้ำ โดยนำต้นกล้าข้าวที่มีอายุ 28 วัน จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ ปทุมธานี 1 ขาวดอกมะลิ 105 กข 31 กข 41 และ กข 47 มาทดลองงดให้น้ำเป็นเวลา 10 วัน จากการศึกษาพบว่าสภาวะขาดน้ำมีผลทำให้การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในรากและใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำปกติ รวมทั้งพบว่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในรากมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบ ($r^2 = 0.76$) ในทางกลับกัน พบว่าสภาวะขาดน้ำส่งผลทำให้ปริมาณรงควัตถุภายในใบ ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ทั้งหมดลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดภายในใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักแห้ง ($r^2 = 0.72$) ซึ่งมีผลทำให้การเจริญเติบโตของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ลดลง ส่วนปริมาณโพรลีนภายในรากและใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำ จากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณโพรลีนภายในใบมาใช้ในการจำแนกความสามารถในการทนทานต่อสภาวะขาดน้ำในระยะต้นกล้าของข้าวได้ 2 กลุ่ม คือ พันธุ์ข้าวที่ทนทานต่อสภาวะขาดน้ำ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 กข 31 และ กข 47 และพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอต่อสภาวะขาดน้ำ ได้แก่ ปทุมธานี 1 และ กข 41

คำสำคัญ : ข้าว; สรีรวิทยา; ขาดน้ำ; รงควัตถุ

Abstract

This study aims to investigate the electrolyte leakage, photosynthetic pigment concentrations, proline content and growth of rice responses to drought stress. Twenty-eight days seedlings of five rice cultivars including; Pathumthani1, Khao Dawk Mali 105, RD31, RD41 and RD47 were exposed to drought stress for 10 days. The results showed that the drought stress was significantly enhanced the electrolyte leakage in roots and leaves when compared to well-watered. Moreover, this study found that the electrolyte leakage in roots was positively related to the electrolyte leakage in leaves ($r^2 = 0.76$). In contrast, the photosynthetic pigment concentrations including; chlorophyll *a* (Chl *a*), chlorophyll *b* (Chl *b*), total chlorophyll (TC) and total carotenoids (C_{x+c}) were reduced by drought stress. Furthermore, the total chlorophyll was positively related to the dry weight ($r^2 = 0.72$), leading to the growth reduction of five rice cultivars. In addition, the proline content in roots and leaves were significantly increased when subjected to drought stress. From this study showed that the physiological characteristic responses may be used to classify the drought tolerance of rice in the seedling stage. From this study, the physiological characteristic responses of rice on drought stress can be used to identify the drought tolerance ability of rice in seedling stage into 2 groups including; drought tolerance (Khao Dawk Mali 105, RD31 and RD47) and sensitive-drought tolerance rice (Pathumthani 1 and RD41).

Keywords: rice; physiology; drought; pigment

1. คำนำ

ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ก่อให้เกิดปัญหาการใช้ประโยชน์ทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรกรรม โดยสภาวะขาดน้ำจัดเป็นปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งในระบบการผลิตพืช (Xia *et al.*, 2005) สภาวะขาดน้ำเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้พืชเกิดสภาวะความเครียดและส่งผลกระทบต่อความสามารถในการให้ผลผลิตของพืชทั่วโลก ลดลง ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ (Mahajan and Tuteja, 2005) การเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชได้รับผลกระทบจากสภาวะขาดน้ำ (Wang *et al.*, 2001) โดยสภาวะขาดน้ำก่อให้เกิดสภาวะความเครียดจากค่าศักย์ออสโมติกภายในพืช (Lutts *et al.*, 2004; Wahid, 2004;

Castillo *et al.*, 2007) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความสัมพันธ์ของน้ำภายในพืชและการรอดชีวิตของพืชที่ได้รับสภาวะขาดน้ำ (Rampino *et al.*, 2006) โดยความสามารถในการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชภายใต้สภาวะขาดน้ำสามารถพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางสรีรวิทยาที่ส่งผลการรอดชีวิตของพืช เช่น การร่วงหล่นของสารอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณรงควัตถุ ปริมาณโปรตีน การเจริญเติบโต (Shukla *et al.*, 2012; Cha-um *et al.*, 2010; Parida *et al.*, 2007)

การร่วงหล่นของสารอิเล็กโทรไลต์บ่งบอกถึงสภาพความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์ภายในพืชที่ได้รับสภาวะขาดน้ำ โดยพบว่าการร่วงหล่นของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบเพิ่มขึ้นตามระดับความรุนแรงของสภาวะขาดน้ำที่ได้รับในพืชหลายชนิด

เช่น หลัวเบอร์มิวด้า (Hu *et al.*, 2010) ถั่วลิสง (McKersie *et al.*, 1996) ถั่ว (França *et al.*, 2000) ข้าวสาลี (Bajji *et al.*, 2001) กาแฟ (Lima *et al.*, 2002) ในขณะที่ปริมาณรังควัตถุบ่งบอกถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงภายในพืช โดยพบว่าปริมาณรังควัตถุภายในใบพืชลดลงเมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำ โดย Cha-um และคณะ (2010) รายงานว่ารังควัตถุภายในใบข้าวพันธุ์หอมจันทร์ ปทุมธานี 1 และ กข 6 มีปริมาณลดลงเมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำ ซึ่งส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณรังควัตถุภายในใบและการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดลดลงเมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำ เช่น ฝ้าย (Parida *et al.*, 2007) ข้าวสาลี (Loggini *et al.*, 1999) สับปะรด (Sapeta *et al.*, 2013)

โพรลีนจัดเป็นสารประกอบที่มีบทบาทสำคัญในกลไกการควบคุมค่าศักย์ออสโมติกภายในเซลล์เมื่อพืชเจริญภายใต้สภาวะขาดน้ำ กลไกนี้มีความสำคัญต่อการควบคุมค่าศักย์ของน้ำและสมดุลของน้ำภายในพืช ทำให้พืชสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ภายใต้สภาวะขาดน้ำ (Caballero *et al.*, 2005) โดย Pridashti *et al.* (2009) รายงานว่าข้าวพันธุ์ที่มีการสะสมโพรลีนในปริมาณมากจะมีผลผลิตสูงกว่าข้าวพันธุ์ที่มีการสะสมโพรลีนในปริมาณน้อยเมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณโพรลีนภายในพืชหลายชนิดเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำ เช่น ข้าว (Basu *et al.*, 2009) หม่อน (Chaitanya *et al.*, 2009) ถั่วปากอ้า (Ali *et al.*, 2013)

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของประชากรโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งประชากรในทวีปเอเชียมากกว่า 3 พันล้านคน บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก (Khush,

2005) อย่างไรก็ตาม ข้าวจัดเป็นพืชที่มีความอ่อนแอต่อสภาวะขาดน้ำทั้งในระยะต้นกล้าและระยะให้ผลผลิต (Zeng *et al.*, 2003) โดยสภาวะขาดน้ำเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตข้าวที่ผลิตได้ทั่วโลกลดลง (Mahajan and Tuteja, 2005) ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองของลักษณะทางสรีรวิทยา ประกอบด้วย การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณรังควัตถุ ปริมาณโพรลีน และการเจริญเติบโตของข้าวในระยะต้นกล้าที่ได้รับสภาวะขาดน้ำที่แตกต่างกัน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมต้นข้าวและสภาพการทดลอง

เพาะเมล็ดข้าว จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ ปทุมธานี 1 ขาวดอกมะลิ 105 กข 31 กข 41 และ กข 47 ลงในถาดหลุม หลังจากนั้นทำการเพาะเลี้ยงจนต้นกล้ามีอายุ 7 วัน จึงทำการย้ายต้นกล้าข้าวลงปลูกในกระถางพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว โดยให้น้ำตามปกติ เมื่อต้นกล้าข้าวมีอายุ 28 วัน หลังย้ายปลูก จึงทดลองภายใต้สภาวะขาดน้ำ โดยการให้น้ำปกติ และการงดให้น้ำเป็นเวลา 10 วัน หลังจากนั้นบันทึกข้อมูลลักษณะทางสรีรวิทยา

2.2 การบันทึกผลการทดลอง มีดังนี้

2.2.1 การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ภายในรากและใบ สามารถทำได้โดยการตัดชิ้นส่วนของรากและใบให้มีความยาว ประมาณ 0.5 เซนติเมตร นำชิ้นส่วนของรากและใบแช่ลงในน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC_1) หลังจากนั้นนำชิ้นส่วนของรากและใบที่แช่ในน้ำกลั่นไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC_2)

หลังจากนั้นนำค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ไปแทนค่าในสมการตามวิธีการของ Dionisio-Sese and Tobita (1998)

$$EL = (EC1/EC2) * 100$$

2.2.2 ปริมาณรงควัตถุ

สกัดรงควัตถุโดยนำไปข้าวหนัก 100 มิลลิกรัม มาบดให้ละเอียด เติมน้ำละลายอะซีโตน ความเข้มข้น 95.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร และนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นตรวจวัดปริมาณรงควัตถุภายในใบ ประกอบด้วย คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ทั้งหมด โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 662, 644 และ 470 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณรงควัตถุตามวิธีการของ Shabala และคณะ (1998) และ Lichtenthaler (1987) ดังนี้

$$Chla = 9.784D_{662} - 0.99D_{644}$$

$$Chlb = 21.42D_{644} - 4.65D_{662}$$

$$TC = Chla + Chlb$$

$$C_{x+c} = \frac{1000D_{470} - 1.90Chla - 63.14Chlb}{214}$$

2.2.3 การสะสมโปรตีน

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนตามวิธีการของ Bates (1973) โดยชั่งน้ำหนักรากและใบอย่างละ 250 มิลลิกรัม นำรากและใบไปบดให้ละเอียดด้วยไนโตรเจนเหลว หลังจากนั้นนำรากและใบที่บดละเอียดใส่ลงในหลอดทดลอง ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมน้ำ 5-sulfosalicylic acid ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร จำนวน 5 มิลลิลิตร นำไปกรองผ่านกระดาษกรองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร (Whatman®, England) นำสารละลายที่กรองผ่านกระดาษกรอง จำนวน 1 มิลลิลิตร มาทำปฏิกิริยากับ glacial acetic acid และ ninhydrin reagent จำนวน 1 มิลลิลิตร และนำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1

ชั่วโมง หลังจากนั้นหยุดปฏิกิริยาโดยการนำหลอดทดลองแช่ลงในน้ำแข็ง และเติม toluene จำนวน 2 มิลลิลิตร นำไปตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร หลังจากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มาวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนจากกราฟสารละลายโปรตีนมาตรฐาน (L-proline) (Fluka, Switzerland)

2.2.4 การเจริญเติบโต

ข้อมูลการเจริญเติบโตที่ทำการศึกษาประกอบด้วยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัม) โดยชั่งน้ำหนักสดต้นกล้าข้าว หลังจากนั้นนำต้นกล้าข้าวไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ภายในตู้อบลมร้อน (Memmert, Model 500, Germany) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จนตัวอย่างแห้งสนิท แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง

2.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ 5×2 แฟกทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (5×2 factorial in completely randomized design) ทดลองทั้งหมด 4 ซ้ำ นำข้อมูลลักษณะทางสรีรวิทยาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 รวมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยาโดยวิธี Pearson's correlation coefficients ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 และจำแนกความสามารถในการทนทานต่อสภาวะขาดน้ำของต้นกล้าข้าวตามวิธีการของ Ward โดยใช้ค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณ โปรตีนภายในใบ

3. ผลการวิจัย

สภาวะขาดน้ำชักนำให้เกิดการร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในรากและใบของต้นกล้าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ขาดดอกมะลิ 105 กข 31 กข 41 และ กข 47 (ตารางที่ 1) โดยการร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในรากข้าวพันธุ์ กข 31 มีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์อื่น

คิดเป็น 30.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 1) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ขาดดอกมะลิ 105 กข 41 และ กข 47 มีการร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในรากเพิ่มขึ้น คิดเป็น 26.7, 26.2, 24.9 และ 12.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบและรากของข้าวในสภาวะปกติและสภาวะขาดน้ำ

พันธุ์ข้าว	สภาวะขาดน้ำ (วัน)	การร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (เปอร์เซ็นต์)			
		ราก	(% เพิ่มขึ้น)	ใบ	(% เพิ่มขึ้น)
ปทุมธานี 1	0	56.71 f ^{1/}	(0.0)	41.27 h	(0.0)
	10	71.83 cd	(26.7)	86.75 b	(110.2)
ขาดดอกมะลิ 105	0	52.82 f	(0.0)	60.36 g	(0.0)
	10	66.65 e	(26.2)	76.58 d	(26.9)
กข 31	0	56.97 f	(0.0)	70.85 f	(0.0)
	10	74.20 bc	(30.2)	88.63 b	(25.1)
กข 41	0	64.90 e	(0.0)	74.47 e	(0.0)
	10	81.05 a	(24.9)	92.24 a	(23.9)
กข 47	0	68.13 de	(0.0)	83.48 c	(0.0)
	10	76.51 b	(12.3)	94.04 a	(12.6)
Significant level					
พันธุ์ข้าว		**		**	
สภาวะขาดน้ำ		**		**	
พันธุ์ข้าว × สภาวะขาดน้ำ		*		**	

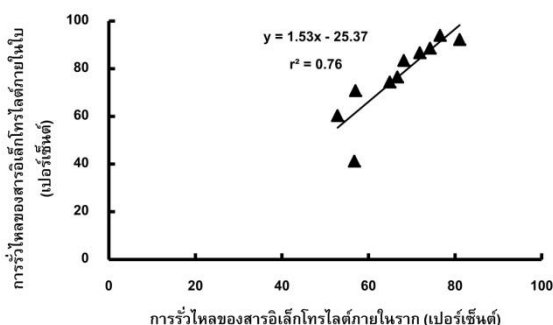
*, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$ และ $P \leq 0.01$ ตามลำดับ

^{1/} ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ

ในขณะที่การร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์อื่น คิดเป็น 110.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 1) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ขาดดอกมะลิ 105 กข 31 กข 41 และ กข 47 มีการร่วงไหลของสารอิเล็กโทร-

ไลต์ภายในใบเพิ่มขึ้น คิดเป็น 26.9, 25.1, 23.9 และ 12.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 1) นอกจากนี้ยังพบว่าการร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบมากกว่าการร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในราก (ตารางที่ 1) รวมทั้งยังพบว่าการร่วงไหลของสารอิเล็กโทรไลต์

ภายในรากมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการรื้อไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบ ($r^2 = 0.76$) (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของการรื้อไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในรากและใบข้าวที่ได้รับสภาวะขาดน้ำ

ปริมาณรงควัตถุ ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์

ทั้งหมดภายในใบข้าวลดลง เมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำ (ตารางที่ 2) โดยปริมาณคลอโรฟิลล์เอและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดภายในใบข้าวพันธุ์ กข 41 ลดลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์อื่น คิดเป็น 57.3 และ 53.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 2) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวดอกมะลิ 105 กข 31 และ กข 47 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอภายในใบลดลง คิดเป็น 51.8, 57.0, 37.4 และ 36.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 2) ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดภายในใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ข้าวดอกมะลิ 105 กข 31 และ กข 47 มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดภายในใบลดลง คิดเป็น 50.5, 37.3, 30.7 และ 39.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) คลอโรฟิลล์บี (Chl b) คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (TC) และแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (C_{x+c}) ภายในใบข้าวที่ได้รับสภาวะขาดน้ำ

พันธุ์ข้าว	สภาวะขาดน้ำ (วัน)	ปริมาณรงควัตถุ (ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด)							
		Chl a	(% ลดลง)	Chl b	(% ลดลง)	TC	(% ลดลง)	C_{x+c}	(% ลดลง)
ปทุมธานี 1	0	46.31 b ^{1/}	(0.00)	38.92 b	(0.00)	85.23 b	(0.00)	13.51 bc	(0.00)
	10	22.34 e	(51.8)	18.73 e	(51.9)	41.07 e	(51.8)	6.68 f	(50.5)
ข้าวดอกมะลิ 105	0	46.53 b	(0.00)	32.97 c	(0.00)	79.49 b	(0.00)	15.05 b	(0.00)
	10	20.00 e	(57.0)	20.21 e	(38.7)	40.21 e	(49.4)	9.44 def	(37.3)
กข 31	0	49.21 b	(0.00)	32.55 c	(0.00)	81.76 b	(0.00)	11.99 bcd	(0.00)
	10	30.78 d	(37.4)	27.78 cd	(14.6)	58.56 cd	(28.4)	8.31 ef	(30.7)
กข 41	0	89.60 a	(0.00)	41.58 b	(0.00)	130.38 a	(0.00)	20.65 a	(0.00)
	10	38.25 c	(57.3)	26.88 d	(35.3)	65.13 c	(50.0)	9.69 def	(53.1)
กข 47	0	47.35 b	(0.00)	73.97 a	(0.00)	121.32 a	(0.00)	11.18 cde	(0.00)
	10	30.27 d	(36.1)	17.26 e	(76.7)	47.53 de	(60.8)	6.76 f	(39.5)
Significant level									
พันธุ์ข้าว		**		**		**		**	
สภาวะขาดน้ำ		**		**		**		**	
พันธุ์ข้าว × สภาวะขาดน้ำ		**		**		**		*	

*, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$ และ $P \leq 0.01$ ตามลำดับ

^{1/} ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ

ในขณะที่ปริมาณคลอโรฟิลล์บีและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดภายในใบข้าวพันธุ์ กข 47 ลดลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์อื่น คิดเป็น 76.7 และ 60.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 2) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ขาดดอกมะลิ 105 กข 31 และ กข 41 มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีลดลง คิดเป็น 51.9, 38.7, 14.6 และ 35.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 2) ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดภายในใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ขาดดอกมะลิ 105 กข 31 และ กข 41 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดภายในใบลดลง คิดเป็น 51.8, 49.4, 28.4 และ 50.0 เปอร์เซ็นต์

ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 2)

ปริมาณโปรตีนภายในรากและใบข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำ (ตารางที่ 3) โดยปริมาณโปรตีนภายในรากข้าวพันธุ์ กข 47 เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์อื่น คิดเป็น 340.0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 3) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ขาดดอกมะลิ 105 กข 31 และ กข 41 มีปริมาณโปรตีนภายในรากเพิ่มขึ้น คิดเป็น 181.8, 54.5, 71.4 และ 277.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ปริมาณโปรตีนภายในใบและรากของข้าวที่ได้รับสภาวะขาดน้ำ

พันธุ์ข้าว	สภาวะขาดน้ำ (วัน)	ปริมาณโปรตีน (ไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักสด)			
		ราก	(% เพิ่มขึ้น)	ใบ	(% เพิ่มขึ้น)
ปทุมธานี 1	0	1.10 def ^{1/}	(0.00)	16.8 bc	(0.00)
	10	3.10 a	(181.80)	19.0 b	(13.10)
ขาดดอกมะลิ 105	0	1.10 def	(0.00)	16.0 bc	(0.00)
	10	1.70 cd	(54.50)	38.2 a	(138.70)
กข 31	0	1.40 de	(0.00)	8.30 d	(0.00)
	10	2.40 b	(71.40)	36.90 a	(344.60)
กข 41	0	0.90 ef	(0.00)	14.90 c	(0.00)
	10	3.40 a	(277.80)	18.20 bc	(22.10)
กข 47	0	0.50 f	(0.00)	15.10 c	(0.00)
	10	2.20 bc	(340.00)	35.00 a	(131.80)
Significant level					
พันธุ์ข้าว		**		**	
สภาวะขาดน้ำ		**		**	
พันธุ์ข้าว × สภาวะขาดน้ำ		*		**	

*, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$ และ $P \leq 0.01$ ตามลำดับ

^{1/} ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของข้าวที่ได้รับสภาวะขาดน้ำ

พันธุ์ข้าว	สภาวะขาดน้ำ (วัน)	น้ำหนักสด (มิลลิกรัม)	น้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัม)
ปทุมธานี 1	0	122.47 d	40.62 c
	10	100.01 e	33.64 f
ขาวดอกมะลิ 105	0	165.26 b	38.65 d
	10	80.19 f	27.24 g
กข 31	0	146.59 c	47.92 b
	10	106.31 e	36.27 e
กข 41	0	166.10 b	48.51 b
	10	106.44 e	34.40 f
กข 47	0	250.61 a	64.84 a
	10	121.30 d	36.60 e
Significant level			
พันธุ์ข้าว		**	**
สภาวะขาดน้ำ		**	**
พันธุ์ข้าว × สภาวะขาดน้ำ		**	**

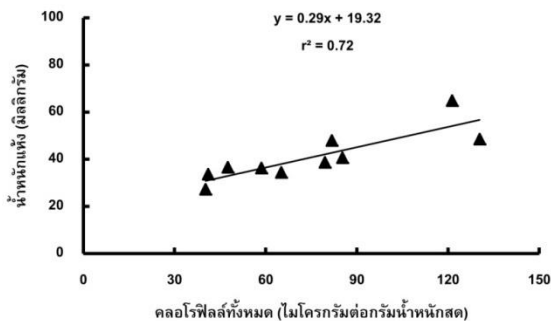
** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.01$ ตามลำดับ

^{1/} ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

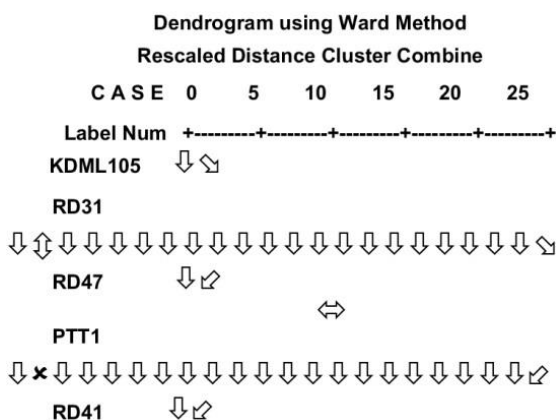
ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยาภายในข้าวที่ตอบสนองต่อสภาวะขาดน้ำ

Parameters	REL	LEL	Chl a	Chl b	TC	C _{x+c}	Proline	FW	DW
REL	-	0.840**	-0.360*	-0.272	-0.365*	-0.544**	0.447**	-0.292	-0.246
LEL	-	-	-0.309	-0.207	-0.304	-0.512**	0.402*	-0.108	-0.097
Chl a	-	-	-	0.506**	0.871**	0.883**	-0.563**	0.537**	0.574**
Chl b	-	-	-	-	0.836**	0.431**	-0.466**	0.895**	0.903**
TC	-	-	-	-	-	0.762**	-0.596**	0.796**	0.830**
C _{x+c}	-	-	-	-	-	-	-0.478**	0.419**	0.394*
Proline	-	-	-	-	-	-	-	-0.530**	-0.571**
FW	-	-	-	-	-	-	-	-	0.939**
DW	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*, ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$ และ $P \leq 0.01$ ตามลำดับ ตามวิธีการของ Pearson's correlation coefficients



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและน้ำหนักรากของข้าวที่ได้รับสภาวะขาดน้ำ



รูปที่ 3 การจำแนกความสามารถในการทนทานต่อสภาวะขาดน้ำของต้นกล้าข้าวโดยใช้ค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณโปรตีนภายในใบด้วยโปรแกรม SPSS ตามวิธีการของ Ward โดยสามารถแบ่งข้าวออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ข้าวที่ทนทานต่อสภาวะขาดน้ำ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 กข 31 และ กข 47 และข้าวที่อ่อนแอต่อสภาวะขาดน้ำ คือ ปทุมธานี 1 และ กข 41

ในขณะที่ปริมาณโปรตีนภายในใบข้าวพันธุ์ กข 31 เพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์อื่น คิดเป็น 344.6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบ

กับสภาวะปกติ (ตารางที่ 3) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ ปทุมธานี 1 ข้าวดอกมะลิ 105 กข 41 และ กข 47 มีปริมาณโปรตีนภายในใบเพิ่มขึ้น คิดเป็น 13.1, 138.7, 22.1 และ 131.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 3) รวมทั้งพบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสรีรวิทยาโดยวิเคราะห์ตามวิธีการของ Pearson's correlation coefficients (ตารางที่ 4) ในขณะที่น้ำหนักรากและน้ำหนักรากแห้งของข้าวลดลงเมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำ (ตารางที่ 5) รวมทั้งยังพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดภายในใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักราก ($r^2 = 0.72$) (รูปที่ 2) และสามารถจำแนกความสามารถทนทานต่อสภาวะขาดน้ำของต้นกล้าข้าวโดยนำค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณโปรตีนภายในใบมาจัดกลุ่มด้วยวิธีของ Ward's ซึ่งสามารถแบ่งพันธุ์ข้าวออกเป็น 2 กลุ่ม คือ พันธุ์ข้าวที่ทนทานต่อสภาวะขาดน้ำ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 กข 31 และ กข 47 และพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอต่อสภาวะขาดน้ำ ได้แก่ ปทุมธานี 1 และ กข 41 (รูปที่ 3)

4. วิจารณ์

จากการศึกษาพบว่า สภาวะขาดน้ำทำให้การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในรากและใบเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสภาวะขาดน้ำชักนำให้เกิดสภาวะความเครียดจากค่าศักย์ออสโมติกภายในเซลล์ ที่อาจทำให้เกิดการสูญเสียสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์ อันเป็นสาเหตุที่นำไปสู่การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (Turner and Burch, 1983) ซึ่งการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์สามารถนำมาใช้ในการประเมินความสามารถในการรอดชีวิตและการทนทานต่อสภาวะขาดน้ำในพืชได้ (Epron and Dreyer, 1992) Li-Ping *et al.* (2006) รายงานว่า ข้าวโพดในระยะออกไหมและระยะติดเมล็ดที่ได้รับสภาวะขาดน้ำที่มี

ความชื้นภายในดิน 35 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบเพิ่มขึ้น 42.00 และ 37.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่มีความชื้นภายในดิน 75 เปอร์เซ็นต์ จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบเพิ่มขึ้นมากที่สุด ในทางกลับกันข้าวพันธุ์ กข 47 มีการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเยื่อหุ้มเซลล์ภายในใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ได้รับความเสียหายมากกว่าข้าวพันธุ์ กข 47 เมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำ ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่าข้าวพันธุ์ กข 47 มีความทนทานต่อสภาวะขาดน้ำได้ดีกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Guo และคณะ (2006) ที่ศึกษาการตอบสนองต่อสภาวะขาดน้ำของข้าว จำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ Xiangzhongxian no. 2, IR-50 Xiangnuo no. 1 และ Zimanuo พบว่าค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบข้าวทั้ง 4 สายพันธุ์ เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ได้รับสภาวะขาดน้ำ โดยข้าวพันธุ์ที่อ่อนแอต่อสภาวะขาดน้ำ ได้แก่ พันธุ์ Xiangnuo no. 1 และ Zimanuo มีค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบเท่ากับ 40-85 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ที่ทนทานต่อสภาวะขาดน้ำ ได้แก่ พันธุ์ Xiangzhongxian no. 2 และ IR-50 มีค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบเท่ากับ 15-75 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีการนำค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ไปใช้ในการประเมินความสามารถในการทนทานต่อสภาวะขาดน้ำของถั่ว ซึ่งพบว่าถั่วพันธุ์ Carioca และ ถั่วพันธุ์ Ouro Negro มีการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์น้อยกว่าถั่วพันธุ์ Xodó และถั่วพันธุ์ A320 ทำให้มีความสามารถในการทนทานต่อสภาวะขาดน้ำ França และคณะ (2000)

โดยปริมาณรงควัตถุภายในใบลดลงเมื่อพืช

ได้รับสภาวะขาดน้ำ ซึ่งการลดลงของปริมาณรงควัตถุอาจเป็นผลมาจากการที่สภาวะขาดน้ำชักนำให้รงควัตถุภายในใบเกิดการสูญเสียสภาพ และส่งผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของรงควัตถุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Epron and Dreyer, 1992) เช่น คลอโรฟิลล์ คลอโรฟิลล์ทั้งหมดซึ่งมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงเป็นผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงด้วย ซึ่งการลดลงของปริมาณรงควัตถุภายในใบภายใต้สภาวะขาดน้ำสามารถพบได้ในพืชหลายชนิด เช่น ผักย (Parida *et al.*, 2007) ข้าวสาลี (Loggini *et al.*, 1999) สับปะรด (Sapeta *et al.*, 2013) Shukla *et al.* (2012) รายงานว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ภายในใบข้าวพันธุ์ Kalanamak 3131 ที่ได้รับสภาวะขาดน้ำ เป็นเวลา 7 วัน มีปริมาณลดลง คิดเป็น 62.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ ซึ่งส่งผลทำให้การเจริญเติบโตในส่วนของความยาวรากและความสูงลดลง จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ารงควัตถุภายในใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และ กข 41 มีการสูญเสียสภาพมากกว่ารงควัตถุภายในใบข้าวพันธุ์ กข 31 และ กข 47 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารงควัตถุภายในใบข้าวพันธุ์ กข 31 และ กข 47 ได้รับความเสียหายน้อยกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และ กข 41 เมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำ ทำให้สามารถรักษาความสามารถในการเกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และ กข 41 มีผลทำให้สามารถเจริญเติบโตภายใต้สภาวะขาดน้ำได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cha-um และคณะ (2010) ที่รายงานข้าวพันธุ์หอมจันทร์ และ กข 6 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด แคโรทีนอยด์ทั้งหมด และการเจริญเติบโตในส่วนของความสูง ความยาวราก พื้นที่ใบ น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งลดลงน้อยกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำเป็นเวลา 7 วัน รวมทั้งพบว่าการสูญเสีย

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำ ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวประกอบด้วยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองที่ผ่านมาที่รายงานว่า การเจริญเติบโตของข้าวลดลงเมื่อได้รับสภาวะขาดน้ำ (Basu *et al.*, 2009; Cha-um *et al.*, 2010; Shukla *et al.*, 2012) จากการศึกษาครั้งนี้อาจนำลักษณะการตอบสนองทางสรีรวิทยาภายใต้สภาวะขาดน้ำมาใช้ในการจำแนกความสามารถในการทนทานต่อสภาวะขาดน้ำของข้าวในระยะต้นกล้าได้

ปริมาณโปรตีนภายในรากและใบเพิ่มขึ้นเมื่อพืชได้รับสภาวะขาดน้ำ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณโปรตีนภายใต้สภาวะขาดน้ำสามารถพบได้ในข้าวหลายพันธุ์ เช่น หอมจันทร์ ปทุมธานี 1 และ กข 6 (Cha-um *et al.*, 2010) IR-29 Pokkali Pusa Basmati (Basu *et al.*, 2009) Kalanamak 3131 (Shukla *et al.*, 2012) ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนเป็นสารประกอบที่มีบทบาทสำคัญในกลไกการควบคุมค่าศักย์ออสโมติกภายในเซลล์ ซึ่งมีความสำคัญต่อการควบคุมค่าศักย์ของน้ำและสมดุลของน้ำภายในพืช จัดเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้พืชสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ภายใต้สภาวะขาดน้ำ (Hasegawa *et al.*, 2000) รวมทั้งยังพบการสะสมโปรตีนในพืชชนิดอื่นที่ได้รับสภาวะขาดน้ำ เช่น หม่อน (Chaitanya *et al.*, 2009) ถั่วปากอ้า (Ali *et al.*, 2013) ผ้าย (Parida *et al.*, 2007) จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 พันธุ์ กข 31 และ กข 47 มีการสะสมโปรตีนภายในใบมากกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และ กข 41 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้าวที่ทนทานต่อสภาวะขาดน้ำน่าจะมีการใช้ประโยชน์จากโปรตีนในการดำรงชีวิตภายใต้สภาวะขาดน้ำได้ดีกว่าข้าวที่อ่อนแอต่อสภาวะขาดน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Parida และคณะ (2007) ที่รายงานว่าข้าวพันธุ์ GM 090304 ซึ่งเป็นข้าวที่ทนทานต่อสภาวะขาดน้ำในระดับปานกลางเมื่อ

ได้รับสภาวะขาดน้ำเป็นเวลา 7 วัน มีการสะสมโปรตีนภายในใบเพิ่มขึ้น 41 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ Ca/H 631 ซึ่งเป็นข้าวที่อ่อนแอต่อสภาวะขาดน้ำมีการสะสมโปรตีนภายในใบเพิ่มขึ้น 21 เท่า จากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และปริมาณโปรตีนภายในใบมาใช้ในการจำแนกความสามารถในการทนทานต่อสภาวะขาดน้ำในระยะต้นกล้าของข้าวได้ 2 กลุ่ม คือ พันธุ์ข้าวที่ทนทานต่อสภาวะขาดน้ำ ได้แก่ ข้าวดอกมะลิ 105 กข 31 และ กข 47 และพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอต่อสภาวะขาดน้ำ ได้แก่ ปทุมธานี 1 และ กข 41

5. สรุป

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวภายใต้สภาวะขาดน้ำ ได้แก่ การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และการสะสมโปรตีนภายในใบ สามารถนำมาใช้ในการจำแนกความสามารถในการทนทานต่อสภาวะขาดน้ำในข้าวในระยะต้นกล้าได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา Higher Education Research Promotion (HERP) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (2557A14062003) ร่วมกับมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย นักศึกษา และผู้เกี่ยวข้องในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

Ali, H.M., Siddiqui, M.H., Al-Whaibi, M.H., Basa-

- lah, M.O., Sakran, A.M. and El-Zaidy, M., 2013, Effect of proline and abscisic acid on the growth and physiological performance of faba bean under water stress, Pak. J. Bot. 45: 933-940.
- Bajji, M., Kinet, J.M. and Lutts, S., 2001, The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat, Plant Growth Regul. 36: 61-70.
- Basu, S., Roychoudhury, A., Saha, P.P. and Sengupta, D.N., 2009, Comparative analysis of some biochemical responses of three indica rice varieties during polyethylene glycol-mediated water stress exhibits distinct varietal differences, Acta Physiol. Plant. 32: 551-563.
- Bates, L.S., 1973, Rapid determination of free proline for water stress studies, Plant Soil 39: 205-207.
- Caballero, J.I., Verduzco, C.V., Galan, J. and Jimenez, E.S.D., 2005, Proline accumulation as a symptom of drought stress in maize: A tissue differentiation requirement, J. Exp. Bot. 39: 889-897.
- Castillo, E.G., Tuong, T.P., Ismail, A.M. and Inubushi, K., 2007, Response to salinity in rice: Comparative effects of osmotic and ionic stresses, Plant Prod. Sci. 10: 159-170.
- Chaitanya, K.V., Rasineni, G.K. and Reddy, A.R., 2009, Biochemical responses to drought stress in mulberry (*Morus alba* L.): evaluation of proline, glycine betaine and abscisic acid accumulation in five cultivars, Acta Physiol. Plant. 31: 437-443.
- Cha-um, S., Nhung, N.T.H. and Kirdmanee, C., 2010, Effect of mannitol- and salt-induced iso-osmotic stress on proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of rice cultivars (*Oryza sativa* L. spp. indica), Pak. J. Bot. 42(2): 927-941.
- Dionisio-Sese, M.L. and Tobita, S., 1998, Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress, Plant Sci. 135: 1-9.
- Epron, D. and Dreyer, E., 1992, Effects of severe dehydration on leaf photosynthesis in *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.: Photosystem II efficiency, photochemical and nonphotochemical fluorescence quenching and electrolyte leakage, Tree Physiol. 10: 273-284.
- França, M.G.C., Thi, A.T.P., Pimentel, C., Rossiello, R.O.P., Zuily-Fodil, Y. and Laffray, D., 2000, Differences in growth and water relations among *Phaseolus vulgaris* cultivars in response to induced drought stress, Environ. Exp. Bot. 43: 227-237.
- Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K. and Bohnert, H.J., 2000, Plant cellular and molecular responses to high salinity, Ann. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol. 51: 463-499.
- Hu, L., Wang, Z., Du, H. and Huang, B., 2010, Differential accumulation of dehydrins in response to water stress for hybrid and common bermudagrass genotypes differing in drought tolerance, J. Plant Physiol. 167: 103-109.
- Khush, G.S., 2005, What it will take to feed 5.0

- billion rice consumers in 2030, *Plant Mol. Biol.* 59: 1-6.
- Lima, A.L.S., DaMatta, F.M., Pinheiro, H.A., Totola, M.R. and Loureiro, M.E., 2002, Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions, *Environ. Exp. Bot.* 47: 239-247.
- Lichtenthaler, H.K., 1987, Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes, *Method Enzymol.* 148: 350-380.
- Li-Ping, B., Fang-Gong, S., Ti-Da, G., Zhao-Hui, S., Yin-Yan, L. and Guang-Sheng, Z., 2006, Effect of soil drought stress on leaf water status, membrane permeability and enzymatic antioxidant system of maize, *Pedosphere* 16: 326-332.
- Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E. and Navari-Izzo, F., 1999, Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought, *Plant Physiol.* 119: 1091-1099.
- Lutts, S., Almansouri, M. and Kinet, J.M., 2004, Salinity and water stress have contrasting effects on the relationship between growth and cell viability during and after stress exposure in durum wheat callus, *Plant Sci.* 167: 9-18.
- Mahajan, S. and Tuteja, N., 2005, Cold, salinity and drought stresses: An overview, *Arch. Biochem. Biophys.* 444: 139-158.
- McKersie, B.D., Bowley, S.R., Harjanto E. and Leprince, O., 1996, Water-deficit tolerance and field performance of transgenic alfalfa overexpressing superoxide dismutase, *Plant Physiol.* 111: 1177-1181.
- Parida, A.K., Dagaonkar, V.S., Phalak, M.S., Umalkar, G.V. and Aurangabadkar, L.P., 2007, Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to short-term drought stress followed by recovery, *Plant Biotechnol. Rep.* 1: 37-48.
- Pirdashti, H., Sarvestani, Z.T. and Ali Bahmanyar, M., 2009, Comparison of physiological responses among four contrast rice cultivars under drought stress conditions, *World Academy of Science, Engineering and Technology*: 52-53.
- Rampino, P., Pataleo, S., Gerardi, C., Mita, G. and Perrotta, C., 2006, Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes, *Plant Cell Environ.* 29: 2143-2152.
- Sapeta, H., Costa, J.M., Lourenço, T., Maroco, J., van der Linde, P. and Oliveira, M.M., 2013, Drought stress response in *Jatropha curcas*: Growth and Physiology, *Environ. Exp. Bot.* 85: 76-84.
- Shabala, S.N., Shabala, S.I., Martynenko, A.I., Babourina, O. and Newman, I.A., 1998, Salinity effect on bioelectric activity, growth, Na⁺ accumulation and chlorophyll fluorescence of maize leaves: A comparative survey and prospects for screening, *Aust. J. Plant Physiol.* 25: 609-616.

- Shukla, N., Awasthi, R.P., Rawat, L. and Kumar, J., 2012, Biochemical and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) as influenced by *Trichoderma harzianum* under drought stress, Plant Physiol. Bioch. 54: 78-88.
- Turner, N.C. and Burch, G.J., 1983, The role of water in plants, pp. 73-126, In Teare, I.D., Peet, M.M. (Eds.), Crop Water Relationships. Wiley-Interscience, New York.
- Wahid, A., 2004, Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane, Bot. Bull. Acad. Sin. 45: 133-141.
- Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A., 2001, Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations, Acta Hort. 560: 285-292.
- Xia, J., Liu, M.Y. and Jia, S.F., 2005, Water security problem in North China: Research and perspective, Pedosphere 15: 563-575.
- Zeng, L., Lesch, S.M. and Grieve, C.M., 2003, Rice growth and yield respond to changes in water depth and salinity stress, Agric. Water Manage. 59: 67-75.