

# ลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าวที่ตอบสนองต่อสภาวะความเค็ม

## Physiological Characteristic of Rice (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*) Responses to Salinity

ธนภูมิ ศิริงาม\*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220

Thanapoom Siringam\*

Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University,

Anusaowaree, Bangkhen, Bangkok 10220

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าว จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ ปทุมธานี 1, ขาวดอกมะลิ 105, กข 31, กข 41 และ กข 47 หลังจากได้รับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0 และ 200 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน จากการศึกษาพบว่าสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้ปริมาณโซเดียมไอออน อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน และการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ รวมทั้งพบว่าปริมาณโซเดียมไอออนที่เพิ่มขึ้นชักนำอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนภายในใบเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันพบว่าปริมาณโพแทสเซียมไอออน ปริมาณรงควัตถุภายในใบ และการเจริญเติบโตลดลง จากการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโซเดียมไอออน ปริมาณโพแทสเซียมไอออน อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณรงควัตถุภายในใบ และการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวเมื่อได้รับสภาวะความเค็ม โดยอาจนำข้อมูลจากการศึกษามาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจำแนกความสามารถในการทนทานต่อสภาวะความเค็มของต้นกล้าข้าวได้

คำสำคัญ : ข้าว; สรีรวิทยา; สภาวะความเค็ม; รงควัตถุ

### Abstract

The objective of this study was to investigate the physiological characteristics of five rice varieties; Pathumthani 1 (PTT1), Khao Dawk Mali 105 (KDML105), RD31, RD41 and RD47 subjected to 0 or 200 mM NaCl for 7 days. The results exhibited that the salinity was significantly increased the sodium ion ( $\text{Na}^+$ ) content,  $\text{Na}^+ : \text{K}^+$  ratio and electrolyte leakage in leaves when compared to

\*ผู้รับผิดชอบบทความ : siringam@yahoo.com

the control. Furthermore, an increase in the  $\text{Na}^+$  content induced  $\text{Na}^+ : \text{K}^+$  ratio in leaves. Whereas, the potassium ion ( $\text{K}^+$ ), photosynthetic pigment concentrations and growths were reduced. From this study showed that the change of the  $\text{Na}^+$  content,  $\text{Na}^+ : \text{K}^+$  ratio, electrolyte leakage, photosynthetic pigment concentrations and growths of rice seedlings when exposed to salinity. These data may be used to the basic data for screening the salt tolerance ability of rice seedlings.

**Keywords:** rice; physiology; salinity; pigment

## 1. บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของประชากรในทวีปเอเชีย [1] อย่างไรก็ตาม ข้าวจัดเป็นพืชที่มีความอ่อนแอต่อสภาวะความเค็มทั้งในระยะต้นกล้าและระยะให้ผลผลิต [2] โดยสภาวะความเค็มเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตข้าวที่ผลิตได้ทั่วโลกลดลง [3,4] สภาวะความเค็มเป็นสภาวะความเครียดที่เกิดจากปริมาณไอออนของเกลือที่เพิ่มขึ้นชักนำให้เกิดสภาวะความเครียดจากค่าศักย์ออสโมติกและสภาวะความเครียดจากไอออน [5] ลักษณะทางสรีรวิทยาของพืชที่ได้รับผลกระทบจากสภาวะความเค็มและส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืชภายใต้สภาวะความเค็มสามารถพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางสรีรวิทยาที่ส่งผลต่อการรอดชีวิตของพืช เช่น ปริมาณโซเดียมไอออน ปริมาณโพแทสเซียมไอออน อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนที่แสดงถึงความสามารถในการรักษาสมดุลของไอออนภายในเซลล์โดยโพแทสเซียมไอออนเพื่อลดผลกระทบจากปริมาณโซเดียมไอออนที่เพิ่มขึ้น [6] การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ [7] ปริมาณรงควัตถุและการเจริญเติบโต [8]

สภาวะความเค็มเป็นสภาวะที่ชักนำให้เกิดการสะสมไอออนของเกลือโดยเฉพาะอย่างยิ่งโซเดียมไอออน ซึ่งเป็นไอออนที่มีความสามารถในการเคลื่อนย้ายเข้าสู่พืชได้อย่างรวดเร็วและเป็นปัญญกับการดูด

ซึมไอออนที่นำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ โพแทสเซียมไอออน [9] ทำให้เกิดการรบกวนสมดุลของไอออนภายในเซลล์ส่งผลทำให้อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนเพิ่มขึ้น [6] โดยปริมาณโซเดียมไอออนที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้เกิดสภาวะความเค็มเป็นพิษต่อองค์ประกอบภายในเซลล์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งสามารถพิจารณาจากการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ที่แสดงให้เห็นถึงสภาพความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์ภายในพืชที่ได้รับสภาวะความเค็ม [7,10]

ซึ่งความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์ภายในพืชที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อกระบวนการต่าง ๆ ภายในพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเนื่องจากปริมาณรงควัตถุภายในใบพืชมีปริมาณลดลงเมื่อได้รับสภาวะความเค็ม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณรงควัตถุภายในใบที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้รับผลกระทบจากปริมาณไอออนของเกลือที่เพิ่มขึ้นภายในพืช ซึ่งส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดลดลง เช่น ข้าว [8] แตงกวา [11] ข้าวโพด [12] ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยา ประกอบด้วยปริมาณโซเดียมไอออน ปริมาณโพแทสเซียมไอออน อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณรงควัตถุภายในใบ และการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวที่ตอบสนองต่อสภาวะความเค็ม ซึ่งข้อมูลที่ได้

จากการทดลองครั้งนี้จะนำมาใช้ในการพัฒนาเป็นฐานข้อมูลในการพิจารณาคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่มีความสามารถในการทนทานต่อสภาวะความเค็มในระดับต้นกล้าได้

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 การเตรียมต้นข้าวและสภาพการทดลอง

มีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

โดยศึกษาข้าว จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ ปทุมธานี 1 (PTT1) ข้าวดอกมะลิ 105 (KDML105) กข 31 (RD31) กข 41 (RD41) และ กข 47 (RD47) ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่เกษตรกรนิยมปลูกโดยทั่วไปในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย โดยนำเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ได้จากศูนย์วิจัยข้าวคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เพาะลงในจานเพาะเมล็ด พันธุ์ละ 300 เมล็ด นำเมล็ดข้าวที่งอกได้ ประมาณ 3 วันหลังจากเพาะเมล็ดลงปลูกในถาดหลุมพลาสติกที่บรรจุดินผสม นำไปวางไว้ในโรงเรือนและรดน้ำทุกวัน หลังจากต้นกล้าข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีอายุประมาณ 14 วันหลังเพาะเมล็ด จึงรดปุ๋ยสูตร 16-16-16 จำนวน 1 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ทุก 7 วัน

เมื่อต้นกล้ามีอายุ 28 วันหลังเพาะเมล็ด ศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ซึ่งตอบสนองต่อสภาวะความเค็มที่ได้รับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่ดัดแปลงจากวิธีของ Moeljopawiro และ Ikehashi [13] โดยการนำถาดหลุมที่ปลูกต้นกล้าข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มาวางลงในกล่องพลาสติกที่เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0 และ 200 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน โดยความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 200 มิลลิโมลาร์ เป็นระดับความเค็มที่สามารถพบได้ในดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือในดินจนก่อให้เกิดสภาวะดินเค็มในประเทศไทย

หลังจากนั้นบันทึกข้อมูลของลักษณะทางสรีรวิทยา ได้แก่ ปริมาณโซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) ปริมาณโพแทสเซียมไอออน ( $\text{K}^+$ ) การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (EL) ปริมาณรงควัตถุภายในใบ และการเจริญเติบโต

### 2.2 การบันทึกผลการทดลอง มีดังนี้

#### 2.2.1 ปริมาณไอออน

การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) และปริมาณโพแทสเซียมไอออน ( $\text{K}^+$ ) สามารถทำได้โดยการสกัดตัวอย่างใบข้าวด้วยกรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) และกรดเปอร์คลอริก ( $\text{HClO}_4$ ) ตามวิธีการของ Dionisio-Sese และ Tobita [7] และนำไปตรวจวัดปริมาณ  $\text{Na}^+$  และ  $\text{K}^+$  ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AA, Model M6, Thermo Elemental, MA, USA) หลังจากนั้นหาค่าอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน ( $\text{Na}^+:\text{K}^+$  ratio) เพื่อทราบถึงความสามารถในการรักษาสสมดุลของไอออนภายในเซลล์โดยโพแทสเซียมไอออนเพื่อลดผลกระทบจากปริมาณโซเดียมไอออนที่เพิ่มขึ้น

#### 2.2.2 การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์

ตัดชิ้นส่วนของใบให้มีความยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร นำชิ้นส่วนของใบแช่ลงในน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที และนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า ( $\text{EC}_1$ ) หลังจากนั้นนำชิ้นส่วนของใบที่แช่ในน้ำกลั่นไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า ( $\text{EC}_2$ ) หลังจากนั้นนำค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ไปแทนค่าในสมการตามวิธีการของ Dionisio-Sese และ Tobita [7]

$$\text{EL} = (\text{EC}_1/\text{EC}_2) * 100$$

#### 2.2.3 ปริมาณรงควัตถุ

ชั่งใบข้าวหนัก 100 มิลลิกรัม มาบดให้ละเอียด เติมสารละลายอะซิโตน ความเข้มข้น 95% เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ

นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นตรวจวัดปริมาณรงควัตถุภายในใบ ประกอบด้วย คลอโรฟิลล์เอ (Chl a) คลอโรฟิลล์บี (Chl b) คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (TC) และแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ( $C_{x+c}$ ) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 662, 644 และ 470 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณรงควัตถุตามวิธีการของ Shabala และคณะ [14] และ Lichtenthaler [15] ดังนี้

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

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

$$TC = Chl_a + Chl_b$$

$$C_{x+c} = (1000D_{470} - 1.90Chl_a - 63.14Chl_b)/214$$

โดย  $D_i$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น  $i$

## 2.2.4 การเจริญเติบโต

ข้อมูลการเจริญเติบโตที่ศึกษาประกอบด้วย น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนรากและส่วนต้น (มิลลิกรัม) โดยชั่งน้ำหนักสดส่วนรากและส่วนต้นของข้าว หลังจากนั้นนำส่วนรากและส่วนต้นของข้าวไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ภายในตู้อบลมร้อน (Memmert, Model 500, Germany) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จนน้ำหนักแห้งคงที่ แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง

## 2.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาปัจจัย 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 คือ พันธุ์ข้าว จำนวน 5 พันธุ์ และปัจจัยที่ 2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ จำนวน 2 ระดับ โดยวางแผนการทดลองแบบ  $5 \times 2$  แฟคทอเรียล ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ( $5 \times 2$  factorial in completely randomized design) จำนวน 4 ซ้ำ นำข้อมูลลักษณะทางสรีรวิทยามาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้

โปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 รวมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไอออน ( $Na^+$ ) และอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน ( $Na^+ : K^+$  ratio) ภายในใบข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ที่ได้รับสภาวะความเค็ม

## 3. ผลการวิจัย

การศึกษาพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อปริมาณโซเดียมไอออนภายในใบข้าว โดยข้าวพันธุ์ กข 31 ที่ได้รับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณโซเดียมไอออนภายในใบข้าวมากที่สุด 23374.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด คิดเป็น 892.64 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 1) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ขาวดอกมะลิ 105, กข 41 และ กข 47 มีปริมาณโซเดียมไอออนภายในใบ 7315.89, 11086.29, 5893.31 และ 5074.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด คิดเป็น 198.97, 79.90, 240.14 และ 267.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 1)

ในขณะที่อิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ไม่มีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมไอออนภายในใบข้าว (ตารางที่ 1) เมื่อพิจารณาอิทธิพลของพันธุ์ข้าวต่อปริมาณโพแทสเซียมไอออนภายในใบข้าว พบว่าในสภาวะปกติ ข้าวพันธุ์ กข 31 มีปริมาณโพแทสเซียมไอออนภายในใบข้าวมากที่สุด 31477.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1, ขาวดอกมะลิ 105, กข 41 และ กข 47 มีปริมาณโพแทสเซียมไอออนภายในใบข้าว 21018.40, 26674.08, 25172.42 และ 24478.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด

ตามลำดับ (ตารางที่ 1) ในขณะที่อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมไอออนภายในใบข้าวทั้ง 5 พันธุ์ลดลง (ตารางที่ 1) โดยข้าวพันธุ์ กข 31 มีปริมาณโพแทสเซียมไอออนลดลงมากที่สุด คิดเป็น 30.99

เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 1) ส่วนข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1, ขาวดอกมะลิ 105, กข 41 และ กข 47 มีปริมาณโพแทสเซียมไอออนลดลง คิดเป็น 11.46, 9.28, 29.76 และ 23.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 1)

**ตารางที่ 1** ปริมาณโซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) และปริมาณโพแทสเซียมไอออน ( $\text{K}^+$ ) ภายในใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1, ขาวดอกมะลิ 105, กข 31, กข 41 และ กข 47 ที่ได้รับสภาวะความเค็มจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0 และ 200 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน

| พันธุ์ข้าว        | NaCl (mM) | โซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ )<br>(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) |                        | โพแทสเซียมไอออน ( $\text{K}^+$ )<br>(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด) |          |
|-------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------|
| ปทุมธานี 1        | 0         | 2447.03±492.72 de <sup>1/</sup>                                   | -                      | 1018.40±3179.42 bcd                                                 | -        |
|                   | 200       | 315.89±529.89 c                                                   | 198.97 % <sup>2/</sup> | 8609.67±793.95 cd                                                   | -11.46 % |
| ขาวดอกมะลิ 105    | 0         | 162.79±1514.34 c                                                  | -                      | 6674.08±278.01 ab                                                   | -        |
|                   | 200       | 1086.29±641.26 b                                                  | 79.90 %                | 4198.02±536.90 bcd                                                  | -9.28 %  |
| กข 31             | 0         | 2354.81±442.67 de                                                 | -                      | 1477.10±3923.65 a                                                   | -        |
|                   | 200       | 3374.89±2354.25 a                                                 | 892.64 %               | 21722.60±223.14 bcd                                                 | -30.99 % |
| กข 41             | 0         | 732.63±38.32 e                                                    | -                      | 5172.42±3900.32 abc                                                 | -        |
|                   | 200       | 893.31±1015.16 c                                                  | 240.14 %               | 7679.85±276.67 d                                                    | -29.76 % |
| กข 47             | 0         | 381.16±20.24 e                                                    | -                      | 4478.51±1355.24 bcd                                                 | -        |
|                   | 200       | 5074.47±407.52 cd                                                 | 267.41 %               | 8694.34±279.43 cd                                                   | -23.63 % |
| Significant level |           |                                                                   |                        |                                                                     |          |
| พันธุ์ข้าว        |           | **                                                                |                        | *                                                                   |          |
| NaCl              |           | **                                                                |                        | **                                                                  |          |
| พันธุ์ข้าว × NaCl |           | **                                                                |                        | ns                                                                  |          |
| C.V. (%)          |           | 26.13                                                             |                        | 15.77                                                               |          |

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; \*\*มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ); <sup>1/</sup>ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01; <sup>2/</sup> เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (0 mM NaCl)

อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนภายในใบข้าวได้รับผลกระทบจากอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ โดยข้าวพันธุ์ กข 31 ที่ได้รับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 200

มิลลิโมลาร์ มีอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนภายในใบข้าวมากที่สุด 1.074 คิดเป็น 1371.23 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 2) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1, ขาวดอกมะลิ 105, กข 41 และ กข 47 มีอัตราส่วนระหว่าง

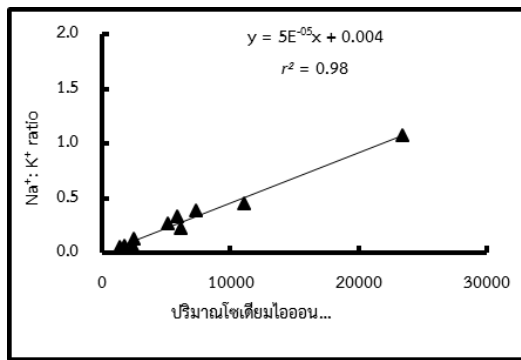
โซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน 0.392, 0.457, 0.332 และ 0.271 คิดเป็น 201.54, 96.98, 361.11 และ 375.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 2) รวมทั้งพบว่าปริมาณโซเดียมไอออนภายในใบที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนภายในใบที่เพิ่มขึ้นในข้าวทั้ง 5

พันธุ์ (รูปที่ 1) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณโซเดียมไอออนภายในใบที่เพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรักษาสมดุลของไอออนภายในเซลล์โดยโพแทสเซียมไอออนลดลง และอาจนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาพัฒนาเป็นวิธีการที่ใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่มีความสามารถในการทนเค็มได้

**ตารางที่ 2** อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน ( $\text{Na}^+ : \text{K}^+$  ratio) และการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1, ขาวดอกมะลิ 105, กข 31, กข 41 และ กข 47 ที่ได้รับสภาวะความเค็มจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0 และ 200 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน

| พันธุ์ข้าว        | NaCl (mM) | $\text{Na}^+ : \text{K}^+$ ratio |                        | การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (เปอร์เซ็นต์) |          |
|-------------------|-----------|----------------------------------|------------------------|---------------------------------------------|----------|
| ปทุมธานี 1        | 0         | 0.130±0.044 fg <sup>1/</sup>     | -                      | 73.92±1.80 bc                               | -        |
|                   | 200       | 0.392±0.012 bc                   | 201.54 % <sup>2/</sup> | 119.81±28.95 ab                             | 62.08 %  |
| ขาวดอกมะลิ 105    | 0         | 0.232±0.059 def                  | -                      | 22.81±0.66 d                                | -        |
|                   | 200       | 0.457±0.016 b                    | 96.98 %                | 42.68±2.08 cd                               | 87.11 %  |
| กข 31             | 0         | 0.073±0.005 g                    | -                      | 40.87±3.31 cd                               | -        |
|                   | 200       | 1.074±0.097 a                    | 1371.23 %              | 114.51±7.49 ab                              | 180.18 % |
| กข 41             | 0         | 0.071±0.010 g                    | -                      | 34.05±1.99 cd                               | -        |
|                   | 200       | 0.332±0.052 cd                   | 361.11 %               | 134.07±21.86 a                              | 293.74 % |
| กข 47             | 0         | 0.057±0.002 g                    | -                      | 38.08±2.16 cd                               | -        |
|                   | 200       | 0.271±0.018 de                   | 375.44 %               | 80.57±17.34 bc                              | 111.58 % |
| Significant level |           |                                  |                        |                                             |          |
| พันธุ์ข้าว        |           | **                               |                        | **                                          |          |
| NaCl              |           | **                               |                        | **                                          |          |
| พันธุ์ข้าว × NaCl |           | **                               |                        | ns                                          |          |
| C.V. (%)          |           | 19.35                            |                        | 11.75                                       |          |

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; \*\*มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ); <sup>1/</sup>ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01; <sup>2/</sup> เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (0 mM NaCl)



**รูปที่ 1** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) และอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน ( $\text{Na}^+ : \text{K}^+$  ratio) ภายในใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1, ข้าวดอกมะลิ 105, กข 31, กข 41 และ กข 47 ที่ได้รับสถานะความเค็มจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 7 วัน

ในขณะที่อิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ไม่มีผลต่อการรื้อไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบข้าว (ตารางที่ 2) เมื่อพิจารณาอิทธิพลของพันธุ์ข้าวต่อการรื้อไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบข้าวพบว่าในสภาวะปกติข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีการรื้อไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบข้าวมากที่สุด 73.92 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105, กข 31, กข 41 และ กข 47 มีการรื้อไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบข้าว 22.81, 40.87, 34.05 และ 38.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ในขณะที่อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้การรื้อไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบข้าวทั้ง 5 พันธุ์เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2) โดยข้าวพันธุ์ กข 41 มีการรื้อไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบข้าวมากที่สุด 134.07

เปอร์เซ็นต์ คิดเป็น 293.74 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 2) ส่วนข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1, ข้าวดอกมะลิ 105, กข 31 และ กข 47 มีการรื้อไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบข้าว 119.81, 42.68, 114.51 และ 80.57 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็น 62.08, 87.11, 180.18 และ 111.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 2)

อิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ไม่มีผลต่อปริมาณรงควัตถุภายในใบ ได้แก่ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ทั้งหมดภายในใบข้าว (ตารางที่ 3) เมื่อพิจารณาอิทธิพลของพันธุ์ข้าวต่อปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ทั้งหมดภายในใบข้าว พบว่าในสภาวะปกติข้าวพันธุ์ กข 31 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีภายในใบข้าวมากที่สุด 72.22 และ 21.11 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1, ข้าวดอกมะลิ 105, กข 41 และ กข 47 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีภายในใบข้าว 33.21 และ 11.99, 59.52 และ 20.28, 64.31 และ 22.30 และ 56.01 และ 19.83 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ในขณะที่อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีภายในใบข้าวทั้ง 5 พันธุ์ลดลง (ตารางที่ 3) โดยข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอภายในใบข้าวลดลงมากที่สุด คิดเป็น 32.56 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 3) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1, กข 31, กข 41 และ กข 47 มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอภายในใบข้าวลดลง คิดเป็น 23.79, 15.43, 25.67 และ 15.41 เปอร์เซ็นต์ ตาม ลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 3)

**ตารางที่ 3** ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chl a) คลอโรฟิลล์บี (Chl b) คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (TC) และแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ( $C_{x+c}$ ) ภายในใบข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1, ข้าวดอกมะลิ 105, กข 31, กข 41 และ กข 47 ที่ได้รับสภาวะความเค็มจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0 และ 200 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน

| พันธุ์ข้าว        | NaCl (mM) | ปริมาณรงควัตถุภายในใบ (ไม่โครมิตอกอร์มน้ำหนักสด) |                        |                |          |                |          |               |          |
|-------------------|-----------|--------------------------------------------------|------------------------|----------------|----------|----------------|----------|---------------|----------|
|                   |           | Chl a                                            |                        | Chl b          |          | TC             |          | $C_{x+c}$     |          |
| ปทุมธานี 1        | 0         | 33.21±2.85 fg <sup>1/</sup>                      | -                      | 11.99±0.77 de  | -        | 45.17±3.62 de  | -        | 12.71±0.90 d  | -        |
|                   | 200       | 25.31±0.11 g                                     | -23.79 % <sup>2/</sup> | 8.27±0.05 e    | -31.03 % | 33.58±0.15 e   | -25.66 % | 9.63±0.03 d   | -24.23 % |
| ข้าวดอกมะลิ 105   | 0         | 59.52±10.60 abcd                                 | -                      | 20.28±3.77 ab  | -        | 79.80±14.36 ab | -        | 24.31±3.97 ab | -        |
|                   | 200       | 40.14±0.72 ef                                    | -32.56 %               | 13.29±0.23 cd  | -34.47 % | 53.54±0.46 cde | -32.92 % | 16.74±0.32 c  | -31.10 % |
| กข 31             | 0         | 72.22±5.34 a                                     | -                      | 21.11±0.60 a   | -        | 82.28±2.76 a   | -        | 21.28±0.65 ab | -        |
|                   | 200       | 61.08±2.25 abc                                   | -15.43 %               | 13.15±0.75 cd  | -37.71 % | 77.31±1.50 ab  | -6.04 %  | 19.94±0.47 bc | -6.30 %  |
| กข 41             | 0         | 64.31±4.03 ab                                    | -                      | 22.30±1.34 a   | -        | 86.61±5.37 a   | -        | 25.17±0.93 a  | -        |
|                   | 200       | 47.81±0.51 cde                                   | -25.67 %               | 16.63±0.15 bc  | -25.43 % | 64.40±0.72 bc  | -25.64 % | 20.62±0.03 bc | -18.08 % |
| กข 47             | 0         | 56.01±1.37 bcd                                   | -                      | 19.83±0.18 ab  | -        | 75.20±1.42 ab  | -        | 23.84±0.51 ab | -        |
|                   | 200       | 47.38±0.34 de                                    | -15.41 %               | 16.17±0.11 bcd | -18.41 % | 63.48±0.55 bc  | -15.59 % | 20.63±0.04 bc | -13.51 % |
| Significant Level |           |                                                  |                        |                |          |                |          |               |          |
| พันธุ์ข้าว        |           | **                                               |                        | **             |          | **             |          | **            |          |
| NaCl              |           | **                                               |                        | **             |          | **             |          | **            |          |
| พันธุ์ข้าว × NaCl |           | ns                                               |                        | ns             |          | ns             |          | ns            |          |
| C.V. (%)          |           | 14.22                                            |                        | 14.11          |          | 13.38          |          | 12.06         |          |

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; \*\*มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ ); <sup>1/</sup>ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01;

<sup>2/</sup> เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (0 mM NaCl)

ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์บีภายในใบข้าวพันธุ์ กข 31 ลดลงมากที่สุด เมื่อได้รับสภาวะความเค็ม คิดเป็น 37.71 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 3) ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1, ข้าวดอกมะลิ 105, กข 41 และ กข 47 มีปริมาณคลอโรฟิลล์บีภายในใบข้าวลดลง คิดเป็น 31.03, 34.47, 25.43 และ 18.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 3) ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดภายในใบข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ลดลงมากที่สุด คิดเป็น 32.92 และ 31.10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 3) ส่วนข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1, กข 31, กข 41, และ กข 47 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดและแคโรทีนอยด์ทั้งหมดภายในใบข้าวลดลงเมื่อได้รับสภาวะความเค็ม คิดเป็น 25.66 และ 24.23, 6.04 และ 6.30,

25.64 และ 18.08 และ 15.59 และ 13.51 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 3)

ในขณะที่อทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์ข้าวและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนักสดส่วนราก น้ำหนักสดส่วนต้น น้ำหนักแห้งส่วนราก และน้ำหนักแห้งส่วนต้นของข้าว โดยข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ได้รับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์ มีน้ำหนักสดส่วนราก น้ำหนักสดส่วนต้น น้ำหนักแห้งส่วนราก และน้ำหนักแห้งส่วนต้นลดลงมากที่สุด คิดเป็น 69.40, 50.34, 54.59 และ 42.84 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 4) ในขณะที่น้ำหนักสดส่วนราก น้ำหนักสดส่วนต้น น้ำหนักแห้งส่วนราก และน้ำหนักแห้งส่วนต้นของข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับสภาวะความเค็ม ลดลง

คิดเป็น 33.52, 24.73, 42.84 และ 29.11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ ส่วนข้าวพันธุ์ กข 31 ที่ได้รับสภาวะความเค็ม มีน้ำหนักสดส่วนราก น้ำหนักสดส่วนต้น น้ำหนักแห้งส่วนราก และน้ำหนักแห้งส่วนต้นลดลง คิดเป็น 37.37, 44.42, 41.57 และ 39.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ ในขณะที่น้ำหนักสดส่วนราก น้ำหนักสดส่วนต้น น้ำหนักแห้งส่วนราก และน้ำหนัก

แห้งส่วนต้นของข้าวพันธุ์ กข 41 ที่ได้รับสภาวะความเค็มลดลง คิดเป็น 15.36, 9.67, 42.11 และ 24.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ และข้าวพันธุ์ กข 47 ที่ได้รับสภาวะความเค็ม มีน้ำหนักสดส่วนราก น้ำหนักสดส่วนต้น น้ำหนักแห้งส่วนราก และน้ำหนักแห้งส่วนต้นลดลง คิดเป็น 30.82, 10.12, 41.46 และ 24.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 4)

**ตารางที่ 4** น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสดส่วนรากและส่วนต้นของข้าวข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1, ชาวดอกมะลิ 105, กข 31, กข 41 และ กข 47 ที่ได้รับสภาวะความเค็มจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0 และ 200 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน

| พันธุ์ข้าว        | NaCl (mM) | น้ำหนักสด (มิลลิกรัม)       |                        |                 |          | น้ำหนักแห้ง (มิลลิกรัม) |          |                 |          |
|-------------------|-----------|-----------------------------|------------------------|-----------------|----------|-------------------------|----------|-----------------|----------|
|                   |           | ส่วนราก                     |                        | ส่วนต้น         |          | ส่วนราก                 |          | ส่วนต้น         |          |
| ปทุมธานี 1        | 0         | 424.60±6.64 a <sup>1/</sup> | -                      | 778.00±4.87 a   | -        | 127.12±1.37 a           | -        | 211.30±7.95 a   | -        |
|                   | 200       | 129.93±3.55 d               | -69.40 % <sup>2/</sup> | 386.35±51.81 e  | -50.34 % | 57.73±0.06 c            | -54.59 % | 120.78±3.10 d   | -42.84 % |
| ชาวดอกมะลิ 105    | 0         | 64.20±4.19 fg               | -                      | 256.58±5.85 g   | -        | 36.62±3.00 d            | -        | 129.00±11.87 cd | -        |
|                   | 200       | 42.68±1.45 h                | -33.52 %               | 193.13±10.51 h  | -24.73 % | 20.93±1.40 de           | -42.84 % | 91.45±2.13 e    | -29.11 % |
| กข 31             | 0         | 79.32±13.51 f               | -                      | 228.23±35.53 ef | -        | 53.40±0.56 d            | -        | 109.47±12.21 de | -        |
|                   | 200       | 49.68±5.77 gh               | -37.37 %               | 126.85±10.32 g  | -44.42 % | 31.20±3.79 e            | -41.57 % | 65.83±7.01 f    | -39.86 % |
| กข 41             | 0         | 119.23±1.52 de              | -                      | 419.30±18.57 c  | -        | 85.82±0.82 c            | -        | 194.57±3.04 a   | -        |
|                   | 200       | 100.92±1.80 e               | -15.36 %               | 378.73±15.22 f  | -9.67 %  | 49.68±2.03 c            | -42.11 % | 147.05±1.89 bc  | -24.42 % |
| กข 47             | 0         | 234.87±8.09 b               | -                      | 502.00±20.94 b  | -        | 116.70±4.26 b           | -        | 208.88±2.45 a   | -        |
|                   | 200       | 162.48±5.24 c               | -30.82 %               | 451.18±6.60 d   | -10.12 % | 68.32±1.68 bc           | -41.46 % | 156.87±3.46 b   | -24.90 % |
| Significant level |           |                             |                        |                 |          |                         |          |                 |          |
| พันธุ์ข้าว        |           | **                          |                        | **              |          | **                      |          | **              |          |
| NaCl              |           | **                          |                        | **              |          | **                      |          | **              |          |
| พันธุ์ข้าว × NaCl |           | **                          |                        | **              |          | **                      |          | **              |          |

\*\*มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.01$ ); <sup>1/</sup> ตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01; <sup>2/</sup> เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (0 mM NaCl)

#### 4. วิจัย

จากการศึกษาพบว่าสภาวะความเค็มทำให้ปริมาณโซเดียมไอออนภายในใบเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าปริมาณโซเดียมไอออนที่สะสมภายในพืชมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเกลือ [16-18] จากผลการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ที่ได้รับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์ มีปริมาณโซเดียมไอออนภายในใบเพิ่มขึ้น

คิดเป็น 198.97 (ปทุมธานี 1), 79.90 (ชาวดอกมะลิ 105), 892.64 (กข 31), 240.14 (กข 41) และ 267.41 (กข 47) เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 1) นอกจากนี้ปริมาณโซเดียมไอออนภายในใบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น [16-18] ซึ่งสามารถพิจารณาเปรียบเทียบกับงานทดลองของ Cha-um และคณะ [8] ที่รายงานว่า ข้าวพันธุ์ปทุมธานี

1 และชาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับสภาวะความเค็มจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 427 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 5 วัน มีผลทำให้ปริมาณโซเดียมไอออนเพิ่มขึ้น คิดเป็น 500.00 และ 400.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ

ในการศึกษาครั้งนี้ยังพบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณโซเดียมไอออนมีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมไอออนภายในพืชลดลง โดยปริมาณโพแทสเซียมไอออนภายในใบข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ลดลง คิดเป็น 11.46 (ปทุมธานี 1), 9.28 (ชาวดอกมะลิ 105), 30.99 (กข 31), 29.76 (กข 41) และ 23.63 (กข 47) เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ โดยการลดลงของปริมาณโพแทสเซียมไอออนภายในใบข้าวมีแนวโน้มลดลงได้เมื่อได้รับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ดังปรากฏผลในงานทดลองของ Cha-um และคณะ [8] ที่รายงานว่ ปริมาณโพแทสเซียมไอออนภายในใบข้าวพันธุ์ ปทุมธานี 1 และชาวดอกมะลิ 105 ลดลง คิดเป็น 50.00 และ 28.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ ในขณะที่เดียวกันปริมาณโซเดียมไอออนภายในใบที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนภายในใบเพิ่มขึ้น คิดเป็น 201.54 (ปทุมธานี 1), 96.98 (ชาวดอกมะลิ 105), 1371.23 (กข 31), 361.11 (กข 41) และ 375.44 (กข 47) เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 2)

เนื่องจากปริมาณโซเดียมไอออนที่เพิ่มขึ้นอาจรบกวนสมดุลของไอออนภายในพืช นอกจากนี้ปริมาณโซเดียมไอออนภายในใบที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนภายในใบเพิ่มขึ้นดังปรากฏผลในงานทดลองของ Siringam และคณะ [6] ที่รายงานว่ ข้าวพันธุ์ ปทุมธานี 1 ที่ได้รับสภาวะความเค็มจากสารละลาย

โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 342 มิลลิโมลาร์ มีผลทำให้อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนเพิ่มขึ้น คิดเป็น 2477.78 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ ในขณะที่เดียวกันโซเดียมไอออนซึ่งเป็นไอออนที่มีความเป็นพิษอาจเข้าทำลายองค์ประกอบภายในเซลล์มีผลทำให้เกิดการสูญเสียสภาพของเซลล์จนนำไปสู่การเกิดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบ โดยสภาวะความเค็มก่อให้เกิดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบ คิดเป็น 62.08 (ปทุมธานี 1), 87.11 (ชาวดอกมะลิ 105), 180.18 (กข 31), 293.74 (กข 41) และ 111.58 (กข 47) เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ (ตารางที่ 2) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบของข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีค่าน้อยกว่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบของข้าวพันธุ์ Hitomebore, IR 28, Bankat และ Pokkali ที่ได้รับสภาวะความเค็มจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 120 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ คิดเป็น 750.00, 1060.00, 1300.00 และ 100.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ Dionisio-Sese และ Tobita [7] ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของพันธุ์และสภาพแวดล้อมระหว่างการศึกษา จึงมีผลทำให้มีค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบข้าวที่แตกต่างกัน

จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าต้นกล้าข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณโซเดียมไอออน อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน และการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบที่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าข้าวแต่ละพันธุ์มีความสามารถในการควบคุมปริมาณโซเดียมไอออน ปริมาณโพแทสเซียมไอออน อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนที่

แตกต่างกัน ทำให้มีความสามารถในการควบคุมการคงสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ที่แตกต่างกันโดยในการศึกษาค้างนี้แสดงให้เห็นว่าข้าวพันธุ์ กข 31 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณโซเดียมไอออนและอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนภายในใบมากที่สุด ในทางกลับกันข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณโซเดียมไอออนและอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนน้อยที่สุด และอัตราการลดลงของปริมาณโพแทสเซียมไอออนน้อยที่สุด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 อาจจะมีความสามารถในการควบคุมปริมาณโซเดียมไอออน ปริมาณโพแทสเซียมไอออน อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน ซึ่งมีผลทำให้สามารถควบคุมการคงสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ได้ดีกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1, กข 31, กข 41 และ กข 47 ซึ่งในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำข้อมูลการสะสมปริมาณโซเดียมไอออน อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน และการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ไปใช้ในการจำแนกความสามารถทนทานต่อสภาวะความเค็มในพืชหลายชนิด เช่น ข้าวบาร์เลย์ [19] ถั่วเหลือง [10] ข้าวฟ่างทางกระรอก [20] มันฝรั่ง [21]

ในขณะที่ปริมาณรงควัตถุภายในใบจะลดลงเมื่อพืชได้รับสภาวะความเค็ม ซึ่งการลดลงของปริมาณรงควัตถุอาจเนื่องมาจากปริมาณโซเดียมไอออนเข้าทำลายอวัยวะภายในพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งคลอโรพลาสต์และรงควัตถุที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง โดยการลดลงของปริมาณรงควัตถุภายในใบภายใต้สภาวะความเค็มสามารถพบได้ในพืชหลายชนิด เช่น ข้าว [22] แตงกวา [11] ข้าวโพด [12] โดย Khan และคณะ [23] รายงานว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดภายในใบข้าว

สาลิ จำนวน 7 พันธุ์ ได้แก่ Lu-26s, Sarsabz, Bhattai, KTDH22, Khirman, B-7012 และ Bakhtawar ที่ได้รับสภาวะความเค็มจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 120 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน มีปริมาณลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะปกติ ซึ่งส่งผลทำให้พื้นที่ใบและผลผลิตเมล็ดลดลง จากผลการศึกษาค้างนี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณรงควัตถุภายในใบข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ต้นกล้าข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มีการเจริญเติบโตที่ลดลง ซึ่งแสดงผลในทางเดียวกันกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่รายงานว่าปริมาณรงควัตถุภายในใบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเจริญเติบโตของข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ เมื่อได้รับสภาวะความเค็ม เช่น Hitomebore, IR 28, Bankat, Pokkali [7] ปทุมธานี 1, ขาวดอกมะลิ 105 และหอมจันทร์ [8] หอมจันทร์และปทุมธานี 1 [6] Kiral, Yavuz, IR 31785-58-1-2-3-3 และ IR 4630-22-2 [24] หอมแพะโล่ หอมสะดุ้ง หอมจันทร์ หอมนางนวล หอมแตง หอมแม่จัน หอมแพร่ หอมทอง หอมจำปา หอมทุเรียน Pokkali และ IR 29 [25] อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าอัตราการลดลงของปริมาณรงควัตถุภายในใบข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีอัตราการลดลงของปริมาณรงควัตถุภายในใบมากที่สุด แต่มีการเจริญเติบโตที่ลดลงใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ กข 31 ซึ่งอัตราการลดลงของปริมาณรงควัตถุภายในใบน้อยที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าปริมาณรงควัตถุภายในใบข้าวพันธุ์ กข 31 เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพในการดูดซับพลังงานแสงเพื่อใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงและมีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง

## 5. สรุป

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าวภายใต้สภาวะความเค็ม ได้แก่ ปริมาณโซเดียมไอออน ปริมาณโพแทสเซียมไอออน อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณรงควัตถุภายในใบ และการเจริญเติบโต อาจนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจำแนกความสามารถในการทนทานต่อสภาวะความเค็มของข้าวในระยะต้นกล้าได้

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา Higher Education Research Promotion (HERP) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (2558 A14062005) ร่วมกับมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำหรับความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย นักศึกษา และผู้เกี่ยวข้องในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัย

## 7. รายการอ้างอิง

- [1] Khush, G.S., 2005, What it will take to feed 5.0 billion rice consumers in 2030, *Plant Mol. Biol.* 59: 1-6.
- [2] 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.
- [3] Mahajan, S. and Tuteja, N., 2005, Cold, salinity and drought stresses: An overview, *Arch. Biochem. Biophys.* 444: 139-158.
- [4] Ashraf, M., 2009, Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers, *Biotechnol. Adv.* 27: 84-93.
- [5] Khelil, A., Menu, T. and Ricard, B., 2007, Adaptive response to salt involving carbohydrate metabolism in leaves of a salt-sensitive tomato cultivar, *Plant Physiol. Biochem.* 45: 551-559.
- [6] Siringam, K., Juntawong, N., Cha-um, S. and Kirdmanee, C., 2009, Relationships between sodium ion accumulation and physiological characteristics in rice (*Oryza sativa* spp. *indica*) seedlings grown under iso-osmotic salinity stress, *Pak. J. Bot.* 41: 1837-1850.
- [7] Dionisio-Sese, M.L. and Tobita, S., 1998, Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress, *Plant Sci.* 135: 1-9.
- [8] Cha-um, S., Vejchasarn, P. and irdmanee, C., 2007, An effective defensive response in Thai aromatic rice varieties (*Oryza sativa* L. spp. *indica*) to salinity, *J. Crop Sci. Biotech.* 10: 257-264.
- [9] Hu, Y., Burucs, Z., Von Tucher, S. and Schmidhalter, U., 2007, Short-term effects of drought and salinity on mineral nutrient distribution along growing leaves of maize seedlings, *Environ. Exp. Bot.* 60: 268-275.
- [10] Luo, Q., Yu, B. and Liu, Y., 2005, Differen-

- tial sensitivity to chloride and sodium ions in seedlings of *Glycine max* and *G. soja* under NaCl stress, J. Plant Physiol. 162: 1003-1012.
- [11] Tiwari, J.K., Munshi, A.D., Kumar, R., Pandey, R.N., Arora, A., Bhat, J.S. and Sureja, A.K., 2010, Effect of salt stress on cucumber:  $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$  ratio, osmolyte concentration, phenols and chlorophyll content, Acta Physiol. Plant. 32:103-114.
- [12] Cha-um, S. and Kirdmanee, C., 2009, Effect of salt stress on proline accumulation, photosynthetic ability and growth characters in two maize cultivars, Pak. J. Bot. 41: 87-98.
- [13] Moeljopawiro, S. and Ikehishi, H., 1981, Inheritance of salt tolerance in rice, Euphytica 30: 291-300.
- [14] Shabala, S.N., Shabala, S.I., Martynenko, A.I., Babourina, O. and Newman, I.A., 1998, Salinity effect on bioelectric activity, growth,  $\text{Na}^+$  accumulation and chlorophyll fluorescence of maize leaves: A comparative survey and prospects for screening, Aust. J. Plant Physiol. 25: 609-616.
- [15] Lichtenthaler, H.K., 1987, Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic Biomembranes, Methods in Enzymology 148: 350-380.
- [16] Basu, S., Gangopadhyay, G. and Mukherjee, B.B., 2002, Salt tolerance in rice *in vitro*: Implication of accumulation of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and proline, Plant Cell Tiss. Org. Cult. 69: 55-64.
- [17] Lefevre, I., Gratia, E. and Lutts, S., 2001, Discrimination between the ionic and osmotic components of salt stress in relation to free polyamine level in rice (*Oryza sativa*), Plant Sci. 161: 943-952.
- [18] Ndayiragije, A. and Lutts, S., 2006, Exogenous putrescine reduces sodium and chloride accumulation in NaCl-treated calli of the salt-sensitive rice cultivar I Kong Pao, Plant Growth Regul. 48: 51-63.
- [19] Chen, Z., Cuin, T.A., Zhou, M., Twomey, A., Naidu, B.P. and Shabala, S., 2007, Compatible solute accumulation and stress-mitigating effects in barley genotypes contrasting in their salt tolerance, J. Exp. Bot. 58: 4245-4255.
- [20] Sreenivasulu, N., Grimm, B., Wobus, U. and Weschke, W., 2000, Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensitive seedlings of foxtail millet (*Setaria italica*), Physiol. Plantarum 109: 435-442.
- [21] Daneshmand, F., Arvin, M.J. and Kalantari, K.M., 2010, Physiological responses to NaCl stress in three wild species of potato *in vitro*, Acta Physiol. Plant. 32: 91-101.
- [22] Singh, M.P., Singh, D.K. and Rai, M., 2007, Assessment of growth, physiological and biochemical parameters and activities of antioxidative enzymes in salinity tolerant

- and sensitive Basmati rice varieties, J. Agron. Crop Sci. 193: 398-412.
- [23] Khan, M.A., Islam, E., Shirazi, M.U., Mumtaz, S., Mujtaba, S.M., Khan, M.A., Shereen, A., Ashraf, M.Y. and Kaleri, G.M., 2010, Physiological responses of various wheat genotypes to salinity, Pak. J. Bot. 42: 3497-3505.
- [24] Tatar, O., Brueck, H., Gevrek, M.N. and Asch, F., 2010, Physiological responses of two Turkish rice (*Oryza sativa* L.) varieties to salinity, Turk. J. Agric. For. 34: 1-9.
- [25] Pongprayoon, W., Cha-um, S., Pichakum, A. and Kirdmanee, C., 2008, Profiles in aromatic rice cultivars photoautotrophically grown in responses to salt stress, Int. J. Bot.: 1-7.