

## ปริมาณเมทิลไกลออกซาลในต้นข้าวอ่อนที่ทำให้เครียดด้วยความเค็มและความร้อน Methylglyoxal Levels in Rice Seedling (*Oryza sativa* L.) under Salt and Heat Stresses

บุษกร อู่ยวงษ์

Budsakorn Auiyawong

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

Faculty of science and technology, Phetchaburi Rajabhat University

Corresponding author; E-mail: bussakorn.oui@mail.pbru.ac.th

### บทคัดย่อ

เมทิลไกลออกซาลเป็นแอลดีไฮด์ที่เป็นพิษ เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการไกลโคไลซิสและมีปริมาณเพิ่มขึ้นในพืชที่อยู่ในสภาวะเครียด งานวิจัยนี้ศึกษาปริมาณเมทิลไกลออกซาลในสภาวะปกติเปรียบเทียบกับสภาวะเครียดร้อนและเค็มในต้นข้าวอ่อน 4 สายพันธุ์ คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าวเหลืองประทิว 123 และข้าวชัยนาท 1 โดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปี พบว่าข้าวสายพันธุ์ที่ไม่ทนความเครียดมีระดับเมทิลไกลออกซาลเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออยู่ในสภาวะเครียด ส่วนข้าวสายพันธุ์ที่ทนต่อความเครียดร้อนและเค็มได้ดี เช่น ข้าวปทุมธานี 1 มีระดับเมทิลไกลออกซาลไม่แตกต่างจากสภาวะปกติ แสดงให้เห็นว่าข้าวที่ทนต่อความเครียดสามารถควบคุมระดับของเมทิลไกลออกซาลไม่ให้สูงจนเป็นพิษกับเซลล์ นั่นคือการทำจำกัดพิษของเมทิลไกลออกซาลเป็นทั้งการตอบสนองและการปรับตัวของพืชต่อสภาวะเครียด และระดับของเมทิลไกลออกซาลในพืชที่อยู่ในสภาวะเครียดน่าจะจัดเป็นดัชนีหนึ่งที่ใช้บอกความต้านทานความเครียดของพืชเหล่านั้นได้

**คำสำคัญ:** เมทิลไกลออกซาล ความเครียดเกลือ ความเครียดร้อน ข้าว

### Abstract

Methylglyoxal (MG) is toxic aldehyde produced in plants, mainly in the glycolysis pathway and normally increases under stress conditions. This study investigated MG content under heat and salt stresses compare to the normal condition of 4 rice cultivars including, Thai jasmine rice (Khao Dawk Mali 105, KDML105), Pathumthani 1 (PT1), Leuang Pratew 123 (LPT123) and Chai Nat 1 (CN1) by using spectroscopy technique. The result showed that MG levels in stress treatment plants were significantly higher than normal condition in stress-sensitive cultivar, while the amount of MG in heat and salt stress-tolerance cultivar such as PTT1 was not different with the control. The results demonstrated that

the stress-tolerance seedling rice is able to control the level of MG. This is supporting that detoxification of MG is important for plants response and adaptation to abiotic stress. The level of MG under stress condition may be used as an index of plant tolerance.

**Keywords:** Methylglyoxal, Salt stress, Heat stress, Rice (*Oryza sativa* L.)

## บทนำ

สภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงมากในปัจจุบัน นำไปสู่สภาวะความเครียดในพืช (abiotic stresses) ทั้งความเครียดที่เกิดจากความร้อน (heat stress) หรือความเครียดจากสภาวะดินเค็ม (salt stress) เป็นต้น ความเครียดเหล่านี้มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และส่งผลให้พืชมีผลผลิตที่ลดลง พืชที่อยู่ในสภาวะเครียดจะมีการหลั่งสารเคมีหลายชนิดเพื่อใช้เป็นสัญญาณเตือนสภาวะนั้นๆ รวมถึงการสังเคราะห์เอนไซม์เพื่อกำจัดสารพิษหรืออนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเครียดด้วย [1]

เมทิลไกลออกซาล (methylglyoxal, MG) เป็นสารในกลุ่มแอลดีไฮด์ที่เป็นพิษ เกิดขึ้นในพืชโดยเป็นผลพลอยได้จากวิถีไกลโคไลซิสรวมถึงเมแทบอลิซึมอื่นๆ [2] แสดงออกในสองบทบาท กล่าวคือเมทิลไกลออกซาลจะทำหน้าที่เป็นตัวส่งสัญญาณ (Signal molecule) ที่ความเข้มข้นต่ำๆ เพื่อกระตุ้น secondary messenger อื่นๆ ในระบบของการป้องกันอนุมูลอิสระ (antioxidant defense system) ให้ทำงานเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเมทิลไกลออกซาลมีความเข้มข้นสูงจะเป็นพิษต่อเซลล์ [3] ดังนั้นพืชจึงมีกลไกในการกำจัดโดยอาศัยระบบป้องกันในพืชเพื่อให้เกิดความสมดุล [4] พืชหลายชนิดในสภาวะเครียดจะเกิดการผลิตเมทิลไกลออกซาลเพิ่มปริมาณขึ้น และเพิ่มได้ถึง 2-4 เท่า [5,6] แต่อย่างไรก็ตาม มีการรายงาน

ของพืชดัดแปลงพันธุกรรมหลายชนิดที่สามารถต้านทานสภาวะเครียด (stress tolerance) ได้โดยปริมาณของเมทิลไกลออกซาลภายในพืชดัดแปลงพันธุกรรมเหล่านั้นในทิศทางลดลงหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย [7, 8] ซึ่งแสดงว่าเมทิลไกลออกซาลเป็นสารเคมีตัวหนึ่งที่บ่งชี้การตอบสนองต่อสภาวะเครียดและความต้านทานในพืช เช่นเดียวกับมาลอนไดแอลดีไฮด์ (malondialdehyde) ซึ่งเป็นสารประกอบไตรคาร์บอนิลที่เป็นพิษและเกิดจากการสลายตัวของลิพิดที่เยื่อหุ้มเซลล์ในสภาวะเครียดของพืช นิยมใช้เป็นดัชนีบ่งชี้สภาวะออกซิเดชันของลิพิด (lipid peroxidation) ในพืช [9]

ข้าวจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยที่มีการปรับปรุงสายพันธุ์อย่างต่อเนื่อง ทำให้มีข้าวที่ต้านทานต่อสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงไป เช่น ข้าวพันธุ์ธานี 1 มีความทนเค็มรวมถึงสามารถทนร้อนได้ในระดับที่ดี [10,11] ได้รับการส่งเสริมให้ปลูกในส่วนภูมิภาคกลางร่วมกับสายพันธุ์อื่นๆ ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ดังนั้นการทราบพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเมทิลไกลออกซาลในข้าวสายพันธุ์ที่ทนต่อความเครียดได้ดีเปรียบเทียบกับข้าวสายพันธุ์ทั่วไปที่ไม่ทนเครียดทำให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นของการเปลี่ยนแปลงของสารชนิดนี้เพื่อนำไปสู่การพัฒนาเป็นตัวบ่งชี้สภาวะทนต่อความเครียดของพืชต่อไป



## วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

### ตัวอย่างข้าวและการทำให้เกิดสภาวะเครียด

ข้าว 5 สายพันธุ์ คือข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML105) ข้าวปทุมธานี 1 (PTT1) ข้าวชัยนาท 1 (CN1) ข้าวเหลืองประทิว 123 (LPT123) และข้าว Pokkali ซึ่งเป็นพันธุ์มาตรฐานทนเค็มได้รับเมล็ดพันธุ์ในเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม พ.ศ. 2561

นำข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ มาแช่น้ำเป็นเวลา 2 วัน แล้วนำเมล็ดข้าวที่งอกไปเพาะในภาชนะขนาด  $10 \times 10 \times 8$  เซนติเมตร ที่มีดินเพาะกล้าผสมกับพีทมอส ในอัตราส่วน 1:4 ในอัตราที่เท่าๆ กันทุกกระถาง ปลูกให้โดนแสงแดดตามธรรมชาติตลอดวัน และรดน้ำอย่างสม่ำเสมอ ทั้งเช้าและเย็น

ในการศึกษาสภาวะเครียดจากความเค็ม ทำโดยการนำต้นข้าวอ่อนอายุ 18 วัน มาแช่น้ำในกระถางให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู แล้วรดด้วย 250 mM NaCl พร้อมทั้งแช่ไว้ในสารละลายดังกล่าวเป็นเวลา 2 วัน ส่วนการศึกษาสภาวะเครียดจากร้อนจะใช้ต้นอ่อนข้าวอายุเท่ากัน นำมาบ่มไว้ที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนชุดควบคุมคือต้นข้าวสายพันธุ์เดียวกันซึ่งปลูกในสภาวะปกติแต่ละชุดการทดลองจะทำ 3 ซ้ำ

### การเตรียมตัวอย่างเพื่อวัดปริมาณเมทิลไกลออกซาล

การเตรียมตัวอย่างในพืช ทำตามวิธีของ Yadav และคณะ [5] โดยมีการดัดแปลงวิธีการเล็กน้อย คือตัดใบอ่อนข้าวประมาณ 0.1 กรัม นำมาบดให้ละเอียดในโถงที่มีสารละลาย 0.5 M กรดเปอร์คลอริก ( $\text{HClO}_4$ ) จำนวน 3 ml นำสารสกัดที่ได้บ่มในน้ำแข็ง 15 นาทีแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนติฟิวส์ 5,000 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที ดูดส่วนใสใส่ลงในหลอดทดลองที่มี charcoal ในอัตรา 10 mg/ml ทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อดูดสีของพืชที่สกัดได้ แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา

10 นาทีและดูดเอาเฉพาะส่วนใสนำมาทำให้เป็นกลางโดยการเติมโพแทสเซียมคาร์บอเนต ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) ที่อิ่มตัว ทิ้งไว้ 15 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนติฟิวส์ 10,000 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำส่วนใสที่ได้ไปวัดปริมาณเมทิลไกลออกซาลต่อไป

### การตรวจวัดปริมาณเมทิลไกลออกซาล (MG detection)

การวัดปริมาณเมทิลไกลออกซาลด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ Shimadzu model UV-1601 [5] ใช้ปริมาตรรวมทั้งหมด 1 ml ประกอบไปด้วย 7.2 mM 1,2-ไดอะมิโนเบนซีน จำนวน 250  $\mu\text{M}$  เติม 5M กรดเปอร์คลอริก 100  $\mu\text{M}$  และสารตัวอย่างที่เตรียมได้จากพืช 650  $\mu\text{L}$  โดยใส่สารเรียงตามลำดับ เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 335 นาโนเมตรและคำนวณปริมาณเมทิลไกลออกซาล โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของเมทิลไกลออกซาล

### การตรวจวัดปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ (TBARS assay)

การวัดปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ในพืชจะวัดในรูปของ thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) ดัดแปลงจากวิธีของ Chaouia และคณะ [12] โดยตัดใบอ่อนข้าวประมาณ 0.1 กรัม นำมาบดให้ละเอียดในโถงที่มีสารละลาย 0.25% (w/v) 2-thiobarbituric acid ใน 10% trichloroacetic acid ปริมาตร 3 ml นำสารสกัดไปให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วในน้ำแข็ง และนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 10,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที แยกส่วนใสไปวัดด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร และ 600 นาโนเมตร

คำนวณปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ โดยนำค่าการดูดกลืนแสงที่ 532 นาโนเมตร หักลบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ไม่จำเพาะอื่นๆ ที่ 600 นาโนเมตร

และคำนวณความเข้มข้นโดยค่า extinction coefficient ของ MDA-TBA เท่ากับ  $1.55 \times 10^5 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$

### การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ paired t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS version 22.0

## ผลการวิจัย

### สภาวะเครียดจากความร้อน

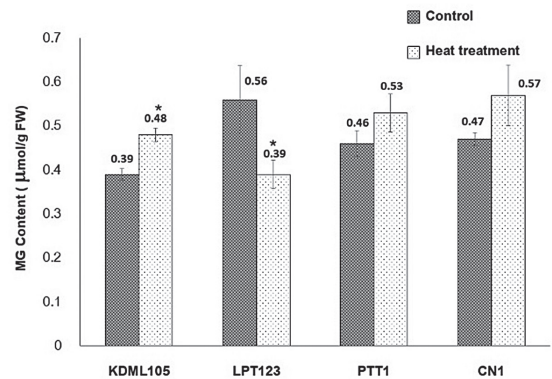
ในการศึกษานี้ได้วัดปริมาณเมทิลไกลออกซาลและปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ในต้นอ่อนข้าว 4 สายพันธุ์ที่ทนต่อความร้อนได้แตกต่างกัน ปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์แสดงใน Table 1 ประกอบด้วยชุดควบคุมซึ่งเพาะเลี้ยงในสภาวะปกติมีปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์อยู่ในช่วง 33.8-40.4 nmol/gFW ส่วนต้นอ่อนข้าวที่ทำให้เครียดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะมีปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์สูงขึ้นทุกสายพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าตั้งแต่ 45.9-64.8 nmol/gFW

**Table 1.** Malondialdehyde content (nmol/g fresh weight) in rice seedling

	Control (nmol/gFW)	Heat treatment (nmol/gFW)
KDML105	38.8 ± 1.6	55.8 ± 4.3
LPT123	36.6 ± 2.6	62.0 ± 3.8
PTT1	40.4 ± 2.8	64.8 ± 4.1
CN1	33.8 ± 0.6	45.9 ± 2.7

ปริมาณเมทิลไกลออกซาลในข้าว 4 สายพันธุ์พบว่า ชุดควบคุมของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวเหลืองประทิว 123 ข้าวปทุมธานี 1 และข้าวชัยนาท 1 มีปริมาณ 0.38 ± 0.01, 0.56 ± 0.08, 0.46 ± 0.03 และ 0.47 ±

0.02 μmol/gFW ตามลำดับ ส่วนชุดที่ทำให้เครียดด้วยความร้อนจะมีปริมาณ 0.48 ± 0.02, 0.39 ± 0.03, 0.53 ± 0.04 และ 0.57 ± 0.07 μmol/gFW ตามลำดับ โดยแสดงความสัมพันธ์ของชุดควบคุมและชุดที่ทำให้เครียดของข้าวทั้ง 4 สายพันธุ์ใน Figure 1



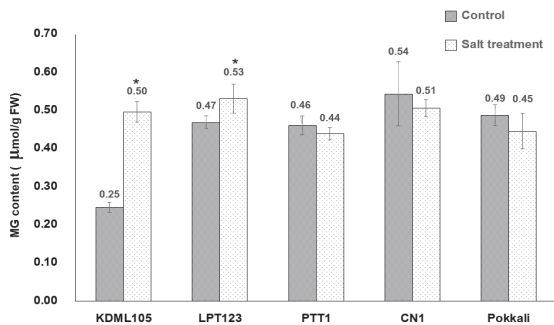
**Figure 1.** The levels of methylglyoxal in various rice seedling cultivars under heat stress and normal condition. The experimental data represent the average of three replicates and bar indicates standard error. The asterisk symbol indicates significant differences at  $p < 0.05$  of treatment group from control group.

### สภาวะเครียดจากความเค็ม

ในการศึกษาปริมาณเมทิลไกลออกซาลในต้นข้าวอ่อนที่เครียดเนื่องจากความเค็ม ได้เพิ่มสายพันธุ์มาตรฐานทนเค็ม Pokkali อีก 1 สายพันธุ์ พบว่า ปริมาณเมทิลไกลออกซาลในชุดควบคุมของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวเหลืองประทิว 123 ข้าวปทุมธานี 1 ข้าวชัยนาท 1 และ Pokkli มีปริมาณ 0.25 ± 0.01, 0.47 ± 0.02, 0.46 ± 0.02, 0.54 ± 0.08 และ 0.49 ± 0.03 ± mol/gFW ตามลำดับ ส่วนชุดที่ทำให้เครียดด้วยความเค็มจะมีปริมาณ



0.50 ± 0.03, 0.53 ± 0.04, 0.44 ± 0.02 และ 0.51 ± 0.02 และ 0.45 ± 0.05 μmol/gFW ตามลำดับ โดยแสดงความสัมพันธ์ของชุดควบคุมและชุดที่ทำให้เครียดของข้าวทั้ง 5 สายพันธุ์ใน Figure 2



**Figure 2.** The levels of methylglyoxal in various rice seedling cultivars under salt stress and normal condition. The experimental data represent the average of three replicates and bar indicates standard error. The asterisk symbol indicates significant differences at  $p < 0.05$  of treatment group from control group.

## การอภิปรายผล

### สภาวะเครียดจากความร้อนของต้นอ่อนข้าว

อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพรวมถึงผลผลิตของพืช นั้นพืชที่เครียดจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้โปรตีนที่เยื่อหุ้มเซลล์เสียหาย ส่งผลต่อความเสถียรของเยื่อหุ้มและเหนียวนำไปให้เกิด lipid peroxidation [13] มีการรายงานถึงปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์ที่สูงขึ้นในข้าวที่ได้รับความเครียดร้อน [14] เนื่องจากเกิดสภาวะ oxidative stress ในการศึกษานี้ได้ทำให้ต้นข้าวอ่อนเกิดความเครียดโดยการบ่มไว้ที่ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และพบว่าปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์เพิ่ม

สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในข้าวทุกสายพันธุ์ โดยมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น 1.2-1.9 เท่า แสดงว่าข้าวชุดที่ทำให้เกิดความเครียดจากความร้อนเกิดสภาวะ oxidative stress เป็นผลให้ปริมาณมาลอนไดแอลดีไฮด์เพิ่มสูงขึ้น

การเกิด oxidative stress จะเกิดการเหนียวนำไปให้มีการผลิตสารกลุ่มคาร์บอนิล (reactive carbonyl species, RCS) ที่เป็นพิษต่อเซลล์ [15] รวมถึงเมทิลไกลออกซาลด้วยพืชดัดแปลงพันธุกรรม เช่น ใบยาสูบที่มีการตัดต่อยีน aldo-ketoreductase จากข้าวซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดพิษของเมทิลไกลออกซาล รายงานการลดลงของปริมาณเมทิลไกลออกซาลในใบยาสูบมีผลด้านต้านต่อสภาวะ oxidative stress ที่เกิดขึ้นรวมถึงมีผลให้ทนทานต่อสภาวะอุณหภูมิสูงในพืชดัดแปลงพันธุกรรมนั้นด้วย [7]

ในการศึกษาปริมาณเมทิลไกลออกซาลในข้าวที่ทนความร้อนได้ต่างกัน 4 สายพันธุ์ พบว่าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีความต้านทานต่อความเครียดร้อนได้น้อย มีปริมาณเมทิลไกลออกซาลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ข้าวสายพันธุ์ที่ทนความร้อนได้ดีกว่าอย่างข้าวปทุมธานี 1 [11] และข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 [16] ปริมาณเมทิลไกลออกซาลที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยไม่แตกต่างจากชุดควบคุมในขณะที่ข้าวเหลืองประทิว 123 มีปริมาณเมทิลไกลออกซาลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการศึกษาเห็นได้ว่าข้าวที่มีความทนต่อความร้อนได้ในระดับหนึ่งอย่างข้าวปทุมธานี 1 ข้าวชัยนาท 1 รวมถึงข้าวเหลืองประทิว 123 จะควบคุมระดับเมทิลไกลออกซาลไม่ให้สูงเกินไปที่เป็นอันตรายต่อเซลล์ถึงแม้ว่าจะเกิดสภาวะ oxidative stress

### สภาวะเครียดจากความเค็มของต้นอ่อนข้าว

ดินเค็มเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากความเข้มข้นของเกลือที่สูงใน

ดินจะนำไปสู่สภาวะ oxidative stress ของพืช ทำให้พืช ดูดน้ำและอาหารได้ยากขึ้น มีการสะสมของไอออนที่เป็นพิษ [17] การศึกษาครั้งนี้ทำการวัดปริมาณเมทิลไกลออกซาลในต้นอ่อนข้าว 5 สายพันธุ์ที่ทำให้เครียดด้วยการรดด้วยเกลือ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 250mM และแช่ไว้เป็นเวลา 2 วัน พบว่าข้าว Pokkali ข้าวปทุมธานี 1 และข้าวชัยนาท 1 มีปริมาณเมทิลไกลออกซาลไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ในขณะที่ข้าวดอกมะลิ 105 และข้าวเหลืองประทิว 123 มีปริมาณเมทิลไกลออกซาลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ข้าว Pokkali เป็นข้าวสายพันธุ์ทนเค็มมาตรฐาน ซึ่งมีการรายงานว่าข้าวสายพันธุ์นี้ในสภาวะเครียดเค็มสามารถกำจัดพิษจากเมทิลไกลออกซาลได้ผ่านกลไกของ เอนไซม์ glyoxylase I และ glyoxylase II [18] และเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ข้าวสายพันธุ์นี้มีความสามารถในการทนต่อความเครียดเค็มได้ดี อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาดังกล่าวไม่มีการวัดปริมาณเมทิลไกลออกซาลในข้าว ในการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่าข้าว Pokkali ในสภาวะเครียดเค็มมีระดับเมทิลไกลออกซาลไม่แตกต่างจากชุดควบคุม แสดงให้เห็นว่าข้าว Pokkali สามารถควบคุมระดับเมทิลไกลออกซาลได้ในสภาวะเครียด ส่วนข้าวสายพันธุ์อื่น เช่น ข้าวปทุมธานี 1 ซึ่งมีความทนเค็มได้ในระดับใกล้เคียงกันกับ Pokkali [10] มีปริมาณเมทิลไกลออกซาลไม่แตกต่างจากชุดควบคุมเช่นกัน ในขณะที่ข้าวที่ไวต่อความเค็มในดิน เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 [19] และเหลืองประทิว 123 จะมีระดับของเมทิลไกลออกซาลเพิ่มสูงขึ้น

จากการศึกษาต้นข้าวอ่อนที่ทำให้เครียดด้วยความร้อนและความเค็ม จะเห็นได้ว่าข้าวสายพันธุ์ที่ทนความเครียดได้ดีจะควบคุมระดับของเมทิลไกลออกซาลให้อยู่ในสมดุลง่ายกว่าระดับปกติที่อาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ ซึ่งกระบวนการควบคุมปริมาณเมทิลไกล

ออกซาลภายในเซลล์เกี่ยวข้องกับเอนไซม์หลายๆ ชนิด [3,4] เช่นเดียวกับ Pokkali ที่มีกลไกของเอนไซม์ glyoxylase ในการควบคุมระดับเมทิลไกลออกซาล นอกจากนี้ในการศึกษาระดับเมทิลไกลออกซาลในต้นข้าวอ่อนภายใต้ความเครียดแล้ว [20] พบว่า ต้นข้าวอ่อนที่มีระดับเมทิลไกลออกซาลสูงมาก 4-5 เท่าหรือมากกว่านั้น มีผลต่อการตายของต้นอ่อนด้วย

### สรุปผลการวิจัย

ข้าวแต่ละสายพันธุ์มีการจัดการปริมาณเมทิลไกลออกซาลได้แตกต่างกัน สายพันธุ์ที่ต้านทานต่อสภาวะเครียดเค็มและร้อนได้ดีมีการควบคุมระดับของเมทิลไกลออกซาลไม่ให้สูงมากเกินไปจนเสียสมดุล ดังนั้นระดับของเมทิลไกลออกซาลในพืชที่อยู่ในสภาวะเครียดน่าจะจัดเป็นตรรกะหนึ่งที่ใช้บอกความต้านทานความเครียดของพืชเหล่านั้นได้

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากสถาบันวิจัย และส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ขอขอบคุณศูนย์วิจัยข้าวราชบุรีสำหรับพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 ข้าวชัยนาท 1 และข้าวเหลืองประทิว 123 ดร.สุมิदानันท์ จันทะบุรี สำหรับพันธุ์ข้าว Pokkali และภาควิชาชีวเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105



## เอกสารอ้างอิง

1. Wang, W., Vinocur, B. and Altman, A. 2003. Plant Responses to Drought, Salinity and Extreme Temperatures: Towards Genetic Engineering for Stress Tolerance. *Planta*. 218 : 1-14.
2. Kalapos, MP. 1999. Methylglyoxal in Living Organism s-Chemistry, Biochemistry, Toxicology and Biological *Implications*. *Toxicol Lett*. 110 (3):145-75.
3. Li, ZG. 2016. Methylglyoxal and Glyoxalase System in Plants: Old Players, New Concepts. *Bot Rev*. 82 : 183-203.
4. Hoque, TS., Hossain, MA., Mostofa, MG., Burritt, DJ., Fujita, M. and Tran L-SP. 2016. Methylglyoxal: An Emerging Signaling Molecule in Plant Abiotic Stress Responses and Tolerance. *Front Plant Sci*. 7: 1-11.
5. Yadav, SK., Singla-Pareek, SL., Ray, M., Reddy, MK. And Sopory, SK. 2005. Methylglyoxal Levels in Plants under Salinity Stress are Dependent on Glyoxalase I and Glutathione. *Biochem Biophys Res Commun*. 337 (1) : 61-67.
6. Hossain, MA., Hossain, MZ. And Fujita, M. 2009. Stress-induced Changes of Methylglyoxal Level and Glyoxalase I Activity in Pumpkin Seedlings and cDNA Cloning of Glyoxalase I Gene. *Aust J Crop Sci*. 3(2): 53-64.
7. Turoczy, Z., Kis, P., Torok, K., Cserhati, M., Lendvai, A., Dudits, D. and Horvath GV. 2011. Overproduction of a Rice Aldo-Keto Reductase Increases Oxidative and Heat Stress Tolerance by Malondialdehyde and Methylglyoxal Detoxification. *Plant Mol Biol*. 75 (4-5) : 399-412.
8. Auiyawong, B., Narawongsanont, R. and Tantitadapitak, C. 2017. Characterization of AKR4C15, a Novel Member of Aldo-Keto Reductase, in Comparison with Other Rice AKR (s). *Protein J*. 36 (4):257-269.
9. Yamauchi, Y., Furutera, A., Seki, K., Toyoda, Y., Tanaka, K. and Sugimoto, Y. 2008. Malondialdehyde Generated from Peroxidized Linolenic acid Causes Protein Modification in Heat-stressed Plants. *Plant Physiol Biochem*. 46 (8-9) : 786-793.
10. Ninsuwan, U., Pornsirikarn, P., Jundee, N. and Puima N. 2013. Identification of Salt Tolerance in Thai Indigenous Rice on the Basis of the Na/K Ratio and Salt Stress Responses. *Asian J. Plant Sci*. 12 (6-8) : 247-251.
11. Pansarakham, P., Pongdontri, P., Theerakulpisut, P. and Dongsansuk, A. 2018. Effect of short-term heat exposure on physiological traits of indica rice at grain-filling stage. *Acta Physiol Plant*. 40(9):173.



12. Chaouia, A., Mazhoudia, S., Ghorbalb, MH. And Ferjani E. El. 1997. Cadmium and Zinc Induction of Lipid Peroxidation and Effects on Antioxidant Enzyme Activities in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Sci.* 127 (2) : 139-47.
13. Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, MM., Roychowdhury, R. and Fujita, M. 2013. Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms of Heat Stress Tolerance in Plants. *Int J Mol Sci.* 14(5): 9643-9684.
14. Cao, YY., Duan, H., Yang, LN., Wang, ZQ., Liu, LJ. and Yang JC. 2009. Effect of High Temperature During Heading and Early Filling on Grain Yield and Physiological Characteristics in Indica Rice. *Acta Agron Sin.* 35: 512-521.
15. Mano, J. 2012. Reactive Carbonyl Species: Their Production from Lipid Peroxides, Action in Environmental Stress, and the Detoxification Mechanism. *Plant Physiol Biochem.* 59: 90-97.
16. Sukkeo, S., Rerkasem, B. and Jamjod, S. 2017. Heat Tolerance in Thai Rice Varieties. *Science Asia.* 43(2): 61-69.
17. Reddy, INBL., Kim, BK., Yoon, IS., Kim, KH. And Kwon, TR. 2017. Salt Tolerance in Rice : Focus on Mechanisms and Approaches. *Rice Science.* 24 (3) : 123-144.
18. El-Shabrawi, H., Kumar, B., Kaul, T., Reddy, MK., Singla-Pareek, SL. And Sopory, SK. 2010. Redox Homeostasis, Antioxidant Defense, and Methylglyoxal Detoxification as Markers for Salt Tolerance in Pokkali rice. *Protoplasma.* 245(1): 85-96.
19. Chunthaburee, S., Dongsansuk, A. and Sanitchon, J. 2016. Physiological and Biochemical Parameters for Evaluation and Clustering of Rice Cultivars Differing in Salt Tolerance at Seedling Stage. *Saudi J Biol Sci.* 23(4): 467-77.
20. Auiyawong, B., Potmuen, D. and Jabumrung, S. 2018. Methylglyoxal Level in Rice Seedlings (*Oryza sativa* L.) under Drought Stress. In Proc. 5th Rajabhat University national & international research and academic conference, 2-5 December, Thailand: 572-576.