

**ผลของการเพิ่มระดับอุณหภูมิตามแนวโน้มสภาพฉายอนาคต RCP4.5 และ RCP8.5 ที่มีต่อปริมาณผลผลิตสตาร์ช และค่าความหวานของข้าวไทย: พันธุ์ กข29 และไรซ์เบอร์รี่**  
**Effects of Elevated Air Temperature under the RCP4.5 and RCP 8.5 Scenarios on Yield Quantity, Starch and Brix Value of Thai rice : Kor-Khor29 and Riceberry Cultivar**

กณิตา ธนเจริญชนภาส<sup>1\*</sup>, นเรศ ขำเจริญ<sup>2</sup>, โอโรส รุกชาติ<sup>1</sup>, และ ภาวัช วิจารัตน์<sup>1</sup>  
 Kanita Thanacharoenchanaphas<sup>1\*</sup>, Nares Khamcharoen<sup>2</sup>, Orose Rugchati<sup>1</sup>  
 and Parwat Wijarat<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการเพิ่มระดับอุณหภูมิ ภายใต้แนวโน้มสภาพโลกร้อนตามการคาดการณ์ด้วยภาพฉายอนาคต RCP4.5 และ RCP8.5 ที่มีต่อองค์ประกอบผลผลิต สตาร์ช (อมิโลสและ อมิโลเพคติน) และค่าความหวานของข้าว 2 พันธุ์คือ กข 29 และ ไรซ์เบอร์รี่ ในการศึกษาภาคสนามครั้งนี้ใช้โรงเรือนทดลองระบบเปิดจำนวน 9 โรงเรือนประยุกต์ใช้ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อควบคุมระดับอุณหภูมิ 3 สถานการณ์ ในการศึกษาได้นำต้นอ่อนข้าวปลูกในโรงเรือนระบบเปิด 9 หลัง จนถึงระยะเก็บเกี่ยวภายใต้ระดับอุณหภูมิ 3 สถานการณ์ประกอบด้วย ในสิ่งทดลองชุดควบคุม CT(control);  $32.55 \pm 1.48^{\circ}\text{C}$ , HT4.5 (ระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามการคาดการณ์ของ RCP4.5);  $35.16 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$  และ HT8.5 (ระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามการคาดการณ์ของ RCP8.5);  $37.05 \pm 1.49^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง/วัน ตลอดระยะในช่วงการปลูกข้าว ผลการศึกษาในระยะเก็บเกี่ยวพบผลกระทบเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญที่เด่นชัดที่สุดภายใต้สถานการณ์ HT8.5 โดยพบว่าผลผลิตข้าว ต้น/เฮกแตร์ ของข้าวพันธุ์ กข29 และไรซ์เบอร์รี่ลดลงร้อยละ 28.5 และ 68.7 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลการศึกษาในสารอาหารของเมล็ดข้าวภายใต้ 3 สถานการณ์ พบว่าปริมาณอมิโลสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในขณะที่ค่าอมิโลเพคตินลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยพบเฉพาะข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่เท่านั้น สอดคล้องกับการลดค่าความหวาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายใต้สถานการณ์ HT4.5 และ HT8.5 เช่นเดียวกัน โดยสรุปข้อมูลจากผลการวิจัยนี้บ่งชี้ว่า ภายใต้สถานการณ์ที่คาดการณ์ว่าจะมีระดับอุณหภูมิเพิ่มสูงที่สุดภายใต้สถานการณ์ RCP8.5 จะส่งผลกระทบต่อการลดผลผลิตข้าวและสตาร์ชชนิดอมิโลเพคตินและค่าความหวานได้เด่นชัดกว่าสถานการณ์ RCP4.5 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าว 2

<sup>1</sup>ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก 65000

<sup>1</sup>Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

<sup>2</sup>คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

<sup>2</sup>Faculty of Science, Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet, 62000

Corresponding author : kanitat@nu.ac.th

ชนิดพันธุ์ข้าวพบว่าข้าวสีพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่จะเป็นข้าวพันธุ์ที่อ่อนไหวต่อระดับอุณหภูมิสูงมากกว่า ดังนั้นผล การศึกษานี้เป็นข้อมูลสำหรับการปรับตัวในภาคส่วนการเกษตรโดยเฉพาะการจัดการการปลูกข้าว ภายใต้สภาวะการเพิ่มระดับอุณหภูมิของประเทศไทยในอนาคต

**คำสำคัญ:** ภาพฉายอนาคต RCP, ข้าว, ผลผลิต, สตาร์ช, ค่าความหวาน

### Abstract

The aims of this research were to examine the effects of increased air temperature under global warming trend base on RCP4.5 and RCP8.5 scenarios on yield component, starch (amylose and amylopectin) and brix value of 2 rice cultivars; KorKhor29 and Riceberry. Nine field-open top chambers (OTCs) with electric systems were applied to simulate expected future global warming situation (elevated temperature) into 3 conditions. Rice seedlings were planted in 9 OTCs under 3 temperature levels as follows, CT treatments (control);  $32.55 \pm 1.48^{\circ}\text{C}$ , HT4.5 treatments (elevated temperature based on RCP4.5 scenario);  $35.16 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$  and HT8.5 treatments (elevated temperature based on RCP8.5 scenario);  $37.05 \pm 1.49^{\circ}\text{C}$ , respectively through harvest stage. These constant 3 situations were operated for 10 hr daily through growing season, The results in harvest stage showed the most obvious significant decrease by 28.5% and 68.7% in seed yield (ton/hectare) under HT8.5 situation in KorKhor29 and Riceberry, respectively. The results also showed that the positive effects on amylose content were obviously found in HT4.5 and HT8.5 but the negative effects of amylopectin were found in the same conditions. In addition, the parallel results between amylopectin and brix value were shown in Riceberry. The results showed that exposure to simulated global warming situation in HT4.5 and HT8.5 treatments also caused a significant reduction in brix value. In conclusion, overall results indicated that under future estimated temperature based on RCP8.5 caused more obvious negative effects on yield and seed chemical than RCP4.5 condition. In addition, it seemed that Riceberry was more sensitive to high temperature than Kor-Khor29. Finally, the results are the important data to climate change adaptation of rice cultivation management under future elevated temperature conditions in Thailand.

**Keywords:** RCP scenario, Rice, Yield, Starch, Brix value

### บทนำ

การปล่อยกลุ่มก๊าซเรือนกระจกโดยกิจกรรมของมนุษย์ส่งผลทำให้สภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องและรุนแรงขึ้นนับจากช่วงยุคอุตสาหกรรมเป็นต้นมา (IPCC, 2014) โดยเป็นผลจากการศึกษาอย่างต่อเนื่องทั้งรูปแบบการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการวิจัยภาคสนาม (กนิดา ธิเจริญชนภาส, 2558) ผลการศึกษา ล้วนแต่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือคาดการณ์ว่าระดับ อุณหภูมิพื้นผิวโลกโดยเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Boudiaf *et al.*, 2020) หน่วยงาน IPCC ได้ประเมิน สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศภายใต้ภาพฉายอนาคตตามเส้นทางการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

RCP (Representative Concentration Pathways) ในรายงาน IPCC ฉบับที่ 5 (AR5) และคาดว่าจะระดับอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเกินระดับ  $2^{\circ}\text{C}$  ( $2.6 - 4.8^{\circ}\text{C}$ ) ร่วมกับระดับ  $\text{CO}_2$  ที่จะเพิ่มขึ้นในระดับที่สูงกว่า 1,000 ppm ภายใต้การฉายอนาคต RCP8.5 (IPCC, 2013) ซึ่งเป็นระดับที่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่งผลต่อการเพิ่มระดับอุณหภูมิจนทำให้แรงแผ่รังสีเพิ่มขึ้นที่ระดับ  $8.5 \text{ W.m}^{-2}$  ที่คาดการณ์ไว้เมื่อสิ้นสุดปี ค.ศ. 2100 เทียบกับช่วงก่อนยุคอุตสาหกรรม (เปรียบเทียบในช่วงปี ค.ศ.2081–2100 กับ ช่วงปีค.ศ.1850–1900) (IPCC, 2013; IPCC, 2014)

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในหลายมิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบในด้านลบที่มีคุณภาพและปริมาณผลผลิตจากภาคการเกษตรที่เปลี่ยนแปลงไป เหตุการณ์นี้จะส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหารของโลก (Thanacharoenchanaphas and Rugchati, 2019) เนื่องจากภูมิอากาศเป็นปัจจัยสำคัญอันดับแรกต่อการกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช รายงานการวิจัยส่วนหนึ่งได้ยืนยันว่าการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มระดับอุณหภูมิจะส่งผลทำให้พืชมีความเครียดจากระดับอุณหภูมิสูง (heat stress) ทำให้สารอนุมูลอิสระในเนื้อเยื่อเพิ่มสูงขึ้น การรบกวนกระบวนการสังเคราะห์แสง การเจริญเติบโต ซีพลักษณ์ และกระบวนการทางชีวเคมีหลายประการที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารอาหารในเมล็ด สุดท้ายส่งผลทำให้ผลผลิตในภาพรวมลดลง (Baker and Allen, 1993; Aydinalp and Cresser, 2008; Thanacharoenchanaphas and Rugchati, 2019)

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นธัญพืชหลักที่มีความสำคัญมากที่สุด พบว่าประชากรโลกเกินครึ่งบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก พบว่าผลผลิตมากกว่า 90% ของข้าวทั่วโลกเป็นผลผลิตในเขตเอเชีย 612 ล้านตัน บนพื้นที่ 143 ล้านเฮกเตอร์ (FAO, 2012; GRISP, 2013) และเป็นที่ทราบกันว่าปัจจัยทางกายภาพคือระดับอุณหภูมิในกรณีปลูกข้าวภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงกวาระดับที่เหมาะสมในฤดูกาลปลูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงระยะออกดอกถึงช่วงเก็บเกี่ยวจะส่งผลทำให้ผลผลิตข้าวลดลงหรืออาจจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสารอาหารในเมล็ด (Oort *et al.*, 2011; Zhao *et al.*, 2013) พบว่าข้าวมีโอกาสเปิดรับ (exposure) ต่อสภาวะอุณหภูมิสูงและส่งผลกระทบต่อได้ทั้งในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative stage) และระยะสืบพันธุ์ (reproductive stage) และยังพบว่าสภาวะ มีเหตุผลเชิงกลไกสรีรวิทยาอีกหลายประการที่เกี่ยวข้องกับสภาวะอุณหภูมิสูงและส่งผลต่อการลดผลผลิตของข้าว (Pareek *et al.*, 1995) มีการวิจัยในประเด็นปัญหานี้และคาดการณ์ว่าข้าวในทวีปเอเชียจะมีผลผลิตลดลง 10% เมื่ออุณหภูมิโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นทุกๆ  $1^{\circ}\text{C}$  ของอุณหภูมิต่ำสุดของวัน (Peng *et al.*, 2004)

สถานการณ์ในประเทศไทยพบว่าระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นขึ้นมาระยะหนึ่งแล้ว โดยกรมอุตุนิยมวิทยาได้รายงานวาระระดับอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นแล้วประมาณ  $0.95^{\circ}\text{C}$  ในระหว่างปี.ศ. 2498-พ.ศ. 2552 ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยโลกประมาณ  $0.6^{\circ}\text{C}$  (Naruchaikusol, 2016) เนื่องจากประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่ใช้พลังงานจากฟอสซิลเป็นหลักและพบว่าปริมาณ  $\text{CO}_2$  รวมที่ปล่อยออกมาโดยภาพรวม โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคส่วนพลังงานมีปริมาณถึง  $235.8 \text{ Mt-CO}_2\text{eq}$  ในปี.ศ.2560 ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาได้คาดการณ์ว่าพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ภายใต้การฉายอนาคต RCP 8.5 จะมีระดับอุณหภูมิ มีค่าสูงสุดได้ถึง ระหว่าง  $46-47^{\circ}\text{C}$  (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2016) ในขณะที่ประเทศไทยเป็นแหล่งปลูกข้าวที่สำคัญพื้นที่หนึ่งของโลก ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์ที่จะทราบข้อมูลผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในรูปแบบการเพิ่มระดับอุณหภูมิที่ระดับที่เกิน  $\sim 2.0^{\circ}\text{C}$  และ  $\sim 4.0^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเป็นระดับเดียวกับการประเมินโดยภาพฉายอนาคต RCP4.5 และ RCP8.5 ที่มีต่อผลผลิตของข้าวไทยสำคัญของพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทยคือพันธุ์ กข29 และพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่เพื่อให้ทราบผลกระทบที่มีต่อผลผลิต

และสตาร์ทของข้าวภายใต้สถานการณ์ดังกล่าว ทั้งนี้ เพื่อให้ประเทศไทยมีข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการวางแผนการรับมือในอนาคต

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### การควบคุมระดับอุณหภูมิ ในโรงเรือนทดลองระบบเปิด

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้เลือกพื้นที่ศึกษา ณ ตำบลท่าทอง อ.เมือง จ.พิษณุโลก ( $16^{\circ}79'790''$ ,  $100^{\circ}22'5468''$ E) เป็นโซนพื้นที่ที่มีเกษตรกรทำนาอยู่ระดับหนึ่ง โดยสร้างโรงเรือนทดลองภาคสนามสำหรับควบคุมระดับอุณหภูมิ ให้เพิ่มขึ้นจากสภาวะธรรมชาติในช่วงการปลูกทดลอง ซึ่งระดับการเพิ่มขึ้นนี้ได้ควบคุมให้สอดคล้องกับการคาดการณ์ภายใต้ภาพถ่ายอนาคต RCP8.5 (1) Field-Open Top Chamber System

ในการวิจัยได้สร้างโรงเรือนทดลองภาคสนามแบบเปิดด้านบน (Open Top Chambers; OTCs) สำหรับการทดลองภาคสนาม ขนาด  $4 \times 3$  ตารางเมตร สูง 3 เมตร โดยจะประยุกต์มาจาก กณิธา ธนเจริญชนาส และโอรัส รักชาติ (2552) จำนวน 9 โรงเรือน ลักษณะของ Open Top Chamber คลุมด้วยพลาสติกใสรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเปิดหลังคาด้านบน และมีหลังคาหุ้มด้วยพลาสติกใสเพื่อกันน้ำฝน (เพื่อการควบคุมการได้รับน้ำฝน ความชื้น และ ป้องกันเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ภายในโรงเรือน (Figure 1)

#### การควบคุมสถานการณ์การเพิ่มระดับอุณหภูมิตามภาพถ่ายอนาคต RCP

ควบคุมสถานการณ์เพื่อศึกษาปัจจัยการเพิ่มระดับอุณหภูมิ 2 สถานการณ์ตามแนวโน้ม RC4.5 และ RCP8.5 โดยมีสถานการณ์เทียบเท่ากับสภาวะปัจจุบันเป็นทริทเมนต์ควบคุม 1 สถานการณ์ รวมทั้งหมดมี 3 สถานการณ์ (3 ทริทเมนต์) ดังแสดงใน Table 1 สำหรับทริทเมนต์ควบคุม (CT) ได้ดำเนินการควบคุมระดับอุณหภูมิให้เทียบเท่ากับระดับอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน (ambient level) คือประมาณ  $30-33^{\circ}\text{C}$  โดยการเปิดเครื่องปรับอากาศแบบเคลื่อนที่ภายในโรงเรือนทริทเมนต์ควบคุม การควบคุมระดับอุณหภูมิ ทั้ง 3 สถานการณ์ได้รับการบันทึกผลทุกกระยะ 2 ชั่วโมง และได้ตั้งเวลา 10 ชั่วโมงตั้งแต่วันที่ 7.00-17.00 น. เพื่อควบคุมให้สถานการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นในเวลากลางวันซึ่งเป็นช่วงที่พืชมีการสังเคราะห์แสง โดยติดตั้งเครื่องควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้าอัตโนมัติตามเวลาที่กำหนด



**Figure 1** Open Top Chambers (OTCs) for field studies of elevated air temperature and CO<sub>2</sub> concentration on rice

### การวางแผนการทดลอง

กำหนดการปลูกในโรงเรือนโปร่งแสงกลางแจ้ง และวางแผนการทดลองในหน่วยการทดลองเป็นแบบ Random Completed Block Design (RCBD) สำหรับ 3 ทรีทเมนต์ ทั้งหมด 3 ซ้ำ ใน Open Top Chambers; OTCs ทั้งหมด 9 โรงเรือน ซึ่งแสดงรายละเอียดดัง Table 1

Table 1 Elevated temperature levels and CO<sub>2</sub> concentrations inside OTCs for 4 treatments based on RCP8.5 IPCC scenario

| Treatments     | Average Temperature (°C)±SD       | Elevated Temperature Based on RCP Scenarios |
|----------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|
| 1.CT (control) | 32.55 ± 1.48                      | -                                           |
| 2.HT4.5        | 35.16 ± 1.40 (higher than CT~2.6) | RCP4.5                                      |
| 3.HT8.5        | 37.05 ± 1.49(higher than CT~4.5)  | RCP8.5                                      |

### การจัดการปลูกข้าว

(1) เตรียมเมล็ดพันธุ์ ในการวิจัยได้เลือกข้าวไทย 2 พันธุ์ คือข้าวขาว กข 29 (ชัยนาท80) (RD29) และข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ซึ่งเป็นข้าวสีที่นิยมปลูกในภาคเหนือตอนล่าง ข้าวทั้ง 2 พันธุ์เป็นข้าวไม่ไวแสง อายุเก็บเกี่ยวที่ประมาณ 103 วันและ 130 วันตามลำดับ โดยมีข้อมูลระบุว่าข้าวพันธุ์ กข29 เป็นข้าวอายุสั้น มีจุดเด่นคือค่อนข้างต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในภาคเหนือตอนล่าง และโรคขอบใบแห้ง ส่วนข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวสีม่วงดำมีคุณสมบัติเด่นทางโภชนาการคือ มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่เบต้าแคโรทีน วิตามินอี โพลีฟีนอล แอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นข้าวทางเลือกสำหรับผู้บริโภคในยุคใหม่

ในการวิจัยได้นำพันธุ์ข้าวทั้งสองเก็บรักษาโดยผืนกสุญญากาศภายใต้ระดับอุณหภูมิ 20-25°C เพื่อรักษาระดับความชื้นไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาพันธุ์จนถึงช่วงการปลูก และเพื่อรักษาอัตราการงอกของเมล็ดข้าวทั้ง 2 พันธุ์

(2) การเตรียมดินและกระถางปลูก เตรียมดินโดยผสมระหว่างดินเหนียวจากนาข้าวผสมกับดินดำในอัตราส่วน 4:1 เท่ากันในอ่างผสมใบใหญ่ จากนั้นตักดินลงในกระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 38 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร จำนวน 54 กระถาง เพื่อเตรียมสำหรับการปลูกข้าวพันธุ์ละ 3 กระถาง/ 1 โรงเรือน เตรียมพรวนดินและรดน้ำให้มีความชื้น จากนั้นเตรียมปุ๋ยสูตร 16-16-16 ปริมาณ1.675 กรัม/กระถาง เพื่อเป็นปุ๋ยรองพื้นก่อนนำต้นกล้าลงปลูก 1 วัน

(3) การปลูกข้าว เริ่มการเพาะกล้าในถาดเพาะกล้า และย้ายปลูกลงกระถางเมื่ออายุ 10 วันที่ใส่ปุ๋ยรองพื้น 1 วันก่อนย้ายปลูกในกระถาง และนำกระถางข้าวทั้ง 2 พันธุ์ ไปปลูกใน OTCs ทั้ง 3 ทรีทเมนต์ 9 โรงเรือน ควบคุมการให้น้ำในแต่ละกระถางในแต่ละระยะเวลาการปลูก ดังนี้ 1.ระยะข้าวเป็นต้นกล้า 2.อายุในช่วงข้าวแตกกอ 3.ช่วงการสร้างรวงอ่อน โดยให้น้ำอยู่บริเวณโคนต้นกล้า 3-5 เซนติเมตร 5-10 เซนติเมตร และ10-20 เซนติเมตร ตามลำดับ และลดระดับน้ำให้มีเพียงความชื้นระดับผิวดินหลังจากช่วงออกดอก 10 วัน ส่วนการใส่ปุ๋ยในช่วงการปลูกให้ 2 ช่วงดังนี้ เมื่ออายุข้าว 28 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 ปริมาณ1.675 กรัม/กระถาง และสุดท้ายเมื่ออายุข้าว 53 วันใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 ปริมาณ 0.675 กรัม/กระถาง

### การวิเคราะห์องค์ประกอบผลผลิต

เมื่อข้าวมีอายุในช่วงการเก็บเกี่ยว ทำการเก็บข้าวทั้งรวงโดยห่อพลาสติกบริเวณรวงทุกรวงเพื่อป้องกันการร่วงของเมล็ดข้าวและนำการวิเคราะห์ผลผลิต ซึ่งวิจัยครั้งนี้เลือกการวิเคราะห์องค์ประกอบผลผลิตบางประการที่สำคัญดังนี้

จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อรวง (Total seed per panicle) นับจำนวนรวงทั้งหมดซึ่งเป็นรวงที่มีเมล็ดข้าวออกทั้งเมล็ดสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ เปอร์เซ็นต์ของการเมล็ดสมบูรณ์ต่อรวง (% filled grains per panicle) นับแยกเมล็ดสมบูรณ์คือเมล็ดที่มีการเจริญของข้าวเต็มเมล็ด และเมล็ดลีบหรือเมล็ดที่มีการเจริญของข้าวไม่สมบูรณ์อย่างชัดเจน และคำนวณเปอร์เซ็นต์ของเมล็ดสมบูรณ์ต่อรวง ซึ่งน้ำหนัก 100 เมล็ด นำเมล็ดข้าวที่เป็นเมล็ดสมบูรณ์และตากไล่ความชื้นไม่เกิน 10 % มาชั่งน้ำหนัก 100 เมล็ด คำนวณผลผลิตข้าวหน่วยตัน/เฮกแตร์ วิเคราะห์ปริมาณผลผลิตโดยคำนวณผลผลิตหน่วยเป็นตัน/เฮกแตร์ จากสูตร Yoshida (1981) ดังสูตร

$$\text{Grain yield (t/ha)} = \text{no. of panicles per m}^2 * \% \text{ filled grains per panicle} * 1000\text{-grain weight (g)} \times 10^{-5}$$

เมื่อ; no. of panicles per m<sup>2</sup> คือ จำนวนรวงทั้งหมดต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร (no. of panicles per m<sup>2</sup>)

% filled grains per panicle คือ เปอร์เซ็นต์ของการติดเมล็ดต่อรวง (% filled grains per panicle)

1000-grain weight(g) คือ น้ำหนัก 1000 เมล็ด (g) (1000-grain weight (g))

### การวิเคราะห์สตาร์ชของเมล็ดข้าว

ศึกษาปริมาณสตาร์ช (starch) โดยการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบของ อมิโลส และ อมิโลเพคติน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของสตาร์ชในแป้งข้าว โดยวิธีการทำให้เกิดสี ดัดแปลงจากวิธีการของ Knutson (1986) โดยการเตรียม สารละลาย Iodine และ NaOH 1 N (โดยเตรียม NaOH 80 กรัม ละลายในน้ำต้มเดือดที่ทิ้งไว้ให้เย็น 2,000 มิลลิลิตร) และ Acetic acid เจือจาง (โดยเตรียม Acetic acid 115 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น 2,000 มิลลิลิตร) ซึ่งแป้งข้าวที่บดละเอียดปริมาณ 0.1000 กรัม ใส่ลง Flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ปิดเปิดเอธิลแอลกอฮอล์ 1 มิลลิลิตร ลงในขวด Flask จากนั้นเติม 1 N NaOH 9 มิลลิลิตรลงในขวด และทิ้งไว้รอให้แป้งละลาย จึงนำไปต้มให้สารละลายคงตัว 10 นาที และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้น นำ Flask ขนาด 100 มิลลิลิตร (ขวดใหม่) เติมน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร และเติมกรด Acetic acid 1 มิลลิลิตร จากนั้นเปิดสารละลายแบ่งที่เตรียมไว้ 5 มิลลิลิตร และสารละลาย Iodine 2 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Flask ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปทดสอบปริมาณอไมโลส ด้วยเครื่อง UV-visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 620 nm และจดบันทึกผล สำหรับการหาค่าอไมโลเพคตินทำโดยการนำปริมาณเปอร์เซ็นต์อไมโลสที่อ่านได้ ลบออกจาก 100 ค่าที่ได้คือค่าเปอร์เซ็นต์อไมโลเพคติน (สุนีย์ สหัสโพธิ์, 2558)

### การวิเคราะห์ค่าความหวานในเมล็ด (Brix Value)

วิเคราะห์ความหวานโดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริก โดยชั่งตัวอย่างแป้งข้าวที่บดละเอียดตัวอย่างละ 1 กรัม และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 30% 1.5 มิลลิลิตร เพื่อได้สัดส่วน 1:1.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้น คนผสมตัวอย่างให้เข้ากัน เป็นเวลา 15 นาที แล้วเติมน้ำ 3 มิลลิลิตร นำตัวอย่างที่ได้ไป

ไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที กรองตัวอย่างที่ไฮโดรไลซ์แล้วด้วยกระดาษกรอง และวัดเปอร์เซ็นต์ความหวาน(%Brix) ด้วยเครื่อง Refractometer ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น Refracto 30PX

## ผลการทดลอง

### ผลผลิตข้าว

ผลการศึกษาผลผลิตข้าวทั้ง 2 พันธุ์คือ กข29 และ ไรซ์เบอร์รี่โดยแยกออกเป็นองค์ประกอบผลผลิตทั้งจำนวนเมล็ดทั้งหมด เมล็ดสมบูรณ์/รวง น้ำหนัก 100 เมล็ด และผลผลิตรวมต้น/เฮกแตร์ ผลการศึกษาโดยละเอียดแสดงใน Table 2 และ Figure 2-5 ดังรายละเอียด

จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อรวง (Total seed per panicle) จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อรวงของข้าวทั้ง 2 พันธุ์แสดงรายละเอียดใน Table 2 เมื่อพิจารณาผลการศึกษาของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ภายใต้สถานการณ์ทั้ง 2 สถานการณ์ (RCP4.5 และ RCP8.5) เมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์ควบคุม (CT) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าจำนวนเมล็ดทั้งหมด/รวงของข้าวพันธุ์ กข 29 มีแนวโน้มลดลง ในทรีทเมนต์ HT4.5 และ HT8.5 เท่ากับ 0.34% และ 3.95% ตามลำดับ (Figure 2) และเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่พบว่าพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นภายใต้ทรีทเมนต์ HT4.5 เท่ากับ 3.05% แต่กลับพบว่ามีแนวโน้มลดลงภายใต้ทรีทเมนต์ HT8.5 เท่ากับ 2.90% (Figure 2)

เปอร์เซ็นต์ของการเมล็ดสมบูรณ์ต่อรวง (Percentage of filled grains per panicle) ผลการศึกษาพบว่า เปอร์เซ็นต์เมล็ดสมบูรณ์/รวงของข้าวพันธุ์ กข29 ในระหว่างทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์ควบคุม (CT) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ภายใต้ทรีทเมนต์ HT4.5 เท่ากับ 13.36% แต่พบว่ามีแนวโน้มลดลงภายใต้ทรีทเมนต์ HT8.5 เท่ากับ 10.55% (Figure 3) อย่างไรก็ตามพบผลการศึกษาที่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) ระหว่างทรีทเมนต์ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ที่ชัดเจน โดยพบว่าเปอร์เซ็นต์ของการเมล็ดสมบูรณ์ต่อรวงของข้าวไรซ์เบอร์รี่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) ภายใต้สถานการณ์ที่รุนแรงในระดับอุณหภูมิที่สูงกว่า CT ประมาณ  $4.5^{\circ}\text{C}$  (HT8.5) เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงพบว่า เปอร์เซ็นต์ของการเมล็ดสมบูรณ์ต่อรวงของข้าวไรซ์เบอร์รี่ลดลงถึง 51.97% เมื่อเปรียบเทียบกับ CT (Figure 3)

น้ำหนัก 100 เมล็ด การศึกษาผลกระทบของสภาวะการเพิ่มระดับอุณหภูมิภายใต้ 2 สถานการณ์ พบผลการศึกษาที่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) ใน ข้าวทั้ง 2 พันธุ์พิจารณาผลการศึกษาของข้าวพันธุ์ กข29 พบว่าน้ำหนัก 100 เมล็ดลดลงภายใต้สถานการณ์ที่รุนแรงที่สุดคือ ทรีทเมนต์ HT8.5 โดยพบว่าน้ำหนัก 100 เมล็ด ลดลงเท่ากับ 5.49% เมื่อเปรียบเทียบกับ CT และถึงแม้ว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทรีทเมนต์ HT4.5 อย่างไรก็ตามพบว่าแนวโน้มลดลงเช่นโดยลดลงเท่ากับ 2.44% (Figure 4)

สำหรับผลการศึกษาพบว่า น้ำหนัก 100 เมล็ดของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ พบผลการศึกษาที่เด่นชัดกว่าเนื่องจากพบว่า พบว่าน้ำหนัก 100 เมล็ดลดลงภายใต้สถานการณ์ทั้ง 2 รูปแบบคือ HT4.5 และ HT8.5 เมื่อเปรียบเทียบกับ CT และเปอร์เซ็นต์การลดลงสูงกว่าข้าวพันธุ์ กข 29 นั่นคือลดลงเท่ากับ

40.06% และ 38.59% ภายใต้ทรีทเมนต์ HT4.5 และ HT8.5 ตามลำดับ (Figure 4) ซึ่งแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีความไวต่อสภาวะการเพิ่มระดับอุณหภูมิได้เร็วกว่าข้าวพันธุ์ กข29

ผลผลิตข้าว ผลการศึกษาผลกระทบของสถานการณ์การเพิ่มระดับอุณหภูมิ 2 ระดับที่มีต่อผลผลิตรวมของข้าวซึ่งคำนวณเป็นต้นต่อเฮกแตร์นั้น พบว่าข้าวทั้ง 2 พันธุ์มีการตอบสนองในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ต่อสถานการณ์การเพิ่มระดับอุณหภูมิในระดับสถานการณ์รุนแรงกว่าคือ HT8.5 (ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายใต้สถานการณ์ที่รองลงมาคือ HT4.5) โดยพบว่าภายใต้สถานการณ์ HT8.5 ผลผลิตข้าวพันธุ์ กข 29 ลดลง เท่ากับ 28.49% อย่างไรก็ตามพบแนวโน้มที่น่าสังเกตเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นในสิ่งทดลอง HT4.5 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เท่ากับ 17.58% (Figure 5) และเมื่อพิจารณาผลการศึกษาในข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่พบสอดคล้องกับพารามิเตอร์ น้ำหนักข้าว 100 เมล็ด เนื่องจากพบการตอบสนองในเชิงลบที่เด่นชัดกว่าอย่างชัดเจน ภายใต้สถานการณ์ HT8.5 โดยพบว่าผลผลิต ต้น/เฮกแตร์ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ลดลงสูงถึงระดับ 68.67% ซึ่งเป็นสิ่งบ่งชี้ได้ประการหนึ่งว่าภายใต้สถานการณ์ภายใต้อุณหภูมิ RCP8.5 นั้นจะส่งผลกระทบต่อข้าวไรซ์เบอร์รี่สูงกว่าข้าวพันธุ์ กข29 (Figure 5)

### ปริมาณสตาร์ช

อมิโลส เพื่อศึกษาผลกระทบของสถานการณ์การเพิ่มระดับอุณหภูมิ 2 ระดับภายใต้สภาพแวดล้อม RCP 4.5 และ RCP8.5 ที่มีต่อองค์ประกอบแป้งข้าวในรูปแบบอมิโลสที่มีต่อข้าวทั้ง 2 พันธุ์ (Table 2) ผลการศึกษาระบุว่าไม่พบการตอบสนองในเชิงบวกหรือลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ของสถานการณ์ทั้ง 2 รูปแบบที่มีต่อข้าวพันธุ์ กข29 อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับเปอร์เซ็นต์อมิโลส เท่ากับ 1.77% และ 1.31% ในทรีทเมนต์ HT 4.5 และ HT8.5 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (CT) (Figure 6 )

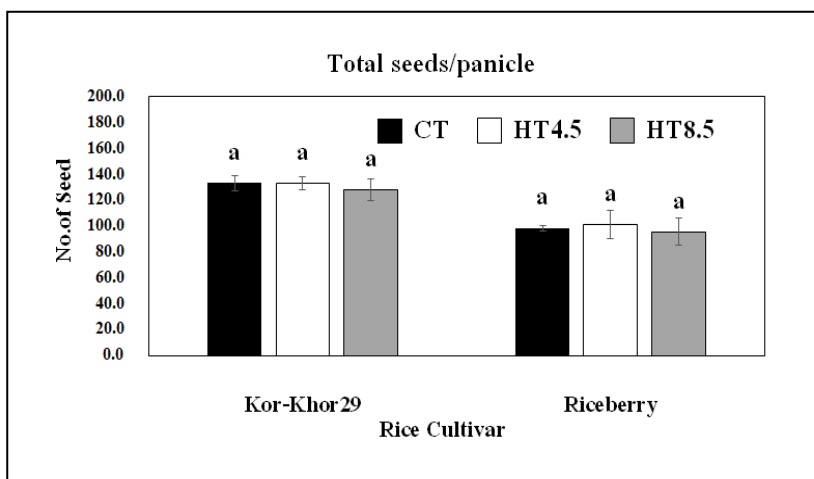
ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์อมิโลสในข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ พบว่าการศึกษาที่น่าสนใจนั้นคือพบว่าในสิ่งทดลอง HT4.5 และ HT8.5 มีระดับเปอร์เซ็นต์อมิโลสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เท่ากับ 4.27% และ 1.74% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (CT) (Figure 6) ซึ่งบ่งบอกว่าภายใต้การคาดการณ์สถานการณ์การเพิ่มระดับอุณหภูมิในอนาคตนั้นจะส่งผลทำให้ระดับอมิโลสในข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่เพิ่มขึ้น

ปริมาณอมิโลเพคติน ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าการปลูกข้าวภายใต้ 3 ทรีทเมนต์ (Table 2) พบผลการศึกษาที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่เท่านั้น พิจารณาผลการศึกษาในข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่พบว่าการปลูกข้าวภายใต้สภาวะการเพิ่มอุณหภูมิที่ระดับทรีทเมนต์ HT4.5 และ HT8.5 นั้นส่งผลทำให้ระดับค่าอมิโลเพคตินลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) เท่ากับ 0.62% และ 0.39% ตามลำดับ (Figure 7) ซึ่งเป็นลักษณะที่ตรงข้ามกับปริมาณการเพิ่มขึ้นของอมิโลส ผลการศึกษานี้บ่งบอกได้ในระดับหนึ่งว่าการเพิ่มระดับอุณหภูมิในอนาคตนั้นจะส่งผลทำให้ระดับอมิโลสในข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่เพิ่มขึ้นแต่ระดับ อมิโลเพคตินจะลดลง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติแป้งข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ในอนาคต



ค่าความหวานของเมล็ดข้าว ผลการศึกษาค่าความหวาน (brix value) ของข้าวพันธุ์ กข29 พบว่าระดับความหวานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) ในสิ่งทดลอง HT4.5 และ HT8.5 (Table 2) เมื่อเปรียบเทียบกับ CT พบว่าความหวานเพิ่มขึ้นเท่ากับ 9.99% และ 10.57% ตามลำดับ

ผลการศึกษาค่าความหวาน ในข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ พบว่าสภาวะ HT8.5 ทำให้ค่าความหวานลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับ CT โดยลดลงเท่ากับ 6.93% เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (CT) (Figure 8)



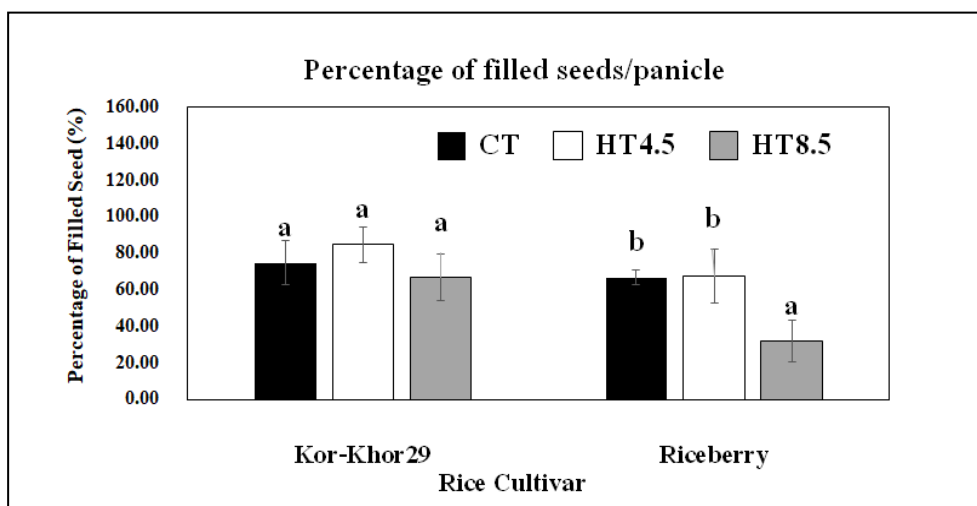
**Figure 2** Effects of different elevated air temperature on total seed/panicle of rice; Kor-Khor29 and Riceberry cultivars.

(Note: The same letters for each treatment indicate a non-significant difference at  $P<0.05$ . Error bars above each histogram indicated standard deviation (S.D.) observed from samples of each treatment.)

**Table 2** Average±SD of different parameters (yield components, yield (ton/ha<sup>-1</sup>), starch and brix value (%)) of Kor-Khor29 and Riceberry rice cultivars under three treatments with different air temperatures.

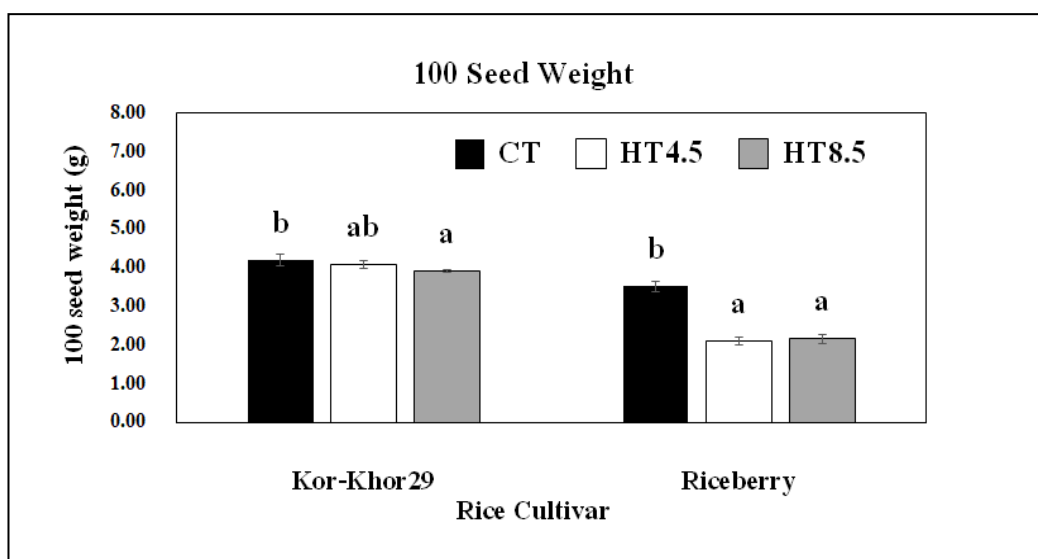
| Parameters              | Rice Cultivars           |                          |                          |                         |                          |                          |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                         | Kor-Khor29               |                          |                          | Riceberry               |                          |                          |
|                         | CT                       | HT4.5                    | HT8.5                    | CT                      | HT4.5                    | HT8.5                    |
| total seeds/panicle     | 133.5±5.9 <sup>a</sup>   | 133.0±4.8 <sup>a</sup>   | 128.2±8.5 <sup>a</sup>   | 98.4±2.1 <sup>a</sup>   | 101.4±10.8 <sup>a</sup>  | 95.6±10.6 <sup>a</sup>   |
| filled seed /panicle(%) | 74.82±12.06 <sup>a</sup> | 84.81±10.01 <sup>a</sup> | 66.92±12.70 <sup>a</sup> | 66.96±4.08 <sup>b</sup> | 67.80±14.94 <sup>b</sup> | 32.16±11.23 <sup>a</sup> |
| Yield (Ton/ha)          | 1.65±0.56 <sup>b</sup>   | 1.94±0.35 <sup>b</sup>   | 1.18±0.25 <sup>a</sup>   | 1.50±0.17 <sup>b</sup>  | 1.10±0.38 <sup>b</sup>   | 0.36±0.13 <sup>a</sup>   |
| 100 seed weight(g)      | 4.19±0.15 <sup>b</sup>   | 4.09±0.09 <sup>ab</sup>  | 3.91±0.03 <sup>a</sup>   | 3.52±0.14 <sup>b</sup>  | 2.11±0.09 <sup>a</sup>   | 2.16±0.13 <sup>a</sup>   |
| amylose (%)             | 26.0±0.07 <sup>a</sup>   | 26.4±0.77 <sup>a</sup>   | 26.3±0.25 <sup>a</sup>   | 12.7±0.089 <sup>a</sup> | 13.2±0.11 <sup>c</sup>   | 12.9±0.032 <sup>b</sup>  |
| amylopectin(%)          | 74.05±0.07 <sup>a</sup>  | 73.58±0.77 <sup>a</sup>  | 73.7±0.25 <sup>a</sup>   | 87.35±0.09 <sup>c</sup> | 86.81±0.12 <sup>a</sup>  | 87.13±0.03 <sup>b</sup>  |
| amylose:amylopectin     | 0.351±0.001 <sup>a</sup> | 0.359±0.014 <sup>a</sup> | 0.357±0.004 <sup>a</sup> | 0.145±0.01 <sup>a</sup> | 0.152±0.001 <sup>c</sup> | 0.148±0.001 <sup>b</sup> |
| Brix value (%)          | 11.67±0.058 <sup>a</sup> | 12.84±0.058 <sup>b</sup> | 12.9±0.100 <sup>b</sup>  | 15.87±0.06 <sup>c</sup> | 15.47±0.115 <sup>b</sup> | 14.77±0.058 <sup>a</sup> |

Note: The different letters for each treatment indicate a significant difference at  $P<0.05$ .



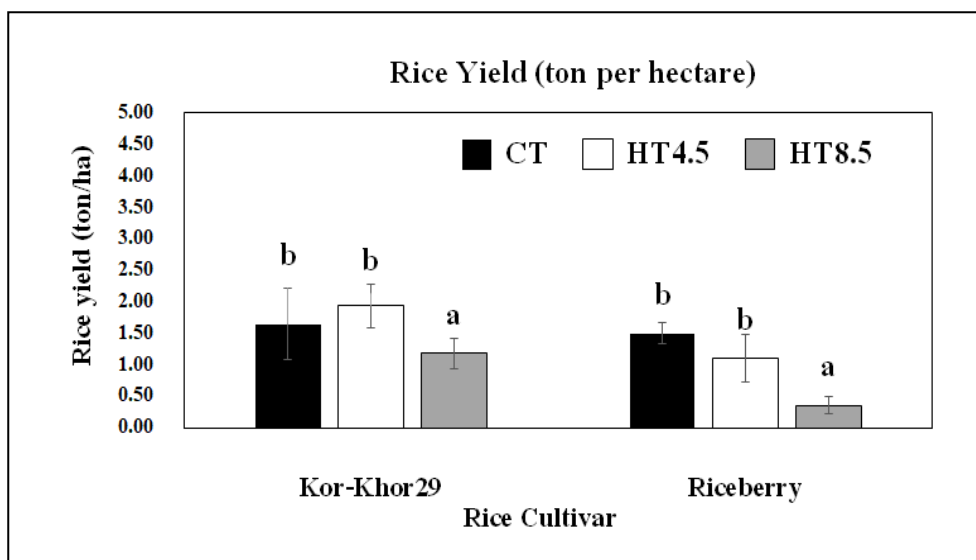
**Figure 3** Effects of different elevated air temperature on percentage of filled seeds/panicle of rice; Kor-Khor29 and Riceberry cultivars.

(Note: The different letters for each treatment indicate a significant difference at  $P < 0.05$ . Error bars above each histogram indicated standard deviation (S.D.) observed from samples of each treatment.)



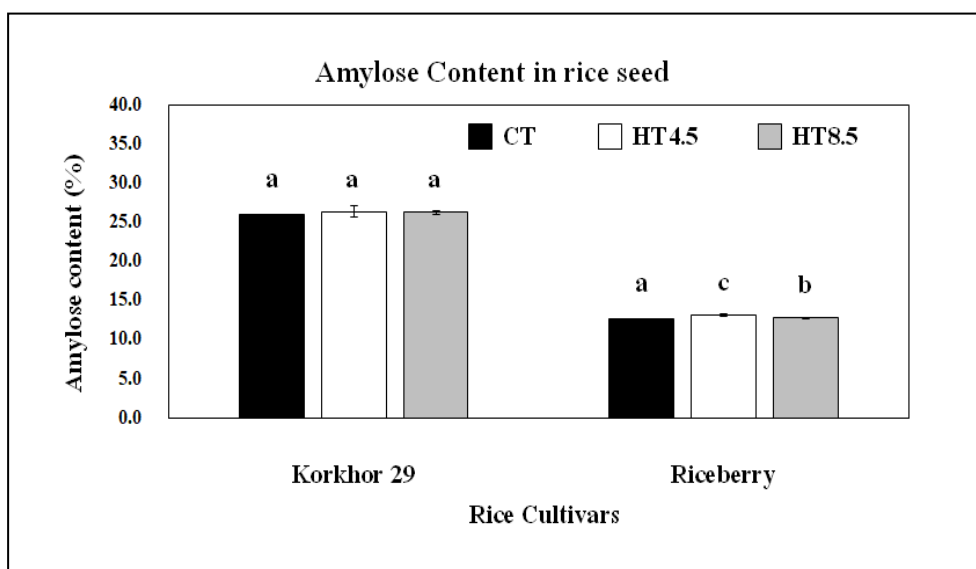
**Figure 4** Effects of different elevated air temperature on 100 seed weight of rice; Kor-Khor29 and Riceberry cultivars

(Note: The different letters for each treatment indicate a significant difference at  $P < 0.05$ . Error bars above each histogram indicated standard deviation (S.D.) observed from samples of each treatment.)



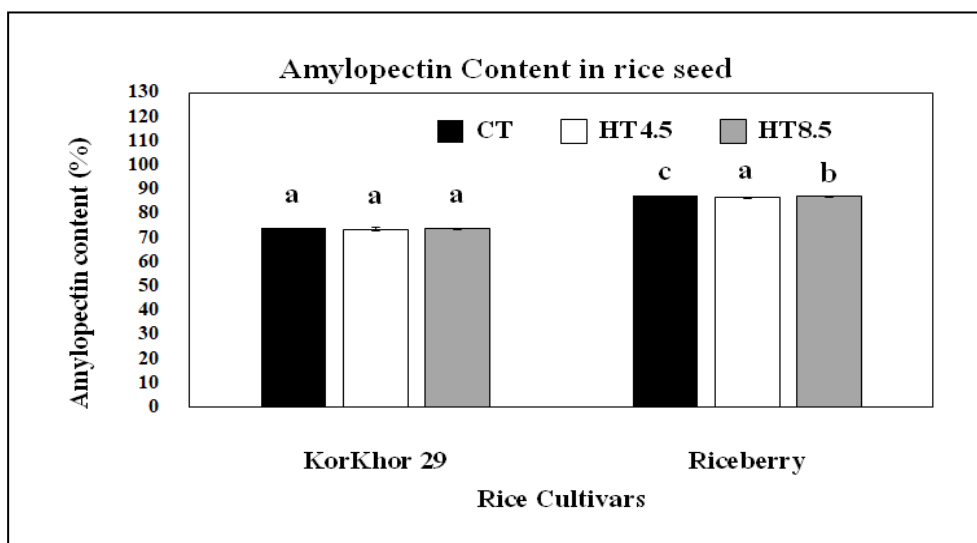
**Figure 5** Effects of different elevated air temperature on yield (ton per hectare) of rice; Kor-Khor29 and Riceberry cultivars

(Note: The different letters for each treatment indicate a significant difference at  $P < 0.05$ . Error bars above each histogram indicated standard deviation (S.D.) observed from samples of each treatment.)



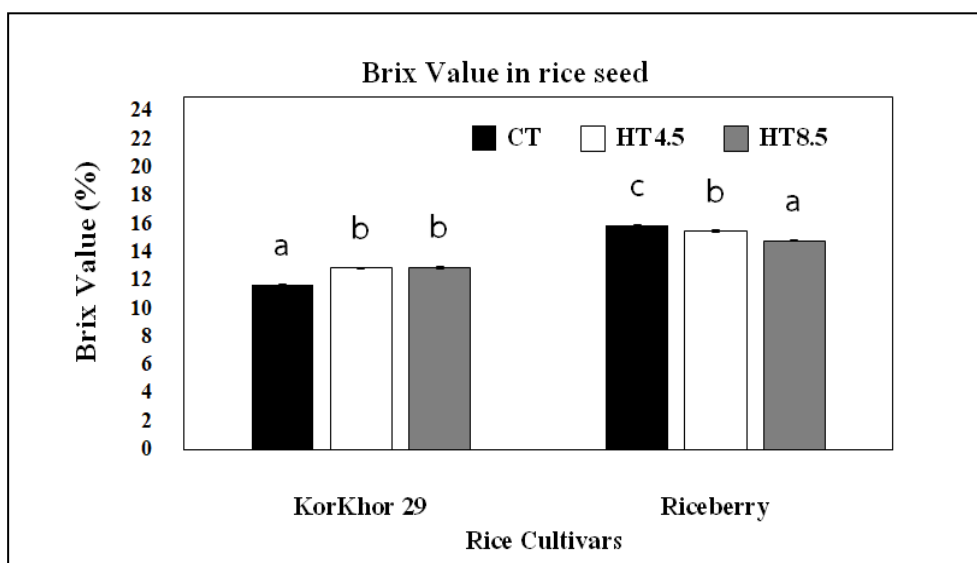
**Figure 6** Effects of different elevated air temperature on amylose content(%) of rice; Korkhor and Riceberry cultivars

(Note: The different letters for each treatment indicate a significant difference at  $P < 0.05$ . Error bars above each histogram indicated standard deviation (S.D.) observed from samples of each treatment.)



**Figure 7** Effects of different elevated air temperature on amylopectin content(%) of rice; Kor-Khor and Riceberry cultivar

(Note: The different letters for each treatment indicate a significant difference at  $P < 0.05$ . Error bars above each histogram indicated standard deviation (S.D.) observed from samples of each treatment.)



**Figure 8** Effects of different elevated air temperature on brix value (%) of rice; Kor-Khor and Riceberry cultivar

(Note: The different letters for each treatment indicate a significant difference at  $P < 0.05$ . Error bars above each histogram indicated standard deviation (S.D.) observed from samples of each treatment.)

## วิจารณ์

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อสร้างการตระหนักและรับรู้ด้านผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโดยเน้นปัจจัยการเพิ่มระดับอุณหภูมิที่มีต่อภาคเกษตรกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบที่มีต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตข้าว เนื่องจากข้าวเป็นอาหารหลักของไทยทั้งในแง่การบริโภคและเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญอันดับหนึ่งของประเทศ ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลผลกระทบในพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ผลผลิตและคุณภาพสตาร์ช (starch granule) และคุณสมบัติความหวานของเมล็ดข้าวภายใต้การเพิ่มระดับอุณหภูมิที่ได้รับการคาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต ในการศึกษานี้ได้ควบคุมระดับอุณหภูมิในระดับที่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้นภายใต้ภาพฉายอนาคต RCPs Scenario ตามที่ได้รายงานจาก IPCC ฉบับที่ 5 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกภาพฉายอนาคตที่ระดับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และส่งผลต่อค่า Radiative forcing ที่มีความเป็นไปได้ในประเทศไทยคือ RCP 4.5 และ RCP 8.5 และศึกษาผลกระทบที่มีต่อข้าวจำนวน 2 พันธุ์ คือข้าวพันธุ์ กข 29 และ ข้าวสีพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ ในด้านคุณภาพผลผลิต คุณสมบัติสตาร์ชสำหรับผู้บริโภค

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าระดับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นในอนาคตภายใต้การคาดการณ์ด้วยภาพฉายอนาคต RCP8.5 (ระดับอุณหภูมิสูงกว่าระดับปกติประมาณ  $4.5^{\circ}\text{C}$ ) จะส่งผลกระทบต่อการลดขนาดเมล็ด เปอร์เซ็นต์เมล็ดสมบูรณ์ต่อรวง และส่งผลต่อเนื่องต่อการลดผลผลิตในหน่วยตัน/เฮกแตร์อย่างชัดเจนกว่า สถานการณ์ RCP8.5 (ระดับอุณหภูมิสูงกว่าระดับปกติประมาณ  $2.6^{\circ}\text{C}$ ) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าวขาวและข้าวสี พบว่าข้าวสีพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่มีความอ่อนไหวต่อการตอบสนองสภาวะอุณหภูมิสูงกว่า ข้าวขาวพันธุ์ กข29 เนื่องจากพบว่าผลผลิต (ตัน/เฮกแตร์) ลดลงสูงถึงระดับ 68.67% นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลกระทบตอสตาร์ชทั้งชนิดอมิโลสและอมิโลเพคตินของข้าวทั้ง 2 พันธุ์ พบผลการศึกษาที่สอดคล้องกันเนื่องจากข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ตอบสนองในเชิงลบชัดเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ต่สถานการณ์ RCP8.5 ที่ชัดเจนกว่าข้าวพันธุ์ กข29 ในลักษณะการตอบสนองในเชิงบวกและเชิงลบของสตาร์ช ชนิด อมิโลส และอมิโลเพคตินตามลำดับ อย่างไรก็ตามภายใต้สถานการณ์ RCP4.5 มีผลกระทบที่ต่ำกว่าสถานการณ์ RCP8.5 ในข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งบ่งบอกได้อย่างชัดเจนว่าในอนาคตนั้นหากสถานการณ์ของประเทศไทยยังมีแนวโน้มการเพิ่มระดับอุณหภูมิตามการคาดการณ์ของงานวิจัยนี้จะส่งผลกระทบต่อผลผลิตของข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่อย่างเด่นชัด

ผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยในพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลก เนื่องจากปัญหาการเพิ่มระดับอุณหภูมิในบรรยากาศส่งผลกระทบอย่างมากต่อภาคการเกษตรทั่วโลกในปัจจุบันเนื่องจากสภาวะอุณหภูมิในบรรยากาศเป็นปัจจัยสำคัญลำดับแรกสำหรับการรอดและการเจริญเติบโตรวมทั้งส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดและการสร้างอาหารในเมล็ดเช่นกัน (Zhao *et al.*, 2013) พบว่าผลผลิตข้าวจะลดลงประมาณ 10 % เมื่อระดับอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในพื้นที่ปลูกข้าวเพิ่มขึ้น  $1^{\circ}\text{C}$  ฤดูกาลปลูก (Peng, 2004) เนื่องจากการรบกวนกระบวนการทางสรีรวิทยา เปลี่ยนแปลงกระบวนการทางชีวเคมีอันซับซ้อน (Wahid *et al.*, 2007; Hall, 2001) โดยปกติการเจริญและอยู่รอดของพืชทุกชนิดขึ้นอยู่กับปัจจัยอุณหภูมิที่เหมาะสมซึ่งจะส่งผลต่อการทำงานของเมตาบอลิซึมให้เป็นไปอย่างปกติและสมบูรณ์ ทำให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในทางตรงข้ามพืชโดยทั่วไปซึ่งเติบโตภายใต้สภาวะความเครียดจากสภาวะอุณหภูมิที่สูงเกินไปนั้นจะส่งผลกระทบและยังยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช พบว่าการปลูกพืชภายใต้การสัมผัสกับสภาวะอุณหภูมิสูงกว่าระดับเหมาะสมจะทำให้เกิดภาวะเครียดจากอุณหภูมิ และส่งผลต่อการทำลายเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการดูดธาตุอาหารเช่นกัน (Peet and Willits, 1998)

การศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวในช่วงระยะเวลาการสัมผัสกับสภาวะอุณหภูมิสูง (เกินระดับเหมาะสม) ในช่วงระยะต้นอ่อนจนถึงช่วงออกดอก และระหว่างช่วงออกดอกจนถึงช่วงออกรวงจะส่งผลต่อการลดการสะสมแป้งในเมล็ดข้าว (สตาร์ช) และยังส่งผลต่อการลดผลผลิตรวมของข้าว ตัวอย่างเช่นกรณีพื้นที่ปลูกข้าวซึ่งเจริญเติบโตได้ดีภายใต้ระดับอุณหภูมิเหมาะสมอยู่ในช่วง 30 °C ในกรณีนี้พบว่าเมื่อระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง หรือเกินระดับ 40°C จะส่งผลต่อการหยุดชะงักการสร้างเมล็ดข้าวที่สมบูรณ์ (Oort *et al.*, 2011) และยังมีการศึกษายืนยันว่าการเพิ่มระดับอุณหภูมิทุก ๆ 1°C เมื่อเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด (minimum) ในฤดูกาลปลูกอาจจะลดผลผลิตของเมล็ดข้าวประมาณ 10% (Peng *et al.*, 2004) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากข้อมูลแล้วพบว่ามีกรณีที่เกิดขึ้นในพืชที่อยู่ในเขตที่อุณหภูมิฤดูกาลปลูกต่ำกว่าประเทศไทย มีงานวิจัยมากมายเช่น งานวิจัยโดย Zhen *et al.* (2019) ได้ยืนยันว่าการปลูกข้าว 2 พันธุ์คือ Nanjing 41 และ Wuyunjing 24 ภายใต้สภาวะการเพิ่มระดับอุณหภูมิให้สูงกว่าระดับปกติในระดับช่วงระดับสูงสุด 32°C 36°C, 40°C และ 44°C ในระยะเวลาสั้นๆจำนวน 2, 4 และ 6 วันในระยะช่วงแตกกอ days in phytotrons at booting stage ในฤดูกาลปลูกนั้นจะส่งผลทำให้ลดผลผลิต (ลดจำนวนเมล็ดรวม) โดยยับยั้งการออกดอกข้าวต่อรวง และน้ำหนักข้าว 100 เมล็ดลดลงซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ผลกระทบที่เกิดขึ้นดังกล่าวสามารถอธิบายได้โดยการตอบสนองเชิงกลไกทางสรีรวิทยา ซึ่งผลกระทบของสภาวะอุณหภูมิสูงจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืชในลำดับแรก ซึ่งมีการวิจัยพบว่าการปลูกข้าวภายใต้สภาวะอุณหภูมิเพิ่มกว่าระดับปกติ 3.6°C -7°C ทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์แสงลดลงในช่วง 12.2-35.6 % (Oh-e *et al.*, 2007; Wassmann *et al.*, 2009a) เนื่องด้วยพืชโดยทั่วไปสังเคราะห์อาหารโดยอาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ในช่วงคลื่น visible light ในสภาวะอุณหภูมิอยู่ในระดับเหมาะสมต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชชนิดนั้นๆ ร่วมกับการทำงานของเอนไซม์ Rubisco (ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase) จะมีอิทธิพลทำให้ CO<sub>2</sub> จะรวมตัวกับ RuBP (Ribulose-1, 5-bisphosphate) (Bowes *et al.*, 1971) ทำให้เกิดสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม คือ 3-Phosphoglyceric acid (3-PGA) (ในกรณีพืช C3) ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปไปเป็นน้ำตาลในกระบวนการสังเคราะห์แสงอย่างต่อเนื่อง (กณิตา ธนเจริญชนภาส, 2558) ซึ่งโดยปกติแล้วเอนไซม์ Rubisco จะตอบสนองต่อ CO<sub>2</sub> (รวมกับ RuBP) มากกว่า O<sub>2</sub> พบว่าพืชที่สัมผัสกับระดับอุณหภูมิสูงกว่าระดับเหมาะสมจะเกิดผลกระทบโดยตรงต่อการยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง เนื่องจากภายใต้ระดับอุณหภูมิสูงจะส่งผลทำให้เอนไซม์ Rubisco ทำปฏิกิริยาในการตรึง O<sub>2</sub> ได้ดีกว่า CO<sub>2</sub> จนเกิดสภาวะการหายใจแสง (photorespiration) ซึ่งสรุปสภาวะที่เกิดขึ้นอย่างสั้นๆคือ เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นได้ระหว่างการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในพืชแต่พืช ใช้ออกซิเจนและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นในขณะที่มีแสงจึงเรียกว่าการหายใจแสง แต่การหายใจที่ไม่มีการสร้าง ATP ในปฏิกิริยานี้ และทำให้ประสิทธิภาพของการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง เกิดขึ้นเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ ในใบต่ำ หรือเกิดในสภาวะใบสัมผัสกับสภาวะอุณหภูมิสูง ทำให้พืชไม่สามารถเกิดวัฏจักรคัลวินในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้สิ่งที่ได้มาคือ ทำให้ได้สารประกอบที่มีคาร์บอน 2 อะตอม ซึ่งเป็นสารพิษ คือ phosphoglycolate (PG) (Sharkey, 2001) ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อเนื่องคือพืชจะต้องนำพลังงานในเนื้อเยื่อมาใช้เพื่อกำจัดสารพิษ phosphoglycolate (PG) และสุดท้ายของของกระบวนการกำจัดสารพิษนี้ทำให้สูญเสีย CO<sub>2</sub> ผ่านทางปากใบ ทำให้พืชสูญเสียพลังงาน (ATP) ในกระบวนการนี้ในระดับสูงเพื่อเข้าสู่กระบวนการกำจัด PG (กณิตา ธนเจริญชนภาส, 2558) ซึ่งการสูญเสียพลังงานและ CO<sub>2</sub> ในกระบวนการหายใจแสงอย่างต่อเนื่องจะ

ส่งผลต่อการตั้งธาตุอาหาร การสร้างเมล็ด และการพัฒนาเมล็ดของธัญพืชเช่น ข้าว ซึ่งจะส่งผลต่อการลดจำนวนเมล็ดสมบูรณ์และคุณภาพของการสร้างสตาร์ชต่อไป

เมื่อพิจารณาช่วงเวลาของการเจริญเติบโตของข้าวที่มีต่อการตอบสนองต่อสภาวะเครียดต่อระดับอุณหภูมินั้นพบว่ามีความทนและความอ่อนไหวแตกต่างกัน พบว่าธัญพืชโดยทั่วไปในช่วงระยะการสืบพันธุ์ (reproductive stage) ซึ่งเป็นช่วงการออกดอก ช่วงระยะออกดอก ระยะการสร้างช่อดอก การพัฒนาอับละอองเรณู การถ่ายละอองเรณู และการปฏิสนธิ มีการตอบสนองหรือได้รับผลกระทบในเชิงลบค่อนข้างไว และสำหรับธัญพืชบางชนิดเป็นช่วงที่อ่อนไหวที่สุด และชัดเจนกว่าช่วงเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative stage) ซึ่งผลกระทบในช่วงนี้จะนำไปสู่การลดปริมาณและคุณภาพเมล็ดในท้ายที่สุด (Farrell *et al.*, 2006; Kondamudi *et al.*, 2012) เช่นเดียวกับการวิจัยของ Satake and Yoshida (1978) ซึ่งศึกษาในข้าวญี่ปุ่นพบว่าในระยะการผสมเกสรนั้นสภาวะอุณหภูมิสูงเกินกว่า 35°C ในระยะเวลา 5 วัน จะยับยั้งการโปรยละอองเรณูและทำให้ละอองเรณูเป็นหมัน ส่งผลต่อเนื่องทำให้เมล็ดลีบและเป็นหมันในอัตราที่สูง และส่งผลต่อการทำให้ผลผลิตของเมล็ดโดยรวมลดลง เช่นเดียวกับการศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความมีชีวิตของละอองเรณู และการปฏิสนธิในข้าวไทย พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น การออกของละอองเรณูในอาหารเลี้ยงและบนเกสรเพศเมียรวมทั้งการติดเมล็ดลดลง (เจษฎา และคณะ, 2553) และถ้าระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 3°C หรือเกินระดับขีดความทนต่ออุณหภูมิอาจรบกวนต่อชีวิตรูปแบบด้านระยะเวลาของการเจริญเติบโต เช่น ลดช่วงระยะเวลาการสร้างเมล็ดแต่เพิ่มการสูญเสียพลังงานจากอัตราการหายใจมากขึ้น ส่งผลต่อเนื่องทำให้ผลผลิตรวมของข้าวลดลง คุณภาพของเมล็ดข้าวลดลง เช่นลดการสะสมน้ำหนักเมล็ด ทำให้เมล็ดลีบซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ (Zhen, 2019)

ในการวิจัยครั้งนี้เมื่อใช้น้ำหนัก 100 เมล็ดเพื่อวิเคราะห์ขนาดเมล็ดทางอ้อม พบว่าเมล็ดข้าวลีบและเล็กลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนั้นสามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากสภาวะความเครียดจากความร้อนในระยะตั้งท้องข้าวส่งผลต่อการรบกวนการแบ่งตัวเพื่อสร้างอวูล (ovule) ซึ่งจะเจริญไปเป็นเมล็ดข้าวต่อไป ผลที่เกิดขึ้นทำให้ลดขนาดเมล็ดข้าวทำให้ข้าวมีขนาดเมล็ดที่เล็กลงและน้ำหนักของเมล็ดลดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งสาเหตุอีกประการหนึ่งมีความเป็นไปได้ว่าสภาวะความเครียดจากความร้อนส่งผลทำให้ยับยั้งการสะสมคาร์โบไฮเดรตในรูปแบบของแป้งและน้ำตาลจากลำต้นไปสู่เมล็ดซึ่งทำให้ลดขนาดเมล็ดได้เช่นกัน (Zhen, 2019)

การลดลงของน้ำหนักข้าว 100 เมล็ดที่เกิดขึ้นในการศึกษาภายใต้ระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายใต้ RCP8.5 นั้นมีข้อมูลการศึกษาระบุว่าในช่วงที่ข้าวอยู่ในระยะการสร้างเมล็ดโดยการบรรจุแป้งในเมล็ดนั้นถ้าระดับอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าระดับเหมาะสมในช่วงนี้จะทำให้เมล็ดข้าวเกิดโพรงอากาศทำให้ข้าวสูญเสียพื้นที่การบรรจุแป้งในเมล็ดให้สมบูรณ์ทำให้น้ำหนักเมล็ดข้าวลดลง และส่งผลทำให้ข้าวมีขนาดเมล็ดที่ลดลงและรูปร่างผิดปกติ รวมทั้งมีลักษณะท้องไข ทำให้สูญเสียคุณภาพของเมล็ดข้าว และซึ่งการที่เมล็ดข้าวลีบแบนดังกล่าวนี้นั้นจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแป้งและสารอาหารสำคัญอื่นๆ ในเมล็ดด้วยเช่นกัน เช่น การลดปริมาณอมิโลสในเมล็ดโดยรวมดังที่กล่าวถึงต่อไป (Thitisaksaku *et al.*, 2012; Ahmed *et al.*, 2015)

ผลการวิจัยครั้งนี้ประเด็นปัจจัยคุณภาพของแป้งข้าว (สตาร์ช) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความหวานในเมล็ดนั้น พบว่าระดับอมิโลสในการศึกษาไม่สัมพันธ์กับค่าความหวานของข้าว แต่กลับพบว่าระดับอมิโลสพดกับมีความสัมพันธ์และสอดคล้องในลักษณะแปรผันตาม เนื่องผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงทั้งสถานการณ์ RCP4.5 และ RCP8.5 นั้นส่งผลให้ระดับอมิโลสเพิ่มขึ้น และทำให้สัดส่วนอมิโลสพดกับสูงขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) (โดยปกติ สัดส่วนระหว่างอมิโลส



และอมิโลเพคตินรวมเท่ากับ 100 %) ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าความหวานในเมล็ดที่ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) (โดยที่ค่าระดับความเข้มข้น 1 ปริกซ์ เท่ากับน้ำตาลซูโครส 1 กรัม ในสารละลาย 100 กรัม) ซึ่งเมื่อ เมื่อพิจารณาโครงสร้างของอมิโลเพคติน (amylpectin) คือ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ประเภทโฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ (homopolysaccharide) ซึ่งเป็นส่วน ประกอบของเม็ดสตาร์ช (starch granule) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส (glucose) ที่จัดเรียงตัวเป็นสายตรงและสายแขนง (กล้านรงค์ ศรีวรรต, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) ดังนั้นมีความเป็นไปได้ว่าค่าความหวาน (Brix Value) ในแป้งข้าวในการศึกษาครั้งนี้จึงมีความสอดคล้องกับการลดของระดับอมิโลเพคตินในสตาร์ช

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแป้งที่มีโครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเป็นองค์ประกอบ ในการเพิ่มระดับอุณหภูมิ (แต่ไม่เกินจุดความทนทานของข้าวพันธุ์นั้นๆ) จะกระตุ้นการสร้างคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นสารอาหารที่สำคัญในการสร้างเมล็ดของข้าว (Kondamudi *et al.*, 2012) ระบุว่าภายใต้สภาวะความเครียดจากความร้อนจะส่งผลต่อการสร้างแป้งของเมล็ดพืช ซึ่งโดยปกติแล้วการสังเคราะห์แป้งของพืชนั้นจะเริ่มจากการเปลี่ยนรูปของน้ำตาลซูโครสเป็นกระบวนการแรกก่อน ซึ่งมีปริมาณประมาณ 78% ของน้ำหนักเมล็ดซึ่งกระบวนการนี้เกิดขึ้นในเอนโดสเปิร์มของข้าว พบว่าความเครียดจากความร้อนจะรบกวนเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดังกล่าว (Tian *et al.*, 2006) งานวิจัยของ Zhen *et al.* (2019) ได้ยืนยันว่าการปลูกข้าว 2 พันธุ์คือ Nanjing 41 และ Wuyunjing 24 ภายใต้สภาวะการเพิ่มระดับอุณหภูมิให้สูงกว่าระดับปกติส่งผลต่อการลดผลผลิตและส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการเก็บ Non structural carbohydrate ในส่วนต่างๆของข้าว โดยเฉพาะการสะสมในเมล็ดข้าวซึ่งส่งผลให้ผลผลิตโดยรวมของข้าวลดลง ซึ่งข้าวที่มีการสะสมคาร์โบไฮเดรตในรูปแบบแป้งและน้ำตาลในระดับสูงในระยะช่อดอกนั้นมักจะเป็นข้าวที่มีความทนต่อความเครียดจากระดับอุณหภูมิสูงและทำให้มีผลผลิตมากขึ้นหากสภาวะความเครียดจากความร้อนสูงส่งผลต่อการลดการสะสมดังกล่าว ย่อมจะส่งผลต่อการลดแป้งในรูปแบบอย่างใดอย่างหนึ่ง งานวิจัยของ Ahmed *et al.* (2015) ซึ่งทำการวิจัยปลูกข้าวพันธุ์ basmati ภายใต้ระดับอุณหภูมิสูงเท่ากับ 32 °C ซึ่งโดยสภาวะที่เหมาะสมของการปลูกข้าว ณ พื้นที่ของประเทศปากีสถานควรอยู่ที่ 22°C ในการศึกษาพบว่าระดับอุณหภูมิสูงนั้นส่งผลต่อการสะสมแป้งในรูปแบบอะไมโลสและเอนไซม์ในการสังเคราะห์แป้งซึ่งส่งผลทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าว basmati ลดลง 6% และปริมาณแป้งรวมลดลง 3.1% และยังส่งผลต่อการลดลงของอมิโลส 22% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในครั้งนี้

ผลการศึกษาทั้งหมดพบประเด็นที่น่าสนใจและควรนำไปศึกษาต่ออย่างต่อเนื่องเพื่อประโยชน์ในการวางแผนนโยบายและแผนของประเทศไทยต่อการรับมือกับปัญหาสภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อไป

## สรุป

การศึกษากลกระทบบของสภาวะการเพิ่มระดับอุณหภูมิภายใต้การจำลองสถานการณ์ให้เทียบเท่ากับระดับ RCP 4.5 (ระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงกว่าสภาวะธรรมชาติในช่วงการปลูกเฉลี่ย 2.6°C) และ RCP 8.5 (ระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงกว่าสภาวะธรรมชาติในช่วงการปลูกเฉลี่ย 4.5°C) ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในด้านองค์ประกอบผลผลิต สตาร์ชในเมล็ดข้าว และค่าระดับความหวานของข้าวพันธุ์ กข29 และ พันธุ์ไรซ์เบอร์รี่แตกต่างกันดังนี้

ผลการศึกษาพบว่าถึงแม้พบว่าองค์ประกอบผลผลิตในด้านจำนวนเมล็ดทั้งหมด/รวงไม่ได้แสดงการตอบสนองต่อสภาวะทั้ง 2 สถานการณ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) อย่างไรก็ตามพบว่าภายใต้สถานการณ์ระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเฉลี่ย  $4.5^{\circ}\text{C}$  (RCP8.5) ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์เมล็ดสมบูรณ์/รวง และน้ำหนัก 100 เมล็ด และผลผลิตรวมหน่วยตัน/เฮกแตร์ ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ลดลงถึง 52% 39% และ 69% ตามลำดับ สำหรับข้าวพันธุ์ กข29 พบผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ในพารามิเตอร์ผลผลิตรวมหน่วยตัน/เฮกแตร์ เพียง 1 พารามิเตอร์โดยพบว่าลดลง 28% ภายใต้สถานการณ์ RCP8.5

ผลการศึกษาในแป้งข้าว (สตาร์ช) และค่าความหวาน พบว่ามีเพียงข้าวพันธุ์ไรซ์เบอร์รี่ที่มีการตอบสนองในเชิงบวกโดยการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของอมิโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ภายใต้สถานการณ์ HT4.5 และ HT8.5 เท่ากับ 1.77% และ 1.31% ตามลำดับ และตอบสนองในเชิงลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ในสตาร์ชข้าวชนิดอมิโลเพคติน เท่ากับ 0.62% และ 0.3% ตามลำดับ ในขณะที่ค่าระดับความหวาน (Brix value) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) สอดคล้องกับการลดลงของอมิโลเพคติน

สรุปโดยภาพรวมพบว่าสถานการณ์ RCP 8.5 ซึ่งระดับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงกว่าสภาวะธรรมชาติในช่วงการปลูกเฉลี่ย  $4.5^{\circ}\text{C}$  จะส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่รุนแรงกว่าสถานการณ์ RCP4.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้าว 2 พันธุ์ พบว่าข้าวสาลีไรซ์เบอร์รี่มีความอ่อนไหวของการเพิ่มระดับอุณหภูมิที่ได้รับการคาดการณ์นี้อย่างชัดเจนกว่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และข้อมูลจากผลการศึกษาจะเป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับหน่วยงานการเกษตรที่นำไปสู่การวางแผนรับมือการในจัดการปลูกข้าวเพื่อตอบสนองต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทยต่อไป

### เอกสารอ้างอิง

- กนิดา ธนเจริญชนภาส. (2558). *การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก : ผลกระทบและการตอบสนองของสรีรวิทยาระบบนิเวศ*. พิษณุโลก: โรงพิมพ์พิษณุโลกดอทคอม.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด, และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. (2543). *เทคโนโลยีของแป้ง* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2559). *เอกสารวิชาการ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณฝน จากการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต เอกสารวิชาการ เลขที่ 551.577.3-01-2559*. ศูนย์ภูมิอากาศ, กรุงเทพฯ.
- เจษฎา จงใจดี, สาวิกา กองแสง, ศันสนีย์ จำจด, เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม, และ สิทธิชัย ลอดแก้ว. (2553). ผลของอุณหภูมิ สูงต่อความมีชีวิตของละอองเรณูและการปฏิสนธิในพันธุ์ ข้าวไทย. *วารสารเกษตร*, 26 (พิเศษ), 29-35.
- สุนีย์ สหัสโพธิ์, ริญ เจริญศิริ, และ รัชนิ คงคาอุยณ. (2558). ดัชนีน้ำตาลในข้าวเหนียวและข้าวเจ้าพันธุ์พื้นเมือง โดยใช้วิธี การเลียนแบบการย่อยการดูดซึมน้ำตาลในหลอดทดลอง. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 20(2), 1-13.
- Ahmed, N., I. J. Tetlow, S. Nawaz, A. Iqbal, M. Mubin, M. S. Nawaz ul Rehman, A. Butt, D. A. Lightfoot, and M. Maekawa. (2015). Effect of high temperature on grain filling period, yield, amylose content and activity of starch biosynthesis enzymes in

- endosperm of basmati rice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95, 2237–2243.
- Aydinalp, C., and M.S. Cresser. (2008). The Effects of Global Climate Change on Agriculture. American-Eurasian. *Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 3(5), 672–676.
- Baker, J. T. and L. H. Allen. (1993). Effects of CO<sub>2</sub> and Temperature on Rices: A Summary of Five Growing Seasons. *Journal of Agricultural Meteorology*, 48(5), 575–582.
- Bowes, G., W. L. Ogren and R. H. Hageman. (1971). Phosphoglycolate production catalyzed by ribulose diphosphate carboxylase. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 45, 716–722.
- FAO., (Food and Agriculture Organization). (2012). FAOSTAT Database. FAO, Rome, From <http://www.faostat.fao.org> (Accessed 05 July 2016).
- Farrell, T.C., K. M. Fox, R. L. Williams, and S. Fukai. (2006). Genotypic variation for cold tolerance during reproductive development in rice: screening with cold air and cold water. *Field Crops Research*, 98, 178–194.
- GRiSP (Global Rice Science Partnership). (2013). *Rice almanac, 4th edition*. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute.
- Hall, A. (2001). *Crop developmental responses to temperature, photoperiod, and light quality*,” in Crop Response to Environment. Anthony E., Hall (Boca Raton: CRC; ), 83–87.
- IPCC. (2013). *Annex II: Climate System Scenario Tables* [Prather, M., G. Flato, P. Friedlingstein, C. Jones, J.-F. Lamarque, H. Liao and P. Rasch (eds.)]. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva, Switzerland: IPCC.
- Kondamudi, R., N. K. Swamy, D. Venkata, N. Chakravarthy, V. Vishnuprasanth, Y. V. Rao, P. R. Rao, N. Sarla, D. Subrahmanyam, and S.R. Voleti. (2012). Heat stress in rice—physiological mechanisms and adaptation strategies. In Venkateswarlu *et al.* (eds.) *Crop Stress and its Management: Perspectives and Strategies*, DOI 10.1007/978-94-007-2220-0-6, Springer Science and Business Media B.V.
- Knutson, C. A. (1986). A simplified colorimetric procedure for determination of amylose in maize starches. *Cereal Chemistry*, 63, 89–92.

- Naruchaikusol, S. (2016). Climate Change in Thailand. *TransRe Fact Sheet*, 2, 1-6.
- Oh-e, I., K. Saitoh, and T. Kuroda. (2007). Effects of high temperature on growth, yield and dry-matter production of rice grown in the paddy field. *Plant Production Science*, 10, 412-422.
- Oort, A.A.J., T. Zhang, M. E. de Vries, A. B. Heinemann, and H. Meinke. (2011). Correlation between temperature and phenology prediction error in rice (*Oryza sativa* L.). *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, 1545-1555.
- Pareek, A., S. L. Singla and A. Grover. (1995). Immunological evidence for accumulation of two novel 104 and 90 kDa HSPs in response to diverse stresses in rice and in response to high temperature stress in diverse plant genera. *Plant Molecular Biology*, 29, 293-300.
- Peet, M. M., and D. H. Willits. (1998). The effect of night temperature on greenhouse grown tomato yields in warm climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 92, 191-202.
- Peng, S.B., J. L. Huang, J. E. Sheehy, C. R. Laza, R.M. Visperas, X. Zhong, G. S. Centeno, G. S. Khush, and K. G. Cassman. (2004). Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 9971-9975.
- Satake, T. and S. Yoshida. (1978). High temperature induced sterility in indica rices at flowering. *Japanese Journal of Crop Science*, 47, 6-17.
- Sharkey, T. D. (1988). Estimating the rate of photorespiration in leaves. *Physiologia Plantarum*, 73(1), 147-152.
- Tian, L., L. Qi-hua, R. Ohsugi, T. Yamagishi, and H. Sasaki. (2006). Effect of high temperature on sucrose content and sucrose cleaving enzyme activity in rice grain during the filling stage. *Rice Science*, 13(3), 205-210.
- Thanacharoenchanaphas, K. and O. Rugchati. (2019). Changes in yield and essential amino acid composition associated with air temperature stress in Thai soybean seeds, Sor-Jor5 cultivar. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10(3S), 703-714.
- Thitisaksakul, M., R.C. Jiménez, M.C. Arias, and D.M. Beckles. (2012). Effects of environmental factors on cereal starch biosynthesis and composition. *Journal of Cereal Science*, 56, 67-80.
- Wallace, J. M., and P. V. Hobbs. (2006). *Atmospheric Science*, USA: Elsevier Inc.,
- Wahid, A., S. Gelani, M. Ashraf, and M. R. Foolad. (2007). Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61, 199-223.
- Wassmann, R., S. V. Jagadish, K. Heuer, S. Ismail, A. Redona, E. Serraj, R. Singh, R. K. Howell, G. H. Pathak, and K. Sumfleth. (2009). Climate change affecting rice production: the physiological and agronomic basis for possible adaptation strategies. *Advances in Agronomy*, 101, 59-122.

- Yoshida, S. (1981). *Fundamental of Rice Crop Science*. International Rice Research Institute, Philippines.
- Zhen, F., J. Zhou, A. Mahmood, W. Wang, X. Chang, B. Liu, L. Liu, W. Cao, Y. Zhu, and L. Tang. (2019). Quantifying the effects of short-term heat stress at booting stage on nonstructural carbohydrates remobilization in rice. *The Crop Journal*, 8(2), 171-378.
- Zhao, X., and M. Fitzgerald. (2013). Climate Change: Implications for the Yield of Edible Rice. *Plos One*, 8(6), e66218. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066218>.