ผลของอุณหภูมิสูงในระยะเจริญพันธุ์ที่มีต่อการติดเมล็ด ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าว

Effect of high temperature at reproductive stage on seed set, yield and yield components of rice

จารุวรรณ ชื่นมาธูรไพจิตร[1] ชเนษฎ์ ม้าลำพอง[1] ชัยสิทธิ์ ทองจู[1] คัทลียา ฉัตร์เที่ยง[1] และ จุฑามาศ ร่มแก้ว[1*]

Charuwan Chuenmathunpaijit[1], Chanate Malumpong[1], Chaisit Thongjoo[1], Cattleya Chutteang[1] and Jutamas Romkaew[1*]

บทคัดย่อ

สภาวะโลกร้อนมีผลทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้การติดเมล็ดและผลผลิตของข้าวลดลง อุณหภูมิสูงทำให้ความมีชีวิตและความงอกของละอองเกสรข้าวลดลง ข้าวแต่ละพันธุ์มีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้ศึกษาผลของอุณหภูมิสูงในระยะเจริญพันธุ์ต่อการติดเมล็ด ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าว วางแผนการทดลองแบบ split-plot in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิปกติในแปลงนาธรรมชาติ 30-35 องศาเซลเซียส และโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูง 40-45 องศาเซลเซียส และปัจจัยรอง คือ ข้าว 5 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ ชัยนาท 1 ปทุมธานี 1 กข41 สินเหล็ก และ M9962 ปลูกข้าวทุกพันธุ์/สายพันธุ์ในกระถางวางไว้ที่อุณหภูมิปกติ เมื่อข้าวเริ่มเข้าสู่ระยะตั้งท้อง (R2) ย้ายข้าวแต่ละพันธุ์เข้าโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูง จนถึงระยะเก็บเกี่ยว (R9) และอีกส่วนไว้ที่อุณหภูมิปกติ พบว่า อุณหภูมิสูงในระยะเจริญพันธุ์มีผลทำให้ความยาวรวง น้ำหนักรวง ผลผลิตต่อกอ การติดเมล็ด น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดลดลง ที่อุณหภูมิสูงข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ให้ผลผลิต 21.80 กรัมต่อต้น สูงกว่า กข41 และปทุมธานี 1 สำหรับการประเมินการติดเมล็ดนั้น ข้าวทุกพันธุ์/สายพันธุ์ที่อยู่ในสภาพอุณหภูมิปกติมีการติดเมล็ดสูงกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นสินเหล็ก แต่ที่อุณหภูมิสูง M9962 เป็นพันธุ์ข้าวที่มีการติดเมล็ด 73.20 รองลงมา คือ ชัยนาท 1 ที่มีการติดเมล็ด 60.40 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ สินเหล็ก ปทุมธานี 1 และ กข41 มีการติดเมล็ด 2.20, 33.10 และ 45.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: การติดเมล็ด ข้าว ผลผลิต ระยะเจริญพันธุ์ อุณหภูมิสูง

Abstract

Global warming relating to temperature increasing results in a decrease of seed set and yield of rice. High temperature negatively affects to reduce pollen viability and germination of rice. Each rice variety is different tolerance to high temperature. Therefore, the objective was to study the effect of high temperature at a reproductive

[1] คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

[1] Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

[*] Corresponding author. E-mail: agrjur@ku.ac.th

Received: February 15, 2021; Revised: March 16, 2021; Accepted: April 16, 2021

stage on seed set, yield, and yield components of rice. The pot experiment was arranged in split-plot in CRD with 4 replications. The main plot was field temperature condition 30-35 °C, and the high temperature controlled-greenhouse at 40-45 °C. The sub-plots were five rice varieties; Chainat 1, Pathum Thani 1, RD41, Sin Lek, and M9962. All rice varieties were planted in pots under the field condition. At the reproductive stage (R2), each variety were tested in the greenhouse under high temperature until harvest (R9) and compared with field condition. The results showed that high temperature significantly decreased the panicle length, panicle weight, yield/plant, seed set, filled seed weight/panicle, total seed weight/panicle, and 1,000 seed weight. At high temperature, Chainat 1 had higher yield/plant 21.80 g than RD41 and Pathum Thani 1. For seed set evaluation, all rive varieties under field condition had seed set higher than 80%, excepting Sin Lek. Whereas, M9962 had seed set of 73.20% followed by Chainat 1 had 60.40% seed set at high temperature. While, Sin Lek, Pathum Thani 1 and RD41 gave seed set of 2.20, 33.10, and 45.30%, respectively.

Keywords: seed set, rice, yield, reproductive stage, high temperature

บทนำ

การปลูกข้าวของประเทศไทยในปัจจุบัน เกษตรกรในเขตภาคกลางสามารถปลูกข้าวได้ทั้งปีโดยอาศัยน้ำฝนและระบบน้ำชลประทาน แต่ปัจจุบันจากสภาวะอากาศแปรปรวนเนื่องมาจากปัญหาโลกร้อน โดยเฉพาะในฤดูนาปรัง (มีนาคม-เมษายน) จะได้รับผลกระทบโดยตรงจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตสูงที่อุณหภูมิ 25-33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะขณะที่ข้าวเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ (reproductive stage) ส่งผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิตข้าวที่ระยะเจริญพันธุ์ของข้าวเป็นช่วงที่วิกฤตที่สุดต่อสภาพอุณหภูมิสูง (≥35 องศาเซลเซียส) (Satake, & Yoshida, 1978) โดยมีผลกระทบต่อข้าวตั้งแต่ระยะตั้งท้อง (booting) ระยะออกรวง (heading) และระยะผสมเกสร (flowering) มีผลทำให้ช่อดอกข้าวเป็นหมัน มีละอองเกสรที่ผิดปกติ ความมีชีวิตของละอองเกสร และความงอกของละอองเกสรลดลง มีผลต่อการผสมเกสรไม่ติด มีเมล็ดลีบเพิ่มขึ้น และผลผลิตเมล็ดลดลง (Satake, & Yoshida, 1978; Matsui, Omasa, & Horie, 2000; Prasad, Boote, Allen, Sheehy, & Thomas, 2006; Mittler, & Blumwald, 2010) Zhang et al. (2018) รายงานว่า การที่อุณหภูมิสูงทำให้ดอกย่อยเป็นหมันมีสาเหตุหลักจากความแข็งแรงของละอองเกสรตัวผู้ลดลง ยับยั้งการแตกของอับละอองเกสรตัวผู้ และเป็นอุปสรรคต่อการสร้างท่อนำละอองเกสร อุณหภูมิสูงทำให้ดอกข้าวเป็นหมันตั้งแต่ 35-100 เปอร์เซ็นต์ (Sato, 1973) และมีผลทำให้การติดเมล็ดของข้าวแต่ละพันธุ์แตกต่างกัน (Cheabu, Moung-ngam, Arikit, Vanavichit, & Malumpong, 2018) Madan et al. (2012) พบว่า อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส มีผลทำให้การติดเมล็ดของข้าวลูกผสม IR75217H ลดลงน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ N22 ซึ่งเป็นพันธุ์ทนร้อน มีการติดเมล็ด 57 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ IR64 มีการติดเมล็ดต่ำที่สุด Wongchalee, Arikit, Ruanjaichon, Vannavichit, & Malumpong (2015) พบว่า อุณหภูมิสูง

40-45 องศาเซลเซียส มีผลทำให้การติดเมล็ดของ M9962 (ข้าวเจ้าหอมนิลพันธุ์กลายสายพันธุ์ทนร้อน) มีการติดเมล็ดสูงกว่าสินเหล็ก (ไม่ทนร้อน) ที่มีการติดเมล็ดลดลงเกือบ 60 เปอร์เซ็นต์ Pompech, Chai-arree, Moung-ngam, & Malumpong (2017) พบว่า อุณหภูมิสูงที่ 40-45 องศาเซลเซียส มีผลทำให้การติดเมล็ดของข้าวพันธุ์ กข41 N22 และ M9962 เท่ากับ 53.78, 45.52 และ 40.97 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนพันธุ์สินเหล็กไม่สามารถติดเมล็ดได้ นอกจากอุณหภูมิสูงจะมีผลต่อการติดเมล็ดของข้าวแต่ละพันธุ์แล้ว อุณหภูมิสูงยังมีผลต่อการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด มีผลทำให้ผลผลิตลดลง เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตของเมล็ดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่ระยะเวลาการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดสั้น (Xie, Li, Li, & Shen, 2009) และมีผลทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง 41 เปอร์เซ็นต์ (Ceccarelli et al., 2010; Shah et al., 2011)

จากการรายงานผลงานวิจัยทางด้านผลของอุณหภูมิสูงมีผลทำให้การติดเมล็ด ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวลดลง แต่การตอบสนองของข้าวต่ออุณหภูมิสูงมีความแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ จึงได้นำพันธุ์ข้าวของกรมการข้าวมาศึกษาเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ประโยชน์ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวในฤดูนาปรัง การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิสูงในระยะเจริญพันธุ์ที่มีต่อการติดเมล็ด ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวของกรมการข้าว 3 พันธุ์ เปรียบเทียบกับพันธุ์ M9962 (ข้าวเจ้าหอมนิลพันธุ์กลายสายพันธุ์ทนร้อน) และพันธุ์สินเหล็ก (พันธุ์ไม่ทนร้อน) ภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูง 40-45 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับการทดสอบในสภาพแปลงธรรมชาติ

วิธีการศึกษา

การปลูกและดูแลรักษา

วางแผนการทดลองแบบ split-plot in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 กระถาง โดย main plot คือ อุณหภูมิ 2 ระดับ ได้แก่ สภาพแปลงนาธรรมชาติ (อุณหภูมิปกติ) และโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิสูง) sub plot คือ พันธุ์ข้าว จำนวน 5 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้แก่ กข41 ปทุมธานี 1 ชัยนาท 1 สินเหล็ก (พันธุ์ที่ไม่ทนทานต่ออุณหภูมิสูง) และ M9962 (สายพันธุ์ที่ทนทานต่ออุณหภูมิสูง) เพาะเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ในถาดเพาะข้าวขนาด 52×26.5×4.5 เซนติเมตร จำนวน 1 เมล็ดต่อหลุม เมื่อต้นกล้ามีอายุ 21 วันหลังเพาะ ย้ายต้นกล้าข้าวลงปลูกในกระถางพลาสติกทรงสี่เหลี่ยมขนาด 17×17×21 เซนติเมตร จำนวน 80 กระถางต่อพันธุ์ กระถางละ 1 ต้น วางกระถางข้าวทั้งหมดในสภาพแปลงนาธรรมชาติ (อุณหภูมิปกติ) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ที่อายุ 30 วันหลังปลูก และใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ที่อายุ 60 วันหลังปลูก เมื่อข้าวแต่ละพันธุ์เข้าสู่ระยะตั้งท้อง (booting stage) อายุ 70-80 วันหลังปลูก แบ่งข้าวทั้ง 5 พันธุ์/สายพันธุ์ เป็น 2 ชุด ชุดแรก 40 กระถางต่อพันธุ์ ไว้ที่อุณหภูมิปกติ ชุดที่สอง ย้ายข้าว 40 กระถางต่อพันธุ์ไปไว้ในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิสูง) ที่มีอุณหภูมิสูงในเวลากลางวันนาน 6 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่ 10.00 น. ถึง 16.00 น. จากนั้นจึงลดอุณหภูมิในโรงเรือนลงให้อุณหภูมิในเวลากลางคืนเท่ากับสภาพอากาศภายนอก โดยให้ข้าวได้รับสภาพอุณหภูมิสูงดังกล่าวติดต่อกันจนถึงระยะเก็บเกี่ยว (R9) ปรับความชื้นสัมพัทธ์ให้ใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติตลอด 24 ชั่วโมง มีการติดตั้ง data logger ไว้ 3 จุด

ในโรงเรือนเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงทุก 5 นาที

บันทึกข้อมูล ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวทั้งในสภาพโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิปกติ ดังนี้ 1) จำนวนต้นต่อกอ นับจำนวนต้นทั้งหมดต่อกอ จากข้าวจำนวน 5 กระถางต่อซ้ำ 2) จำนวนรวงต่อกอ นับจำนวนรวงทั้งหมดต่อกอจากข้าวจำนวน 5 กระถางต่อซ้ำ 3) ความยาวรวง วัดความยาวรวงจากคอรวงจนถึงปลายรวง จำนวน 5 รวงต่อซ้ำ 4) น้ำหนักรวง ชั่งน้ำหนักรวงข้าว 5 รวงต่อซ้ำ และคำนวณค่าเฉลี่ยเป็นน้ำหนักรวง 1 รวง 5) ผลผลิตต่อกอ สุ่มตัวอย่างข้าว จำนวน 5 กระถางต่อซ้ำ นำมาแยกเมล็ดออกจากรวง ชั่งน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อกอ 6) จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อรวง นับจำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อรวง จำนวน 5 รวงต่อซ้ำ 7) เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด สุ่มรวงข้าว 5 รวงต่อซ้ำ นับจำนวนเมล็ดดีและเมล็ดลีบ จากนั้นคำนวณเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด} = \left\{ \frac{\text{จำนวนเมล็ดดี}}{\text{จำนวนเมล็ดดี + จำนวนเมล็ดลีบ}} \right\} \times 100$$

ประเมินการติดเมล็ดตามเกณฑ์ของ IRRI (2013) พันธุ์ข้าวที่มีระดับความทนร้อน (ติดเมล็ด>61%) ทนร้อนปานกลาง (ติดเมล็ด 41-60%) ทนร้อนค่อนข้างต่ำ (ติดเมล็ด 41-40%) และทนร้อนต่ำ (ติดเมล็ด<11%) 8) น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง สุ่มรวงข้าวจำนวน 5 รวงต่อซ้ำ คัดแยกเมล็ดดี นำมาชั่งน้ำหนักและคำนวณค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง 9) น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวง สุ่มรวงข้าว จำนวน 5 รวงต่อซ้ำ คัดแยกเมล็ดดี และเมล็ดลีบ นำมาชั่งน้ำหนักและคำนวณค่าเฉลี่ยน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวง และ 10) น้ำหนัก 1,000 เมล็ด สุ่มชั่งน้ำหนักเมล็ดดี 100 เมล็ด จำนวน 4 ซ้ำ นำมาคำนวณเป็นน้ำหนัก 1,000 เมล็ด

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ตามแผนการทดลองแบบ split plot in CRD และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรม R (R Core Team, 2020)

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงในสภาพแปลงนาธรรมชาติและโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูง ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน 2563

อุณหภูมิเฉลี่ยกลางวัน (10.00-16.00 น.) ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน 2563 นั้น พบว่าในสภาพแปลงนาธรรมชาติ (อุณหภูมิปกติ) และโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูง มีค่าเท่ากับ 31.10 และ 41.30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และอุณหภูมิเฉลี่ยกลางวันสูงที่สุดในสภาพปกติและโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูงมีค่า 36.30 และ 48.10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในตอนกลางวัน (10.00-16.00 น.) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 62.20 และ 52 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Figure 1) โดยสภาพอุณหภูมิปกติและโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูงมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 90.20 และ 80.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กล่าวคือความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตอนกลางวันในสภาพอุณหภูมิปกติสูงกว่าโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูงถึง 10.30

เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าในสภาพโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูงมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตอนกลางวันต่ำกว่าในสภาพอุณหภูมิปกติ เนื่องจากในสภาพโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูงมีพัดลมดูดอากาศที่สามารถช่วยดูดความชื้นและควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนได้

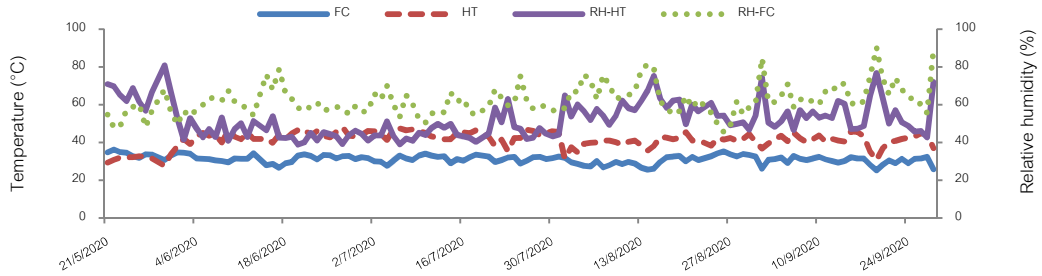

Figure 1 Average air temperature (°C) and relative humidity (%) in high temperature greenhouse and field condition (10 AM-4 PM) during May 2020 to September 2020 (reproductive stage to harvesting stage) FC=field condition, HT=high temperature greenhouse, RH-HT=relative humidity in high temperature greenhouse, RH-FC=relative humidity in field condition.

ในสภาพแปลงปลูกอุณหภูมิปกติและโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูงมีความเข้มแสงเฉลี่ยเท่ากับ 1,465 และ 1,048 μmol/m^2/s ตามลำดับ โดยความเข้มแสงเฉลี่ยในสภาพอุณหภูมิปกติสูงกว่าความเข้มแสงเฉลี่ยในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูงถึง 417 μmol/m^2/s กล่าวคือ ความเข้มแสงในสภาพอุณหภูมิปกติและในสภาพโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูงมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,944 และ 1,344 μmol/m^2/s ตามลำดับ (Figure 2)

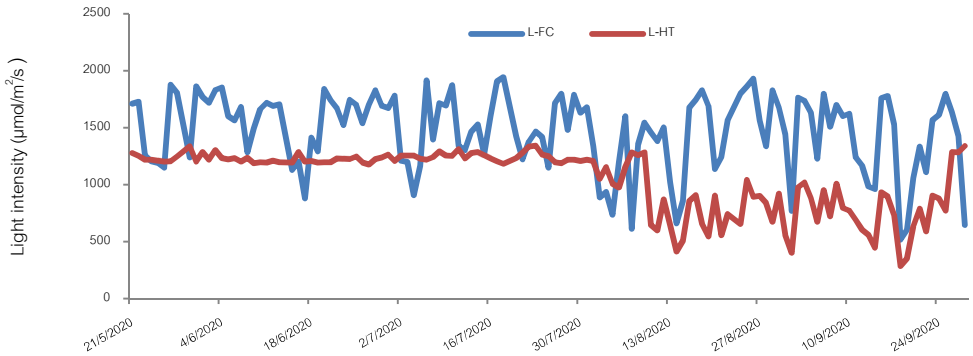

Figure 2 Light intensity (μmol/m^2/s) in high temperature greenhouse and field condition (10 AM-4 PM) during May 2020 to September 2020 (reproductive stage to harvesting stage) L-FC=light intensity in field condition, L-HT=light intensity in high temperature greenhouse.

ผลของอุณหภูมิสูงที่มีต่อการติดเมล็ด ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต

อุณหภูมิที่แตกต่างกันมีผลทำให้จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ ความยาวรวง น้ำหนักรวง และผลผลิตต่อกอแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยข้าวที่ปลูกที่อุณหภูมิสูงมีจำนวนต้นต่อกอ และจำนวนรวงต่อกอ สูงกว่าข้าวที่ปลูกที่อุณหภูมิปกติที่มีจำนวนต้นต่อกอ 20.30 และ 16.70 กอ มีจำนวนรวงต่อกอ 18.50 และ 14.80 รวง ตามลำดับ แต่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ข้าวมีความยาวรวง น้ำหนักรวง และผลผลิตต่อกอต่ำกว่าข้าวที่ปลูกที่อุณหภูมิปกติ โดยมีความยาวรวง 25.10 และ 23.10 เซนติเมตร น้ำหนักรวง 3.30 และ 1.60 กรัม ผลผลิตต่อกอ 26.90 และ 13.50 กรัม ตามลำดับ (Table 1)

สำหรับพันธุ์/สายพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกันนั้น มีจำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ ความยาวรวง น้ำหนักรวง และผลผลิตต่อกอแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง กล่าวคือ M9962 มีจำนวนต้นต่อกอมากที่สุด 26.90 กอ รองลงมา กข41 มี 18.80 กอ ไม่แตกต่างทางสถิติกับสินเหล็กที่มี 17.50 กอ ในขณะที่ปทุมธานี 1 และชัยนาท 1 มีจำนวนต้นต่อกอต่ำกว่าพันธุ์อื่นๆ นอกจากนี้ M9962 มีจำนวนรวงต่อกอมากที่สุด คือ 24.50 รวง รองลงมา กข41 และสินเหล็กมีจำนวนรวงต่อกอเฉลี่ย 17.10 และ 15.10 รวง ตามลำดับ ส่วนปทุมธานี 1 และชัยนาท 1 มีจำนวนรวงต่อกอน้อยกว่าพันธุ์อื่นๆ ส่วนพันธุ์ข้าวที่มีความยาวรวงยาวและไม่แตกต่างกันทางสถิติ ได้แก่ ปทุมธานี 1 ชัยนาท 1 และ สินเหล็ก ที่มีความยาวรวง 27.50, 26.60 และ 26.60 เซนติเมตร มากกว่า กข41 และ M9962 ที่มีความยาวรวง 21.30 และ 18.30 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีน้ำหนักรวงและผลผลิตต่อกอมากที่สุด คือ 3.80 และ 31.60 กรัม ตามลำดับ สำหรับข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และ กข41 มีน้ำหนักรวง 2.70 และ 2.40 กรัม ตามลำดับ ส่วนสินเหล็ก และ M9962 มีน้ำหนักรวงน้อยกว่าพันธุ์อื่นๆ คือ 1.90 และ 1.50 กรัม ตามลำดับ ส่วนพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่อกอ รองลงมา ได้แก่ ปทุมธานี 1 กข41 และ M9962 มีผลผลิตต่อกอ 19.30, 19 และ 16 กรัม ตามลำดับ และสินเหล็กให้ผลผลิตต่อกอน้อยที่สุด คือ 15.30 กรัม (Table 1)

อุณหภูมิสูงมีผลทำให้จำนวนเมล็ดต่อรวง เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับข้าวที่ปลูกที่อุณหภูมิปกติ โดยมีจำนวนเมล็ดต่อรวง 110.90 และ 144.50 เมล็ด มีการติดเมล็ด 42.80 และ 81 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง 1.10 และ 3 กรัม มีน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวง 1.42 และ 3.13 กรัม และมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด 23.80 และ 25.50 กรัม ตามลำดับ (Table 2)

พันธุ์/สายพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกันนั้น มีผลทำให้จำนวนเมล็ดต่อรวง เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยข้าวพันธุ์ ชัยนาท 1 กข41 และปทุมธานี 1 มีจำนวนเมล็ดต่อรวงไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 147.60, 132.10 และ 128.30 เมล็ด ตามลำดับ ซึ่งมีจำนวนเมล็ดต่อรวงสูงกว่าสินเหล็ก และ M9962 สำหรับการติดเมล็ดนั้น M9962 และชัยนาท 1 มีการติดเมล็ด 76.30 และ 71.10 เปอร์เซ็นต์

มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ กข41 และปทุมธานี 1 ที่มีการติดเมล็ด 65.40 และ 60.50 เปอร์เซ็นต์ และสินเหล็กมีการติดเมล็ดน้อยที่สุด คือ 36.30 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมากที่สุด โดยมีน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง 2.96 กรัม รองลงมา กข41 และ ปทุมธานี 1 มีน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง 2.20 และ 2.07 กรัม ส่วน M9962 และสินเหล็กมีน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง 1.50 และ 1.53 กรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวงนั้น ชัยนาท 1 มีน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวง 3.19 กรัม รองลงมาคือ กข41 และปทุมธานี 1 มีน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวง 2.38 และ 2.32 กรัม ตามลำดับ และ M9962 และสินเหล็กมีน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวง 1.67 และ 1.84 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ ชัยนาท 1 มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดมากที่สุด 28.20 กรัม รองลงมาคือ ปทุมธานี 1 และสินเหล็ก ที่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด 26.30 และ 26 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ M9962 มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดน้อยที่สุด 18.90 กรัม (Table 2)

Table 1 Number of tiller/plant, number of panicle/plant, panicle length, panicle weight and yield/plant of rice grown under field and high temperature conditions.

	No. tiller/plant	No. panicle/plant	panicle length (cm)	panicle weight (g)	yield/plant (g)
condition (A)					
field condition	16.70 B[1/]	14.80 B	25.10 A	3.30 A	26.90 A
high temperature	20.30 A	18.50 A	23.10 B	1.60 B	13.50 B
F-test (A)	**	**	**	**	**
variety (B)					
Chainat 1 (CNT1)	14.60 c[2/]	13.80 cd	26.60 a	3.80 a	31.60 a
Pathum Thani 1 (PTT1)	14.80 c	12.60 d	27.50 a	2.70 b	19.30 b
RD41	18.80 b	17.10 b	21.30 b	2.40 b	19.00 b
Sin Lek (SL)	17.50 b	15.10 b	26.60 a	1.90 c	15.30 c
M9962	26.90 a	24.50 a	18.30 c	1.50 c	16.00 bc
grand mean					
F-test (B)	**	**	**	**	**
F-test (A x B)	**	**	**	ns	**
C.V. (A) %	8.25	11.29	3.53	13.82	15.22
C.V. (B) %	8.87	12.11	4.01	18.73	16.23

[1/] Mean within the same column followed by the same capital letters are not significantly different at P<0.05 by LSD.

[2/] Mean within the same column followed by the same lower-case letters are not significantly different at P<0.05 by LSD.

* = significantly different at P≤0.05, ** = significantly different at P≤0.01, ns = not significantly different.

Table 2 Number of seed/panicle, seed set, filled seed weight/panicle, total seed weight/panicle and 1,000 seeds weight of rice grown under field and high temperature conditions.

	No. seed/panicle	seed set (%)	filled seed weight/panicle (g)	total seed weight/panicle (g)	1,000 seeds weight (g)
condition (A)					
field condition	144.50 A[1/]	81.00 A	2.98 A	3.13 A	25.50 A
high temperature	110.90 B	42.80 B	1.13 B	1.42 B	23.80 B
F-test (A)	**	**	**	**	**
variety (B)					
Chainat 1 (CNT1)	147.60 a[2/]	71.10 ab	2.96 a	3.19 a	28.20 a
Pathum Thani 1 (PTT1)	128.30 ab	60.50 c	2.07 b	2.32 b	26.30 b
RD41	132.10 ab	65.40 bc	2.20 b	2.38 b	23.70 c
Sin Lek (SL)	124.10 c	36.30 d	1.50 c	1.84 c	26.00 b
M9962	106.30 c	76.30 a	1.53 c	1.67 c	18.90 d
grand mean					
F-test (B)	**	**	**	**	**
F-test (AxB)	ns	**	**	**	**
%C.V. (A)	5.80	15.74	15.42	13.39	2.75
%C.V. (B)	14.80	9.50	18.76	16.64	4.28

[1/] Mean within the same column followed by the same capital letters are not significantly different at P<0.05 by LSD.

[2/] Mean within the same column followed by the same lower-case letters are not significantly different at P<0.05 by LSD.

* = significantly different at P≤0.05, ** = significantly different at P≤0.01, ns = not significantly different.

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและพันธุ์ พบว่า มีผลทำให้จำนวนต้นต่อกอ จำนวนรวงต่อกอ ความยาวรวง ผลผลิตต่อกอ เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้น น้ำหนักรวง และจำนวนเมล็ดต่อรวง โดยอุณหภูมิสูงมีผลทำให้จำนวนต้นต่อกอของชัยนาท 1 ลดลง จาก 17.30 เหลือ 12 ต้น แต่ไม่มีผลทำให้ปทุมธานี 1 กข41 สินเหล็ก และ M9962 มีจำนวนต้นต่อกอลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิปกติ (Figure 3) การที่จำนวนต้นต่อกอของข้าวบางพันธุ์ลดลง เนื่องจากข้าวบางพันธุ์ที่ได้รับอุณหภูมิสูงในระยะการเจริญเติบโตจะมีผลทำให้การแตกกอของต้นลดลง (Yoshida, 1981) แต่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้จำนวนรวงต่อกอของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และปทุมธานี 1 ลดลงเล็กน้อยซึ่งไม่แตกต่างกับอุณหภูมิปกติ และมีผลทำให้ข้าวพันธุ์ กข41 สินเหล็ก และ M9962 มีจำนวนรวงต่อกอสูงกว่าข้าวที่ปลูกที่อุณหภูมิปกติ (Figure 3) การที่อุณหภูมิสูงทำให้จำนวนรวงต่อกอของข้าวบางพันธุ์ลดลง เนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินกว่า 37 องศาเซลเซียส ทำให้รวงอ่อนที่กำลังเจริญเติบโตถูกยับยั้ง (Oh-e, Saitoh, & Kuroda, 2007)

ในสภาพอุณหภูมิสูงข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีความยาวรวงมากที่สุดคือ 27.50 เซนติเมตร

รองลงมาคือ สินเหล็ก ชัยนาท 1 และ กข41 มีความยาวรวงเท่ากับ 26.50, 25.60 และ19.30 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่พันธุ์ M9962 มีความยาวรวงเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 16.30 เซนติเมตร ในขณะที่อุณหภูมิปกติ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และปทุมธานี 1 มีความยาวรวงเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ เท่ากับ 27.50 เซนติเมตร รองลงมาคือพันธุ์สินเหล็ก กข41 มีความยาวรวงเฉลี่ยเท่ากับ 26.80 และ 23.30 เซนติเมตร และในพันธุ์ M9962 มีความยาวรวงเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 20.30 เซนติเมตร (Figure 3) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิสูงไม่มีผลทำให้ความยาวรวงของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และสินเหล็กลดลง แต่มีผลทำให้ความยาวรวงของชัยนาท 1 กข41 และ M9962 ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิปกติ ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและพันธุ์ต่อน้ำหนักรวง แสดงว่า ข้าวที่ปลูกภายใต้อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูงไม่มีผลทำให้น้ำหนักรวงของข้าวแต่ละพันธุ์แตกต่างกันทางสถิติ น้ำหนักรวงของข้าวที่อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูงมีค่าตั้งแต่ 2.10-4.80 และ 0.90-2.90 กรัม และแต่อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิสูงมีผลทำให้น้ำหนักรวงของข้าวพันธุ์สินเหล็ก กข41 M9962 ปทุมธานี 1 และชัยนาท 1 ลดลงโดยเฉพาะสินเหล็กมีน้ำหนักรวงลดลงมากที่สุด (Figure 3) เนื่องจากข้าวพันธุ์สินเหล็กเป็นพันธุ์ไม่ทนร้อน เมื่อปลูกที่อุณหภูมิสูง มีผลทำให้ความมีชีวิตของละอองเกสรลดลง ทำให้มีเมล็ดลีบสูง ส่งผลให้น้ำหนักรวงลดลง (Satake, & Yoshida, 1978; Thakumme, 2002)

นอกจากนี้ ที่อุณหภูมิปกติ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีผลผลิตต่อกอสูงที่สุดคือ 41.40 กรัม รองลงมาคือ ปทุมธานี 1 สินเหล็ก และ กข41 มีผลผลิตต่อกอเท่ากับ 25.80, 24.80 และ 23.70 กรัม ตามลำดับ และ M9962 มีผลผลิตต่อกอน้อย 19 กรัม ในขณะที่อุณหภูมิสูง ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีผลผลิตต่อกอสูงที่สุดคือ 21.80 กรัม รองลงมาคือ พันธุ์ กข41 M9962 และ ปทุมธานี 1 มีผลผลิตต่อกอ 14.20, 13.10 และ 12.90 กรัม ตามลำดับ และสินเหล็กมีผลผลิตต่อกอน้อยที่สุดคือ 5.80 กรัม จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิสูงมีผลทำให้สินเหล็กมีผลผลิตต่อกอลดลงแตกต่างจากที่ปลูกภายใต้อุณหภูมิปกติมากที่สุด รองลงมาคือ พันธุ์ปทุมธานี 1 ชัยนาท 1 กข41 และ M9962 (Figure 3) การที่อุณหภูมิสูงในระยะการผสมเกสรและการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด มีผลทำให้ผลผลิตลดลง เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตของเมล็ดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ระยะเวลาการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดสั้นเมื่ออยู่ในสภาพอุณหภูมิสูง (Oh-e, Saitoh, & Kuroda, 2007; Tian, Matsui, Li, & Lin, 2007; Xie, Li, Li, & Shen, 2009) อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ข้าวสินเหล็กมีจำนวนเมล็ดต่อรวงลดลงมากที่สุด รองลงมาคือ กข41 M9962 ปทุมธานี 1 และชัยนาท 1 แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับข้าวที่ปลูกในอุณหภูมิปกติ (Figure 3) สอดคล้องกับ Yoshida (1973) ที่พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 22 เป็น 31 องศาเซลเซียส ข้าวพันธุ์ IR8 มีจำนวนเมล็ดต่อรวงลดลง

ในอุณหภูมิปกติข้าวพันธุ์ ปทุมธานี 1 มีการติดเมล็ด 88 เปอร์เซ็นต์ไม่แตกต่างทางสถิติกับ กข41 ที่มีการติดเมล็ด 85.50 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ชัยนาท 1 และ M9962 มีการติดเมล็ด 81.80 และ 79.50 เปอร์เซ็นต์ และในพันธุ์สินเหล็ก มีการติดเมล็ดต่ำที่สุด คือ 70.50 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพอุณหภูมิสูง M9962 มีการติดเมล็ด 73.20 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกับอุณหภูมิปกติ ในขณะที่ชัยนาท 1 กข41 ปทุมธานี 1

และสินเหล็กมีการติดเมล็ด 60.40, 45.30, 33.10 และ 2.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิสูงมีผลทำให้สินเหล็กมีการติดเมล็ดลดลงมากที่สุด รองลงมาคือ ปทุมธานี 1 กข41 ชัยนาท 1 และ M9962 เมื่อประเมินการติดเมล็ดตามเกณฑ์ของ IRRI (2013) พบว่า พันธุ์ข้าว M9962 มีความทนร้อน (ติดเมล็ด >61 เปอร์เซ็นต์) ชัยนาท 1 และกข41 ทนร้อนปานกลาง (ติดเมล็ด 41-60 เปอร์เซ็นต์) ปทุมธานี 1 ทนร้อนค่อนข้างต่ำ (ติดเมล็ด 11-40 เปอร์เซ็นต์) และ สินเหล็กทนร้อนต่ำ (ติดเมล็ด <11 เปอร์เซ็นต์) (Figure 3) การที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 35 องศาเซลเซียส ในระยะผสมเกสรมีผลทำให้การติดเมล็ดลดลงนั้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงมีผลทำให้ดอกย่อยเป็นหมัน และไม่สามารถสร้างเมล็ดได้ ซึ่งความเป็นหมันเกิดขึ้นจากความสามารถในการแตกของละอองเกสร การผลิตละอองเกสรที่มีชีวิต และการงอกของละอองเกสรบนเกสรตัวเมียลดลง (Satake, & Yoshida, 1978) สอดคล้องกับ Pompech, Chai-arree, Moung-ngam, & Malumpong (2017) ที่พบว่า ข้าวทุกพันธุ์/สายพันธุ์มีการติดเมล็ดลดลงในสภาพอุณหภูมิสูง พันธุ์ข้าวที่ติดเมล็ดได้สูงสุดในสภาพอุณหภูมิสูง ได้แก่ M9962 ส่วนพันธุ์ที่ไม่สามารถติดเมล็ดได้ที่อุณหภูมิสูง ได้แก่ สินเหล็ก และ กข55 นอกจากนี้ อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ข้าวพันธุ์สินเหล็กมีน้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวงลดลงมากที่สุด รองลงมาคือ ปทุมธานี 1 กข41 M9962 และ ชัยนาท 1 เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิปกติ (Figure 3) การที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง และน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวงลดลง เนื่องจากอุณหภูมิสูงมีผลทำให้ความมีชีวิตของละอองเกสรลดลง ส่งผลให้การผสมเกสรไม่ติด เมล็ดลีบเพิ่มขึ้น การเคลื่อนย้ายอาหารสะสมลดลง ทำให้น้ำหนักเมล็ดลดลง (Satake, & Yoshida, 1978; Matsui, Omasa, & Horie, 2000)

อุณหภูมิสูงไม่มีผลทำให้ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 กข41 และ M9962 มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดแตกต่างกับอุณหภูมิปกติ โดยพันธุ์ชัยนาท 1 มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด 28.50 และ 27.90 กรัม ส่วน กข41 มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด 23.70 และ 23.70 กรัม และ M9962 มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด 19.50 และ 18.30 กรัม เมื่อปลูกที่อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูง ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดของสินเหล็ก และปทุมธานี 1 มีค่า 23.80 และ 25.20 กรัม น้อยกว่าอุณหภูมิปกติที่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด 28.10 และ 27.50 กรัม ตามลำดับ (Figure 3) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิสูงมีผลทำให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดของสินเหล็กและปทุมธานี 1 ลดลง เนื่องจากอุณหภูมิสูงในระยะการผสมเกสร และการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด มีผลทำให้น้ำหนัก 1,000 เมล็ดลดลง เกิดจากการผสมเกสรไม่ติด และระยะเวลาการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดสั้น (Oh-e, Saitoh, & Kuroda, 2007; Xie, Li, Li, & Shen, 2009) เช่นเดียวกับ Pansrithong, Romkaew, Malumpong, Thongket, & Thongjoo (2019) ศึกษาผลของอุณหภูมิสูงในระยะเจริญพันธุ์ต่อการติดเมล็ดและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว พบว่า อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 กข41 กข49 สินเหล็ก และ M9962 มีน้ำหนัก 100 เมล็ดลดลง

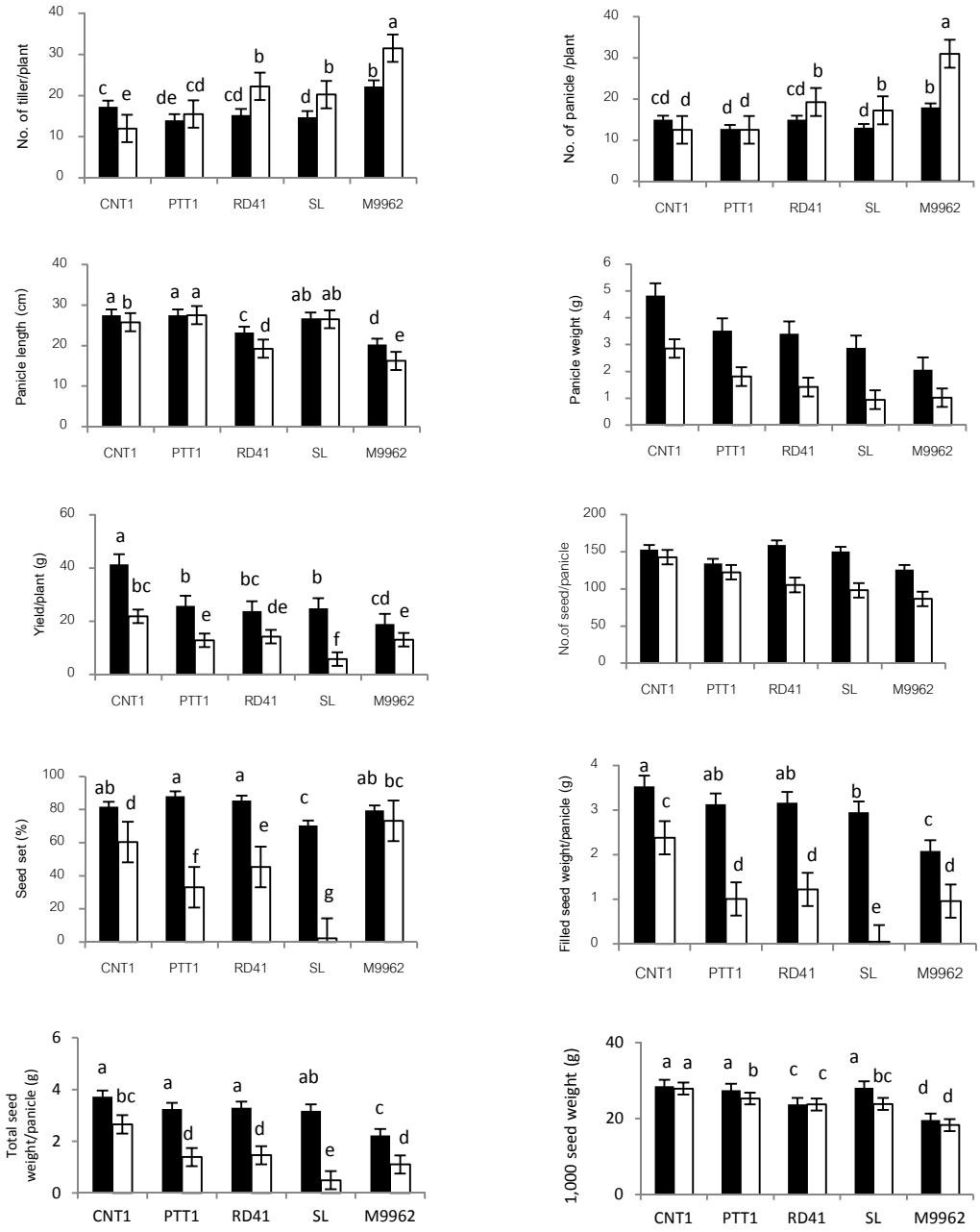

Figure 3 Seed set, yield and yield components of rice grown under field condition (■) and high temperature (□). Bars superscripted by different letters within the same variety are significantly different at the 0.05 level.

สรุป

อุณหภูมิสูงในระยะเจริญพันธุ์มีผลทำให้ความยาวรวง น้ำหนักรวง ผลผลิตต่อกอ การติดเมล็ด น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนักเมล็ดทัง หมดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ดลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิปกติ ข้าวพันธุ์ M9962 มีความทนร้อน (ติดเมล็ด>61 เปอร์เซ็นต์) ชัยนาท 1 และ กข41 ทนร้อนปานกลาง (ติดเมล็ด 41-60 เปอร์เซ็นต์) ปทุมธานี 1 ทนร้อนค่อนข้างต่ำ (ติดเมล็ด 11-40 เปอร์เซ็นต์) และสินเหล็ก ทนร้อนต่ำ (ติดเมล็ด<11 เปอร์เซ็นต์)

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รหัสโครงการวิจัย FF(KU) 19.64 ที่ให้งบประมาณสนับสนุนงานวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2564 ขอขอบคุณภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน และศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Ceccarelli, S., Grando, S., Maatougui, M., Michael, M., Slash, M., Haghparast, R., Rahmanian, M., Taheri, A., Al- Yassin, A., Benbelkacem, A., Labdi, M., Mimoun, H., & Nachit, M. (2010). Plant breeding and climate changes. *The Journal of Agricultural Science*, *148*(6), 627-637.

Cheabu, S., Moung-ngam, P., Arikit , A., Vanavichit, A., & Malumpong, C. (2018). Effects of heat stress at vegetative and reproductive stages on spikelet fertility. *Rice Science*, *25*(4), 218-226.

IRRI. (2013). *Standard evaluation system for rice* (5th ed.). Philiippins: International Rice Research Institute.

Madan, P., Jagadish, S. V. K., Craufurd, P. Q., Fitzgerald, M., Lafage, T., & Wheeler, T. R. (2012). Effect of elevated CO_2 and high temperature on seed set and grain quality of rice. *Journal of Experimental Botany*, *63*(10), 3843-3852.

Matsui, T., Omasa, K., & Horie, T. (2000). High temperatures at flowering inhibit swelling of pollen grains, a driving force for thecae dehiscence in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Production Science*, *3*, 430-434.

Mittler, R., & Blumwald, E. (2010). Genetic engineering for modern agriculture: Challenges and perspectives. *Annual Review of Plant Biology*, *61*, 443-462.

Oh-e, I., Saitoh, K., & Kuroda, T. (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.

Pansrithong, M., Romkaew, J., Malumpong, C., Thongket, P., & Thongjoo, C. (2019). Seed set and quality of rice as affected by high temperature at reproductive stage. *Proceedings of the 16th National Seed Conference 2019* (pp.125-139). Lopburi: Thepsatri Rajabhat University. (in Thai)

Pompech, D., Chai-arree, W., Moung-ngam, P., & Malumpong, C. (2017). The evaluation of high temperature tolerance at reproductive stage in non-photo sensitive rice cultivars. *Khon Kaen Agriculture Journal, 45*, 1024-1031. (in Thai)

Prasad, P. V. V., Boote, K. J., Allen, L. H., Sheehy, J. E., & Thomas, J. M. G. (2006). Species, ecotype and cultivar difference in spikelet fertility and

harvest index of rice in response to high temperature stress. *Field Crops Research*, *95*, 398-411.

R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

Satake, T., & Yoshida, S. (1978). High temperature induces sterility in *indica* rice at flowering. *Japanese Journal of Crop Science*, *47*, 6-17.

Sato, K. (1973). The development of rice grains under controlled environment. III. Germinability of seeds ripened under different environmental conditions. *Tohoku Journal of Agricultural Research, 24*, 14-21.

Shah, F., Huang, J. L., Cui, K. H., Nie, L. M., Shah, T., Chen, C., & Wang, K. (2011). Impact of high-temperature stress on rice plant and its traits related to tolerance. *The Journal of Agricultural Science, 149*(5), 545-556.

Thakumme, C. (2002). *Effect of high temperatures in booting stages and pollination and yield composition of second-eastern rice in the Northeast* (Master's thesis). Khon Kaen University, Khon Kaen. (in Thai)

Tian, X.-H., Matsui, T., Li, S. H., & Lin, J. C. (2007). High temperature stress on rice anthesis: Research progress and prospects. *The Journal of Applied Ecology*, *18*, 2632-2636.

Wongchalee, P., Arikit, S., Ruanjaichon, V., Vannavichit, A., & Malumpong, C. (2015). The impact of high temperature on seed set at reproductive stages between heat-tolerant vs non-tolerant lines and the segregation analysis of seed set trait in the F2 population. *Proceeding of 53rd Kasetsart University* (pp. 17-24). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)

Xie, X. J., Li, B. B., Li, Y. X., & Shen, S. H. (2009). High temperature harm at flowering in Yangtze River basin in recent 55 years. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, *25*, 28-32.

Yoshida, S. (1973). Effects of temperature on growth of the rice plant (*Oryza sativa* L.) in a controlled environment. *Soil Science and Plant Nutrition*, *19*, 299-310.

Yoshida, S. (1981). *Fundamental of rice crop science.* Los Banos, Philippines: International Rice Research Institute.

Zhang, C. X., Li, G. Y., Chen, T. T., Feng, B. H., Fu, W. M., Yan, J. X., Islam, M. R., Jin, Q. Y., Tao, L. X., & Fu, G. F. (2018). Heat stress induces spikelet sterility in rice at anthesis through inhibition of pollen tube elongation interfering with auxin homeostasis in pollinated pistils. *Rice, 11*, 14.