

ผลกระทบของอุณหภูมิสูงต่อการให้ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของพันธุ์ข้าวไทย^{1/}

Effect of High Temperature on Yield and Yield Components of Thai Rice Varieties^{1/}

ผู้ทำสัมมนา

นายเกริกเกียรติ บุญเชิญ^{2/}

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร.ภัทรลดา สุธรรมวงศ์^{3/}

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาโลกร้อนมีผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีของประเทศไทยสูงขึ้นกว่าปกติ 1 องศาเซลเซียสส่งผลกระทบต่อผลผลิตข้าว และก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตเป็นประจำทุกปี เนื่องจากพันธุ์ข้าวในประเทศที่มีปัจจุบันยังอ่อนแอต่อผลกระทบอุณหภูมิสูง ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีการค้นคว้า รวบรวม และวิเคราะห์ เกี่ยวกับการศึกษาผลกระทบอุณหภูมิสูงต่อผลผลิตของข้าว โดยทดสอบในพื้นที่ ได้แก่ สภาพโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ และสภาพแปลงธรรมชาติ ใช้พันธุ์ข้าวทดสอบประกอบด้วยพันธุ์ CN1, Dular, PSL2, PTT1, Riceberry, RD29, RD31, RD41, RD49, RD57, RD61, RD63, SPT1, RD15, RD47, RD55, สุพรรณบุรี 60, และพิษณุโลก 2 โดยให้รับอุณหภูมิสูงตั้งแต่ระยะต้นกล้าถึงระยะเจริญพันธุ์พบว่า พันธุ์ข้าว CN1, RD63 และ RD49 หลังได้รับอุณหภูมิสูงมีการติดเมล็ดมากกว่า 75 % และติดเมล็ดสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ ที่ 84.9%, 81.4% และ 80.8% ตามลำดับ นอกจากนี้พันธุ์ข้าว CN1 ยังมีน้ำหนัก 1000 เมล็ดสูงที่สุดที่ 28.20 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ M9962 และ N22 ที่มีความทนร้อน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า พันธุ์ข้าว CN1, RD63 และ RD49 ทนต่อสภาพอุณหภูมิสูงได้ดี และยังมีการติดเมล็ดสูงกว่า 75% ซึ่งการติดเมล็ดจะเกี่ยวข้องไปกับการให้ผลผลิตของพันธุ์ข้าวดังกล่าว อีกทั้งยังเป็นแนวทางเลือกให้เกษตรกรที่ปลูกข้าวที่จะสามารถเลือกพันธุ์ข้าวได้เหมาะสมแก่อุณหภูมิ และสภาพพื้นที่ปลูกได้

คำสำคัญ: ข้าว; อุณหภูมิสูง; ผลผลิต

^{1/}เอกสารประกอบรายวิชา 1201 480 สัมมนา

^{2/}นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

^{3/}อาจารย์ประจำภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชที่สร้างความมั่นคงทางด้านอาหาร และด้านเศรษฐกิจให้กับประเทศไทย ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีการบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักและส่งออกเป็นสินค้าเศรษฐกิจหลักของประเทศ โดยมีการส่งออกข้าวประมาณ 8.76 ล้านตันและมีมูลค่าถึง 178 พันล้านบาทต่อปี (Office of the Permanent Secretary of the Ministry of Commerce, 2023) มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวอาศัยน้ำฝนและข้าวนาปรัง รวมทั้งสิ้นประมาณ 61.92 ล้านไร่ โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประมาณ 38.57 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) แต่ในปัจจุบันปัญหาโลกร้อนมีผลทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีของประเทศไทยสูงขึ้นกว่าปกติ 1 องศาเซลเซียส ตั้งแต่ พ.ศ. 2494-2559 และอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายน สูงกว่า 35°C (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2566) ซึ่งข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตสูงที่อุณหภูมิ 25-33 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิที่สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส ในขณะที่ข้าวเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ จะทำให้ดอกเป็นหมันส่งผลเสียต่อการติดเมล็ดและทำให้เมล็ดลีบ ส่งผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิตข้าว (จารุวรรณและคณะ, 2564)

ปัญหาในการเพาะปลูกข้าวในปัจจุบันเกิดจากความเครียดจากสิ่งไม่มีชีวิตจนเป็นสาเหตุทำให้ข้าวมักจะให้ผลผลิตต่ำมากและปริมาณผลผลิตมีความแปรปรวนสูง เนื่องจากการกระทบจากอุณหภูมิสูงในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งระหว่างการเจริญเติบโตในสภาพไร่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตเป็นประจำทุกปี ในบางปีเกษตรกรอาจไม่ได้ผลผลิตหากประสิทธิภาพของอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน จากปัญหาดังกล่าวมีแนวทางการแก้ไขหลายวิธี เช่น การเลื่อนระยะเวลาการปลูกข้าวออกไปเพื่อหลีกเลี่ยงการกระทบต่อ อุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตาม การทำนาของประเทศไทยส่วนใหญ่ยังอาศัยน้ำฝน ซึ่งการเลื่อนระยะเวลาปลูกอาจทำให้ปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช (กรมการข้าว, 2560) ทำให้สูญเสียผลผลิตได้ นอกจากนี้ยังมีอีกหนึ่งวิธีคือ การใช้พันธุ์ข้าวที่ทนทานต่ออุณหภูมิสูงและให้ผลผลิตได้ตามต้องการซึ่งสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ หรือ IRRI ได้แนะนำข้าวพันธุ์ N22 (กฤษณาพร และคณะ, 2566) แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อนำมาเพาะปลูกในประเทศไทย มีปัญหาในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อม และมีลักษณะทางการเกษตรไม่ตรงตามความต้องการของเกษตรกร ซึ่งทำให้ให้ผลผลิตไม่ได้ตามต้องการ พันธุ์ข้าวดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกในประเทศไทย ดังนั้นการปรับปรุงพันธุ์ข้าวจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้พันธุ์ข้าวในปัจจุบันมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงและให้ผลผลิตสูงได้ การสร้างพันธุ์ข้าวทนร้อนต้องมีการศึกษาหาแหล่งเชื้อพันธุ์กรรมข้าวที่ทนทานต่อความร้อนสูง เพื่อนำมาเป็นต้นแบบการปรับปรุงพันธุ์ข้าวทนทานต่อความร้อนสูงได้ในอนาคต ปัจจุบันในประเทศไทยมีการศึกษาผลของอุณหภูมิสูงชั่วคราวในช่วงต้นกล้าของพันธุ์ข้าวไทย เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการบ่งชี้ความทนร้อนของข้าวพันธุ์รับรองในประเทศไทย

Mahmood *et al.* (2022) ศึกษาผลกระทบของความเครียดจากอุณหภูมิสูงเดี่ยวและรวมกันในระยะตั้งท้อง และ สร้างช่อดอก ต่อผลผลิตเมล็ดข้าว โดยใช้พันธุ์ข้าวสายพันธุ์จาโปนิก้า 2 สายพันธุ์ (Wuyunjing 24 และ Huaidao 5) โดยมีวิธีในการทดลองพืชที่ควบคุมสภาพแวดล้อมในเรือนกระจก โดยมีกล้าข้าวสามต้นต่อกระถาง และสองกล้าข้าวต่อแถว กระถางแต่ละใบบรรจุดิน 22.4 ลิตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 35.6 ซม. ความสูง 29.8 ซม. และปริมาตร 25.0 ลิตร และถูกทำให้จมน้ำจนถึงหนึ่ง

สัปดาห์ก่อนการเก็บเกี่ยว มีความหนาแน่นของพืชในกระถางในการศึกษานี้อยู่ที่ประมาณ 66 ต้นต่อตารางเมตร ปลูกร่วมในกระถางทั้งหมด 2,000 กระถาง

ผลการทดลอง

พบว่าต้นข้าวที่เคยเจอกับความร้อนแล้วสามารถต้านทานความเครียดจากความร้อนและลดความเสียหายได้ โดยการเพิ่มจำนวนหน่อใหม่ ทำให้ความเป็นมันของเมล็ดในกอเดิมน้อยลง แม้ว่า Huaidao-5 จะมีความทนทานต่อความร้อนพื้นฐานต่ำกว่า Wuyunjing-24 แต่กลับมีความสามารถในการให้ผลผลิตได้ดีกว่าเนื่องจากจำนวนต้น/กอใหม่ที่มากกว่า ผลการศึกษาช่วยให้สามารถประเมินและคาดการณ์ผลผลิตข้าวในอนาคตที่อาจได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ดีขึ้น

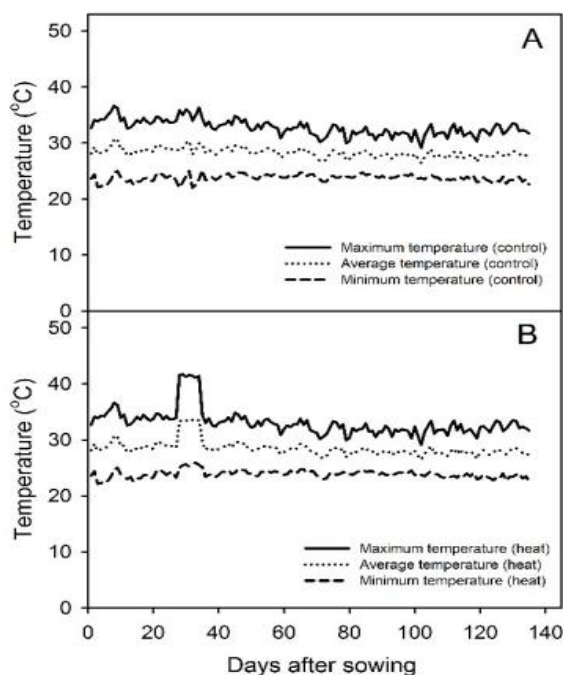
การศึกษาการกระจายอาหารของข้าวในระยะต้นกล้าเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง

เมล็ดข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูงมากกว่า 35 องศาเซลเซียส มีผลทำให้อัตราการงอกและความแข็งแรงของเมล็ดลดลงมากกว่า 70% ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น อุณหภูมิสูงส่งผลให้ต้นกล้าข้าวเกิดอาการผิดปกติ ใบซีดเหลือง สูญเสียน้ำในต้น รากไม่เจริญเติบโต การแตกกอลดลง ใบไหม้ และตายในที่สุด (Xu et al., 2021)

เนตรนภา และคณะ (2563) ทำการศึกษาการกระจายอาหารในส่วนต่างๆ ของข้าวในระยะกล้าหลังได้รับอุณหภูมิสูง 41 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการบ่งชี้ ความทนร้อนของข้าวพันธุ์รับรองในประเทศไทย โดยข้าวที่ใช้ในการทดลองเป็นข้าวพันธุ์รับรองจาก กรมการข้าวและเป็นข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสงจำนวน 15 พันธุ์ ได้แก่ N22 เป็นพันธุ์ข้าวทนร้อน, IR64 เป็นพันธุ์ ข้าวไม่ทนร้อน, CN1, Dular, PSL2, PTT1, Riceberry, RD29, RD3, RD41, RD49, RD57, RD61, RD63 และ SPT1

วิธีการศึกษา

นำเมล็ดข้าวมาเพาะบนกระดาดเพาะที่เปียกชุ่มน้ำจนกระทั่งรากงอกโผล่พ้นออก แล้วย้ายปลูกลงกล้าข้าวในโรงเรือนสภาพเปิด โดยย้ายต้นกล้าข้าวลงกระถางจำนวน 1 ต้นต่อกระถาง ซึ่งกระถางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ที่ บรรจุด้วยดินน้ำหนัก 8 กิโลกรัม วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ แบ่งต้นกล้าออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 คือกลุ่ม ควบคุม ซึ่งให้อุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนแบบเปิด และกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มให้อุณหภูมิสูงซึ่งนำข้าวระยะดัง กล่าวมาให้อุณหภูมิสูงในตู้ควบคุมอุณหภูมิ โดยให้อุณหภูมิ, ความชื้น และ ความเข้มแสง (ตารางที่ 1) เป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบ 7 วัน ทำการย้ายข้าวออกจากตู้ ควบคุมอุณหภูมิและนำไปไว้ในโรงเรือนสภาพเปิด จนกระทั่งข้าวเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยวจึงทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดน้ำหนักแห้งทั้งหมดและน้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว ข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่ปลูกร่วมข้าวภายใต้สภาพโรงเรือนแบบเปิดจากสถานีตรวจอากาศเกษตรหมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (ภาพที่ 1A) และข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่ปลูกร่วมข้าวระยะกล้าอายุ 28 วันหลังเพาะ และนำมาให้อุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 7 วัน ในตู้ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เครื่องวัดและ บันทึกอุณหภูมิอากาศ และนำมาปลูกร่วมภายใต้สภาพโรงเรือนแบบเปิดเป็น ข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศเกษตร (ภาพที่ 1B)



ที่มา: เนตรนภา และคณะ (2563)

ภาพที่ 1 ข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่ปลูกข้าวภายใต้สภาพโรงเรือนแบบเปิด (A) และข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่ปลูกข้าวในระยะกล้าอายุ 28 วันหลังเพาะ และนำมาให้อุณหภูมิสูงที่ 41 °C เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นนำมาปลูกภายใต้สภาพโรงเรือนแบบเปิด (B)

ผลการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ มีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลต่อผลผลิตของข้าว โดยลักษณะรูปร่างของ เมื่อทำการให้อุณหภูมิสูง (ที่ 41 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 7 วัน) แก่ต้นข้าว แล้วนำไปปลูกไว้ในสภาพโรงเรือนเปิดเป็น เวลา 7 วันหลังให้อุณหภูมิ พบว่าต้นข้าวพันธุ์รับรอง มีการแตกหน่อใหม่ออกมาจากตาข้างของลำต้นเพิ่มขึ้น จำนวน 1-2 น่อ และเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์ N22 (พันธุ์ หนร้อน) และพันธุ์ IR64 (พันธุ์ไม่หนร้อน) ไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน ส่งผลกระตุ้นให้ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดี

ตารางที่ 1 ลักษณะของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มของแสงในห้องควบคุมอุณหภูมิ การตั้งค่าอุณหภูมิ สูงที่ 41°C ในช่วงเวลา 12.00-15.00 น. (กลุ่มที่ 2)

Diurnal time	Temperature (°C) ^{1/}	Relative humidity (%) ^{1/}	Diurnal time	Light intensity ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ^{2/}
24.00 am.-3.00 am.	28	65	6.00 am.-7.00 am.	70
3.00 am.-7.00 am.	25	70	7.00 am.-8.00 am.	115
7.00 am.-9.00 am.	30	65	8.00 am.-9.00 am.	200
9.00 am.-10.00 am.	35	56	9.00 am.-10.00 am.	265
10.00 am.-12.00 pm.	38	45	10.00 am.-11.00 am.	340
12.00 pm.-15.00 pm.	41	40	11.00 am.-13.00 pm.	390
15.00 pm.-17.00 pm.	38	45	13.00 pm.-14.00 pm.	340
17.00 pm.-18.00 pm.	35	50	14.00 pm.-15.00 pm.	365
18.00 pm.-21.00 pm.	32	55	15.00 pm.-16.00 pm.	200
21.00 pm.-24.00 am.	28	65	16.00 pm.-17.00 pm.	115
			17.00 pm.-18.00 pm.	70
			17.00 pm.-18.00 pm.	0

หมายเหตุ: ^{1/}ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากอุตุนิยมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ระหว่างเดือนมีนาคม ถึงพฤษภาคม 2559 ถึง 2560

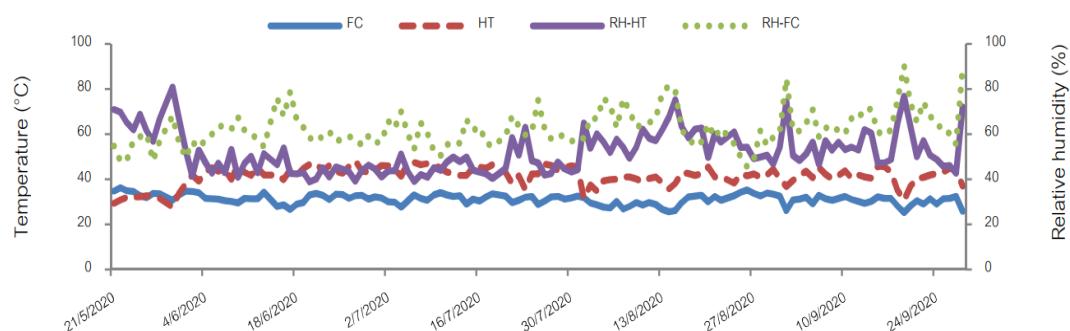
^{2/}ความเข้มของแสงวัดจากแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบถึงใบบนที่ระยะ 5 ซม

ที่มา: เนตรนภา และคณะ (2563)

ผลของอุณหภูมิสูง ในระยะเจริญพันธุ์ต่อการติดเมล็ดผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าว

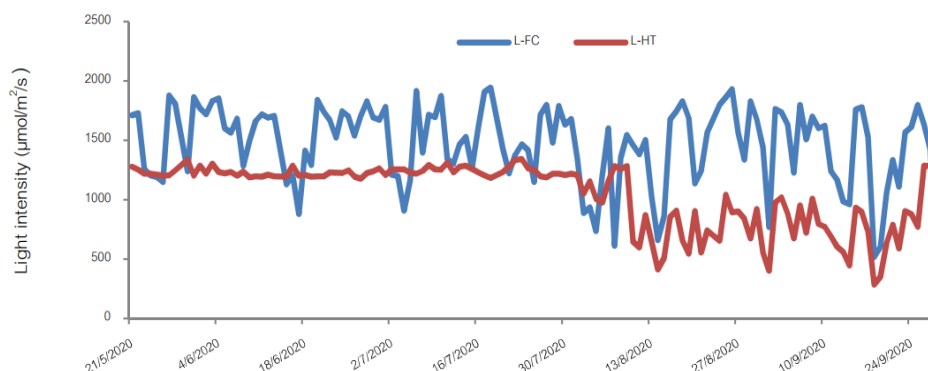
แต่อย่างไรก็ตามให้ผลผลิตของข้าวมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ข้าว ซึ่งการเจริญเติบโตของข้าวในระยะกล้าควรมีอุณหภูมิที่เหมาะสม สำหรับใบและการย้ายปล้องจะอยู่ที่ 25-30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะขณะที่ข้าวเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ (reproductive stage) ส่งผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิตข้าวที่ระยะเจริญพันธุ์ของข้าวเป็นช่วงที่วิกฤตที่สุดต่อสภาพอุณหภูมิสูง (≥ 35 องศาเซลเซียส) ซึ่งการที่อุณหภูมิสูงทำให้ดอกข้าวเป็นหมัน มีผลต่อการผสมเกสรไม่ติด ทำให้ข้าวมีเมล็ดลีบเพิ่มขึ้น และผลผลิตลดลง

จากรูวรรณ และคณะ (2564) ศึกษาผลของอุณหภูมิสูงในระยะเจริญพันธุ์ที่มีต่อ การติดเมล็ด ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าว ของกรมการข้าว 3 พันธุ์ เปรียบเทียบกับพันธุ์ M9962 (ข้าวเจ้าหอมนิลพันธุ์ กลายสายพันธุ์ หนร้อน) และพันธุ์สินเหล็ก (พันธุ์ไม่หนร้อน) ภายใต้โรงเรือน ควบคุมอุณหภูมิสูง 40-45 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบ กับการทดสอบในสภาพแปลงธรรมชาติโดย วางแผนการทดลองแบบ split-plot in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 กระจ่าง โดย main plot คือ อุณหภูมิ 2 ระดับ ได้แก่ สภาพแปลงนาธรรมชาติ (อุณหภูมิปกติ) และโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิสูง) เพาะเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ในถาดเพาะข้าวขนาด 52×26.5×4.5 เซนติเมตร จำนวน 1 เมล็ดต่อหลุม เมื่อต้นกล้ามีอายุ 21 วันหลังเพาะ ย้ายต้นกล้าข้าวลงปลูกในกระถางพลาสติกทรง สีเหลี่ยม ขนาด 17×17×21 เซนติเมตร จำนวน 80 กระจ่าง ต่อพันธุ์ กระจ่างละ 1 ต้น วางกระจ่าง ข้าวทั้งหมด ในสภาพแปลงนาธรรมชาติ (อุณหภูมิปกติ) เมื่อข้าวแต่ละพันธุ์เข้าสู่ ระยะตั้งท้อง (booting stage) แบ่งข้าวทั้ง 5 พันธุ์/สายพันธุ์ เป็น 2 ชุด ชุดแรก 40 กระจ่างต่อพันธุ์ ไว้ที่อุณหภูมิ ปกติ ชุดที่สอง ย้ายข้าว 40 กระจ่างต่อพันธุ์ไปไว้ในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ (อุณหภูมิสูง) ที่มี อุณหภูมิสูงในเวลากลางวันนาน 6 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่ 10.00 น. ถึง 16.00 น.



ที่มา: จารูวรรณ และคณะ (2564)

ภาพที่ 2 อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ (°C) และความชื้นสัมพัทธ์ (%) ในโรงเรือนอุณหภูมิสูงและสภาพ ในแปลง (10.00 น.-16.00 น.) ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2020 ถึงเดือนกันยายน 2020 (ระยะสีพันธุ์ถึงระยะเก็บเกี่ยว) FC = สภาพในแปลง, HT = โรงเรือนอุณหภูมิสูง, RH-HT = ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนอุณหภูมิสูง, RH-FC = ความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพในแปลง



ที่มา: จารุวรรณ และคณะ (2564)

ภาพที่ 3 ความเข้มของแสง ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) ในโรงเรือนอุณหภูมิสูงและสภาพในแปลง (10.00 น.-16.00 น.) ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2020 ถึงเดือนกันยายน 2020 (ระยะสืบพันธุ์ถึงระยะเก็บเกี่ยว) L-FC = ความเข้มของแสงในสภาพในแปลง, L-HT = ความเข้มของแสงในโรงเรือนอุณหภูมิสูง

จะเห็นได้ว่า เพอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูงจะต่ำกว่าในสภาพแปลงปลูกปกติ เพราะในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิมีพัดลมคอยดูดความชื้นอยู่ตลอดเวลาจึงทำให้ค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า (ภาพที่ 2) แต่ในสภาพแปลงปลูกปกติจะมีความเข้มแสงเฉลี่ยสูงกว่าในสภาพโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูง (ภาพที่ 3)

ผลการทดลอง

อุณหภูมิที่แตกต่างกันมีผลทำให้จำนวนต้น/กอ จำนวนรวงต่อกอ ความยาวรวง น้ำหนักรวง และผลผลิตต่อกอแตกต่างกัน และอุณหภูมิที่แตกต่างกันมีผลทำให้จำนวนต้น/กอ จำนวนรวง/กอ ความยาวรวง น้ำหนักรวง และผลผลิตต่อกอแตกต่างกัน กล่าวคือ M9962 มีจำนวนต้น/กอ จำนวนรวง/กอ มากที่สุด ส่วนพันธุ์ข้าวที่มีความยาวรวงมากที่สุด คือ ปทุมธานี 1 ในขณะที่ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีน้ำหนักรวงและผลผลิตต่อกอมากที่สุด (ตารางที่ 2) อุณหภูมิสูงมีผลทำให้จำนวนเมล็ด/รวง เพอร์เซ็นต์การติดเมล็ด น้ำหนักเมล็ดดี/รวง น้ำหนักเมล็ดทั้ง หมด/รวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด โดยข้าวพันธุ์ ชัยนาท 1 มีจำนวนเมล็ด/รวง มากที่สุด สำหรับการติดเมล็ดนั้น M9962 มีการติดเมล็ดมากที่สุด ในขณะที่ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 มีน้ำหนักเมล็ดดี/รวง น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวง และ น้ำหนัก 1,000 เมล็ดมากที่สุด (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 จำนวนหน่อ/ต้น จำนวนรวง/ต้น ความยาวของรวง น้ำหนักของรวง และผลผลิต/ต้น ของข้าวที่ปลูกภายใต้สภาพในแปลงและสภาพอุณหภูมิสูง

	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 (AxB)	**	**	*	ns	**
%C.V. (A)	8.25	11.29	3.53	13.82	15.22
%C.V. (B)	8.87	12.11	12.11	18.73	16.23

หมายเหตุ: ^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$ โดยวิธี LSD

^{2/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$ โดยวิธี LSD

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$, ** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.01$, ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ที่มา: จารุวรรณ และคณะ (2564)

ตารางที่ 3 จำนวนเมล็ด/รวง อัตราการติดเมล็ด น้ำหนักเมล็ดที่สมบูรณ์/รวง น้ำหนักเมล็ดรวม/รวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด ของข้าวที่ปลูกภายใต้สภาพในแปลงและสภาพอุณหภูมิสูง

	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
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	1.50 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

หมายเหตุ: ^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$ โดยวิธี LSD

^{2/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$ โดยวิธี LSD

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$, ** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.01$, ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ที่มา: จารุวรรณ และคณะ (2564)

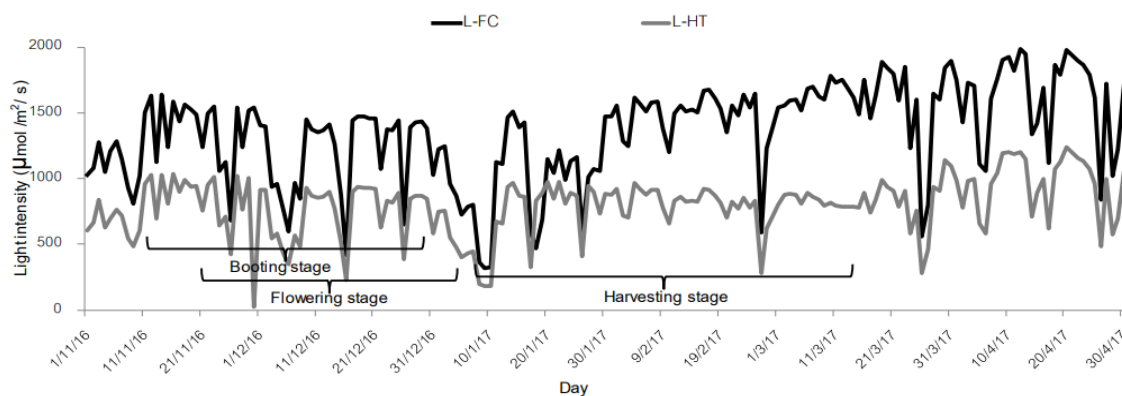
ผลของอุณหภูมิสูง ในระยะเจริญพันธุ์ต่อการติดเมล็ด และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว

ถ้าอุณหภูมิสูงขณะดอกบานมีผลทำให้ละอองเกสรของข้าวไม่แตก การปล่อยละอองเกสรลดลง จึงทำให้ละอองเกสรตกบน ยอดเกสรตัวเมียมีน้อย มีผลทำให้การผสมเกสรลดลง เมล็ดลีบเพิ่มขึ้น การพัฒนาของเมล็ดเกิดขึ้นช้า และผลผลิตลดลง นอกจากอุณหภูมิสูง จะทำให้การติดเมล็ด และผลผลิตข้าวลดลงแล้ว ยังส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ข้าวอีกด้วย หากข้าวได้ รับอุณหภูมิสูง

ขณะที่เมล็ดกำลังพัฒนา (seed development) และสุกแก่ (maturation) มีผลทำให้คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ต่ำ (Goswami et al., 2022)

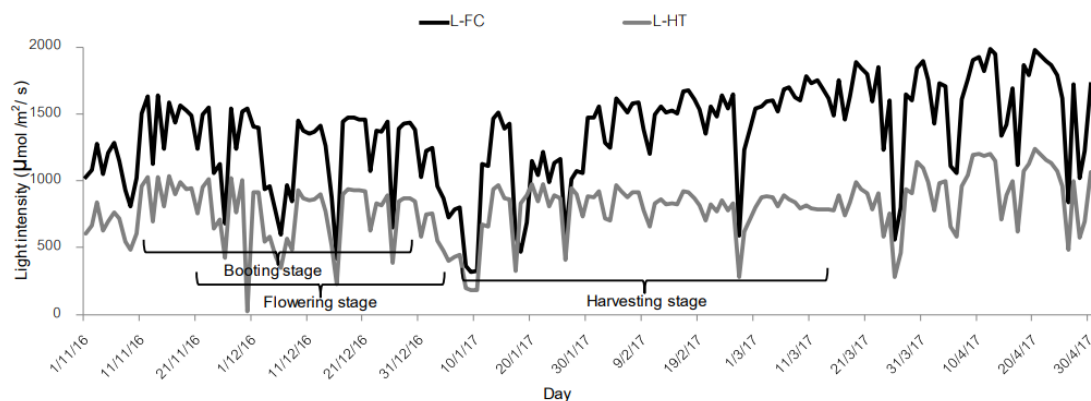
มันทนา และคณะ (2562) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิสูงในระยะเจริญพันธุ์ที่มีต่อการติดเมล็ด และคุณภาพของเมล็ดของพันธุ์ข้าว 12 พันธุ์/สายพันธุ์ ภายใต้โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูง ($40\pm5^{\circ}\text{C}$) เปรียบเทียบกับการทดสอบในสภาพแปลงธรรมชาติ โดยปลูกข้าวพันธุ์/สายพันธุ์ที่ไม่ไวต่อช่วงแสง จากกรมการข้าว จำนวน 12 พันธุ์ ได้แก่ กข15 กข29 กข31 กข41 กข47 กข49 กข55 กข61 กข63 สุพรรณบุรี 60 ชัยนาท 1 พิษณุโลก 2 และ ปทุมธานี 1 เปรียบเทียบกับพันธุ์ควบคุม 2 พันธุ์ ได้แก่ N22 (พันธุ์ที่ทนทานต่ออุณหภูมิสูงของ IRRI) และ สีนเหล็ก (พันธุ์ที่ไม่ทนทานต่ออุณหภูมิสูง) วางแผนการทดลองแบบ Split plot in CRD เมื่อต้นกล้าข้าวมีอายุประมาณ 30 วัน ย้ายลงปลูกในกระถางพลาสติก เมื่อข้าวเข้าสู่ระยะตั้งท้อง (R2) แบ่งข้าวออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำข้าว จำนวน 10 กระถาง/พันธุ์ เข้าสู่โรงเรือนที่ควบคุม อุณหภูมิสูงในเวลากลางวันนาน 6 ชม./วัน ส่วนที่ 2 นำข้าว จำนวน 20 กระถาง/พันธุ์ ไปไว้ในแปลงนาธรรมชาติ

อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเวลา 10.00 - 16.00 น. ตลอดการทดลอง ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2559 ถึงเดือนเมษายน 2560 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยภายในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูงมากกว่าในสภาพธรรมชาติ (ภาพที่ 4) ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ตลอด การทดลองในสภาพธรรมชาติมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูง



ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ ($^{\circ}\text{C}$) และความชื้นสัมพัทธ์ (%) ในโรงเรือนอุณหภูมิสูงและสภาพในแปลง (10.00 น. - 16.00 น.) ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2016 - เมษายน 2017 (ระยะสืบนพันธุ์ถึงการเก็บเกี่ยว) HT = โรงเรือนอุณหภูมิสูง, FC = สภาพในแปลง, RH-HT = ความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพในแปลง, RH-FC = ความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนอุณหภูมิสูง

ที่มา: มันทนา และคณะ (2562)



ภาพที่ 5 ความเข้มของแสง ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) ในโรงเรือนอุณหภูมิสูงและสภาพในแปลง (10.00 น. - 16.00 น.) ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2016 - เมษายน 2017 (ระยะสืบพันธุ์ถึงการเก็บเกี่ยว)
L-FC = ความเข้มของแสงในสภาพในแปลง, L-HT = ความเข้มของแสงในโรงเรือนอุณหภูมิสูง

ที่มา: มั่นทนา และคณะ (2562)

การทดลองในสภาพธรรมชาติมีความเข้มแสงสูงกว่า โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิสูงตลอดการทดลองในระยะที่ดอกข้าวบาน ความเข้มแสงสูงสุด เฉลี่ยในสภาพธรรมชาติ เท่ากับ $1,201 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (ภาพที่ 5)

ผลการศึกษา

สรุปได้ดังนี้ จำนวนรวง/กอ ความยาวรวง น้ำหนักรวง/กอ ความยาวของเมล็ด น้ำหนักเมล็ดดี/รวง ผลผลิต/กอ ความงอก และความแข็งแรงโดยวิธีการเร่งอายุ พบว่า ในสภาพธรรมชาติมีจำนวนรวง/กอเฉลี่ยสูงกว่าใน สภาพอุณหภูมิสูง โดยมีจำนวนรวงเฉลี่ย 10.6 และ 8.1 รวง/กอตามลำดับ ในขณะที่ความยาวรวง ข้าวที่ปลูกภายใต้สภาพธรรมชาติมีความยาวรวงไม่แตกต่างกันทางสถิติกับข้าวที่ปลูกภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง โดยมีความยาวรวงเฉลี่ย 23.8 และ 24.5 ซม. ในขณะที่น้ำหนักรวง/กอ ข้าวที่ปลูกภายใต้สภาพธรรมชาติและ อุณหภูมิสูงมีน้ำหนักรวง/กอเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติ กล่าวคือ น้ำหนักรวงต่อกอของข้าวที่ปลูกในสภาพธรรมชาติมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าในสภาพอุณหภูมิสูง โดยมีน้ำหนักรวง/กอเฉลี่ย 19.21 และ 14.24 ในขณะที่ความยาวของเมล็ด ภายใต้สภาพธรรมชาติและอุณหภูมิสูงมีผลทำให้ความยาวของเมล็ดข้าวเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติ โดยข้าวที่ปลูกภายใต้สภาพธรรมชาติมีความยาวของเมล็ดเฉลี่ย 9.79 มม. และข้าวที่ปลูกภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง มีความยาวของเมล็ดเฉลี่ย 9.55 และน้ำหนักเมล็ดดี/รวง เมื่อกปลูกข้าวภายใต้สภาพธรรมชาติและอุณหภูมิสูงมีน้ำหนักเมล็ดดี/รวงเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีน้ำหนักเมล็ดดี/รวงเฉลี่ย 3.420 และ 2.784 กรัม ในขณะที่พันธุ์ข้าวที่แตกต่างกันมีน้ำ หนักเมล็ดดี/รวงแตกต่างกัน (ตารางที่ 4) ผลผลิต/กอ จากการปลูกข้าวภายใต้สภาพธรรมชาติ ให้ผลผลิต/กอเฉลี่ย 16.72 กรัม สูงกว่าในสภาพอุณหภูมิสูงที่มีผลผลิต/กอเฉลี่ย 12.86 กรัม ความงอกข้าวที่ปลูกในสภาพธรรมชาติและอุณหภูมิสูงมีความงอกเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่พันธุ์ข้าวที่แตกต่างกันมีความงอกเฉลี่ยแตกต่างกัน กล่าวคือ

พันธุ์ชัยนาท 1 มีความงอกสูงที่สุด คือ 99.50% เมื่อนำเมล็ดพันธุ์ข้าวทั้ง 14 พันธุ์ที่ได้จากสภาพธรรมชาติและอุณหภูมิสูงมาตรวจสอบความแข็งแรงโดยวิธีการเร่งอายุ พบว่า เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ได้จากสภาพธรรมชาติ มีความแข็งแรงโดยวิธีการเร่งอายุเฉลี่ย 78.7% สูงกว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูง ที่มีความแข็งแรงโดยวิธีการ เร่งอายุเฉลี่ย 66.1% (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 4 ตารางแสดงข้อมูล จำนวนรวงข้าวต่อต้น ความยาวของรวงข้าว น้ำหนักรวงข้าวต่อต้น ความยาวของเมล็ดข้าว และน้ำหนักเมล็ดข้าวต่อรวงของข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะปกติและอุณหภูมิสูง

	No. Panicle/ plant	Panicle length (cm.)	Panicle weight/ plant (g)	Seed length (mm)	Seed weight/ panicle (g)
Condition (A)					
Field condition	10.6 A ^{1/}	23.8	19.21 A	9.79 A	3.420 A
High temperature	8.1 B	24.5	14.24 B	9.55 B	2.784 B
F-test (A)	**	ns	**	**	**
Variety (B)					
RD15	7.7 def ^{2/}	20.6 f	4.01 g	10.15 bcd	0.851 g
RD29	6.0 fg	23.6 de	13.26 de	9.96 e	6.293 a
RD31	11.0 bc	25.9 bc	26.11 ab	9.44 g	3.360 d
RD47	7.3 ef	26.4 abc	15.32 cd	10.63 a	3.129 ef
RD49	15.1 a	23.6 de	29.99 a	10.04 cde	3.109 ef
RD55	10.4 bcd	28.0 a	26.32 ab	9.39 g	3.282 e
RD63	14.2 a	25.5 bcd	24.75 b	7.96 h	3.094 ef
SP60	9.2 c-f	25.3 bcd	17.32 cd	10.58 a	2.655 f
CN1	10.0 cde	26.0 abc	24.62 b	10.28 b	3.817 cd
PL2	10.0 cde	24.5 cd	19.23 c	10.08 cde	2.927 ef
PTT1	6.2 fg	27.0 ab	9.57 ef	10.19 bc	4.549 b
Sinlek	6.3 fg	23.8 de	8.29 efg	9.63 f	1.206 g
N 22	13.6 ab	15.8 g	8.31 efg	7.07 i	0.865
Grand mean	9.35	24.1	16.7	9.67	9.35

ตารางที่ 4 ตารางแสดงข้อมูล จำนวนรวงข้าวต่อต้น ความยาวของรวงข้าว น้ำหนักรวงข้าวต่อต้น ความยาวของเมล็ดข้าว และน้ำหนักเมล็ดข้าวต่อรวงของข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะปกติและอุณหภูมิสูง (ต่อ)

F-test (B)	**	**	**	**	**
F-test (A x B)	**	**	**	**	**
C.V. (A) %	12.15	8.04	16.04	0.57	5.94
C.V. (B) %	19.03	5.77	20.62	1.18	14.36

หมายเหตุ: ^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$ โดยวิธี LSD

^{2/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$ โดยวิธี LSD

** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.01$, ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ.

ที่มา: มั่นทนา และคณะ (2562)

ตารางที่ 5 ตารางแสดงข้อมูลการติดเมล็ด น้ำหนัก 100 เมล็ด ผลผลิตต่อต้น การงอกของเมล็ด และความแข็งแรงของเมล็ดของข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะปกติและอุณหภูมิสูง

	Seed set (%)	100 seeds weight (g)	Yield/plant (g)	Seed germination (%)	Seed vigor (%)
Condition (A)					
Field condition	76.0 A ^{1/}	2.49 A	16.72 A	96.9	78.7 A
High temperature	61.0 B	2.30 B	12.86 B	93.0	66.1 B
F-test (A)	**	**	**	ns	**
Variety (B)					
RD15	32.0 g ^{2/}	2.29 e	3.21 g	84.3	75.3 bcd
RD29	68.2 d	2.72 a	11.59 e	93.8	84.0 ab
RD31	77.3 abc	2.59 abc	21.10 abc	95.3	58.8 g
RD41	66.8 de	2.24 de	5.58 fg	94.5	84.3 ab
RD47	71.8 bcd	2.72 a	14.59 d	97.8	74.8 cd
RD49	80.8 ab	2.46 cd	22.49 a	98.8	61.5 fg
RD55	71.1 cd	2.25 ef	23.83 a	97.3	65.3 efg
RD63	81.4 a	1.98 g	22.75 a	97.3	49.3 h

ตารางที่ 5 ตารางแสดงข้อมูลการติดเมล็ด น้ำหนัก 100 เมล็ด ผลผลิตต่อต้น การออกของเมล็ด และความแข็งแรงของเมล็ดของข้าวที่ปลูกภายใต้สภาวะปกติและอุณหภูมิสูง (ต่อ)

SP60	70.4 cd	2.64 ab	19.17 bc	99.0	90.0 a
CN1	84.9 a	2.68 ab	21.40 ab	99.5	70.0 def
PL2	67.9 de	2.64 ab	18.27 c	96.8	81.5 abc
PTT1	59.0 e	2.10 fg	8.00 f	91.0	60.5 g
Sinlek	42.5 f	2.54 bc	6.98 f	87.5	85.0 a
N 22	85.1 a	1.59 h	8.08 f	97.0	73.5 cde
Grand mean	68.5	2.39	14.79	95.0	72.4
F-test (B)	**	**	*	ns	**
F-test (A x B)	**	**	**	ns	**
C.V. (A) %	6.79	2.99	16.23	3.80	4.66
C.V. (B) %	6.43	4.89	13.74	5.00	8.66

หมายเหตุ: ^{1/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรตัวพิมพ์ใหญ่เดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$ โดยวิธี LSD

^{2/} ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กเดียวกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P < 0.05$ โดยวิธี LSD

* = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$, ** = แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.01$, ns = ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ.

ที่มา: มั่นทนา และคณะ (2562)

สรุป

การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิสูงต่อการให้ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของพันธุ์ข้าวพบว่าเมื่อข้าวได้รับอุณหภูมิสูงตั้งแต่ในระยะต้นกล้าและในระยะเจริญพันธุ์มีผลทำให้พันธุ์ข้าว CN1, RD49, และ RD63 หลังได้รับอุณหภูมิสูงมีการติดเมล็ดสูง (>75 %) นอกจากนี้ยังมีความยาวรวง น้ำหนักรวง ผลผลิตต่อกอ การติดเมล็ด น้ำหนักเมล็ดดีต่อรวง น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อรวง และน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เฉลี่ยสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ M9962 และ N22 ที่มีความทนร้อน แสดงให้เห็นว่าข้าวพันธุ์ดังกล่าวสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดีกว่าพันธุ์อื่น ๆ ทำให้เป็นอีกหนึ่งทางเลือกให้เกษตรกรเลือกใช้พันธุ์ข้าวที่มีความทนร้อนได้ดี และสามารถให้ผลผลิตตามที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตาม พันธุ์ข้าวในแต่ละพันธุ์จะมีความสามารถในการปรับตัวในสภาพพื้นที่ปลูกต่างกัน และให้ผลผลิตแต่ละพื้นที่ไม่ได้เท่ากัน เกษตรกรควรเลือกใช้พันธุ์ที่เหมาะสมแก่พื้นที่ปลูกเพื่อลดการเสียหายของผลผลิต และให้ได้ผลผลิตสูงสุดในพื้นที่

เอกสารอ้างอิง

- กรมการข้าว. 2560. ข้อมูลพันธุ์ข้าวไทย. แหล่งข้อมูล: <https://www.ricethailand.go.th>. ค้นเมื่อ 18 กรกฎาคม 2567.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2566. ข้อมูลฟ้าอากาศประเทศไทย. แหล่งข้อมูล: <https://www.tmd.go.th>. ค้นเมื่อ 17 มีนาคม 2566.
- กฤษฎาพร เทตกิจเจริญ, สมพงษ์ จันทรแก้ว, ธิธาร์ตน์ มอญขาม, และจิรวัฒน์ สนิทชน. 2566. การประเมินความทนทานต่ออุณหภูมิสูงในเชื้อพันธุ์กรรมข้าวนาสวนพื้นเมืองไทย ในระยะต้นกล้า และระยะเต็มเต็มเมล็ด. วารสารแก่นเกษตร. 51(5): 975-993
- จารุวรรณ ชื่นมาธูไรไพจิตร, ชเนษฎ์ ม้าลำพอง, ชัยสิทธิ์ ทองจุ, ศุภลียา ฉัตรเที่ยง และจุฑามาศ ร่มแก้ว. 2564. ผลของอุณหภูมิสูงในระยะเจริญพันธุ์ที่มีต่อการติดเมล็ด ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าว. วารสารมทร.สุวรรณภูมิ. 9(1): 1-13
- เนตรนภา ช่มทองกลาง, บุญรัตน์ จงดี, และปิยะดา อีระกลพิศุทธิ์. 2563. ผลตกค้างของอุณหภูมิสูงชั่วคราวในช่วงต้นกล้าของพันธุ์ข้าวไทย. วารสารแก่นเกษตร. 48(4): 809-822
- มณฑนา ปานศรีทอง, จุฑามาศ ร่มแก้ว, ชเนษฎ์ ม้าลำพอง, พรธณี ทองเกตุ, และ ชัยสิทธิ์ ทองจุ. 2562. ผลของอุณหภูมิสูงในระยะเจริญพันธุ์ที่มีต่อการติดเมล็ด และคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าว. วารสารแก่นเกษตร. 47(3): 445-458.
- Goswami, S., R.R. Kumar, S. Bakshi, and S. Praveen. 2022. Starch metabolism under heat stress. In: Kumar, R.R., Praveen, S., Rai, G.K. (eds). Thermotolerance in Crop Plants. Springer, Singapore. doi.org/10.1007/978-981-19-3800-9_9.
- Mahmood, A., Ali, I. Wang, W. Ata-Ul-Karim, S.T. Liu, B. Liu, L. Zhu, Y. Cao, W. and Tang L. 2022. Individual and Combined Effects of High-Temperature Stress at Booting and Flowering Stages on Rice Grain Yield: Agronomy. doi.org/10.3390/agronomy12123092.
- Office of the Permanent Secretary of the Ministry of Commerce. 2023. Tradereport. Available <https://tradereport.moc.go.th/>. Accessed on July.18, 2024.
- Paethaisong, W., W. Lontom, and A. Dongsansuk. 2019. Impact of short-term exposure to elevated temperatures on physiology of Thai rice (cv. Riceberry). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 346 (012083): 1-6.
- Xu, Y., C. Chu, and S. Yao. 2021. The impact of high-temperature stress on rice: Challenges and solutions. The Crop Journal. 9: 963-976