KHON KAEN AGR. J. 48 (4): 809-822 (2020)./doi:10.14456/kaj.2020.74.

ผลตกค้างของอุณหภูมิสูงชั่วคราวในช่วงต้นกล้าของพันธุ์ข้าวไทย

Lasting effects of temporary heat wave on the seedlings of Thai rice varieties

เนตรนภา ซุ่มทองหลาง[1,2], บุญรัตน์ จงดี[1], ปิยะดา ธีระกุลพิศุทธ์[2,3] และ อโนมา ดงแสนสุข[1,2,*]

Netnapha Sumthonglang[1,2], Boonrat Jongdee[1], Piyada Theerakulpisut[2,3] and Anoma Dongsansuk[1,2,*]

บทคัดย่อ: ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย ซึ่งในปัจจุบันเกิดความแปรปรวนของสภาพอากาศอันเกิดจากสภาวะโลกร้อน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิส่งผลต่อสรีรวิทยาของข้าวอย่างเช่น การกระจายอาหารไปยังส่วน ต่าง ๆ ของข้าวซึ่งส่งผลต่อการให้ผลผลิตในข้าว ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายอาหารของข้าวพันธุ์รับรอง 15 พันธุ์ (N22, IR64, CN1, Dular, PSL2, PTT1, Riceberry, RD29, RD31, RD41, RD49, RD57, RD61, RD63 และ SPT1) เมื่อได้รับอุณหภูมิสูง 41°C เป็นเวลา 7 วันที่ระยะกล้าและได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design จำนวน 4 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่าน้ำหนักแห้งรวมและการกระจายอาหารของข้าวพันธุ์รับรองทั้ง 15 พันธุ์ ลดลงหลังได้รับอุณหภูมิสูง นอกจากนี้ข้าวพันธุ์ PSL2 และ RD29 มีการกระจายอาหารในส่วนใบ ลำต้น ราก และเมล็ดลดลงหลังได้รับอุณหภูมิสูง แต่การกระจายอาหารไปยังส่วนใบ ลำต้น ราก และเมล็ดของข้าวพันธุ์ IR64 และ RD63 หลังได้รับอุณหภูมิสูงมีค่าไม่แตกต่างเมื่อเทียบกับที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด ส่วนข้าวพันธุ์ N22, IR64, Dular, PTT1, RD29, RD31, RD41, RD57 และ RD61 หลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ระยะกล้ามีการกระจายอาหารไปยังส่วนเมล็ดมากกว่าส่วนอื่น ๆ ที่ระยะสุกแก่ แสดงให้เห็นว่าข้าวพันธุ์ดังกล่าวสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงที่ระยะกล้าได้ดีกว่าพันธุ์อื่น ๆ จึงสามารถลำเลียงอาหารไปยังเมล็ดได้มากในระยะสุกแก่

คำสำคัญ: การกระจายอาหาร, อุณหภูมิสูง, ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ

ABSTRACT: Rice is an important economic crop for Thailand. At present, there is climate change caused by global warming. The temperature changing affects rice physiology such as partitioning in different parts of rice that results in rice yield. Therefore, this research aimed to study partitioning in 15-recommended rice cultivars (N22 (heat tolerance), IR64 (heat sensitive), CN1, Dular, PSL2, PTT1, Riceberry, RD29, RD31, RD41, RD49, RD57, RD61, RD63 and SPT1) after treated with high temperature at 41°C for 7 days at seedling stag and under open greenhouse. This experiment was designed in completely randomized design with 4 replications. The results showed that the total

Received December 26, 2019

Accepted February 19, 2020

1 สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

[2] กลุ่มวิจัยข้าวทนเค็ม มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

Salt-Tolerant Rice Research Group, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

[3] สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

Department of Biology, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

[*] Corresponding author: Danoma@kku.ac.th

dry weight and partitioning of fifteen rice cultivars decreased after treated with high temperature. In addition, rice cvs. PSL2 and RD29 showed decreased in partitioning to leaf, stem, root and seed after treated with high temperature. However, the partitioning to leaf, stem, root and seed in rice cvs. IR64 and RD63 after treated with high temperature showed significantly different decreased compared to those of the under open greenhouse. For rice cvs. N22, IR64, Dular, PTT1, RD29, RD31, RD41, RD57 and RD61 after treated with high temperature at seedling stage showed higher partitioning to seed than other parts of rice at maturity stage. This suggested that the rice cultivars were more tolerant to high temperature at seedling stage than other cultivars. This resulted in high transporting assimilates to seed at maturity stage.
Keywords: partitioning, high temperature, vegetative phase

บทนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชที่สร้างความมั่นคงทางด้านอาหาร และด้านเศรษฐกิจให้กับประเทศ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมดประมาณ 71 ล้านไร่ มีผลผลิตข้าวเปลือกเฉลี่ยปีละ 32 ล้านตัน สร้างรายได้ให้กับประเทศปีละประมาณ 350,000 ล้านบาท นอกจากนี้ประเทศไทยยังเป็นผู้ส่งออกข้าวสู่ตลาดโลกเป็นอันดับต้นๆ ของโลก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ซึ่งการปลูกข้าวของประเทศไทยสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีโดยอาศัยน้ำฝนและระบบชลประทานในปัจจุบันเกิดความแปรปรวนของสภาพอากาศโลก ซึ่งความผันแปรของอุณหภูมิโลกระหว่างปี พ.ศ. 2539 - 2549 พบว่าเป็นช่วงที่อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกร้อนที่สุด และมีการคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2643 อุณหภูมิเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5-4.5°C (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2560) ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของข้าวทุกระยะการเจริญเติบโต ส่งผลทำให้ผลผลิตลดลง นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังส่งผลเสียต่อสรีรวิทยาของพืชรวมถึงกลไกการสังเคราะห์ด้วยแสง (Dongsansuk et al., 2017) ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง เมื่ออุณหภูมิสูงเกินไปอาจส่งผลให้การสังเคราะห์ด้วยแสงของใบลดลง และส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งในส่วนของลำต้นและรากลดลง (Dubey et al., 2018) จากรายงานข้าวพันธุ์ไรเบอรี่ ในระยะกล้า (seedling) หลังจากได้รับอุณหภูมิที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 25, 30, 35, 40, 45, 50 และ 55°C เป็นเวลา 30 นาที พบว่าค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ระบบแสง 2 ในสภาพมืด (F_v/F_m) ลดลงเมื่อได้รับอุณหภูมิตั้งแต่ 40°C และพบว่ารงควัตถุที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงถูกทำลายเมื่อได้รับอุณหภูมิที่ 55°C (Paethaisong et al., 2019) ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการงอกและการเจริญเติบโตของข้าวระยะกล้าอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 30-35°C (Dubey et al., 2018) จากการศึกษาของ Guo-hua et al. (2013) ในข้าวพันธุ์ Zhongzuo 15 ในระยะดอกบานและระยะเติมเต็มเมล็ด โดยให้อุณหภูมิที่ 32, 35, 38, 41°C และกลุ่มควบคุม พบว่าน้ำหนักแห้งลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 41°C ทั้งในระยะดอกบานและระยะเติมเต็มเมล็ด เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งน้ำหนักแห้งของข้าวระยะดอกบานลดลงมากภายใต้อุณหภูมิ 41°C นอกจากนี้การกระจายอาหารของน้ำหนักแห้งในส่วนของใบและช่อดอกลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการสะสมอาหารในส่วนต่างๆ ของข้าว ทำให้น้ำหนักและผลผลิตของข้าวลดลง (Shi et al., 2015) และจากการรายงานของ Venkatramanan and Singh (2009) ข้าวที่มีระยะการเจริญเติบโตสั้นจะทำให้น้ำหนักของผลผลิตลดลง เนื่องจากข้าวเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยวเร็วขึ้น ทำให้ช่วงระยะเวลาในการเติมเต็มเมล็ดสั้น นอกจากนี้ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิสูงในแต่ละด้านแตกต่างกัน ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายอาหารในส่วนต่างๆ ของข้าว ในระยะกล้าหลังได้รับอุณหภูมิสูง 41°C เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการบ่งชี้ความทนร้อนของข้าวพันธุ์รับรองในประเทศไทย

วิธีการศึกษา

การทดลองนี้ได้ดำเนินการทดลองที่หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และห้องปฏิบัติการสรีรวิทยา สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และทำการวิจัยระหว่างเดือนเมษายน – กรกฎาคม 2561 ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงานทดลองดังนี้

การเตรียมตัวอย่างพืชและแผนการทดลอง

ข้าวที่ใช้ในการทดลองเป็นข้าวพันธุ์รับรองจากกรมการข้าวและเป็นข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสงจำนวน 15 พันธุ์ ได้แก่ N22 เป็นพันธุ์ข้าวทนร้อน (Jagadish et al., 2010; Kilasi et al., 2018) , IR64 เป็นพันธุ์ข้าวไม่ทนร้อน (Casartelli et al., 2018; Kilasi et al., 2018) , CN1, Dular, PSL2, PTT1, Riceberry, RD29, RD3, RD41, RD49, RD57, RD61, RD63 และ SPT1 โดยนำเมล็ดข้าวมาฆ่าเชื้อโดยแช่แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 นาที และล้างด้วยน้ำเปล่า 3 ครั้ง และนำเมล็ดข้าวมาแช่สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 15 นาที และล้างด้วยน้ำเปล่า 3 ครั้ง หลังจากนั้นนำเมล็ดข้าวแช่ในน้ำประปาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำเมล็ดข้าวมาเพาะบนกระดาษเพาะที่เปียกชุ่มน้ำจนกระทั่งรากงอกโผล่พ้นเมล็ดเป็นต้นกล้า ณ ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยา สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น แล้วย้ายปลูกต้นกล้าข้าวในโรงเรือนสภาพเปิด ณ หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยย้ายต้นกล้าข้าวลงกระถางจำนวน 1 ต้นต่อกระถาง ซึ่งกระถางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ที่บรรจุด้วยดินนาน้ำหนัก 8 กิโลกรัม งานทดลองนี้ทำการวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ

วิธีการให้อุณหภูมิสูงแก่ข้าวระยะกล้า

เมื่อข้าวพันธุ์รับรองระยะกล้าทั้ง 15 พันธุ์ มีอายุ 28 วันหลังเพาะ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 คือกลุ่มควบคุม ซึ่งให้อุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนแบบเปิด และกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มให้อุณหภูมิสูงซึ่งนำข้าวระยะดังกล่าวมาให้อุณหภูมิสูงในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (VRV. Corp.,Ltd, Thailand) โดยให้อุณหภูมิ, ความชื้น และความเข้มแสงดัง **Table 1** เป็นเวลา 7 วัน ซึ่งข้าวพันธุ์รับรองระยะกล้าได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงต่อวัน ที่เวลา 12.00-15.00 น. โดยกำหนดช่วงเวลาการให้อุณหภูมิและความชื้นจากข้อมูลทางสถิติสภาพภูมิอากาศจากหมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในช่วงเดือนมีนาคม - พฤษภาคม พ.ศ. 2559 และ 2560 ซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูงที่สุดในรอบปีดังกล่าว เมื่อครบ 7 วัน ทำการย้ายข้าวออกจากตู้ควบคุมอุณหภูมิและนำไปไว้ในโรงเรือนสภาพเปิดจนกระทั่งข้าวเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยวจึงทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดน้ำหนักแห้งทั้งหมดและน้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว เพื่อนำน้ำหนักแห้งมาหาการกระจายอาหารในส่วนต่างๆ ของข้าวพันธุ์รับรองทั้ง 15 พันธุ์

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่ปลูกข้าวภายใต้สภาพโรงเรือนแบบเปิดจากสถานีตรวจอากาศเกษตร หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ดัง **Figure 1A** และข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่ปลูกข้าวระยะกล้าอายุ 28 วันหลังเพาะ และนำมาให้อุณหภูมิสูงที่ 41°C เป็นเวลา 7 วัน ในตู้ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิอากาศยี่ห้อ Lutron รุ่น TM-1947SD (Lutron Electronic Enterprise Co.,LTD, Taiwan) และนำมาปลูกภายใต้สภาพโรงเรือนแบบเปิดเป็นข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศเกษตร ดัง **Figure 1B**

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 4: 809-822 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.74.

Table 1 The course of temperature, relative humidity and light intensity in controlled temperature chamber (VRV.Corp., Ltd, Thailand). High temperature set up at 41°C during 12.00-15.00 pm

Diurnal time	Temperature (°C)[1/]	Relative humidity (%)[1/]	Diurnal time	Light intensity (μmol $m^{-2}s^{-1}$)[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.	265
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
			18.00 pm.-6.00 am.	0

[1/]The data of temperature and relative humidity derived from meteostation in Agronomy field, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University between March and May 2016 and 2017.

[2/]The light intensity was measured from the light source incident to upper leaf at 5 cm.

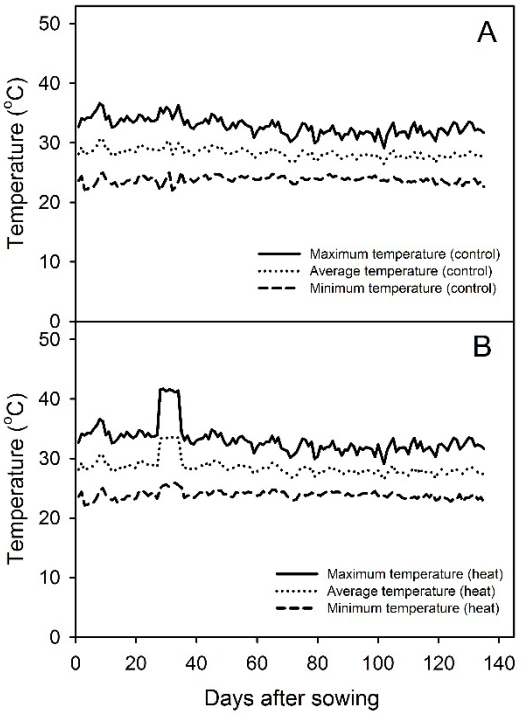

Figure 1 Changes in maximum, average and minimum temperatures under control (A) and high temperature (B) treated rice seedlings at 28 days after sowing up to harvesting stage

การเก็บข้อมูลการกระจายอาหาร

1) ถ่ายรูปกระถางต้นข้าวระยะกล้าอายุ 28 วันหลังเพาะของพันธุ์ข้าวทั้ง 15 พันธุ์ ก่อนได้รับอุณหภูมิสูง (วันที่ 0) และหลังได้รับอุณหภูมิสูง (วันที่ 7) เพื่อดูความแตกต่างของต้นข้าวระยะกล้าหลังให้อุณหภูมิ

2) นำกระถางต้นข้าวระยะกล้าหลังจากได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41°C เป็นระยะเวลา 7 วัน ไปไว้ในสภาพโรงเรือนเปิด เมื่อข้าวเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยวทำการเก็บตัวอย่างต้นข้าวโดยแยกเป็นส่วนราก, ลำต้น, ใบ และเมล็ด มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง เพื่อเก็บข้อมูลน้ำหนักแห้ง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ข้อมูลจากการทดลองนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ One-way Analysis of Variance (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยโปรแกรม SPSS for windows version 16 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มการทดลอง

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของอุณหภูมิสูงต่อรูปร่างลักษณะของต้นข้าวพันธุ์รับรองระยะกล้า

การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ มีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลต่อผลผลิตของข้าว ในการศึกษาทางสรีระวิทยาและการจัดการข้าวในแปลงโดยทั่วไป แบ่งระยะการเจริญเติบโตของข้าวออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative phase) ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ (Reproductive phase) และระยะการสร้างเมล็ดและระยะเมล็ดสุกแก่ (Grain formation and ripening phase) (Yoshida 1981; De Datta 1981; อรรควุฒิ, 2526; บุญหงษ์ 2557) ข้าวที่ได้รับอุณหภูมิที่สูงกว่า 35°C ในช่วงระยะสืบพันธุ์จะทำให้ผลิตข้าวลดลง

โดยเฉพาะเมื่อข้าวเข้าสู่ระยะออกดอก ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้เมล็ดข้าวลีบและผลผลิตลดลง นอกจากนี้ถ้าได้รับความเครียดจากอุณหภูมิในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ อาจทำให้ใบเหลืองและมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว ซึ่งนำไปสู่การให้ผลผลิตต่ำในพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอ (IRRI, 2018) ซึ่งจากการนำพันธุ์ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง 15 พันธุ์ ที่ระยะกล้าอายุ 28 วันหลังเพาะมาทดลอง โดยลักษณะรูปร่างของต้นข้าวทั้ง15 พันธุ์ก่อนการให้อุณหภูมิสูงพบว่า ต้นข้าวทั้ง 15 พันธุ์ ได้แก่ N22 (พันธุ์ทนร้อน), IR64 (พันธุ์ไม่ทนร้อน), CN1, Dular, PSL2, PTT1, Riceberry, RD29, RD3, RD41, RD49, RD57, RD61, RD63 และ SPT1 มีใบสีเขียว จำนวนใบอยู่ระหว่าง 5-8 ใบ รูปร่างของต้นข้าวตั้งตรง ไม่มีโรคและแมลงเข้าทำลาย ความสูงของต้นข้าวประมาณ 10-15 cm ดัง **Figure 2** และเมื่อทำการให้อุณหภูมิสูง (ที่ 41°C เป็นระยะเวลา 7 วัน) แก่ต้นข้าว แล้วนำไปปลูกไว้ในสภาพโรงเรือนเปิดเป็นเวลา 7 วันหลังให้อุณหภูมิ พบว่าต้นข้าวพันธุ์รับรอง มีการแตกหน่อใหม่ออกมาจากตาข้างของลำต้นเพิ่มขึ้นจำนวน 1-2 หน่อ และเมื่อเทียบกับข้าวพันธุ์ N22 (พันธุ์ทนร้อน) และพันธุ์ IR64 (พันธุ์ไม่ทนร้อน) ไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสูงที่ 41°C เป็นระยะเวลา 7 วัน ส่งผลกระตุ้นให้ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดี ทำให้เกิดใบใหม่เพิ่มขึ้น และเกิดการแตกกอเพิ่มขึ้น ดัง **Figure 2** แต่ถึงอย่างไรการเกิดใบใหม่และลักษณะการแตกกอในข้าวแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ข้าว (Yoshida, 1973) ซึ่งการเจริญเติบโตของข้าวในระยะกล้าจะอ่อนแอต่ออุณหภูมิสูง 35°C ในสัปดาห์แรกของการงอก (Krishnan et al., 2011) และอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับใบและการย่างปล้องจะอยู่ที่ 25-30°C (Sridevi and Chellamuthu, 2015) และเมื่อข้าวพันธุ์รับรองระยะกล้าที่ได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41°C เป็นระยะเวลา 7 วัน เข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยวพบว่าข้าวพันธุ์ RD29 และ N22 มีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงมากที่สุด (137 และ 131 ตามลำดับ; ไม่ได้แสดงข้อมูล) รองลงมาคือข้าวพันธุ์ SPT1 และ IR64 (125 และ 124 เมล็ด ตามลำดับ; ไม่ได้แสดงข้อมูล) และจำนวนเมล็ดดีต่อรวงน้อยที่สุดพบในข้าวพันธุ์ CN1 (68 เมล็ด) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าข้าวพันธุ์ RD29 และ N22 (พันธุ์ทนร้อน) ที่ระยะกล้าหลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41°C เป็นระยะเวลา 7 วัน มีจำนวนเมล็ดดีต่อรวงมากที่สุด

การวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ของการกระจายอาหารในข้าวพันธุ์รับรอง

การวิเคราะห์ปฏิกิริยาสัมพันธ์ของการกระจายอาหารในส่วนของใบ, ลำต้น, ราก และเมล็ดของพันธุ์ข้าวทั้ง 15 พันธุ์ วิเคราะห์ด้วยวิธี combine analysis of variance โดยแสดงเป็นค่า mean square ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.01 ซึ่งแสดงดัง **Table 2** พบว่าอุณหภูมิ (Temp) ส่งผลทำให้การกระจายอาหารไปยังส่วนของใบ, ลำต้น, ราก และเมล็ดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนพันธุ์ข้าว (G) ส่งผลทำให้การกระจายอาหารไปยังส่วนของใบ, ลำต้น, ราก และเมล็ดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติด้วยเช่นกัน และปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับพันธุ์ข้าว (Temp x G) มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าวในการตอบสนองต่ออุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในน้ำหนักแห้งของส่วนใบ, ลำต้น, ราก และเมล็ด

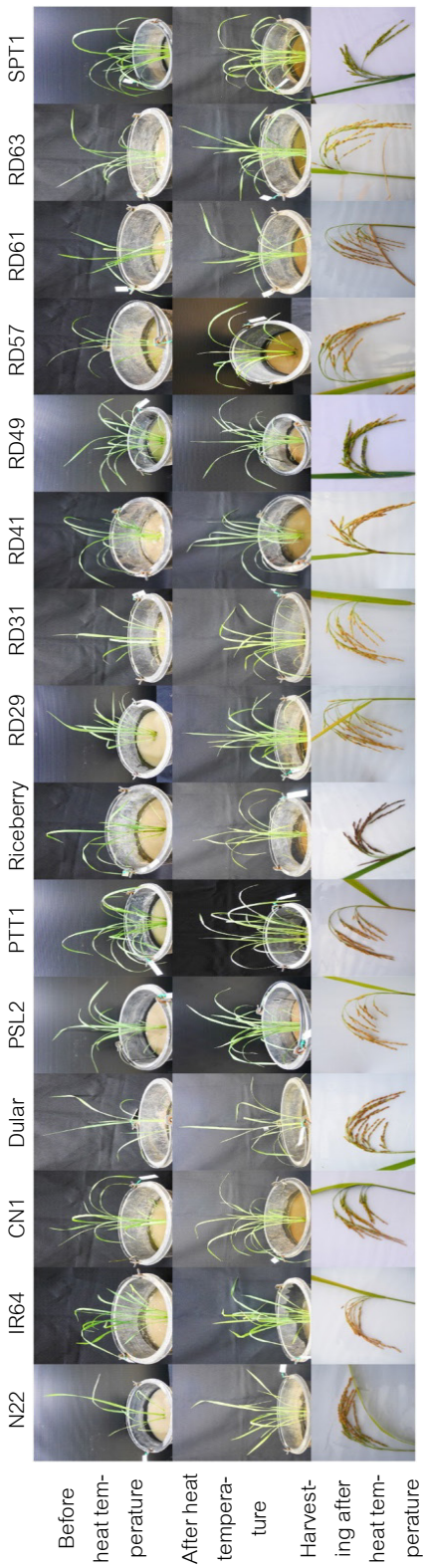

Figure 2 15-recomended rice cultivars were showed their morphology before and after heat treatment and at harvesting stage after heat treatment

Table 2 Analysis of variance of effects of temperature and genotype on total dry weight, leaf, stem, root and seed under heat temperature at 41°C at seedling stage

Sources	df[1/]	Total DW[2/]	DW of leaf	DW of stem	DW of root	DW of seed
Temperature (Temp)	1	28488.09**[3/]	1538.09**	3106.59**	722.63**	1867.66**
Genotype (G)	14	2045.37**	165.18**	582.93**	248.57**	176.74**
Temp * G	14	818.35**	54.76**	107.44**	31.96**	65.03**
Error		1596.99	3.14	12.89	7.48	11.73

[1/]df = degree of freedom; [2/]DW = dry weight; [3/]** = significant at $P < 0.01$

ผลของอุณหภูมิสูงต่อการกระจายอาหารในข้าวพันธุ์รับรอง

อุณหภูมิสูงส่งผลต่อการกระตุ้นการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ ดัชนีพื้นที่ใบ ความสูง และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ตามขนาดและคุณภาพของใบพืช (Brun, 1978) ซึ่งใบจัดเป็น source ทำหน้าที่ในการผลิตอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และส่งอาหารไปยัง sink ที่มีกระบวนการเมแทบอลิซึม ซึ่งถ้า source มีคุณภาพที่ดีก็จะส่งผลดีต่อผลผลิต แต่ถ้าพืชอยู่ภายใต้อิทธิพลที่ไม่เหมาะสมก็อาจทำให้ source ได้รับผลกระทบโดยส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (อโนมา, 2558) ดังนั้นเมื่อพืชได้รับสภาพอุณหภูมิสูงในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบแล้ว จึงมีผลกระทบต่อผลผลิตมากขึ้นด้วยเช่นกัน (นเรศ และคณะ 2553) จากการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิสูงต่อการกระจายอาหารของข้าว 15 พันธุ์ที่ระยะกล้า ดังแสดง **Table 3** ซึ่งพบว่าน้ำหนักแห้งรวมของใบ, ลำต้น, ราก และเมล็ดในข้าวทั้ง 15 พันธุ์ที่ได้รับอุณหภูมิในสภาพโรงเรือนเปิดมีค่าสูงกว่าหลังได้รับอุณหภูมิสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าน้ำหนักแห้งรวมของข้าวพันธุ์รับรองทั้ง 15 พันธุ์ที่ได้รับอุณหภูมิในสภาพโรงเรือนเปิด (131.30 กรัมต่อต้น) สูงกว่าหลังได้รับอุณหภูมิสูง (95.72 กรัมต่อต้น) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอุณหภูมิมีผลกระทบต่อน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน (รวง และ ฟางข้าว) โดยภายใต้อุณหภูมิสูงส่งผลให้น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินลดลง โดยเฉพาะพันธุ์ข้าวที่เข้าสู่ระยะแทงช่อดอกช้า เนื่องจากน้ำหนักแห้งที่เคลื่อนย้ายไปยังเมล็ดข้าวได้มาจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบหลังจากที่ข้าวเข้าสู่ระยะแทงช่อดอก (Thuy, 2018) และพบว่าน้ำหนักแห้งรวมของข้าวพันธุ์ IR64, Dular, PTT1 และ RD63 ที่ได้รับอุณหภูมิในสภาพโรงเรือนเปิดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวหลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าข้าวพันธุ์ดังกล่าวสามารถกระจายอาหารและสามารถสะสมอาหารในแหล่งรับอาหารในส่วนต่างๆ ของข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพถึงแม้จะได้รับอุณหภูมิสูง และบ่งชี้ได้ว่าข้าวพันธุ์เหล่านี้มีคุณลักษณะที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงที่ระยะกล้า ส่วนข้าวพันธุ์ N22, CN1, PSL2, Riceberry, RD29, RD31, RD41, RD49, RD57, RD61 และ SPT1 หลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียส ที่ระยะกล้า มีน้ำหนักแห้งรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด

การกระจายอาหารในส่วนต่างๆ ของข้าวอันได้แก่ ใบ ลำต้น ราก และเมล็ด ที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิดและหลังได้รับอุณหภูมิสูงในระยะกล้า ดังแสดง **Table 3** พบว่า ข้าวพันธุ์รับรองทั้ง 15 พันธุ์ที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด (18.50 กรัมต่อต้น) มีการกระจายอาหารไปยังส่วนใบสูงกว่าที่ได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียส (11.89 กรัมต่อต้น) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพันธุ์ข้าวที่มีการกระจายอาหารไปยังส่วนใบสูงสุดและต่ำสุดเมื่อได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด ได้แก่ ข้าว

พันธุ์ RD49 (30.08 กรัมต่อต้น) และ Dular (8.69 กรัมต่อต้น) ตามลำดับ และพันธุ์ข้าวที่มีการกระจายอาหารไปยังส่วนใบสูงสุดและต่ำสุดเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียส ได้แก่ ข้าวพันธุ์ RD63 (23.17 กรัมต่อต้น) และ RD41 (8.72 กรัมต่อต้น) ตามลำดับ และพบว่าการกระจายอาหารในส่วนใบของข้าวพันธุ์ N22, CN1, PSL2, PTT1, Riceberry, RD29, RD31, RD41,RD49, RD57, RD61 และ SPT1 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียสเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด โดยอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิวิกฤต เป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายต่อการพัฒนาและการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นอุณหภูมิสูงที่ทำให้เนื้อเยื่อของพืชได้รับความเสียหายประมาณ 50% จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (อโนมา, 2560) ส่งผลให้น้ำหนักแห้งใบลดลง ส่วนข้าวพันธุ์ IR64, Dular และ RD63 หลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียสที่ระยะกล้า มีการกระจายอาหารในส่วนใบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด และการกระจายอาหารไปยังส่วนลำต้นของข้าวทั้ง 15 พันธุ์ที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด (44.11 กรัมต่อต้น) สูงกว่าที่ได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียส (32.36 กรัมต่อต้น) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพันธุ์ข้าวที่มีการกระจายอาหารไปยังส่วนลำต้นสูงสุดและต่ำสุดเมื่อได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด ได้แก่ ข้าวพันธุ์ Riceberry (71.50 กรัมต่อต้น) และ RD61 (27.76 กรัมต่อต้น) ตามลำดับ และพันธุ์ข้าวที่มีการกระจายอาหารไปยังส่วนลำต้นสูงสุดและต่ำสุดเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียส ได้แก่ ข้าวพันธุ์ SPT1 (48.31 กรัมต่อต้น) และ RD61 (16.14 กรัมต่อต้น) ตามลำดับ และพบว่าการกระจายอาหารในส่วนลำต้นของข้าวพันธุ์ N22, CN1, Dular, PSL2, Riceberry, RD29, RD49, RD61 และ SPT1 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียสเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด ส่วนข้าวพันธุ์ IR64, PTT1, RD31, RD41, RD57 และ RD63 หลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียสที่ระยะกล้า มีการกระจายอาหารในส่วนลำต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด ซึ่งผลกระทบจากอุณหภูมิสูงในบางกรณีอาจจะกระตุ้นการเจริญเติบโตเนื่องจากไปเร่งกระบวนการดูดธาตุอาหารจึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางลำต้น แต่อาจส่งผลเสียต่อสมดุลพลังงานในเนื้อเยื่อ ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง และยังสามารถทำลายเซลล์เนื้อเยื่อของพืชที่เกิดจากภาวะเครียดจากอุณหภูมิ และการกระจายอาหารไปยังส่วนรากของข้าวทั้ง 15 พันธุ์ที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด (20.18 กรัมต่อต้น) สูงกว่าที่ได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียส (14.60 กรัมต่อต้น) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพันธุ์ข้าวที่มีการกระจายอาหารไปยังส่วนรากสูงสุดและต่ำสุดเมื่อได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด ได้แก่ ข้าวพันธุ์ CN1 (32.71 กรัมต่อต้น) และ RD61 (10.43 กรัมต่อต้น) ตามลำดับ และพันธุ์ข้าวที่มีการกระจายอาหารไปยังส่วนรากสูงสุดและต่ำสุดเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียส ได้แก่ ข้าวพันธุ์ SPT1 (27.27 กรัมต่อต้น) และ RD61 (16.14 กรัมต่อต้น) ตามลำดับ และพบว่าการกระจายอาหารในส่วนรากของข้าวพันธุ์ CN1, Dular, PSL2, Riceberry, RD29, RD31, RD49 และ RD61 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียสเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด ส่วนข้าวพันธุ์ N22, IR64, PTT1, RD31, RD41, RD57, RD63 และ SPT1 หลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียสที่ระยะกล้า มีการกระจายอาหารในส่วนรากไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด และการกระจายอาหารไปยังส่วนเมล็ดของข้าวทั้ง 15 พันธุ์ที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด (40.42 กรัมต่อต้น) สูงกว่าที่ได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียส (34.46 กรัมต่อต้น) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และพันธุ์ข้าวที่มีการกระจายอาหารไปยังส่วนเมล็ดสูงสุดและต่ำสุดเมื่อได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด ได้แก่ ข้าวพันธุ์ N22 (53.03 กรัมต่อต้น) และ PSL2 (30.92 กรัมต่อต้น) ตามลำดับ และพันธุ์ข้าวที่มีการกระจายอาหารไปยังส่วนเมล็ดสูงสุดและต่ำสุดเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียส ได้แก่ ข้าวพันธุ์ RD63 (42.79 กรัมต่อต้น) และ PSL2 (23.84 กรัมต่อต้น) ตามลำดับและพบว่าการกระจายอาหารในส่วนเมล็ดของข้าวพันธุ์

N22, IR64, Dular, PSL2, RD29, RD31, RD41, RD57, RD61 และ SPT1 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียสเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด ซึ่งน้ำหนักแห้งของรวงจะลดลงเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง (Thuy, 2018) และพันธุ์ข้าวที่ทนต่ออุณหภูมิอาจจะมีเมล็ดที่เล็ก (Nagaoka et al., 2012) ส่วนข้าวพันธุ์, CN1, PTT1, Riceberry, RD49 และ RD63 หลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41 องศาเซลเซียสที่ระยะกล้า มีการกระจายอาหารในส่วนเมล็ดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด จากการศึกษาของ ชลลดา (2545) ในพันธุ์ข้าวที่ไม่ไวแสง 2 พันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ RD23 และ SPR60 เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงที่ระยะการเจริญเติบโต 2 ระยะ (ระยะตั้งท้องและระยะดอกบาน) และระดับอุณหภูมิ 3 ระดับ (39-41, 42-44 และ 45-47°C) พบว่าข้าวทั้ง 2 พันธุ์เมื่อได้รับอุณหภูมิสูง (45-47°C) ในระยะตั้งท้องมีผลทำให้น้ำหนักแห้งต้นสูงกว่าข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูงในระยะดอกบาน และชี้นำให้เห็นว่าข้าวพันธุ์ CN1, PTT1, Riceberry, RD49 และ RD63 ที่ได้รับอุณหภูมิ 41°C ที่ระยะกล้าและได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนแบบเปิด มีการกระจายอาหารไปยังส่วนเมล็ดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลผลิตต่อต้นลดลงเป็นอย่างมากภายใต้ความเครียดจากความร้อนทั้งในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบและระยะตั้งท้อง เมื่อเปรียบเทียบกับที่อยู่ภายใต้สภาวะควบคุม และพบว่า N22 มีอัตราการสร้างเมล็ดเพิ่มขึ้นภายใต้ความเครียดจากความร้อนในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบมากกว่าระยะตั้งท้อง (Cheabu et al., 2018) ส่วนข้าวพันธุ์ PSL2, RD49 และ RD63 มีการกระจายอาหารไปยังเมล็ดเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงมากกว่าได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด และข้าวพันธุ์ CN1, Riceberry และ SPT1 มีการกระจายอาหารไปยังส่วนลำต้นมากกว่าการกระจายอาหารไปยังส่วนเมล็ดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิดและได้รับอุณหภูมิสูง ดังนั้นข้าวพันธุ์รับรองทั้ง 15 พันธุ์ที่ได้รับอุณหภูมิสูงในระยะกล้าจะได้รับผลกระทบโดยทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งทั้งต้นลดลง รวมถึงการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนต่างๆ ของข้าวลดลง แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิสูงที่กระทบในข้าวระยะกล้าส่งผลต่อในระยะยาวโดยทำให้การกระจายอาหารไปยังส่วนต่างๆ ของข้าวลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งอุณหภูมิที่สูงเกินไปส่งผลทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงของใบลดลง และส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งในส่วนของลำต้นและรากลดลง (Dubey et al., 2018) ดังแสดงให้เห็นได้จากการศึกษาของ Iloh et al. (2014) ที่พบว่าความสูงของลำต้นและความยาวของรากลดลงเมื่อได้รับอุณหภูมิที่ 50°C

Table 3 Partitioning in leaf, stem, root and seed of fifteen rice cultivars under heat temperature (41°C) at seedling stage. The values were mean ± SE, (n = 3-4)

Rice cultivars	Partitioning									
	Total dry weight (g/plant)		DW of leaf (g/plant)		DW of stem (g/plant)		DW of root (g/plant)		DW of seed (g/plant)	
	Control[1/]	41°C[1/]	Control[1/]	41°C[1/]	Control[1/]	41°C[1/]	Control[1/]	41°C[1/]	Control[1/]	41°C[1/]
N22[2/]	118.57±4.78^{Ac-f}	71.49±4.71^{Bef}	12.87±1.18^{Af}	8.84±0.95^{Be}	33.51±2.02^{Afgh}	23.94±1.69^{Befg}	14.23±0.56^{Ade}	10.96±1.54^{Ae-h}	53.03±1.09^{Aa}	36.62±0.69^{Bab}
IR64[2/]	92.65±0.44^{Ag}	87.27±6.85^{Ac-f}	15.40±0.41^{Af}	13.90±1.28^{Ab-e}	30.27±0.51^{Ah}	27.85±2.20^{Ad-g}	11.04±0.16^{Ae}	10.46±0.28^{Afgh}	38.15±1.17^{Ade}	26.20±1.71^{Bcd}
CN1	151.10±6.24^{Aab}	107.94±2.27^{Babc}	27.02±1.29^{Aabc}	16.44±1.15^{Bbc}	46.94±1.52^{Acd}	37.20±1.46^{Ba-d}	32.71±1.04^{Aa}	21.82±1.36^{Bb}	39.87±1.89^{Acde}	33.70±5.38^{Aabc}
Dular	106.67±3.56^{Afg}	85.79±7.49^{Ac-f}	8.69±0.40^{Ag}	8.82±1.15^{Ae}	32.11±1.76^{Agh}	20.65±3.53^{Bfg}	20.48±2.48^{Ac}	12.33±2.06^{Bd-h}	46.11±1.45^{Abc}	36.39±0.61^{Bab}
PSL2	111.55±2.62^{Aefg}	67.29±0.21^{Bf}	21.41±0.61^{Ae}	9.14±0.82^{Bde}	40.28±1.26^{Ad-g}	25.17±1.63^{Bd-g}	17.16±0.64^{Acd}	11.69±0.64^{Bd-h}	30.92±0.40^{Af}	23.84±1.63^{Bd}
PTT1	137.83±5.14^{Abc}	119.18±4.38^{Aab}	25.45±0.62^{Abcd}	18.85±2.07^{Bab}	48.03±1.26^{Acd}	40.88±2.53^{Aabc}	19.86±0.64^{Ac}	15.77±1.58^{Ac-f}	47.97±0.40^{Aab}	41.73±1.99^{Aa}
Riceberry	167.61±2.36^{Aa}	98.84±4.93^{Bbcd}	29.34±0.41^{Aa}	12.42±0.76^{Bcde}	71.50±0.56^{Aa}	41.61±2.45^{Babc}	29.91±1.37^{Aab}	17.16±1.84^{Bbcd}	35.57±0.27^{Aef}	31.48±1.48^{Abcd}
RD29	160.22±6.47^{Aa}	79.98±13.78^{Bdef}	22.57±1.53^{Ade}	11.14±0.65^{Bbcd}	47.92±2.72^{Acd}	26.89±6.13^{Bd-g}	32.60±1.00^{Aa}	16.59±2.13^{Bb-e}	48.85±1.76^{Aab}	36.92±3.39^{Bab}
RD31	134.24±3.41^{Abcd}	109.84±5.08^{Babc}	24.35±1.42^{Acde}	12.82±1.54^{Bcde}	45.83±4.08^{Acd}	32.89±4.80^{Ab-f}	16.65±0.64^{Acd}	12.72±1.09^{Bd-h}	50.99±1.01^{Aa}	37.53±0.61^{Bab}
RD41	109.10±4.24^{Afg}	80.61±5.26^{Bdef}	15.88±0.61^{Af}	8.72±0.16^{Be}	35.04±2.41^{Ae-h}	33.87±1.54^{Ab-e}	11.16±0.52^{Ae}	9.10±0.87^{Agh}	46.35±0.60^{Aabc}	33.18±1.68^{Ba-d}
RD49	163.15±2.58^{Aa}	96.34±1.57^{Bb-e}	30.08±0.91^{Aa}	11.14±0.69^{Bcde}	54.27±4.21^{Abc}	29.96±0.84^{Bc-f}	26.80±1.30^{Ab}	19.94±1.02^{Bbc}	38.48±2.20^{Ade}	38.05±0.31^{Aab}
RD57	130.18±9.64^{Acde}	102.20±5.10^{Bbcd}	21.73±1.42^{Ae}	12.34±0.39^{Bcde}	41.87±3.97^{Adef}	35.35±2.34^{Ab-e}	19.09±0.90^{Ac}	14.30±0.88^{Ad-g}	51.03±3.55^{Aa}	36.07±0.35^{Bab}
RD61	110.31±5.52^{Aefg}	77.12±5.18^{Bdef}	13.13±0.58^{Af}	9.59±1.61^{Bde}	27.76±0.19^{Ah}	16.14±2.31^{Bg}	10.43±0.42^{Ae}	7.28±0.22^{Bh}	51.40±3.24^{Aa}	39.07±0.75^{Bab}
RD63	117.36±3.34^{Adef}	121.84±9.64^{Aab}	24.60±0.52^{Ab-e}	23.17±1.94^{Aa}	43.92±1.28^{Ade}	44.65±2.36^{Aab}	13.43±0.85^{Ade}	11.55±1.37^{Ad-h}	34.67±1.63^{Aef}	42.79±4.31^{Aa}
SPT1	159.03±2.40^{Aa}	130.09±3.13^{Ba}	28.04±0.80^{Aab}	19.84±0.67^{Bab}	62.36±0.31^{Ab}	48.31±1.76^{Ba}	27.71±0.27^{Ab}	27.27±0.34^{Aa}	43.61±0.26^{Abcd}	29.41±1.50^{Bbcd}
Mean	131.30	95.72	18.50	11.89	44.11	32.36	20.18	14.60	40.42	34.46
F-test	**[3/]	**	**	**	**	**	**	**	**	**

[1/]The different capital letters indicated significantly different between control and temperature 41°C by DMRT at $P < 0.01$

[1/]The different small letters indicated significantly different by DMRT at $P < 0.01$

[2/]N22 is heat tolerance rice cultivar and IR64 is heat sensitive rice cultivar. [3/]** = significant at $P < 0.01$

สรุป

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าข้าวพันธุ์รับรอง 15 พันธุ์ หลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41°C ที่ระยะกล้ามีน้ำหนักแห้งรวมและการกระจายอาหารไปยังส่วนใบ, ลำต้น, ราก และเมล็ดลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบที่ได้รับอุณหภูมิในสภาพโรงเรือนเปิด แต่เมื่อพิจารณาในข้าวแต่ละพันธุ์พบว่า ข้าวพันธุ์ IR64, Dular, PTT1 และ RD63 หลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41°C ที่ระยะกล้ามีน้ำหนักแห้งรวมมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่ได้รับอุณหภูมิในสภาพโรงเรือนเปิด ส่วนข้าวพันธุ์ N22, CN1, PSL2, Riceberry, RD29, RD31, RD41, RD49, RD57, RD61 และ SPT1 มีน้ำหนักแห้งรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด ส่วนข้าวพันธุ์ IR64 และ RD63 หลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41°C ที่ระยะกล้ามีการกระจายอาหารไปยังส่วนใบ ลำต้น ราก และเมล็ดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่ได้รับอุณหภูมิในสภาพโรงเรือนเปิด ส่วนข้าวพันธุ์ PSL2 และ RD29 หลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41°C ที่ระยะกล้ามีการกระจายอาหารไปยังส่วนใบ ลำต้น ราก และเมล็ดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับข้าวที่ได้รับอุณหภูมิตามสภาพโรงเรือนเปิด นอกจากนี้พบว่าข้าวพันธุ์ N22, IR64, Dular, PTT1, RD29, RD31, RD41, RD57 และ RD61 หลังได้รับอุณหภูมิสูงที่ 41°C ที่ระยะกล้ามีการกระจายอาหารไปยังส่วนเมล็ดมากที่สุดที่ระยะสุกแก่

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้ โครงการ “การตอบสนองของอุณหภูมิสูงต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การกระจายอาหารและชีพลักษณ์ในข้าวพันธุ์รับรอง” รหัสโครงการวิจัย “61004702” ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย ประเภทอุดหนุนทั่วไปประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 และกลุ่มวิจัย “ข้าวทนเค็ม” และสาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เอื้ออำนวยอุปกรณ์ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ และสถานที่ในการทำงานทดลองในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2560. การคาดหมายอุณหภูมิโลกในอนาคต. แหล่งข้อมูลhttp://climate.tmd.go.th/content/file/11.ค้นเมื่อ 12 เมษายน 2559.

ชลลดา ถาคำมี. 2545. อิทธิพลของอุณหภูมิสูงในระยะตั้งท้องและผสมเกสรต่อการผสมเกสรและองค์ประกอบผลผลิตของข้าวนาปรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

นเรศ ขำเจริญ, โอรส รักชาติ และ กณิตา ธนเจริญชณภาส 2553. ผลของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงระหว่างระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ กันที่มีต่อถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60. ใน: ประชุมวิชาการครั้งที่ 48 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3-5 กุมภาพันธ์ 2553. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญหงษ์ จงคิด. 2557. ข้าวและเทคโนโลยีการผลิต. ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ดี, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2562. แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/assets/portals/1/files/jounal/2562/agri_situation2562.pdf. ค้นเมื่อ 19 พฤษภาคม 2562.

อโนมา ดงแสนสุข. 2558. Source และ Sink. เอกสารประกอบการเรียนวิชา 134441 นิเวศวิทยาและสรีรวิทยาพืชไร่ สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อโนมา ดงแสนสุข. 2560. การตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชต่อสภาพแวดล้อม. ขอนแก่น, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น. 2526. เรื่องของข้าว. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Brun, W. A. A., 1978. In: A. G Normal. (ed). Soybean physiology, agronomy, and utilization. New York: Academic Press. 45-76.

Casartelli, A., D. Riewe, H. M. Hubberten, T. Altmann, R. Hoefgen, and S. Heuer. 2018. Exploring traditional aus-type rice for metabolites conferring drought tolerance. Rice. 11: 1-16.

Cheabu, S., P. M. ngam, S. Arikit, A. Vanavichit, and C. Malumpong. 2018. Effects of heat stress at vegetative and reproductive stages on spikelet fertility. Rice Science. 25: 218-226.

De Datta, S. K. 1981. Principles and practices of rice production. The International Rice Research Institute. 155-161.

Dongsansuk, A., P. Theerakulpisut, and P. Pongdontri. 2017. Short-term heat exposure effect on psii efficiency and growth of rice (*Oryza sativa* L.). Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science 40: 621-628.

Dubey, A. N., S. Verma, S. P. Goswami, and A. K. Devedee. 2018. Effect of temperature on different growth stages and physiological process of rice crop a review. Bulletin of Environment Pharmacology and Life Sciences. 7: 129-136.

Guo-hua, L. Ü., W. U. Yong-feng, B. A. I. Wenbo, M. A. Bao, W. A. N. G. Chun-yan, and S. O. N. G. Ji-qing. 2013. Influence of high temperature stress on net photosynthesis, dry matter partitioning and rice grain yield at flowering and grain filling stages. Journal of Integrative Agriculture. 12: 603-609.

Ilon, A. C., G. Omatta, G. H. Ogbadu, and P. C. Onyenekwe. 2014. Effects of elevated temperature on seed germination and seedling growth on three cereal crops in Nigeria. Scientific Research and Essays. 9: 806-813.

IRRI. 2018. Climate change - ready rice. Available: http://irri.org/our-work/research/better-rice-varieties/climate-change-ready-rice. Accessed Nov. 22, 2019.

Jagadish, S. V. K., R. Muthurajan, R. Oane, R. T. Wheeler, S. Heuer, J. Bennett, and P. Q. Craufurd. 2010. Physiological and proteomic approaches to address heat tolerance during anthesis in rice. Journal of Experimental Botany. 61: 143-156.

Kilasi, N. L, J. Singh, C. E. Vallejos, C. Ye, S. V. K. Jagadish, P. Kusolwa, and B. Rathinasabapathi. 2018. Heat stress tolerance in rice (*Oryza sativa* L.): Identification of quantitative trait loci and candidate genes for seedling growth under heat stress. Plant Science. 9: 1-11.

Krishnan, P., B. Ramakrishnan, K. Raja Reddy, and V. R. Reddy. 2011. High-temperature effects on rice growth, yield, and grain quality. In: L. Donald Sparks, editor: Advances in Agronomy. 111: 87-206.

Nagaoka, I., H. Sasahara, A. Shigemune, A. Goto, and K. Miura. 2012 The Effect of high-temperature stress applied to the root on grain quality of rice. Plant Production Science. 15: 274-277.

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.

Shi, P., L. Tang, C. Lin, L. Liu, H. Wang, W. Cao, and Y. Zhu. 2015. Modeling the effects of post-anthesis heat stress on rice phenology. Field Crops Research. 177: 26-36.

Sridevi, V., and V. Chellamuthu. 2015. Impact

of weather on rice – A review. International Journal of Applied Research. 9: 825-831.

Thuy, T L. 2018. Effect of shading and high temperature on dry-matter production, yield and grain appearance quality of vietnamese rice cultivars (*Oryza sativa* L.) in paddy field. Dissertation the graduated School of Environmental and Life Science. Okayama University.

Venkatramanan, V., and S. D. Singh. 2009. Effects of day and night temperature on growth of rice crop. Pusa Agricultural Science. 32: 57-62.

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

Yoshida, S., T. Satake, and D. S. Mackill. 1981. High temperature stress in rice (study conducted at IRRI, Philippines). IRRI Research Paper Series, Philippines. 67: 1-15.