การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องหมายโมเลกุลที่ใช้ในการคัดเลือกลักษณะทนร้อนในประชากรข้าวหอมที่พัฒนาขึ้นใหม่

Validation of a Molecular Marker for Heat Tolerance Selection in Improved Aromatic Rice (*Oryza sativa* L.)

ธัญลักษณ์ จำปา[1] โจนาลิซ่า แอล เซี่ยงหลิว[2] ชเนษฎ์ ม้าลำพอง[1] และ วัชรีวรรณ แจ่มบุญศรี[2*]

Thanyalak Jampa[1], Jonaliza L. Siangliw[2], Chanate Malumpong[1] and Watchareewan Jamboonsri[2]

Received: October 26, 2022
Revised: November 17, 2022
Accepted: November 18, 2022

Abstract: The validation of a molecular marker for heat tolerance selection was conducted in 13 BC_2F_3 rice lines derived from a backcrossing between the aromatic recipient parent 'RGD13215-MS13-MS19-10-4-MS26' (RGD) and the well-known heat tolerance donor 'Nagina-22' (N22). The experiments were carried out under greenhouse condition at 30-52 °C and natural field condition at 22-37 °C. At the reproductive stage, three developing panicles/plant/replication were tagged when the length between the flag leaf and the second leaf was 5 cm. The same panicles were counted for seed set after harvesting. We used spikelet fertility (SF) as the heat-tolerant index in this study. The results showed that the SF of the seven introgression lines with N22 allele at the targeted locus were significantly higher than that of the six lines with RGD allele in both conditions. This suggested that the newly developed marker was effective and trustable for heat tolerance selection from N22 in this background. The marker will be validated in other populations with different backgrounds and in germplasm accessions for its potential in application in broader germplasm.

Keywords: Rice, Heat tolerance, Breeding, Spikelet fertility, Molecular marker

บทคัดย่อ: การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องหมายโมเลกุลที่ใช้ในการคัดเลือกลักษณะทนร้อนได้รับการประเมินในประชากร BC_2F_3 จำนวน 13 สายพันธุ์ ที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์แบบผสมกลับโดยใช้ข้าวเจ้าหอม RGD13215-MS13-MS19-10-4-MS26 (RGD) เป็นสายพันธุ์รับและข้าวพันธุ์ Nagina-22 (N22) เป็นพันธุ์ให้ลักษณะทนร้อน การทดลองนี้ประเมินทั้งภายใต้สภาพโรงเรือนที่อุณหภูมิ 30-52 องศาเซลเซียส และสภาพแปลงที่อุณหภูมิ 22-37 องศาเซลเซียส ในระยะเจริญพันธุ์รวงจะได้รับการติดฉลากเมื่อใบธงอยู่ห่างจากใบถัดไประยะ 5 เซนติเมตร

[1] ภาควิชาพืชไร่นา, คณะเกษตร กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม 73140
Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

[2] กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพพืชและการจัดการแบบบูรณาการ, ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค), สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) จ.ปทุมธานี 12120
Integrative Crop Biotechnology and Management Research Group, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC), National Science and Development Agency (NSTDA), Pathum Thani 12120,Thailand.
*Corresponding author: watchareewan@biotec.or.th

จำนวน 3 รวง/ต้น/ซ้ำ นับการติดเมล็ดในทุกรวงหลังการเก็บเกี่ยว โดยใช้ความสามารถในการติดเมล็ดเป็นดัชนีความทนร้อน พบว่า สายพันธุ์ที่มีอัลลีลแบบเดียวกับ N22 ในตำแหน่งเป้าหมาย จำนวน 7 สายพันธุ์ มีความสามารถติดเมล็ดสูงกว่าสายพันธุ์ที่มีอัลลีลแบบ RGD จำนวน 6 สายพันธุ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในสภาพโรงเรือนและสภาพแปลง แสดงให้เห็นว่าเครื่องหมายโมเลกุลที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการใช้คัดเลือกลักษณะการติดเมล็ดภายใต้อุณหภูมิสูงในฐานพันธุกรรมข้าว RGD เครื่องหมายโมเลกุลนี้จะได้รับการทดสอบประสิทธิภาพในประชากรอื่นๆ ที่มีฐานพันธุกรรมแตกต่างกันและในเชื้อพันธุกรรมอื่นๆ เพื่อให้เห็นศักยภาพในการนำไปใช้ในวงกว้างขึ้น

คำสำคัญ: ข้าว, ทนร้อน, ปรับปรุงพันธุ์, การติดเมล็ด, เครื่องหมายโมเลกุล

คำนำ

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชอาหารหลักและทวีปเอเชียนับเป็นแหล่งผลิตข้าวที่สำคัญของโลก โดยในปีค.ศ. 2017 สามารถผลิตข้าวคิดเป็น 90% จากผลผลิตทั่วโลก (FAOSTAT, 2017) จาก The IPCC 4th Assessment Report (2007) กล่าวว่าปัญหาสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลกระทบอย่างมากต่อผลผลิตข้าว โดยอุณหภูมิทั่วไปของโลกมีการเพิ่มขึ้นประมาณ 1.1 ถึง 6.4 องศาเซลเซียสในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา (IPCC, 2012) อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของผลผลิตข้าวในพื้นที่การเกษตรของทวีปเอเชีย (Catherine *et al*., 2012) โดยส่งผลกระทบอย่างรุนแรงในช่วงของระยะเจริญพันธุ์ โดยในระยะดอกบาน (flowering stage) เป็นระยะที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด (Osada *et al*., 1973; Satake and Yoshida, 1978) มีอุณหภูมิวิกฤติเริ่มที่ 33 องศาเซลเซียส (Jagadish *et al*., 2007) โดยข้าวจะมีผลผลิตลดลง 10% เมื่อค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก 1 องศาเซลเซียส (Asian Development Bank, 2009)

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวทนร้อนในอดีตใช้การปรับปรุงพันธุ์แบบมาตรฐานสำหรับพัฒนาพันธุ์ข้าวทนร้อน และใช้การประเมินลักษณะการติดเมล็ดเพื่อคัดเลือกพันธุ์ทนร้อนในการพัฒนาพันธุ์ (Prasad *et al*., 2006) ต่อมาได้มีการศึกษา Quantitative trait loci (QTL) ของลักษณะทนร้อนเพิ่มขึ้น และมีการระบุตำแหน่งยีนที่คาดว่ามีความเกี่ยวข้องกับลักษณะทนร้อนหลายบริเวณ พบว่า ลักษณะทนร้อนของข้าวเป็นลักษณะเชิงปริมาณ ถูกควบคุมด้วยยีนหลายตำแหน่ง ซึ่งตำแหน่ง QTL ที่พบยังคงมีข้อจำกัดจากความแปรปรวนเนื่องจากสภาพแวดล้อมและพันธุกรรม ในปี 2010 ได้มีการนำ Single nucleotide polymorphism (SNP) มาช่วยในการทำ QTL ที่ระยะดอกบานของคู่ผสมระหว่างข้าวพันธุ์ IR64 และพันธุ์ N22 ซึ่งพบว่าสายพันธุ์ที่มีความทนร้อนสูงนั้นสามารถระบุอัลลีลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทนร้อนได้บนโครโมโซมที่ 4 เป็นอัลลีลที่ได้จาก Nagina 22 (N22) ซึ่งเป็นพันธุ์ทนร้อน และบนโครโมโซมที่ 1 เป็นอัลลีลที่ได้จาก IR64 (Ye *et al*., 2012) ต่อมาได้มีการศึกษา Genome-wide association study (GWAS) ที่ระยะดอกบานในข้าวจำนวน 167 พันธุ์ พบยีนที่คาดว่าเกี่ยวข้องบนโครโมโซมที่ 1 และ 4 คือ qHTSF1.1 (30,476,158 bp) และ qHTSF4.1 (17,876,533 bp) ตามลำดับ (Lafarge *et al*., 2017) จากองค์ความรู้ดังกล่าวนำไปสู่การพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลที่จำเพาะกับยีน qHTSF1.1 และ qHTSF4.1 เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการคัดเลือกลักษณะการติดเมล็ดภายใต้อุณหภูมิสูงของประชากรข้าวที่ได้รับลักษณะพันธุกรรมทนร้อนจาก N22 ด้วยความร่วมมือกันระหว่างประเทศของโครงการ SEA-EU-NET Project โดย The French Agricultural Research Centre for International Development (CIRAD, ประเทศฝรั่งเศส) ได้พัฒนาเครื่องหมายโมเลกุล Ht4.2 ที่ใช้ในการคัดเลือกลักษณะทนร้อนบนยีน qHTSF4.1 ใช้สำหรับตรวจตำแหน่งบนโครโมโซมที่ 4 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพ

ของเครื่องหมายโมเลกุลดังกล่าวในการคัดเลือกประชากรลูกผสมระหว่างพันธุ์รับ (recipient parent) ข้าวเจ้าหอมสายพันธุ์ RGD13215-MS13-MS19-10-4-MS26 (RGD) กับพันธุ์ให้ (donor parent) Nagina-22 (N22) ที่มีความสามารถติดเมล็ดที่อุณหภูมิสูง เพื่อพัฒนาข้าวเจ้าหอมสายพันธุ์ใหม่ให้มีศักยภาพในการติดเมล็ดภายใต้สภาพอากาศร้อน และประเมินลักษณะการติดเมล็ดภายใต้อุณหภูมิสูง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องหมายโมเลกุลที่ใช้ในการคัดเลือกลักษณะทนร้อน

อุปกรณ์และวิธีการ

สายพันธุ์ข้าวที่ใช้ทดสอบ

ประชากร BC_2F_3 จำนวน 13 สายพันธุ์ ที่ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่าง N22 เป็นพันธุ์ให้กับ สายพันธุ์ RGD เป็นพันธุ์รับ โดย N22 มีความสามารถติดเมล็ดในอุณหภูมิสูง เป็นข้าวกลุ่ม aus-type rice มีลักษณะรากลึก ลำต้นสูง และเมล็ดสั้น RGD มีลักษณะทนน้ำท่วมฉับพลัน (ยีน *sub1C*) ต้านทานโรคไหม้ (ยีน *Pikm2*) โรคขอบใบแห้ง (ยีน *xa5, Xa21* และ *xa33*) และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (ยีน *Bph32*) ได้รับการพัฒนาจากหน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว (RGDU) มีฐานพันธุกรรมจากข้าวพันธุ์ IR57514 และใช้พันธุ์สินเหล็กเป็นพันธุ์อ่อนแอต่ออุณหภูมิสูง

สถานที่ทดลอง คือ โรงเรือนควบคุมอุณหภูมิและแปลงนา ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน

การพัฒนาประชากร

ประชากร BC_2F_3 ได้รับการพัฒนาจากแผนการผสมพันธุ์แบบผสมกลับร่วมกับการคัดเลือกด้วยเครื่องหมายโมเลกุล (Figure 1) โดยมีการคัดเลือกในประชากร BC_1F_1, BC_2F_1 และ BC_2F_2 ตรวจสอบลักษณะพันธุกรรมจากการสกัดดีเอนเอของตัวอย่างใบข้าวโดยใช้ชุดสำเร็จสำหรับสกัดดีเอ็นเอ (Magnetic beads, กลุ่มวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพพืชและการจัดการแบบบูรณาการ) เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอในตำแหน่งเป้าหมายด้วยเทคนิค PCR ด้วยเทคโนโลยี KASP™ (Kompettitive Allele Specific PCR, LGC Biosearch Technologies) และ TaqMan™ (Applied Biosystems™) และอ่านผลลักษณะพันธุกรรมด้วยเครื่อง QuanStudio 12K flex (Applied Biosystems™) เครื่องหมายโมเลกุลที่ใช้ในการคัดเลือกลักษณะทนร้อนเป็นแบบ SNP คือ Ht4.2 ใช้สำหรับตรวจตำแหน่งบนโครโมโซมที่ 4 ได้รับการพัฒนาขึ้นภายใต้ความร่วมมือกันระหว่างประเทศของโครงการ SEA-EU-NET Project โดย The French Agricultural Research Centre for International Development (CIRAD, ประเทศฝรั่งเศส)

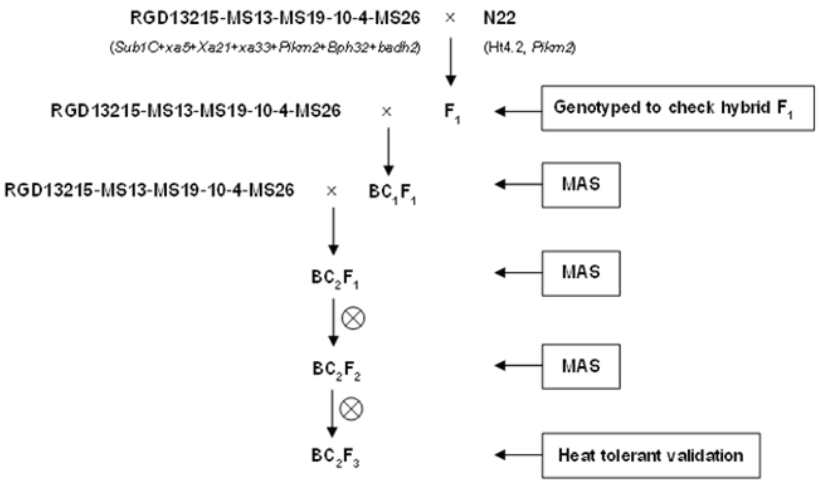

Figure 1 Breeding scheme to develop germplasm of RGD13215-MS13-MS19-10-4-MS26.

Agricultural Science and Management J. 6 (2) : 24-32 (2023)

การประเมินความทนร้อน

การประเมินความทนร้อนใช้ประชากร BC_2F_3 ที่ได้รับการคัดเลือกไว้จำนวน 13 สายพันธุ์ แบ่งเป็นสายพันธุ์ที่ได้รับตำแหน่งทนร้อนจาก N22 (N22 allele) จำนวน 7 สายพันธุ์ และสายพันธุ์ที่มีอัลลีลเหมือน RGD (RGD allele) จำนวน 6 สายพันธุ์ (Table 1) โดยทั้ง 13 สายพันธุ์ ได้รับการคัดเลือกด้วยเครื่องหมายโมเลกุล *Sub1C*, *xa5*, *Xa21*, *xa33*, *Pikm2*, *Bph32* และ *badh2* ที่ให้มีลักษณะเหมือนสายพันธุ์ RGD

Table 1 The genotype of BC_2F_3 introgression lines and parents at Ht4.2

Line/Variety	SNP at Ht4.2	Allele type
RGD13215-MS13-MS19-10-4-MS26 (Recipient)	T/T	RGD
N22 (Donor)	C/C	N22
RGD20004-MS1-MS199	C/C	N22
RGD20004-MS1-MS251	C/C	N22
RGD20004-MS1-MS252	C/C	N22
RGD20004-MS3-MS140	C/C	N22
RGD20004-MS14-MS242	C/C	N22
RGD20004-MS38-MS176	C/C	N22
RGD20004-MS38-MS178	C/C	N22
RGD20004-MS3-MS207	T/T	RGD
RGD20004-MS3-MS222	T/T	RGD
RGD20004-MS14-MS235	T/T	RGD
RGD20004-MS38-MS174	T/T	RGD
RGD20004-MS38-MS185	T/T	RGD
RGD20004-MS38-MS211	T/T	RGD

การประเมินความทนร้อนในสภาพโรงเรือน ในต้นข้าวระยะตั้งท้อง โดยย้ายกระถางเข้าโรงเรือน เมื่อข้าวมีระยะการตั้งท้องวัดความยาวจากใบธงถึงใบถัดไปได้ 5 เซนติเมตร จดบันทึกวันข้าวตั้งท้องและผูกป้ายติดตามรวงจำนวน 3 รวงต่อต้น บันทึกข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นด้วยเครื่อง WatchDog ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จำนวน 6 ซ้ำ เปรียบเทียบกับสายพันธุ์ RGD ที่เป็นพันธุ์รับ พันธุ์ N22 ใช้เป็นพันธุ์ทนมาตรฐาน และพันธุ์สินเหล็กใช้เป็นพันธุ์อ่อนแอมาตรฐาน

การประเมินความทนร้อนในสภาพแปลง ในต้นข้าวระยะตั้งท้อง โดยการติดตามรวงข้าวและเก็บบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นด้วยวิธีเดียวกับการทดลองในโรงเรือน ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบลอคสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ใช้พันธุ์ตรวจสอบเช่นเดียวกับในสภาพโรงเรือน

เก็บข้อมูลร้อยละการติดเมล็ดที่ระยะเก็บเกี่ยวจากรวงที่มีการติดตามรวงจำนวน 3 รวงต่อต้น และนับจำนวนเมล็ดดี-ลีบ จากนั้นคำนวณร้อยละการติดเมล็ดเพื่อใช้เป็นดัชนีในการประเมินความทนร้อนจากสูตร

$$\text{ร้อยละการติดเมล็ด} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดดี}}{(\text{จำนวนเมล็ดดี} + \text{จำนวนเมล็ดลีบ})} \times 100$$

ข้อมูลได้รับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม R stat (version 4.1.0) ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดลองและวิจารณ์

การประเมินความทนร้อนในสภาพโรงเรือน

การประเมินความทนร้อนในโรงเรือนถูกดำเนินการในช่วงเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม 2565 โดยข้าวเริ่มตั้งท้องตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเมษายน ในช่วงข้าวตั้งท้องมีอุณหภูมิ 30-52 ของเครื่องหมายโมเลกุลดังกล่าวในการคัดเลือก(Figure 2A) ช่วงกลางวันมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิระหว่างวันสูงกว่า 35 ของเครื่องหมายโมเลกุลดังกล่าวในการคัดเลือก ในช่วงเวลา 10.00 น. และเริ่มลดลงหลังจาก 16.00 น. นับเป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน (Figure 2B)

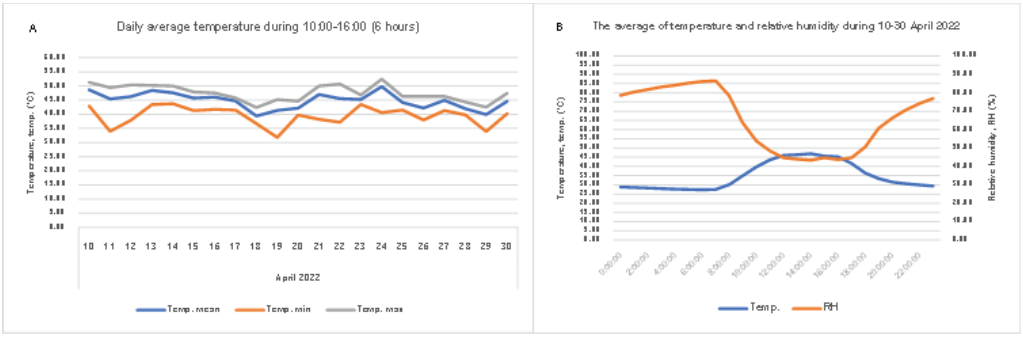

Figure 2 Greenhouse condition during the experiment: (A) Minimum, mean and maximum temperature during 10:00-16:00 hr. (B) Hourly temperature and relative humidity.

จากการประเมินความทนร้อนภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงในสภาพโรงเรือน (Figure 3) พบว่า N22 มีร้อยละการติดเมล็ดสูงที่สุด โดยพันธุ์สินเหล็กที่เป็นพันธุ์ตรวจสอบความอ่อนแอ มีร้อยละการติดเมล็ดน้อยที่สุด ในประชากร BC_2F_3 13 สายพันธุ์ พบว่ากลุ่ม N22 allele จำนวน 7 สายพันธุ์ มีค่าเฉลี่ยร้อยละการติดเมล็ดสูงกว่ากลุ่ม RGD allele จำนวน 6 สายพันธุ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่ม N22 allele มีค่าการติดเมล็ดสูงกว่าสายพันธุ์แม่ (RGD) 34% และน้อยกว่า N22 34% โดยกลุ่ม N22 allele มีร้อยละการติดเมล็ดอยู่ในช่วง 33-51%

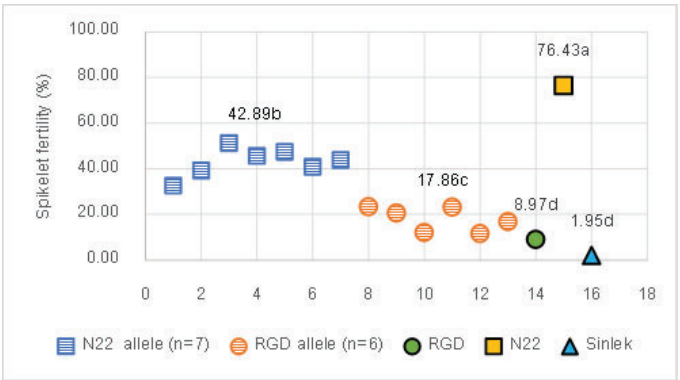

Figure 3 The spikelet fertility of introgression lines and check varieties in greenhouse condition.

การประเมินความทนร้อนในสภาพแปลง

การประเมินความทนร้อนในสภาพแปลงถูกดำเนินการช่วงเดียวกับในโรงเรือน โดยข้าวเริ่มตั้งท้องตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเมษายน ในช่วงข้าวตั้งท้องมีอุณหภูมิ 22-37 °C (Figure 4A) ในช่วงกลางวันค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นช่วง 8.00 น. และสูงที่สุดช่วง 16.00 น. จากนั้นจึงเริ่มลดลงในเวลา 18.00 น. (Figure 4B)

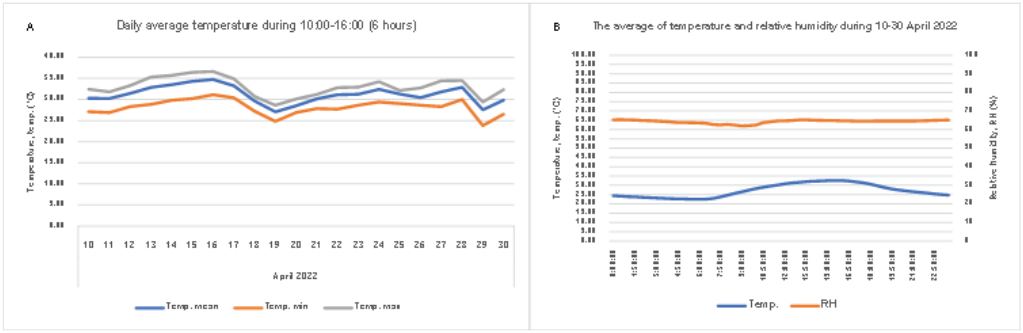

Figure 4 Natural field condition during the experiment: (A) Minimum, mean and maximum temperature during 10:00-16:00 hr. (B) Hourly temperature and relative humidity.

จากการประเมินความทนร้อนในสภาพแปลง (Figure 5) สอดคล้องกับการประเมินความทนร้อนในสภาพโรงเรือน โดยกลุ่ม N22 allele มีค่าเฉลี่ยร้อยละการติดเมล็ดสูงกว่ากลุ่ม RGD allele อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าการติดเมล็ดสูงกว่าสายพันธุ์แม่ (RGD) 30% และน้อยกว่า N22 23% โดยกลุ่ม N22 allele มีร้อยละการติดเมล็ดอยู่ในช่วง 61-71%

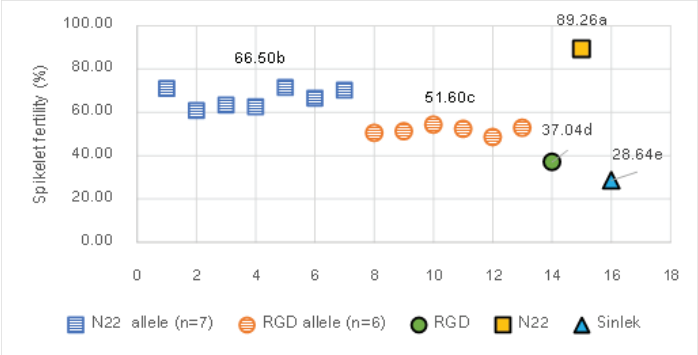

Figure 5 The spikelet fertility of introgression lines and check varieties on natural field condition.

ตำแหน่งทนร้อนจาก N22 ที่คัดเลือกด้วยเครื่องหมายโมเลกุล Ht4.2 ในงานวิจัยนี้มีตำแหน่งอยู่บนยีน qHTSF4.1 ซึ่งได้รับการรายงานจากงานวิจัยของ Ye *et al.* (2012 และ 2015) จากการศึกษา QTL ด้วยเครื่องหมาย SNP ในพันธุกรรมทนร้อนจาก N22 และในปี 2017 ได้มีการรายงานตำแหน่งเดียวกันในการศึกษา GWAS จากข้าวจำนวน 167 สายพันธุ์ โดยยีน qHTSF4.1 อยู่บนโครโมโซม 4 มีตำแหน่ง 17,600,000 – 18,000,000 bp มีความเกี่ยวข้องกับลักษณะการติดเมล็ดภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง (38 องศาเซลเซียส) ที่ระยะดอกบาน

(flowering stage) (Lafarge *et al*., 2017) แต่เนื่องด้วยลักษณะทนร้อนเป็นลักษณะเชิงปริมาณ มีการรายงานยีนที่เกี่ยวข้องไว้หลายตำแหน่ง แต่ยังไม่สามารถระบุได้แน่ชัด และตำแหน่งที่มีการรายงานยังคงไม่สามารถใช้ได้กับลักษณะพันธุกรรมที่หลากหลายจากประชากรที่แตกต่างกัน (Cao *et al*., 2003; Zhao *et al*., 2006; Chen *et al*., 2008; Kui *et al*., 2008; Zhang *et al*., 2008; Jagadish *et al*., 2010; Xiao *et al*., 2011a; Ye *et al*., 2012) ดังนั้น แม้ว่าในตำแหน่งทนร้อนจาก N22 บนโครโมโซม 4 จะสามารถเพิ่มความสามารถในการติดเมล็ดให้สายพันธุ์ลูกผสมสูงกว่าสายพันธุ์แม่ได้ ก็ยังคงมีค่าร้อยละการติดเมล็ดต่ำกว่า N22 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่ามีตำแหน่งอื่นที่ควบคุมลักษณะการติดเมล็ดภายใต้อุณหภูมิสูงนอกเหนือจากตำแหน่งที่ใช้ในการคัดเลือกในงานวิจัยนี้

สรุป

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องหมายโมเลกุล Ht4.2 ซึ่งเป็นแบบ SNP ที่พัฒนาขึ้นใหม่โดยใช้ข้อมูลจากงานวิจัยที่มีมาก่อน ใช้สำหรับคัดเลือกลักษณะการติดเมล็ดในสภาพอุณหภูมิสูงที่มีตำแหน่งบนโครโมโซมที่ 4 ในประชากร BC_2F_3 จำนวน 13 สายพันธุ์ ที่ผ่านการคัดเลือกด้วยเครื่องหมายโมเลกุล พบว่า 7 สายพันธุ์ ที่มีลักษณะทางพันธุกรรมที่ตำแหน่งทนร้อนเหมือนพันธุ์ N22 มีความสามารถในการติดเมล็ดสูงขึ้น และสูงกว่าสายพันธุ์ RGD ซึ่งเป็นพันธุ์รับ และสูงกว่าอีก 6 สายพันธุ์ ที่มีอัลลีลแบบ RGD อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าเครื่องหมายโมเลกุลที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการใช้คัดเลือกลักษณะการติดเมล็ดภายใต้อุณหภูมิสูงในฐานพันธุกรรมข้าว RGD ถือเป็นการประดิษฐ์ใหม่ ซึ่งขณะนี้อยู่ระหว่างการขอยื่นจดคุ้มครองทรัพย์สินทางปัญญา เครื่องหมายโมเลกุลนี้จะได้รับการประเมินในประชากรอื่นๆ ที่มีฐานพันธุกรรมแตกต่างกันและในเชื้อพันธุกรรมอื่นๆ เพื่อให้เห็นศักยภาพในการนำไปใช้ในวงกว้างขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากโครงการ SEA-EU-NET Project รหัสโครงการ P-18-51392 และโครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (Thailand Graduate Institute of Science and Technology : TGIST) ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนไว้ในวิทยานิพนธ์ตลอดระยะเวลารับทุน (สัญญาเลขที่ SCA-CO-2561-7062TH)

เอกสารอ้างอิง

Asian Development Bank. 2009. The economics of climate change in southeast Asia: a regional review. Manila: Asian Development Bank. 223 p.

Cao, L. Y., J.G. Zhao, , X.D. Zhan, D.L. Li, L.B. He and S.H. Cheng. 2003. Mapping QTLs for heat tolerance and correlation between heat tolerance and photosynthetic rate in rice. Chinese Journal of Rice Science 17(3): 223-227.

Catherine, C., N.D. Gemma, and Victoria te Velde of Agulhas. 2012. Managing climate extremes and disasters in Asia: lessons from the IPCC SREX reports. Climate and Development Knowledge Network. pp 12-15.

Chen, Q.Q., S.B. Yu, C.H. Li and T.M. Mou. 2008. Identification of QTLs for heat tolerance at flowering stage in rice. Scientia Agricultura Sinica 41: 315–321.

FAOSTAT. 2017. Crops and Livestock Products. (Online). Available Source: https://www.fao.org/faostat/. (January 20, 2022).

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, and H.L. Miller, eds.

Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 996 p.

IPCC. 2012. Summary for policy makers. In: Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, P.M. Midgley. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation A Special Report of Working Groups I and II of the Inter-Governmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp 1-19.

Jagadish, S.V., P.Q. Craufurd and T.R. Wheeler. 2007. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Experimental Botany 58: 1627-1635.

Jagadish, S.V.K., R. Mathurajan, R. Oane, T.R. Wheeler, S. Heuer, J. Bennett and P.Q. Carufurd. 2010. Physiological and proteomic approaches to address to address heat tolerance during anthesis in rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Experimental Botany 61: 143-156.

Kui, L.M., L.B. Tan, J. Tu, Y.X. Lu and C.Q. Sun. 2008. Identification of QTLs associated with heat tolerance of Yuanjiang common wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.) at flowering stage. Journal of Agricultural Biotechnology 16: 461–464.

Lafarge, T., C. Bueno, J. Frouin, L. Jacquin, B. Courtois and N. Ahmadi. 2017. Genome-wide association analysis for heat tolerance at flowering detected a large set of genes involved in adaptation to thermal and other stresses. PLOS ONE 12(2): e0171254. doi:10.1371/journal.pone.0171254.

Osada, A., V. Sasiprada, M. Rahong, S. Dhammanuvong and M. Chakrabandhu. 1973. Abnormal occurrence of empty grains of indica rice plants in the dry, hot season in Thailand. Proceedings of the Crop Science Society of Japan 42(1): 103-109.

Prasad, P.V.V., K.J. Boote, L. Allen, J. Sheehy and J.M.G. Thomas. 2006. Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. Field Crops Research 95: 398-411.

Satake, T. and S. Yoshida. 1978. High temperature induced sterility in indica rices at flowering. Japanese Journal of Crop Science 47: 6-17.

Ye, C., M. Argayoso, E. Redoña, S. Sierra, M. Laza, C. Dilla and J. Hernandez. 2012. Mapping QTL for heat tolerance at flowering stage in rice using SNP markers. Plant Breeding 131: 33–41.

Xiao, Y.H., Y. Pan, L.H. Luo, H.B. Deng, G.I. Zhang, W.B. Tang and L.Y. Chen. 2011. Quantitative trait loci associated with seed set under high temperature stress at the flowering stage in rice (*Oryza sativa* L.). Euphytica 178: 331-338.

Ye, C., F. Tenorio, E. Redoña, P. Morales-Cortezano, G. Cabrega, K.V. Jagadish and G. Gregorio. 2015. Fine-mapping and validating qHTSF4.1 to increase spikelet fertility under heat stress at flowering in rice. Theoretical and Applied Genetics 128:1507–1517.

Zhang, T., L. Yang, K.F. Jang, M. Huang, Q. Sun, W.F. Chen, and J.K. Zheng. 2008. QTL mapping for heat tolerance of the tassel period of rice. Molecular Plant Breeding 6: 867-873.

Zhao, Z.G., L. Jiang, Y.H. Xiao, W.W. Zhang, H.Q. Zhai and J.M. Wan. 2006. Identification of QTLs for heat tolerance at the booting stage in rice (*Oryza sativa* L.). Acta Agronomica Sinica 32: 640–644.