

ผลกระทบของอุณหภูมิสูงต่อการติดเมล็ดในระยะสืบพันธุ์ของข้าวสายพันธุ์ทนร้อนและอ่อนแอ และการกระจายตัวของการติดเมล็ดในประชากรชั่วที่ 2

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 F_2 population

พลประชา วงศ์ชาลี^{1*}, ศิวเรศ อารีกิต², วินิตชาญ รื่นใจชน², อภิชาติ วรรณวิจิตร^{1,2} และ ชเนษฎ์ ม้าลำพอง¹

Polpracha Wongchalee^{1*}, Siwaret Arikit², Vinitchan Ruanjaichon², Apichat Vannavichit^{1,2} and Chanate Malumpong¹

บทคัดย่อ

ปัจจุบันข้าวได้รับผลกระทบโดยตรงจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ข้าวติดเมล็ดและให้ผลผลิตลดลง โดยเฉพาะการทำนาปรังในฤดูร้อน จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิสูง (45°C) ที่มีต่อลักษณะการติดเมล็ด ความมีชีวิตของละอองเกสร และความยาวรวง ในข้าวเจ้าหอมนิลพันธุ์กลาย M9962 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ทนร้อน พันธุ์สินเหล็ก (ไม่ทนร้อน) พันธุ์ Nagina22 (N22; พันธุ์ทนร้อนของ IRRI) และพันธุ์เจ้าหอมนิล wild type ผลการทดลองพบว่า M9962 และ N22 มีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดสูงกว่าสินเหล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องมาจากความมีชีวิตของละอองเกสรในสายพันธุ์ทนร้อนยังคงสูงในสภาพร้อน นอกจากนี้ยังได้สร้างประชากรชั่วที่สอง (F_2) ที่เกิดจากการผสมระหว่างพันธุ์สินเหล็ก x M9962 เพื่อศึกษาการกระจายตัวของการติดเมล็ดของประชากร F_2 พบว่า ลักษณะการติดเมล็ดมีการกระจายตัวแบบเบ้ขวา โดยประชากรดังกล่าวจะใช้ในการหาตำแหน่งของยีนที่ควบคุมลักษณะการติดเมล็ดในอุณหภูมิสูงต่อไป

ABSTRACT

At present, the higher air temperature condition had direct affect to decrease seed set and grain yield in rice, especially during dry season in summer. In this experiment, the effect of high temperature (45°C) on seed set, pollen viability and panicle length in M9962 (heat tolerant), Sinlek (non-heat tolerant), Nagina22 (N22; heat tolerant from IRRI) and Jao Hom Nin wild type were studied. The results showed that M9962 and N22 gave significant high %seed set comparing with Sinlek. Because of pollen viability in heat tolerant lines were still high under heat stress. Moreover, the F_2 population from Sinlek x M9962 was used to study the segregation of seed set trait. This found that seed set trait was right skew This population will be used for mapping seed set trait and identifying the genes under high air temperature in the future.

Key Words: high temperatures, rice, seed set, pollen viability, F_2 population

*Corresponding author; e-mail address: keepwaking_69@hotmail.com

¹ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐมฯ 73140; Department of Agronomy Kamphaeng Saen Campus, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140

²หน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว, ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน กำแพงแสน

จ.นครปฐม 73140; Rice Gene Discovery Unit & Rice Science Center Kasetsart University, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, 73140

คำนำ

การปลูกข้าวของประเทศไทยในปัจจุบัน เกษตรกรในเขตภาคกลางสามารถปลูกข้าวได้ทั้งปีโดยอาศัยน้ำฝนและระบบน้ำชลประทาน แต่ปัจจุบันเนื่องจากสภาวะอากาศที่แปรปรวนเนื่องมาจากปัญหาโลกร้อน การปลูกข้าวในเขตชลประทานในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – เมษายน) จึงประสบกับภัยแล้งและอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยเฉพาะในช่วงที่ข้าวกำลังเข้าสู่ระยะการเจริญพันธุ์ (reproductive stage) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตโดยเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ (ศูนย์ภูมิอากาศแห่งชาติ กรมอุตุนิยมวิทยา, 2555) ในระยะการสืบพันธุ์ของข้าวเป็นช่วงที่วิกฤติที่สุดต่อสภาพอุณหภูมิสูง (≥ 35 องศาเซลเซียส) (Satake and Yoshida, 1978) โดยมีผลกระทบต่อข้าวในระยะตั้งท้อง (booting) ระยะออกรวง (heading) และระยะผสมเกสร (flowering) มีผลทำให้ช่อดอกข้าวเป็นหมัน มีละอองเกสรที่ผิดปกติ ความมีชีวิตของละอองเกสรและความงอกของละอองเกสรลดลง อับละอองเกสรไม่แตก และส่งผลให้การติดเมล็ดบนรวงลดลง (Matsui *et al.*, 2000, 2001; Prasad *et al.*, 2006) ดังนั้นจึงได้คัดกรองหาข้าวหอมนิลสายพันธุ์กลายรุ่น M_5 ที่ผ่านการฉายรังสี fast neutron ของศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จำนวน 12,000 สายพันธุ์ที่สามารถติดเมล็ดได้ดีในสภาพอุณหภูมิที่สูงได้ที่ 40-45 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าสายพันธุ์ M9962 มีการติดเมล็ดที่สูงภายใต้สภาพดังกล่าว (สุไลมาน และคณะ, 2557) จึงได้นำมาศึกษาเปรียบเทียบการติดเมล็ด ความมีชีวิตของละอองเกสร และความยาวรวงกับพันธุ์ที่ไม่ทนร้อน คือ พันธุ์สินเหล็ก และเปรียบเทียบกับ Nagina22 (N22) ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวทนร้อนของ IRRI (Jagadish *et al.* 2010) นอกจากนี้ ยังศึกษาการกระจายตัวของประชากรในรุ่น F_2 ที่เกิดจากกลุ่มผสมระหว่างสายพันธุ์ M9962 (ทนร้อน) x พันธุ์สินเหล็ก (อ่อนแอ) เพื่อดูการกระจายตัวของการติดเมล็ดและใช้ค้นหายีนที่ควบคุมการแสดงออกของการติดเมล็ดในอุณหภูมิสูงต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สายพันธุ์ M9962 พันธุ์สินเหล็ก พันธุ์เจ้าหอมนิล และพันธุ์ Nagina22
2. โรงเรือนจำลองสภาพอุณหภูมิสูง 40-45 องศาเซลเซียส
3. กระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร
4. เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสง พร้อมอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติ
5. อุปกรณ์สำหรับการทำหมันเกสรตัวผู้
 - 5.1 กรรไกร
 - 5.2 ถังคลุมช่อดอกตัวเมีย
 - 5.3 ดินสอ
 - 5.4 เครื่องดูดเกสรตัวผู้
 - 5.5 คลิปหนีบกระดาษ
 - 5.6 ห้องควบคุมแสง

6. อุปกรณ์การทดสอบความมีชีวิตของละอองเกสร

- | | | |
|--------------------|---------------------------|----------------------|
| 6.1 กล้องจุลทรรศน์ | 6.2 หลอด tube ขนาด 1.5 mL | 6.3 ปากคืบ |
| 6.4 ethanol 75% | 6.5 กระดาษไลต์ | 6.6 สารย้อมสีไอโอดีน |

7. โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ R program

8. โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ STATGRAPHICS

การทดสอบลักษณะทางฟีโนไทป์

วางแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 3 ซ้ำ โดยปลูกข้าวสายพันธุ์กลาย M 9962 (M_6) (ทนร้อน) พันธุ์สินเหล็ก (ไม่ทนร้อน) พันธุ์ Nagina 22 (N22: ทนร้อนจาก IRRI), และเจ้าหอมนิล wild type (พันธุ์ควบคุม) ในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร จำนวน 20 กระถางต่อสายพันธุ์ในสภาพแปลงทดลอง เมื่อข้าวเริ่มเข้าระยะตั้งท้อง (R2) นำข้าวจำนวนครึ่งหนึ่ง เข้าสู่โรงเรือนที่ควบคุมอุณหภูมิสูง จนถึงระยะเก็บเกี่ยว (R9) โดยปล่อยให้ข้าวอีก 10 กระถางที่เหลือเจริญเติบโตต่อไปในแปลงธรรมชาติ โดยในสภาพโรงเรือนจะควบคุมให้มีอุณหภูมิในเวลากลางวันอยู่ระหว่าง 40-45 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง ตั้งแต่ 10.00 - 16.00 น. และให้อุณหภูมิกลางคืนเท่ากับอุณหภูมิตามธรรมชาติ ทำการทดลองระหว่างเดือนมีนาคม – สิงหาคม 2557 โดยเก็บข้อมูล ดังนี้

1. ความมีชีวิตของละอองเกสร (%) ด้วยการย้อมสีไอโอดีน (I_2KI stain) โดยวิธีของ Hu *et al.* (2009)
2. ความยาวรวง (ซม.)
3. การติดเมล็ดต่อรวง (%)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดดี}}{\text{เมล็ดดี} + \text{เมล็ดลีบ}} \times 100$$

การศึกษาการกระจายตัวของการติดเมล็ดในประชากรข้าวชั่วที่สองที่เกิดจากคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์ M9962 (ทนร้อน) กับ พันธุ์สินเหล็ก (อ่อนแอ)

ผสมข้าวทั้งสองสายพันธุ์โดยใช้วิธีการผสมข้าวแบบ Hand emasculation โดยใช้สายพันธุ์ M9962 เป็นแม่ และพันธุ์สินเหล็กเป็นพ่อ เพื่อสร้างประชากรในชั่วที่ 1 (F_1) จากนั้นปล่อยให้ผสมตัวเองเพื่อสร้างประชากรในชั่วที่ 2 (F_2) แล้วนำประชากรชั่วที่ 2 จำนวน 150 ต้น มาศึกษาการกระจายตัวของการติดเมล็ดในสภาพอุณหภูมิสูงในโรงเรือนจำลองสภาพอุณหภูมิสูงที่ 40 – 45 องศาเซลเซียส บันทึกผลการติดเมล็ดในทุกต้นและนำมาสร้างกราฟการกระจายตัวเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลต่อไป

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

สภาพอุณหภูมิตามธรรมชาติและในโรงเรือน ช่วงเดือนมีนาคม – สิงหาคม 2557

ในเดือนมีนาคม ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2557 สภาพอุณหภูมิอากาศ ณ แปลงวิจัยข้าว ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วงเวลา 10.00 - 16.00 น. อยู่ที่ 34.88 องศาเซลเซียส ส่วนในสภาพโรงเรือนจำลองสภาพอุณหภูมิสูง มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 42.12 องศาเซลเซียส

ผลของการศึกษาลักษณะทางฟีโนไทป์

ความยาวรวงของทั้ง 4 พันธุ์/สายพันธุ์ไม่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิสูง โดยยังคงมีค่าเฉลี่ยความยาวรวงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งที่ปลูกในสภาพธรรมชาติและสภาพอุณหภูมิสูง โดยสายพันธุ์ M9962 มีความยาวรวง 22 ซม. ทั้งสองสภาพอุณหภูมิ ส่วนพันธุ์สินเหล็กมีความยาวรวง 28 ซม. (ธรรมชาติ) และ 27 ซม. (อุณหภูมิสูง) พันธุ์เจ้าหอมนิลมีความยาวรวง 25 ซม. (ธรรมชาติ) และ 23 ซม. (อุณหภูมิสูง) และพันธุ์ N22 มีความยาวรวง 21 ซม. (ธรรมชาติ) และ 19 ซม. (อุณหภูมิสูง) (Figure 1)

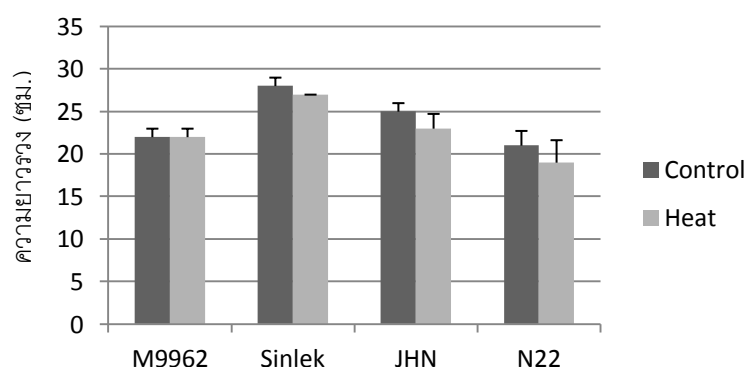


Figure 1 Panicle lengths of the four rice lines, M9962, Sinlek, Jao Hom Nin and N22, grown in the field under ambient condition and under heat stressed condition.

อย่างไรก็ตาม สภาพอุณหภูมิสูง มีผลทำให้การติดเมล็ดในข้าวพันธุ์สินเหล็กและข้าวเจ้าหอมนิล wild type ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ไม่ทนร้อนมีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดลดลง โดยที่สภาพอุณหภูมิสูงพันธุ์สินเหล็กมีการติดเมล็ดลดลงเกือบ 60% ซึ่งในสภาพธรรมชาติมีอัตราการติดเมล็ด 61.44% แต่เมื่ออยู่ในสภาพอุณหภูมิสูงมีอัตราการติดเมล็ดเพียง 5.33% ในขณะที่ข้าวสายพันธุ์ M9962 และ N22 ยังคงมีการติดเมล็ดในสภาพอุณหภูมิสูงไม่แตกต่างจากสภาพในธรรมชาติ โดยในสายพันธุ์ M9962 มีอัตราการติดเมล็ด 83.11% (อุณหภูมิปกติ) และ

79.36% (อุณหภูมิสูง) ส่วนในพันธุ์ N22 มีอัตราการติดเมล็ด 90.67% (อุณหภูมิปกติ) และ 81.96% (อุณหภูมิสูง) (Figure 2)

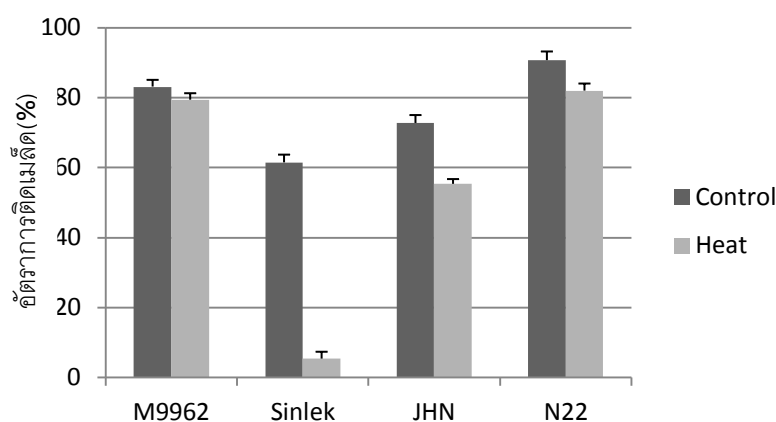


Figure 2 Percentage of seed set of the four rice lines, M9962, Sinlek, Jao Hom Nin and N22, grown in the field under ambient condition and under heat stressed condition.

จากนั้นจึงทำการศึกษาความมีชีวิตของละอองเกสร พบว่า ในข้าวสายพันธุ์ที่ร้อนนั้นความมีชีวิตของละอองเกสรในสภาพธรรมชาติและสภาพอุณหภูมิสูงแตกต่างกันไม่เกิน 20-30 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่พันธุ์อ่อนแอเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเกสรนั้นกลับลดลงอย่างชัดเจน โดยพันธุ์สินเหล็กในสภาพปกติละอองเกสรมีชีวิต 86.76% แตกต่างกับอุณหภูมิสูงที่ละอองเกสรมีชีวิตเพียง 41.96% ซึ่งลดลงเกือบ 45% ในขณะที่สายพันธุ์ M9962 กับพันธุ์ N22 ความมีชีวิตของละอองเกสรในสภาพอุณหภูมิสูงของทั้งสองสายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งสายพันธุ์ M9962 ละอองเกสรมีชีวิต 72.35% และพันธุ์ N22 มีละอองเกสรมีชีวิต 69.88% (Figure 3) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Matsui *et al.*, (2000, 2001), Prasad *et al.*, (2006) และ Hu *et al.*, (2009) ซึ่งได้รายงานว่า สภาพอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลทำให้ความมีชีวิตของละอองเกสร การผลิตละอองเกสร การแตกของอับละอองเกสรลดลง การงอกของละอองเกสรลดลงส่งผลต่อความสามารถในการผสมเกสรของดอกข้าวลดลง รวมถึงการพัฒนาจนเป็นเมล็ดข้าวที่ไม่สมบูรณ์ทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง

ผลการศึกษาการกระจายตัวของลักษณะทนร้อนในประชากรชั่วที่สองจากคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์ M9962 (ทนร้อน) และ พันธุ์สินเหล็ก (ไม่ทนร้อน)

การติดเมล็ดในประชากรชั่วที่ 2 ที่เกิดจากการผสมระหว่างสายพันธุ์ M9962 กับพันธุ์สินเหล็กภายใต้โรงเรือนจำลองสภาพอุณหภูมิที่สูง (40-45 องศาเซลเซียส) พบว่า ประชากร F_2 จำนวน 153 ต้นมีอัตราการติดเมล็ด (%) ต่ำสุดอยู่ที่ 0% และมีอัตราการติดเมล็ดสูงที่สุดอยู่ที่ 63.94% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.32% จากนั้นจึง

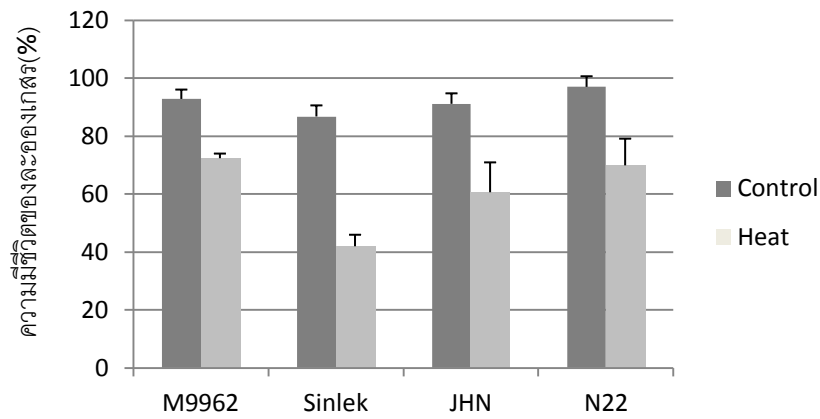


Figure 3 Percentage of pollen viability of the four rice lines, M9962, Sinlek, Jao Hom Nin and N22, grown in the field under ambient condition and under heat stressed condition.

วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม STATGRAPHICS พบว่า การแสดงออกของลักษณะการติดเมล็ดมีการกระจายตัวแบบเบ้ขวา เมื่อดูจากอัตราการการติดเมล็ดที่ 0% - 40.00% เป็นกลุ่มที่อ่อนแอ และอัตราการติดเมล็ดที่ 40.01% - 63.94% เป็นกลุ่มที่ทนทาน โดยคิดเป็นอัตราส่วน 3 : 1 (Figure 4) ซึ่งเป็นลักษณะที่อ่อนแอต่ออุณหภูมิสูง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าลักษณะทนร้อนที่พบในข้าวพันธุ์กลาย M9962 อาจเป็นลักษณะที่ควบคุมด้วยยีนด้อยเพียงหนึ่งตัว

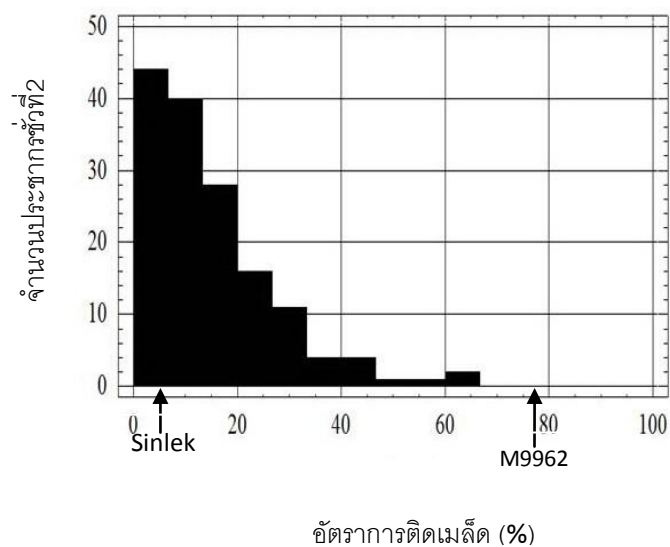


Figure 4 The distribution of seed set under heat stressed condition in the F_2 population of the cross between M9962 x Sinlek.

สรุป

สภาพอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลต่อกระบวนการพัฒนาผลผลิตของข้าวโดยในสายพันธุ์ที่ไม่ทนร้อนจะส่งผลโดยตรงต่อการพัฒนาเกสรตัวผู้ ทำให้ความมีชีวิตของละอองเกสรตัวผู้ลดต่ำลงและข้าวล้มเหลวในการสร้างเมล็ดที่สมบูรณ์ ซึ่งแตกต่างจากสายพันธุ์ที่มีความทนร้อนที่ยังสามารถสร้างละอองเกสรตัวผู้ที่มีสมบูรณ์ได้และมีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดที่ไม่แตกต่างจากในสภาพอุณหภูมิปกติมากนัก และเมื่อทดสอบการกระจายตัวของลักษณะทนร้อนในประชากรช่วงที่ 2 ระหว่างพันธุ์ไม่ทนร้อนและพันธุ์ทนร้อน พบว่า ลักษณะนี้อาจเป็นลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยยีนเดี่ยวเพียงหนึ่งตัว และข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนของยีนที่ควบคุมลักษณะการติดเมล็ดในสภาพอุณหภูมิสูงเพื่อใช้สำหรับการคัดเลือกพันธุ์ข้าวให้มีศักยภาพในการให้ผลผลิตภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (สวก.) ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยทุนอุดหนุนวิจัยพืชไร่ นา ประจำปี 2558 ที่สนับสนุนการนำเสนอมผลงานทางวิชาการ และศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์สำหรับการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2555. รายงานสภาวะอากาศประเทศไทย เดือนพฤศจิกายน 2555. 5 หน้า.

ศิริพัฒน์ เรืองพยัคฆ์, สมศักดิ์ แซ่ซู้, นงนารถ พ่อคำ, เอกวัฒน์ ไชยชุมภู, ศิวเรศ อารีกิจ, อนุชา พลัฒพลา, สุภาพร พรหมพันธุ์, วนิดชาญ รื่นใจชน, ธีรยุทธ ตูจินดา, สมวงษ์ ตระกูลรุ่ง, รัชนี้ คงคาฉาย และ อภิชาติ วรรณวิจิตร. 2553. แหล่งกำเนิดความแปรปรวนทางพันธุกรรมเพื่อการค้นหาหน้าที่ของยีนและการปรับปรุงพันธุ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุไลมาน เจ๊ะอาบู, ชเนษฎ์ ม้าลำพอง และ อภิชาติ วรรณวิจิตร. 2557. ความอุดมสมบูรณ์ของดอกย่อยและลักษณะทางการเกษตรของพันธุ์/สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิอากาศสูงในการเจริญพันธุ์. น. 162-165 ในรายงานประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่3 โรงแรมมิราเคิลแกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ.

Hu, W.G. Hu and B. Han. 2009. Genome-wide survey and expression profiling of heat shock proteins and heat shock factors revealed overlapped and stress specific response under abiotic stresses in rice. *Plant Sci.* 176: 583-590.

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.). *J. Exp Bot.* 61: 143-156.

- Matsui, T., K. Omasa and T. Horie. 2000. High temperature at flowering inhibit swelling of pollen grains, a driving force for thecae dehiscence in rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science** 3: 430-434.
- Matsui, T., K. Omasa and T. Horie. 2001. The difference in sterility due to high temperatures during the flowering period among japonica rice varieties. **Plant Production Science** 4: 90-93.
- Prasad P.V.V., Boote K.J., Allen L.H., Sheehy J.E. and 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.
- Poli Y, Basava RK, Panigrahy M, Vinukonda VP, Dokula NR, Voleti SR, Desiraj S, Neelamraju S. 2013. Characterization of a Nagina22 rice mutant for heat tolerance and mapping of yield traits. **Rice(N Y)**. doi:10.1186/1939-8433-6-36.
- Satake, T and Yoshida S. 1978. High temperature induced sterility in indica rice at flowering. **Jpn. J. Crop Sci.** 47: 6-17.
- Zhou WH, Xue DW, Zhang G 2012. Identification and physiological characterization of thermo-tolerant rice genotypes. **J Zhejiang University** 38:1-9, 10.3785/j 1008-9209.