ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่)

ปริญญา

พืชไร่ พืชไร่นา

สาขา **ภาควิชา**

เรื่อง การทดสอบและคัดเลือกพันธุ์ข้าวทนทานสภาพอุณหภูมิสูง

Screening for High Temperature Stress in Rice Cultivars (*Oryza* sativa L.)

นามผู้วิจัย นางสาวกฤษณา หมื่นยุทธ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์วิทิตร ใจอารีย์, Dr.rer.agr.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ธีรยุทธ ตู้จินดา, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์นวรัตน์ อุดมประเสริฐ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ **เดือน** **พ.ศ.**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การทดสอบและคัดเลือกพันธุ์ข้าวทนทานสภาพอุณหภูมิสูง

Screening for High Temperature Stress in Rice Cultivars (*Oryza sativa* L.)

โดย

นางสาวกฤษณา หมื่นยุทธ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กฤษณา หมื่นยุทธ์ 2555: การทดสอบและคัดเลือกพันธุ์ข้าวทนทานสภาพอุณหภูมิสูง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่) สาขาพืชไร่ ภาควิชาพืชไร่นา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์วิทิตร ใจอารีย์, Dr.rer.agr.
61 หน้า

เนื่องจากอุณหภูมิโลกที่สูงขึ้นทำให้เกิดความเสียหายกับข้าวที่ปลูกนอกฤดู ในหน้าแล้งหรือข้าวนาปรัง มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิต โดยเฉพาะข้าวที่ออกดอกเดือนมีนาคมถึงเมษายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีอากาศร้อนสูงสุดของประเทศไทย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อทดสอบและคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่ทนทานสภาพอุณหภูมิสูงที่แตกต่างกัน จำนวน 84 สายพันธุ์ ซึ่งประกอบด้วยข้าวไวแสง 32 สายพันธุ์และข้าวไม่ไวแสง 52 สายพันธุ์ ปลูกทดสอบภายใต้อุณหภูมิ 2 ระดับ คือในสภาพอุณหภูมิปกติ และ สภาพโรงเรือน (สูงกว่า 40 องศาเซลเซียส) จากลักษณะที่ศึกษา ได้แก่ จำนวนเมล็ดดีต่อต้น, น้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น, เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด, น้ำหนักแห้งลำต้น, น้ำหนักแห้งรวง,เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเกสร, จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อต้น และน้ำหนักจำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อต้น พบว่าสายพันธุ์ที่มีโอกาสทนต่อสภาพอุณหภูมิสูงในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง ได้แก่ สายพันธุ์ FR13A และในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง ได้แก่ สุรินทร์1, แก้วเกษตร และสายพันธุ์ LOAS GEDJEHIRGC9243 และจากการศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูง โดยลักษณะ *in situ* Φ_{PSII} และ *in situ* Fv/Fm ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยสายพันธุ์ที่คัดเลือกในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง ได้แก่ สายพันธุ์ FR13A ส่วนกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง ได้แก่สายพันธุ์ สุรินทร์1, สายพันธุ์แก้วเกษตร และสายพันธุ์ LOAS GEDJEHIRGC9243

ดังนั้นสายพันธุ์ที่ผ่านคัดเลือกมีน่าจะทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูงเพื่อใช้เป็นแหล่งพันธุ์ที่กรรมที่สามารถทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูงได้ในอนาคต

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kritsana Hmunyoot 2012: Screening for High Temperature Stress in Rice Cultivars (*Oryza sativa* L.) Master of Science (Agronomy), Major Field: Agronomy, Department of Agronomy. Thesis Advisor: Mr.Witith Chai-ari, Dr.rer.agr. 61 pages.

Global warming affects yield reduction of the off-season rice by more than 70 percent of the total rice yield, especially for the rice which flowers during March and April, the highest temperature period in Thailand. The objective of this research were to evaluate and to select for rice varieties that were tolerant to high-temperature. Eighty-four lines of rice, including thirty-two photoperiod sensitive and fifty-two photoperiod non-sensitive varieties, were tested and subjected to ambient temperature and high temperature (>40°C). The traits for the experiment were such as filled spikelet/plant, filled weight/plant, %seed set, shoot dry weight, panicle dry weight, pollen viability, total spikelet/plant and total weight spikelet/plant. Traits physiology for high temperature in rice of *in situ* Φ_{PSII} and *in situ* Fv/Fm found that line FR13A in photoperiod sensitive and surin1, kaewkaset, LOAS GEDJEHIRGC9243 in photoperiod non-sensitive expected tolerance to high temperature. From the study, it indicates that the rice cultivars tolerant to high temperature can be used as the genetic materials for rice improvement for tolerance to high temperature in the future.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.วิทิตร ใจอารีย์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ดร.ธีรยุทธ ตู้จินดา กรรมการร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำในการเรียน การดำเนินการวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณอย่างยิ่งสำหรับ คุณพ่อ และคุณแม่ ที่ให้ความรักและเสียสละในการสนับสนุนและช่วยเหลือทั้งกำลังกาย กำลังใจ และกำลังทรัพย์ ที่ทำให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาจนถึงระดับปริญญาโท จนกระทั่งสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ประโยชน์และความดีอันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะพึงมีเพียงใด ขอมอบแต่คุณพ่อคุณแม่ ผู้ให้ชีวิตและอยู่เบื้องหลังความสำเร็จทั้งหมด ตลอดจนครู อาจารย์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และอบรมสั่งสอนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

กฤษณา หมื่นยุทธ์

มีนาคม 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	22
อุปกรณ์	22
วิธีการ	23
ผลและวิจารณ์	29
สรุปและข้อเสนอแนะ	49
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	51
ภาคผนวก	57

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงค่าความแปรปรวนของผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตในสพาพอุณหภูมิปกติ 30 °C (Ambient air temperature) ในสพาพอุณหภูมิสูง 40 °C (Stress temperature) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง	34
2	แสดงค่าความสัมพันธ์ของลักษณะต่างๆในสภาพอุณหภูมิสภาพอุณหภูมิปกติ (Ambient air temperature: AT) สภาพอุณหภูมิสูง (Stress temperature: ST) และ เปรียบเทียบระหว่าง สภาพอุณหภูมิปกติ (Ambient air temperature) สภาพอุณหภูมิสูง (Stress temperature)	36
3	แสดงการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวไวแสงและสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสงของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตและลักษณะทางสรีรวิทยาต่างๆ	49

ตารางผนวกที่

1	แสดงวันในรอบปี 2554 (The Date of the Year 2011 : DOY)	57
2	แสดงวันในรอบปี 2555 (The Date of the Year 2012 : DOY)	58
3	รายชื่อสายพันธุ์ข้าวของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสงและกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไ ของพารามิเตอร์ต่างๆ	59

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงอุณหภูมิสูงสุดประจำวันของสภาพอุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูงระหว่างดำเนินการทดลอง	25
2	สภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature, AT) (a) และ สภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature, ST)	29
3	แสดงอุณหภูมิสูงสุดในแต่ละวันของสภาพอุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูงระหว่างดำเนินการทดลอง	31
4	แสดงความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดแต่ละวันของสภาพอุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูงระหว่างดำเนินการทดลอง	32
5	แสดงการเปรียบเทียบจำนวนมเล็ดดีต่อต้นระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)	37
6	แสดงการเปรียบเทียบจำนวนมเล็ดดีต่อต้นระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)	38
7	แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักจำนวนมเล็ดดีต่อต้นระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)	39
8	แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)	40
9	แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งลำต้นระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)	41

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
10	แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งรวงระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)	42
11	แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตของละอองเกสรระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)	44
12	แสดงการเปรียบเทียบจำนวนเมล็ดทั้งหมดระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)	45
13	แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)	46
14	แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้แสงในสภาพได้แสง (*in situ* Φ_{PSII}) ระหว่าง ambient air temperature (AT) และ stress temperature (ST)ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)	47
15	แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (*in situ* Fv/Fm) ระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)	48

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดสอบและคัดเลือกพันธุ์ข้าวทนทานสภาพอุณหภูมิสูง

Screening for High Temperature Stress in Rice Cultivars (*Oryza sativa* L.)

คำนำ

ข้าวเป็นธัญพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย และเป็นอาหารหลักของประชากรกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และยังพบปัญหาในเรื่องปริมาณผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างเป็นตัวจำกัดผลผลิตของข้าว เช่นปัญหาการระบาดของโรค แมลง ภัยธรรมชาติ ความแห้งแล้ง และอุณหภูมิ โดยเฉพาะปัญหาอุณหภูมิสูงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว (Satake and Yoshida, 1978) ทั้งระยะเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative stage) และระยะสืบพันธุ์ (reproductive stage) ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของการปลูกข้าวในแหล่งที่มีการปลูกข้าวนอกฤดู (ในหน้าแล้ง) หรือนาปรัง โดยตามธรรมชาติของข้าวจะผสมเกสรในเวลา 09.00-11.00 น. และในอดีตที่ผ่านมาช่วงเวลาดังกล่าวอุณหภูมิไม่สูงมากนักจึงไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต และในปัจจุบันพบว่าในช่วงเช้าของวันอุณหภูมิกลับสูงขึ้นประมาณ 37-38 องศาเซลเซียส ทำให้การติดเมล็ดของข้าวลดลง เมื่อถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวจึงมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบมาก สำหรับในประเทศไทยมีรายงานว่าเกิดความเสียหายมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตกับข้าวที่ปลูกนอกฤดู (ในหน้าแล้ง) หรือนาปรัง คือจำนวนเมล็ดข้าวลีบเพิ่มขึ้นในสภาพเดือนที่มีอากาศร้อน โดยเฉพาะข้าวที่ออกดอกเดือนมีนาคม ถึง เมษายน ทำให้ข้าวเป็นหมันหรือเสียหาย Osada *et al*. (1973) รายงานว่าช่วงที่ข้าวออกดอกในฤดูปลูกที่อากาศร้อนและแห้งแล้ง ข้าวพันธุ์พื้นเมืองของไทยติดเมล็ดน้อยมาก และ Satake and Yoshida (1978) กล่าวว่าอุณหภูมิสูงทำให้เมล็ดข้าวที่ได้รับการผสมเกสรแล้วไม่พัฒนา หรือผสมไม่ติดอันเนื่องมาจากละอองเกสรสูญเสียความมีชีวิต อุณหภูมิกลางวัน/กลางคืน (day/night temperature) ที่มีค่ามากกว่า 33 องศาเซลเซียส/29 องศาเซลเซียส จะยิ่งทำให้ละอองเกสร (pollen) เป็นหมันมากขึ้น การติดเมล็ดและผลผลิตเมล็ดลดลง

ความสามารถในการทนทานต่อสภาพอุณภูมิสูงของพันธุ์ข้าวเป็นลักษณะที่สำคัญที่นักปรับปรุงพันธุ์ข้าวต้องการนำไปใช้ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ เพื่อหาพันธุ์ข้าวไปปลูกทดแทนพันธุ์ดั้งเดิมในแหล่งเพาะปลูกข้าวที่ต้องเผชิญกับปัญหาสภาพอุณหภูมิสูง โดยเฉพาะในเขตพื้นที่นาปรัง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่ทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูง

2. เพื่อศึกษาองค์ประกอบผลผลิตข้าวภายใต้สภาพอุณหภูมิสูง

3. เพื่อศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูง

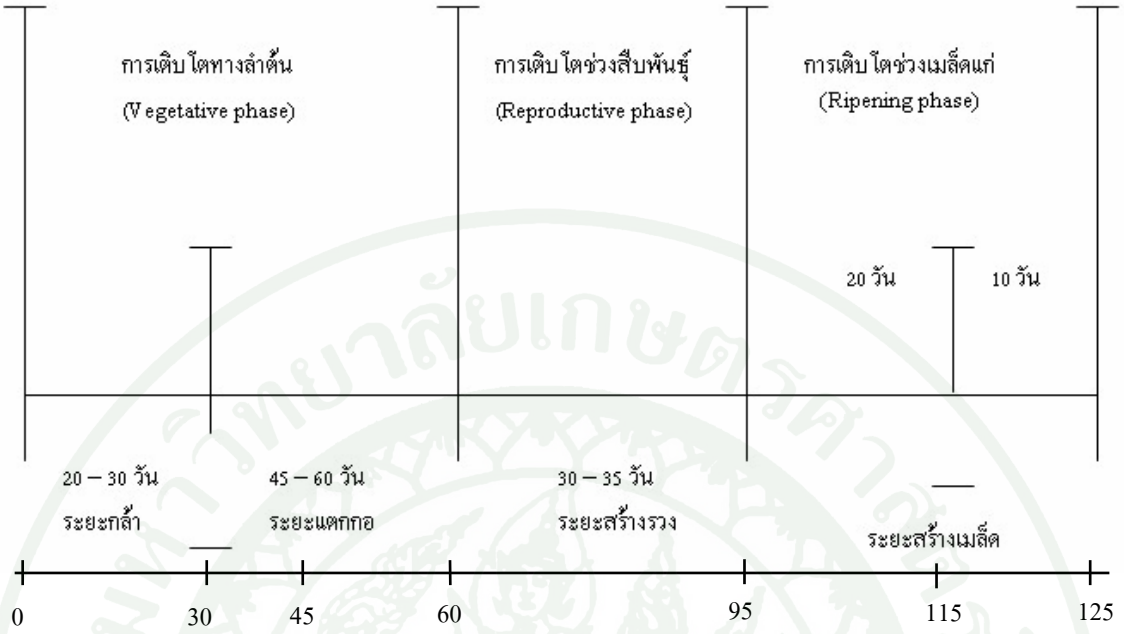
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

ข้าว (Rice)

ข้าว *Oryza sativa* เป็นพืชอาหารที่ปลูกได้ในทวีปเอเชีย อัฟริกา ออสเตรเลีย ยุโรป อเมริกาเหนือ อเมริกาใต้ ปลูกไม่ได้ในทวีปแอนตารคติค หรือขั้วโลกเหนือ และขั้วโลกใต้ เนื่องจากอากาศหนาวเย็น ข้าวมีจำนวนโครโมโซม = 24 จัดเป็นพวก diploid (2n) นอกจาก species sativa แล้วยังมี species อื่น ๆ อีก 19 species ใน 19 species นี้มี 10 species ที่มีโครโมโซมเป็นพวก diploid (2n=2x=24) ในพวก diploid นี้ 1 species คือ ข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud) อีก 6 species มีโครโมโซมเป็นพวก tetraploid (2n=4x=48) อีก 2 species มีทั้งพวก diploid และ tetraploid และอีก 1 species ยังไม่ได้รายงานว่ามีจำนวนโครโมโซมเท่าไร (วรวิทย์, 2546) ในแต่ละประเทศจะมีพันธุ์ข้าวปลูกของตัวเอง ข้าวจึงเป็นพืชที่มีความผันแปรทางพันธุกรรมสูง (wide genetic variability) เมื่อประชากรโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ความต้องการพืชอาหารจึงมีมากขึ้น ประเทศที่ปลูกข้าวได้ตระหนักในความจริงข้อนี้จึงได้พยายามศึกษาและพัฒนาพันธุ์ข้าวตลอดจนขบวนการผลิตเพื่อยกระดับของผลผลิตให้สูงขึ้นตลอดมา ในการผลิตพืช ภักดี (2525) ได้กล่าวว่าพันธุ์หรือพันธุกรรมนับเป็นจุดเริ่มต้นของการผลิตที่เกี่ยวโยงไปถึงคุณภาพและปริมาณของผลผลิตที่จะได้รับ จึงได้มีความพยายามหาพันธุ์พืชที่ดีเพื่อเพิ่มผลผลิต แก้ปัญหาการผลิต และสนองความต้องการของตลาด ในการปลูกข้าวนอกจากพันธุ์แล้วอีกปัจจัยหนึ่งที่เป็นสาเหตุสำคัญทำให้ผลผลิตและคุณภาพข้าวลดลง คือ สภาพอุณหภูมิ ซึ่งในปัจจุบันอุณหภูมิของโลกสูงขึ้น (global warming) อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก ซึ่งกลายมาเป็นปัญหาหลักในการผลิตพืช (Gunderson, 2000 and Rustad, 2001) โดยอุณหภูมิสูงส่งผลกระทบต่อข้าวได้ทั้งระยะเจริญเติบโต (vegetative state) และระยะสืบพันธุ์ (reproductive state) (Satake and Yoshida, 1978)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 แสดงระยะการเจริญเติบโตของข้าวในระยะการเติบโตทางลำต้นถึงการเติบโตช่วงเมล็ดแก่

การเจริญเติบโตของข้าว

พัฒนาการและการเจริญเติบโตของข้าวตั้งแต่ปลูกไปจนกระทั้งเก็บเกี่ยวแบ่งออกเป็นๆ 3 ระยะใหญ่ๆ คือ ระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการทางลำต้นและใบ (vegetative phase) ระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการทางด้านการสร้างส่วนขยายพันธุ์ (reproductive phase) และระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการทางด้านเมล็ดและการสุกแก่ของเมล็ด (grain formation and ripening phase) ระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการทั้ง 3 ระยะใหญ่ๆ ดังกล่าว ยังสามารถบ่างออกเป็นระยะย่ายๆ ได้อีกหลายระยะดังนี้

1. ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (vegetative phase) เป็นระยะที่เริ่มตั้งแต่ที่เม็ดงอกจนถึงระยะที่เริ่มมีการสร้างตาดอก

1.1 ระยะเป็นต้นกล้า (seeding stage) เป็นระยะที่เริ่มจากเมล็ดข้าวงอก (ตั้งแต่ส่วนยอดขึ้นมาจนถึงหน่อแรก) การงอกของข้าวใช้เวลาประมาณ 5-7 วัน สำรหรับการเพาะข้าวน้ำดำนั้นจะต้องนำเมล็ดข้าเปลือกไปแช่น้ำประมาณ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นให้นำเมล็ดข้าวที่แช่น้ำแล้วขึ้นมาหุ้มอีก 36-48 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปหว่านในแปลงกล้า ในระยะนี้ข้าวจะมีรากปฐมภูมิ (primary root)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งอกออกมา มีความยาวประมาณ 0.5-1 ซม. ในช่วงนี้ข้าวจะใช้รากที่มีดูดน้ำเข้าไปเพื่อสร้างยอดอ่อนให้โผล่พ้นเปลือกขึ้นมา จากนั้นจึงจะพัฒนารากชุดที่สอง (seminal root) ขึ้นมาพร้อมกับการพัฒนาการของใบอื่นๆ ควบคู่ไปด้วยหลังจากข้าวงอกได้ประมาณ 10 วัน ต้นกล้าของข้าวจะมีใบที่พัฒนาการพัฒนาเต็มที่แล้วขึ้นมาประมาณ 2 ใบ หลังจากนั้นจะมีการพัฒนาการของใบไปเรื่อยๆ ในอัตรา 3-4 วันต่อใบ จากนั้นข้าวจึงม่การพัฒนารากชุดใหม่ (adventitious root) ขึ้นมาแทนรากชุดที่สอง (seminal root) เพื่อพัฒนาใบที่ 5 ต่อไป ระยะการเป็นต้นกล้านี้ใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 25-30 วัน ถ้าเป็นข้าวนาดำก็สามารถอนกล้าข้าวนี้ไปปักดำได้เลย

1.2 ระยะแตกกอ (tilling stage) เป็นระยะที่ต่อจากระยะต้นกล้าโดยเริ่มจากตาด้านข้างที่อยู่บริเวณข้อของลำต้นด้านล่างสุด หลังจากที่หน่อชุดแรกแตกจากต้นแม่หมดแล้ว จึงจะเกิดการแตกหน่อชุดที่สอง จากนั้นจึงจะเกิดหน่อชุดที่สามขึ้นตามมา จำนวนหน่อจะเพิ่มปริมาณขึ้นมาเรื่อยๆ จนถึงระยะที่มีจำนวนหน่อสูงสุด เมื่อมาถึงตรงนี้จะมีหน่อข้าวบางหน่อแห้งตายลงไปเรื่อยๆ จนถึงจุดหนึ่งแล้วจึงจะหยุดลง หน่อทั้งหมดที่เหลือนับจากนี้จะกลายเป็นหน่อที่ให้รวงข้าว ตามปกติทั่วไปแล้วต้นข้าวจะหยุดสร้างหน่อหลังจากที่มีการแตกหน่อชุดที่สาม

2. ระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการทงด้านการสร้างส่วนต่างๆ ที่มีการสร้างตาดอกไปจนถึงระยะที่ข้าวแทงรวง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น

2.1 ระยะการเริ่มปรากฏของตาดอก (panical initiation) ในพันธุ์ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง ระยะนี้จะเกิดย่างปล้อง โดยตายอดจะเริ่มเปลี่ยนแปลงเป็นตาดอกในช่วง 60-70 วันหลังจากที่ทำการหว่านเมล็ด และหลังจากนั้น 2-3 วัน จึงจะปรากฏเป็นตาดอกให้เห็นได้ด้วยตาเปล่าแต่ถ้าทำการผ่าลำต้นบริเวณโคนต้นตามแนวยาวดูตาดอกจะเริ่มเกิดขึ้นในต้นหลักก่อนแล้วจึงจะเกิดขึ้นในหน่อต่อๆ ไปสำหรับพันธุ์ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง หลังจากสิ้นสุดระยะแตกหน่อสูงสุดแล้วปล้องที่อยู่ที่ฐานจะมีการยืดตัวก่อนแล้วจึงจะเริ่มเกิดตาดอก

2.2 ระยะพัฒนาการของช่อดอกข้าว (panical development) ตลอดช่วงระยะเวลานี้ดอกข้าวจะถูกสร้างขึ้นและจะเริ่มปรากฏให้เห็นช่อดอกข้าว จะเริ่มเจริญเติบโตและดันช่อดอกที่เจริญแล้วออกมาจนกระทั่งช่อดอกยาวได้ 5 ซม. หรือประมาณ 7 วัน หลังจากเริ่มมองเห็นช่อดอก จำนวนของดอกข้าว (หรือเมล็ดข้าว) จะถูกตัดสินในช่วงนี้ซึ่งตลอดเวลานี้ของข้าวมักถูกกระทบโดยความเครียดต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับต้นข้าว เช่นการขาดน้ำ การขาดธาตุอาหาร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 ระยะตั้งท้องของข้าว (booting stage) ระยะนี้เป็นระยะปลายของพัฒนาการทางช่อดอกของข้าว ซึ่งจะเกิดหลังจากที่ช่อดอกข้าวปรากฏให้เห็นโดยที่ช่อดอกของข้าวมีการเจริญและขยายตัวขึ้น ทำให้ดันกาบใบข้าวโป่งออกลักษณะลำต้นมีกลมพองออกมา ซึ่งเรียกอาการนี้ว่า ข้าวตั้งท้อง ในระยะใบข้าวที่บริเวณฐานของลำต้นข้าวและหน่อที่ไม่ให้รวงจะเริ่มแห้งและตายลง

2.4 ระยะแทงรวง (heading stage) เป็นระยะที่รวงของข้าวโผล่พ้นกาบใบธงออกมา

2.5 ระยะดอกข้าวบาน (flowering or blooming) ระยะนี้เริ่มจากอับละอองเรณูเกสรตัวผู้เปิดออกรวงข้าวอยู่ในลักษณะตั้งตรง ระยะนี้จะเกิดขึ้นหลังจากที่ข้าวตั้งท้องได้ประมาณ 25 วัน ดอกข้าวเริ่มบานจากส่วนยอดของช่อดอกลงมาส่วนกลางและส่วนล่างของช่อดอก ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วง 1-3 วัน หลังจากรวงข้าวแทงขึ้นมาดอกในช่อหนึ่งๆ จะบานทั้งหมด ภายในเวลา 6-7 วัน จะบานอยู่นาน 6 นาที จนถึงมากกว่า 1 ชั่วโมง ซึ่งขึ้นอยู่กับชื้นของอากาศ อุณหภูมิ แสงแดด สำหรับข้าวพันธุ์ที่นิยมปลูกกันส่วนใหญ่ดอกข้าวจะบานระหว่างเวลาเช้าจนถึงเที่ยง

2.6 ระยะการผสมเกสรและการปฏิสนธิ (pollination and) เนื่องจากข้าวเป็นพืชที่ผสมตัวเอง เมื่อดอกข้าวบานอับละอองเกสรของดอกข้าวก็จะแตก ทำให้ละอองเกสรตัวผู้หล่นไปบนยอดเกสรตัวเมีย แล้ว pollen tube จะงอกเข้าสู่รังไข่ผสมกับไข่ จากนั้น Lemma และ Palea จะปิดลง

3. ระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาการทางการสร้างเมล็ด และระยะสุกแก่ของเมล็ด (grain formation and repening phase)

3.1 ระยะน้ำนม (milk stage) ระยะนี้ส่วนที่เป็นแป้งในเมล็ดมีลักษณะเป็นของเหลวใส

3.2 ระยะแป้งอ่อน (dough stage) เป็นระยะที่แป้งน้ำนมในเมล็ดจะเปลี่ยนจากลักษณะเหลวมาเป็นแป้งอ่อนและค่อนข้างแข็ง

3.3 ระยะแก่ของเมล็ดหรือระยะพลับพลึง (maturation stage) เป็นระยะที่เมล็ดมีพัฒนาการของขนาดอย่างเต็มที่สีของเปลือกเมล็ดจะเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวมาเป็นสีเหลือง ระยะนี้เป็นระยะที่ข้าวมีน้ำหนักแห้งของเมล็ดสูงสุดหลังจากนั้นน้ำหนักของเมล็ดจะลดลงเล็กน้อยเนื่องจากความชื้นในเมล็ดลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสำคัญของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตของพืช

อุณหภูมิที่มีความร้อนเพียงพอให้เกิดความเสียหายแก่พืช ถ้าอุณหภูมิสูงเกินกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม 10-15 องศาเซลเซียส จะเกิด heat shock และ heat stress ขึ้นซึ่งเป็นการทำงานร่วมกันของระดับของอุณหภูมิ (temperature in degrees) ช่วงระยะเวลา (duration) และอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ (rate of increase in temperature) ถ้าอุณหภูมิสูงเกิดขึ้นในเวลากลางวันหรือกลางคืนจะส่งผลกระทบต่อพืช เช่น ยับยั้งการเจริญเติบโตและพัฒนา และส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบเมื่อเกิดอุณหภูมิสูงเวลากลางวัน ทำให้เกิดความเสียหายทั้งก่อนและหลังเก็บเกี่ยวอุณหภูมิสูงปานกลาง ทำให้เซลล์เสียหายหรือตายที่อาจเกิดจากการสัมผัสอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน โดยความเสียหายที่เกิดจากอุณหภูมิสูงโดยตรงคือ โปรตีนเสียสภาพ (protein denaturation) และเพิ่มความเหลวของชั้นไขมัน (fluidity of lipid layer) ใน biomembrane ส่วนความเสียหายทางอ้อม คือ หยุดการทำงานของเอนไซม์ในคลอโรพลาสต์ และในไมโตคอนเดรีย ยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน และเกิดความเสียหายของเมมเบรน (Howarth, 2005)

อุณหภูมิวิกฤติที่ส่งผลกระทบสำหรับพืชชนิดต่างๆ มีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 1) เช่น ข้าวโพดการเจริญเติบโตของ coleoptile จะลดลงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และตายที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (Weaich et al., 1996) ส่วน pearl millet และอ้อยมีผลต่อการแผ่การขยายพื้นที่ใบลดลง (Ashraf and Hafeez, 2004; Wahid, 2007) ซึ่งพืชจำพวก ถั่วแขก ถั่วพุ่ม มะเขือเทศ ฝ้าย ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าวฟ่าง จะได้รับผลกระทบในช่วงระยะสืบพันธุ์ (Hall, 1992, 1993) โดยข้าวสาลีอุณหภูมิสูงทำให้ช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตช่วงที่ 1 (growth stage 1, emergence to “double-ridge”) และการเจริญเติบโตช่วงที่ 2 (growth stage 2, double-ridge” to anthesis) ลดลงส่งผลต่อจำนวนรวงต่อต้น และจำนวนเมล็ดต่อรวงลดลง สุดท้ายทำให้ช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตช่วงที่ 3 (growth stage 3, anthesis to physiological maturity) ลดลงส่งผลต่อน้ำหนักเมล็ดที่ลดลง (Warrington *et al.,* 1977; Shpiler and Blum 1991)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 จุดวิกฤติของอุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นในพืชชนิดต่างๆ

พืช	จุดเริ่มต้นของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะการเจริญเติบโต	อ้างอิง
ข้าวสาลี	26	Post-anthesis	Stone and Nicolas (1994)
ข้าวโพด	38	Grain filling	Thompson (1986)
ฝ้าย	45	Reproductive	Rehman et al. (2004)
Pearl millet	35	Seedling	Camejo et al. (2005)
มะเขือเทศ	30	Emergence	Morrison and Stewart (2002)
กะหล่ำปลี	29	Flowering	Siddique et al. (1999)
Cool season pulses	25	Flowering	Vara Prasad et al. (2000)
ถั่วลิสง	34	Pollen production	Patel and Hall (1990)
ถั่วแขก	41	Flowering	Morita et al. (2004)
ข้าว	34	Grain yield	

ที่มา: Wahid et al., 2007

ผลของอุณหภูมิสูงต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก (green house gases) ส่งผลถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลกเป็นอย่างมากซึ่งเชื่อว่าในปี 2100 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้น 1.4-5.8 องศาเซลเซียส (IPCC, 2001) ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (Abdelbagi *et al*., 1999; Sangwan *et al*., 2002) โดยเฉพาะพืชในเขตร้อนและกึ่งร้อน (Ashraf and Harris, 2005) ความเครียดที่เกิดจากอุณหภูมิสูงและความยาวนานของความเครียดนี้มีผลต่อการพัฒนาและผลผลิตของพืช (Acevedo *et al*., 1991; Paulsen, 1994) นอกจากนี้อุณหภูมิสูงยังเป็นการเร่งการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชอีกด้วย (Al-Khatib and Paulsen, 1984) โดย Santarius and Weir (1988) กล่าวว่าความเครียดที่เกิดขึ้นทำให้ขบวนการสังเคราะห์แสงลดลงโดยตำแหน่งที่ถูกทำลายอยู่ที่ Photosystem II ใน thylakoid membrane และยังยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Rubisco (Law and Crafts-Brandner, 1999) รวมทั้งการหายใจที่เพิ่มขึ้น (Berry and Bjorkman, 1980) การสังเคราะห์แป้งและน้ำตาลลดลง (Bhullar and Jenner, 1985; Mohammadi *et al*., 2004) โดยเฉพาะความเครียดที่เกิดขึ้นระยะสะสมน้ำหนักแห้งในข้าวสาลี พบว่าจำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดต่อรวงและน้ำหนักเมล็ดลดลง (Warrington et al., 1977; Shpiler and Blum, 1991)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความเครียดที่เกิดจากอุณหภูมิสูง (high temperature stress) เป็นผลมาจากอุณหภูมิที่สูงเกินกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชไม่มากนักและเกิดขึ้นเป็นช่วงระยะเวลานานๆ โดยอุณหภูมิสูงจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำ อิออน และสารระหว่างเมมเบรนซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ (Christiansen, 1978) เมมเบรนถูกทำลายโดยวัดจากเสถียรภาพของเซลล์เมมเบรน (membrane thermal stability, MTS) ซึ่งวัดปริมาณสารที่รั่วไหลออกจากเซลล์พืช (Sullivan, 1972) เสถียรภาพของเซลล์เมมเบรนยังเกี่ยวข้องกับผลผลิตภายใต้สภาพ heat stress ด้วย (Reynold *et al*., 1994) ความเครียดที่เกิดจากอุณหภูมิสูงทำให้เสียความสมดุลระหว่างการหายใจและการสังเคราะห์แสงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยอัตราการหายใจจะมากกว่าการสังเคราะห์แสง ซึ่งเกี่ยวกับ temperature compensation point

โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวอุณหภูมิกลางวัน/กลางคืนเฉลี่ย 28/22 องศาเซลเซียส ซึ่งระยะที่ข้าวตอบสนองต่ออุณหภูมิมากที่สุดคือ ระยะที่ข้าวออกดอก (flowering) โดยเฉพาะช่วงเวลาการปฏิสนธิ (fertilization) ซึ่งจะส่งผลต่อการติดเมล็ด (seed-set) การแตกของอับเกสร การแตกของอับละอองเกสร และการงอกของเกสรสู่ท่อนำไข่ โดยอุณหภูมิสูงทำให้ผลผลิตของพืชลดลงเนื่องจากอิทธิพลเร่งอัตราการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืชทำให้พืชสร้างดอก ผล และเมล็ดถูกเร่งให้เร็วขึ้น จึงมีช่วงระยะเวลาสะสมชีวมวลจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อยลงทำให้ผลผลิตลดน้อยลง ซึ่ง Osada *et al*. (1973) รายงานว่าการออกดอกในฤดูปลูกที่ร้อนจัด และอากาศแห้งแล้งของข้าวพันธุ์พื้นเมืองของไทยจะติดเมล็ดน้อยมาก และจากรายงานของ Satake and Yoshida (1978) พบว่า อุณหภูมิสูงทำให้เมล็ดที่ได้รับการผสมเกสรแล้วไม่พัฒนา และยังพบว่าข้าวในระยะออกที่อยู่ในสภาพอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง จะทำให้ความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวลดลงเหลือประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ และที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ทำให้ความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวลดลงเหลือ 55 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 41 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จะทำให้ความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวลดลงเหลือเพียง 15 เปอร์เซ็นต์

เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 40 องศาเซลเซียสทำให้ความมีชีวิตของละอองเกสรตัวผู้ลดลง (พีรเดช, 2529; Young, 1956) การงอกของละอองเกสรขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเนื่องจากขณะที่ละอองเกสรงอกนั้นต้องอาศัยการทำงานของเอนไซม์ในการสังเคราะห์ RNA และโปรตีน การหายใจและการสังเคราะห์สารประกอบชนิดต่างๆ ดังนั้นถ้าอุณหภูมิสูงไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ ทำให้การงอกของละอองเกสรมีประสิทธิภาพต่ำลง (Leopold and Kreidemann, 1957)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลของอุณหภูมิสูงต่อการสังเคราะห์แสง

อุณหภูมิส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงเนื่องจากมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์โดยที่อุณหภูมิเหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์แสงจะอยู่ระหว่าง 30-35 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะสร้างเอนไซม์ย่อยสลายโปรตีน ซึ่งส่งผลทำให้โปรตีนถูกทำลายการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในการสังเคราะห์แสงของเมมเบรนจาก photosystem II ไป photosystem I ส่งผลให้การสังเคราะห์แสงหยุดทำงานชั่วขณะ ซึ่งมีผลต่อผลผลิตของพืชภายใต้สภาวะความเครียดจากความร้อน (heat stress) และจะไปจำกัดอัตราของ carbon metabolism โดยคาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานแรกของ chloroplast membrane การที่ photosystem II หยุดทำงานชั่วขณะซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ ligh-harvesting pigment และ reaction center complex ซึ่งไวต่อความร้อนและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สูงกว่า 25 องศาเซลเซียส จะทำให้การสังเคราะห์แสงของพืช C_3 ลดลง เนื่องจากไปกระตุ้นให้เกิดการหายใจแบบใช้แสง (photorespiration) และมีผลต่ออุณหภูมิของใบสูงขึ้นทำให้ใบมีการคายน้ำมากขึ้นค่าพลังงานศักย์ของน้ำในใบลดลงและท้ายสุดปากใบปิดและการแลกเปลี่ยนแก๊ซลดลง (ศรีสม, 2548) อุณหภูมิยังมีผลต่ออัตราการหายใจ อุณหภูมิที่เหมาะสำหรับการหายใจ คือ 40-45 องศาเซลเซียส ในขณะที่การสังเคราะห์แสงน้อยลงด้วยเนื่องจากอุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส ดังนั้นประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสุทธิจะลดลงมาก และเมื่อพืชมีการหายใจสูงขึ้นจะส่งผลต่อการเจริญเติบโต จำนวนต้นต่อกอ หรือ จำนวนดอกต่อช่อดอก รวมไปถึงผลผลิต (Gerik and Eastin, 1985) ส่วนการเคลื่อนย้ายสารอาหาร ซึ่งผลกระทบโดยตรงต่อการเกิดรูปแบบของ phloem callose ทำให้เกิดการหดตัวของ plasmodesmata และ sieve-plate pore และการเคลื่อนย้ายสารอาหารไปยังส่วนเจริญของเมล็ดเลวลง (MeNairn and Currier, 1968) นอกจากนี้ Spietz (1977) พบว่าจะมีการสะสมคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นในส่วนของใบข้าวสาลี ซึ่งจะไปจำกัดการเคลื่อนย้ายไปในส่วนการเจริญของเมล็ด (feedback mechanism)

การเรืองแสง (ฟลูออเรสเซนซ์, Fluorescence)

เป็นการปลดปล่อยพลังงานแสงที่รงควัตถุต่างๆ เช่น chlorophyll ดูดซับเข้าไว้ แสงในช่วงที่ตามองเห็นจะมีความยาวช่วงคลื่นประมาณ 380-760 นาโนเมตร เมื่อโมเลกุลของสารดูดแสงในช่วงคลื่นนี้ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของโมเลกุล ทำให้อิเล็กตรอนอยู่ในสภาพเร่งเร้า (excited stage) ในสภาพปกติก่อนที่โมเลกุลจะดูดพลังงานแสง โมเลกุลอยู่ในสภาพเสถียรหรือคงตัว (ground stage) พลังงานของอิเล็กตรอนหรือโมเลกุลที่สูงขึ้นจากระดับปกติและอยู่ในสภาพเร่งเร้านี้เรียกว่า พลังงานเร่งเร้า (excitation energy) ซึ่งเป็นพลังงานที่ไม่คงตัวและเกิดในสภาพสั้นมาก ถ้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต้องการใช้พลังงานนี้ให้เป็นประโยชน์จะต้องส่งถ่ายอิเล็กตรอนหรือพลังงานผ่านโมเลกุลของรงควัตถุที่อยู่ติดกันเป็นทอดๆ ต่อเนื่องกันจนถึงศูนย์กลางของปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสง ถ้าพลังงานเร่งเร้านี้ไม่สามารถส่งถ่ายอิเล็กตรอนไปยังสารอื่นได้ภายในระยะเวลา 10^{-9} วินาที พลังงานเร่งเร้านี้จะต้องขจัดออกไปจากระบบในรูปของความร้อนหรือเปลี่ยนเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าเดิมหรือเกิดการเรืองแสงที่เรียกว่า ฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence) ระดับของ fluorescence ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอีกด้วย (van Fracheboud, 2001)

สำหรับพืชโดยทั่วไปพลังงานแสงจะถูกดูดกลืนด้วยโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง อย่างไรก็ตามจะมีพลังงานอีกส่วนหนึ่งที่ไม่ได้ใช้ในปฏิกิริยานี้ พืชจึงมีกลไกในการปลดปล่อยพลังงานนี้ออกมาในลักษณะต่างๆ เช่นการสะท้อนกลับของรังสีและการเปล่งรังสีฟลูออเรสเซนซ์ (Hall *et al*., 1992) ซึ่งจำนวนของคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์จะเป็นสิ่งชี้วัดความคงตัวของไทลาคอยด์เมมเบรน และประสิทธิภาพความสัมพันธ์ของการส่งถ่ายอิเล็คตรอนจาก Photosystem II (PSII) ไปยัง Photosystem I (PSI) (Krause and Weis, 1984; Schreiber and Armond, 1978; Smillie, 1979)

ในสภาพปกติเมื่อใบพืชได้รับความมืดประมาณ 30 นาที พบว่าส่วนของตัวให้อิเล็กตรอน (electron donor) รับอิเล็กตรอน (electron acceptor) ใน Photosystem II (PSII) จะอยู่ในสภาพ ground stage และสามารถเปิดรับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ได้สูงสุด แต่ในสภาพนี้คลอโรฟิลล์ก็สามารถเปล่งรังสีฟลูออเรสเซนซ์ออกมาได้ต่ำสุดเรียกว่า Fo (minimum fluorescence) ทันทีที่ได้รับแสงที่มีความเข้มสูง (มากกว่า 15,000 $\mu mol/m^2s$ ตัวให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในสภาพ excited stage จะเปล่งรังสีฟลูออเรสเซนซ์จากคลอโรฟิลล์ออกมาในระดับสูงสุดเรียกว่า Fm (maximum fluorescence) จากนั้นค่านี้ก็จะลดลงสู่ระดับ Fo อีก เมื่ออิเล็กตรอนส่งถ่ายไปยัง ตัวรับอิเล็กตรอนต่างๆ จนถึง Photosystem I ปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์นี้เรียกว่า Kautsky curve ความแตกต่างระหว่างค่า Fm และ Fo เรียกว่า variable fluorescence (Fv) อัตราส่วนของ Fv/Fm (Maximum quantum yield of PSII) แสดงถึงความสามารถของ PSII ในคลอโรฟิลล์ของพืชในการรับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ และถ่ายทอดไปสู่ PSI (Maxwell and Johnson, 2000; van Fracheboud, 2001) และค่านี้มีมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของปฏิกิริยาเคมีของการใช้แสงในกระบวนการสังเคราะห์แสงที่เรียกว่า quantum yield (Bjorkman and Demming, 1987; Krause and Weis, 1991) ในพืชที่อยู่ในสภาพปกติค่า Fv/Fm อยู่ระหว่าง 8.83-0.87 (Demming, 1995)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้นการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์แสง ปัจจุบันได้มีการปรับปรุงเทคนิคนี้เพื่อมาใช้เป็นเครื่องมือศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชต่อสภาวะเครียดของสิ่งแวดล้อมภายนอก (Flagella *et al*., 1994; Bilger *et al*., 1995; Maxwell and Johnson, 2000; Strasser *et al*., 2000; van Fracheboud, 2001) ซึ่งผลของสภาวะเครียดที่มีต่อการทำงานของ PSII ของพืชนั้น จะมีผลนำไปสู่การลดลงของค่า Fv/Fm (Krause and Weis, 1991) และถ้ากระบวนการสังเคราะห์แสงได้รับความเสียหายอันเนื่องมาจากอุณหภูมิสูง ค่า Fo จะเพิ่มขึ้น โดยการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์สามารถใช้ได้กับพืชทุกชนิด (Wilson and Greaves, 1993)

Nogues *et al*. (1994) มีการใช้เทคนิคคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในการคัดแยกความทนทานแล้งของสายพันธุ์ข้าวบาร์เลย์และประเมินการแลกเปลี่ยน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ water potential ในใบ และมีการศึกษากับความทนร้อนในข้าวบาร์เลย์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยเทคนิคคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในการตรวจสอบความเสียหายในระดับไทลาคอยด์เมมเบรน (Ilik *et al*., 2000)

Wilson and Greaves (1993) ใช้ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในการจำแนกประชากรที่ทนทานต่อสภาพร้อนในข้าวโพด 6 สายพันธุ์ หลังจากที่ได้รับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่า ค่า Fv/Fm ลดลง สามารถจำแนกความแตกต่างของพันธุ์ที่ทนทานต่อสภาพร้อนได้และยังได้ทดลองกับทานตะวัน 6 คู่ผสม พบว่า ค่า Fv/Fm สามารถประเมินความแตกต่างของพันธุ์ได้ในช่วงที่ได้รับอุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส

Petkova *et al*. (2007) คัดแยกความทนทานร้อนโดยการประเมินค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ ใน *Phaseolus vulgaris* (L.) 12 พันธุ์ ที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส ในตอนเช้า และ 40 องศาเซลเซียส ในตอนกลางวัน ซึ่งพบว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก 26 เป็น 42 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ค่า Fo, Fm และ Fv/Fm มีความแตกต่างกันทางสถิติ และพบว่ามี 2 สายพันธุ์ ที่ทนทานต่อสภาพร้อนและมีค่า Fo, Fm และ Fv/Fm ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และเหมาะที่จะเป็นแม่พันธุ์ในการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กลไกของความทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูง

เนื้อเยื่อพืชมีความสามารถในการปลดปล่อยความร้อนโดยกระบวนการหลัก 2 ขบวนการคือ การปล่อยแสงช่วงคลื่นยาว หรือการส่งถ่ายความร้อน และการคายน้ำ ซึ่งการคายน้ำเป็นวิธีการที่ให้ผลดีที่สุดในสถานการณ์ธรรมชาติหลายสถานการณ์ อุณหภูมิของพืชที่สูงกว่า 40 องศาเซลเซียส จึงมักจะเกี่ยวข้องกับการหยุดชะงักของการปลดปล่อยความร้อนโดยการคายน้ำ เนื่องจากปิดปากใบเพื่อป้องกันสภาวะขาดน้ำ ดังนั้นการปลูกพืชในพื้นที่แห้งแล้งในเขตร้อน และกึ่งร้อนจึงมักจะพบกับสภาะเครียดจากการขาดน้ำควบคู่ไปกับอุณหภูมิสูง สภาวะเช่นนี้อาจพบได้เช่นกันในเขตอบอุ่นในระหว่างช่วงที่มีแสงจ้า (Fitter and Hay, 1987)

Raison *et al*. (1980) กล่าวว่า lipid ที่อยู่ใน chloroplast เปลี่ยนแปลงสภาพ (phase transition) ได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยจากอุณหภูมิที่เหมาะสม ซึ่งแสดงให้เห็นว่า membrane ต่างๆ เป็นจุดแรกที่เกิดความเสียหายจากอุณหภูมิสูง Bjorkman (1980) กล่าวว่าขบวนการสังเคราะห์แสงเป็นขบวนการที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งระดับความเสียหายจะแตกต่างกันออกไปตามระดับของอุณหภูมิ โดยสรุปว่า photosystem II ที่อยู่บน thylakoid membrane จะอ่อนแอที่สุดในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ อย่างไรก็ตาม พืชอาจเผชิญกับสภาพอุณหภูมิสูงที่ต่อเนื่องยาวนานอาจไม่ก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรง เนื่องจากพืชเกิดการปรับตัวให้เข้ากับสภาพอุณหภูมิที่สูงขึ้นได้ (acclimation) หรือ hardening (Coffman, 1957) แต่อย่างไรก็ตามในสภาพอุณหภูมิสูงโดยเฉพาะอุณหภูมิในเวลากลางคืน อัตราการหายใจของพืชก็สูงตาม การสะสมน้ำหนักแห้งของพืชจะลงลงมาก

อย่างไรก็ตามกลไลการต้านทานต่อสภาพอุณหภูมิสูงของพืชประกอบขึ้นโดยมีการเปลี่ยนแปลงหรือทำงานร่วมกันในระดับเนื้อเยื่อและอวัยวะ (tissue and organs) ของพืชทั้งต้น ซึ่งเรียกว่า avoidance (Larcher, 1995) และการเปลี่ยนในระดับของโมเลกุลทั้งทางด้านสรีรวิทยาและชีวเคมี เป็นลักษณะที่เรียกว่า tolerance (Levitt, 1980) ในกรณีที่พืชได้รับรังสีดวงอาทิตย์จะมีผลทำให้ใบพืชมีอุณหภูมิสูงขึ้น การคายน้ำ (transpiration) เป็นขบวนการหนึ่งในการลดความร้อน แต่เพื่อลดการสูญเสียน้ำท้ายสุดพืชแสดงอาการเหี่ยวหรือม้วนใบเพื่อลดพื้นที่ในการรับรังสีดวงอาทิตย์ หรือพืชบางชนิดมีไขเคลือบที่ใบและลำต้น ในบางกรณีเมื่อพืชได้รับอุณหภูมิสูงพืชจะมีการสังเคราะห์สารจำพวก secondary growth substance เช่น heat shock proteins เพื่อใช้ในการป้องกันไม่ให้จุดที่อ่อนแอที่สุดที่ตอบสนองต่ออุณหภูมิได้รับความเสียหาย และจะสลายตัวไปเมื่ออุณหภูมิกลับสู่สภาพปกติ (Altschuler and Mascarenhas, 1982; Larcher, 1995)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุณหภูมิกับการเจริญเติบโตของข้าวและการคัดเลือกเพื่อทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูง

ปัญหาที่เกิดขึ้นในฤดูร้อนของประเทศ กัมพูชา ไทย อินเดีย ปากีสถาน อิหร่าน และในเขตร้อนของแอฟริกา คือ เมื่ออุณหภูมิที่สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส นานมากกว่า 1 ชั่วโมง ที่ระยะออกดอก ทำให้มีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่ำ (spikelet sterility) ดังนั้นถ้าปลูกข้าวในพื้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดความเสียหายในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ (ตารางที่ 2) ซึ่งแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ของพันธุ์ข้าวไม่สามารถระบุความอ่อนแอต่ออุณหภูมิได้ โดยพันธุ์ BKN6624-46-2 จากประเทศไทยอ่อนแอที่ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ รวมทั้งระยะออกดอกมากกว่าพันธุ์ Fujisaka5 จากประเทศญี่ปุ่น โดยอุณหภูมิที่สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส อันดับแรกที่ส่งผลกระทบ คือ ที่ระยะการเกิดช่อดอก (panicle initiation) ทำให้เกิดการเป็นหมัน (sterility) และรองลงมาคือ ที่ระยะ 9 วัน ก่อนดอกบาน โดยพันธุ์ข้าวที่ทนทานต่ออุณหภูมิสูงคือ พันธุ์ N22 ซึ่งเป็นข้าวพื้นที่สูงของประเทศอินเดีย มีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดสูงมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอคือ พันธุ์ BKN6624-46-2 เป็นข้าวพื้นที่ลุ่มของประเทศไทย มีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่ำประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 อาการผิดปกติของความเครียดจากอุณหภูมิสูงที่ระยะการเจริญเติบโตต่างๆ ของข้าว

ระยะการพัฒนา	อาการ	สายพันธุ์ที่อ่อนแอ
ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ	-ปลายใบมีสีขาว -จะเกิดแถบสีเหลืองและเป็นรอยด่าง -เกิดแถบสีขาวและจุดด่างตามใบ -การแตกหน่อลดลง -ความสูงลดลง	IR26, Calrose BKN6624-46-2
ระยะสืบพันธุ์ ถึง ระยะออกดอก	-เมล็ดมีสีขาว ก้านเมล็ดมีสีขาว -จำนวนเมล็ดลดลง	IR24, Calrose
	-sterility	C4-63G, H4, Calrose, PelitaI/1, Basmati-370, BKN6624-46-2
ระยะสุกแก่	-การสะสมน้ำหนักเมล็ดลดลง (reduced grain-filling)	TN1, IR24, IR26< H4, fujisaka5, C4-63C, Pelita I/1

ที่มา IRRI (1975)

การคัดเลือกข้าวให้ทนทานต่ออุณหภูมิสูงต้องคัดเลือกที่ระยะข้าวออกดอก (Satake and Yoshida, 1978; Matsui *et al*., 2001; Matsui and Omasa, 2002) จากการศึกษาของ International Rice Research Institute (2007) พบว่าอุณหภูมิที่สูงกว่า 41 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมงโดยเก็บข้อมูลการติดเมล็ดที่ระยะออกดอก สามารถแยกพันธุกรรมข้าวทนร้อนได้ ส่วนการศึกษาของ Jagadish *et al.* (2007) ได้ทดลองข้าว *Oryza sativa* พันธุ์ IR64 และ Azucena พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลต่อการบานของดอก จำนวนดอก และชักนำให้เกิดการผสมไม่ติดจำนวนการติดเมล็ดจึงลดลงของสองพันธุ์ และเมื่อเปรียบเทียบทั้งสองพันธุ์ พบว่า Azucena อ่อนแอมากกว่า พันธุ์ IR64 ส่วนการศึกษาของ Prasad *et al.* (2006a) ได้ทดสอบข้าวสองชนิดคือ japonica และ indica ตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนถึงระยะเก็บเกี่ยว อุณหภูมิกลางวัน/กลางคืนเฉลี่ย 30/23 องศาเซลเซียส และในสภาพอุณหภูมิสูงเฉลี่ย 35/27 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิสูงมีผลต่อการติดเมล็ด น้ำหนักเมล็ดต่อช่อดอก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และดัชนีการเก็บเกี่ยวในแต่ละพันธุ์ลดลง รวมทั้งการตอบสนองต่ออุณหภูมิของแต่ละพันธุ์แตกต่างกัน

อิทธิพลของอุณหภูมิสูงต่อการออกรวงของข้าว

อิทธิพลของอุณหภูมิสูงต่อการออกรวงของข้าวโดยทั่วไป จะเป็นปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างระดับอุณหภูมิกับความยาววัน ข้าวจะตอบสนองต่ออุณหภูมิโดยมีช่วงแสงเป็นตัวกระตุ้น ระดับการตอบสนองจะแตกต่างกันตามพันธุ์ อุณหภูมิจะมีผลต่อการออกดอกของข้าวทั้งพันธุ์ไวแสง และพันธุ์ไม่ไวแสง ในสภาพปกติอุณหภูมิสูงจะเร่งให้ข้าวออกดอกเร็วขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิต่ำจะชลอการออกดอกให้ช้าลงแต่ในบางสภาวะอุณหภูมิจะชลอการออกรวงให้ช้าลงด้วย ซึ่ง Vergara and Lilis (1968) กล่าวว่า อุณหภูมิสูงช่วยในการออกดอก โดยอุณหภูมิสูงจะเร่งการพัฒนาและการยืดยาวของรวงให้เร็วขึ้นมากกว่าจะไปกระตุ้นให้เกิดการกำเนิดช่อดอกอ่อน ได้มีการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิสูงต่อการออกดอกของข้าว ในห้องควบคุมสภาพแวดล้อม วาสนา (2540) ได้อ้างถึงผลการศึกษาของนักวิจัยหลายคน ได้แก่ (Vergara and Chan, 1985; Mudshirato, 1965; Yatsyyanogi and Tkuechi, 1956; Beest, 1959) ซึ่งสรุปได้ว่าอุณหภูมิสูงช่วยกระตุ้นการพัฒนาการสร้างรวงโดยมีอุณหภูมิวิกฤติอยู่ระดับ 18 องศาเซลเซียส อุณหภูมิระหว่าง 35-37 องศาเซลเซียส จะช่วยเร่งการพัฒนารวงในช่วงท้าย

อิทธิพลของอุณหภูมิสูงต่อการเป็นหมันของข้าว

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ข้าวเกิดการเป็นหมัน การเป็นหมันจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับของอุณหภูมิ ความยาวนาน ระยะการเจริญเติบโตที่ข้าวได้รับอุณหภูมิสูง และพันธุ์ โดย Sato (1960,.1966) สังเกตพบว่าการเป็นหมันรุนแรงในฤดูร้อนที่แห้งแล้งในประเทศกัมพูชา ซึ่งเป็นรายงานครั้งแรกเกี่ยวกับอุณหภูมิสูงที่ก่อให้เกิดการเป็นหมันของข้าวเขตร้อน ข้าวจะมีอัตราการเป็นหมันเมื่อข้าวออกรวงในช่วงปลายเดือนมกราคมถึงกรกฎาคม ในเดือนเมษายนอัตราการเป็นหมันสูงที่สุดถึง 100 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเป็นหมันจะลดลงแต่ยังคงมีอัตราสูงอยู่จนถึงปลายเดือนมิถุนายน ซึ่งอัตราการเป็นหมันเท่ากับในช่วงปลายเดือนมกราคมถึงปลายเดือนมีนาคมคือจะสูงกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ แต่ข้าวที่ออกรวงในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงต้นเดือนมกราคม จะมีอัตราการเป็นหมันต่ำกว่าช่วงอื่นๆ เมื่อค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงสุด 36 ถึง 37 องศาเซลเซียส ในเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคม อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเป็นหมันสูงที่สุด อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการผสมเกสรที่ผิดปกติซึ่งจะเกิดการแตกของอับเรณูที่ผิดปกติและการเหี่ยวเฉาของเกสรตัวเมีย และ IRRI (1976)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รายงานว่าที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส การผสมเกสรไม่เกิดขึ้นในพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอต่ออุณหภูมิสูง หลังจากที่ให้ข้าวได้รับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 วัน ในข้าวพันธุ์ที่ทนทานแสดงเมล็ดที่เป็นหมันแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์อย่างเห็นได้ชัด เมื่อข้าวได้รับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 วัน ในเขตภูมิอากาศแบบ Semiarid เมือง Hydrabad ประเทศอินเดีย ในเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคมเป็นช่วงที่ rabi rice crop ออกดอกและสุกแก่ในตอนกลางวันอุณหภูมิจะสูงสุด 38-40 องศาเซลเซียส ข้าวบางสายพันธุ์จะออกดอกในเดือนเมษายนและมีเปอร์เซ็นต์การเป็นหมันสูง เห็นได้ชัดช่วงที่อุณหภูมิสูงขณะดอกบานเป็นเหตุให้เกิดการเป็นหมันมากเพราะการผสมเกสรของข้าวเกิดในช่วงตอนเช้าถึงกลางวัน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สำคัญี่อุณหภูมิสูงจะขึ้นถึงระดับวิกฤตของอุณหภูมิสูงที่ชักนำให้เกิดการเป็นหมัน ที่ Hydrabad อุณหภูมิสูง 35 องศาเซลเซียส ในช่วง 09.30 นาฬิกา (อุณหภูมิวิกฤติ) และสูงถึง 39 องศาเซลเซียส เมื่อถึงเที่ยงวัน รูปแบบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินำไปใช้ได้กับทุกๆ ที่ ในเขตภูมิอากาศแบบ Semiarid

Chang et al. (1978) ปลูกข้าว 36 พันธุ์ในฤดูหนาวและฤดูร้อน พบว่าอุณหภูมิสูง ชักนำให้เกิดความเสียหาย 2 แบบ แบบแรก ต้นจะแคระแกรนในช่วงนแรกๆ ของการปลูกในฤดูแล้ง และแบบที่สองข้าวจะเป็นหมันทั้ง 2 ฤดู โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเป็นหมันจะต่ำเมื่อปลูกในฤดูหนาว การเป็นหมันที่ปรากฏจะเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดผลผลิต โดย IRRI (1977) กล่าวว่าภาคใต้ของอิรักอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนเมษายนสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส ชักนำให้เกิดการเป็นหมัน และ Matsushima (1978) รายงานว่า อุณหภูมิสูงชักนำให้เกิดการเป็นหมัน ประเทศซูดานซึ่งเป็นพื้นที่ที่อุณหภูมิรายเดือนสูงสุดในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคมสูงถึง 40 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดลีบมีจำนวนเพิ่มขึ้น เมื่อข้าวที่ปลูกออกรวงในช่วงปลายเดือนเมษายนถึงปลายเดือนพฤษภาคม ในประเทศอียิปต์ เปอร์เซ็นต์ของการเป็นหมันและเมล็ดลีบสูงเช่นกัน Matsushima et al. (1982) รายงานว่า ข้าวที่ได้รับอุณหภูมิสูง 40 ถึง 42.1 องศาเซลเซียส ที่ระยะออกรวงของข้าว 3 สายพันธุ์ ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์เมล็ดที่ไม่ได้รับการผสมกับเปอร์เซ็นต์เมล็ดแก่จะมีความสัมพันธุ์แบบผกผัน คือ หากเปอร์เซ็นต์ที่ไม่ได้รับการผสมสูงขึ้นเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีลดลง ซึ่งข้าวแต่ละพันธุ์จะได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิสูงต่อเปอร์เซ็นต์การผสมติดแตกต่างกัน

Sato (1967) กล่าวว่า ในประเทศ Senegal และประเทศอื่นๆ ในอัฟกานิสถานอุณหภูมิสูงไม่เหมาะสมที่จะปลูกข้าว โดยข้าวพันธุ์ TR747 อ่อนแอต่ออุณหภูมิ เมื่อข้าวได้รับอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง และ 41 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง พบว่าข้าวที่ได้รับอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การผสมติดจะลดลงจาก 87 เปอร์เซ็นต์จนถึง 15 เปอร์เซ็นต์ และข้าวที่ได้รับอุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การผสมติดจะลดลงจาก 90

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปอร์เซ็นต์ จนถึง 5 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อข้าวได้รับอุณหภูมิสูงเปอร์เซ็นต์การผสมติดจะลดลง และเมื่อข้าวได้รับอุณหภูมิสูงถึง 41 องศาเซลเซียส แม้จะได้รับเพียง 2 ชั่วโมง ก็ทำให้เปอร์เซ็นต์การผสมติดลดต่ำลงไปอีก

Matsushima and Tanaka (1960) ได้ศึกษาระยะการพัฒนารวงที่ตอบสนองต่ออุณหภูมิสูง ในข้าวพันธุ์ BKN 6624 เมื่อข้าวได้รับอุณหภูมิสูงมากที่สุดที่ระยะสร้างรวง เมล็ดข้าวจะไม่ได้รับการผสม (unfertilized grains) จะตรวจได้โดยใช้มือบีบซึ่งผลจะคล้ายกับการทดสอบด้วยไอโอดีน ซึ่ง Osada (1972) ได้ให้ข้อสังเกตว่า ข้าวนาปรังในประเทศไทย มีอัตราการเป็นหมันสูงเพราะกระทบอุณหภูมิสูงในช่วงดอกบาน ซึ่งผลกระทบในแต่ละพันธุ์ไม่เท่ากัน Toriyama and Hue (1982) ทดลองปลูกข้าวในประเทศปากีสถาน เมือง Lyallpur ข้าวเกิดการเป็นหมัน 40-50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพืชออกดอกในเดือนกรกฎาคมและสุกแก่ในเดือนสิงหาคม ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิหสูง ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิประจำเดือนกรกฎาคม (30.3 องศาเซลเซียส) นั้นมากเกินไปแต่อุณหภูมิรายวัน ในช่วงแรกของเดือนจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา บางครั้งสูงถึง 35-40 องศาเซลเซียส สำหรับการปลูกในเมือง Dolri ซึ่งอุณหภูมิสูงกว่าที่ Lyallpur ข้าวจะออกดอกในเดือนมิถุนายน ซึ่งอุณหภูมิจะสูง พบว่าเปอร์เซ็นต์การเป็นหมันจะสูง และ Al-Hassa Oasis ที่อยู่ในเขตภูมิอากาศแบบ arid tropical ประเทศซาอุดิอาระเบีย ซึ่งเป็นเขตหนึ่งที่ร้อนที่สุดในโลก อุณหภูมิรายเดือนสูงสุดช่วงเดือนกันยายน อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิรายวันและกลางคืนแตกต่างกันมาก Satake and Yoshida (1978) ได้ศึกษาช่วงเวลาการตอบสนองของดอกข้าวต่ออุณหภูมิสูงในวันที่ดอกบานในข้าวพันธุ์ IR 747B-2-6 เมื่อข้าวได้รับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง 38 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง และ 41 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ซึ่งการทดลองเป็นเวลา 5 วันและทำเครื่องหมายไว้ที่ glum เพื่อบันทึกการผสมเกสร พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงเปอร์เซ็นต์การเป็นหมันสูงเช่นกัน ที่ระดับอุณหภูมิแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะได้รับอุณหภูมิสูงในเวลาเท่ากันที่ระดับอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ข้าวจะมีเปอร์เซ็นต์การผสมติดน้อยกว่าที่ระดับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 41 องศาเซลเซียส แม้ว่าจะได้รับเพียง 2 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การผสมติดต่ำสุดคือน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์

Osada *et al.* (1973) ทำการทดลองการเกิดเมล็ดลีบในหลายจังหวัดในประเทศไทย พบว่าข้าว 12 พันธุ์และสายพันธุ์ ได้ถูกปลูก 3 ครั้ง เพื่อให้ออกดอกภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ในช่วงท้ายของฤดูแล้ง ในช่วงเดือนเมษายนและพฤษภาคม อุณหภูมิสูงสุดตลอดทั้งวันเพิ่มขึ้นสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส จากการสังเกตการปลูกทั้ง 3 ครั้ง พบว่า เปอร์เซ็นต์การเป็นหมันจะอยู่ในช่วง 40 เปอร์เซ็นต์ ถึงน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ และจะคล้ายๆ กันในพันธุ์ที่ปลูกต่างกัน การทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า เมล็ดที่ไม่เกิดการผสมเนื่องจากได้รับอุณหภูมิสูงมากกว่า 34 หรือ 35 องศาเซลเซียส ขณะดอก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บาน ข้าวแต่ละพันธุ์ จะตอบสนองต่ออุณหภูมิสูงที่ได้รับในช่วงดอกบานแตกต่างกัน Vergara (1979) พบว่า พื้นที่ปลูกข้าวในประเทศ อิหร่าน อียิปต์ และอินเดีย อุณหภูมิในตอนกลางวันจะสูง (35-40 องศาเซลเซียส) ซึ่งเป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของข้าว ในช่วงกำเนิดรวงและเริ่มสร้างรวง อุณหภูมิสูงเป็นสาเหตุทำให้ลดจำนวนดอกและลดการสร้างดอก ส่วนในระยะดอกบาน อุณหภูมิสูงเป็นสาเหตุทำให้ดอกข้าวเป็นหมันสูงมาก Takeoka *et al.* (1993) พบว่า อุณหภูมิที่ทำให้รวงอ่อนสามารถพัฒนาได้จะอยู่ในช่วง 18 องศาเซลเซียส ถึง 30 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 32 องศาเซลเซียส เริ่มแสดงผลกระทบต่อลักษณะต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบผลผลิต เช่น จำนวนเมล็ดต่อรวง ขนาดของเมล็ด เป็นต้น นอกจากนี้ข้าวที่ได้รับอุณหภูมิในระยะ reproductive เมล็ดและรวงจะมีสีซีด การเจริญเติบโตและพัฒนาการของดอกจะผิดปกติหากข้าวได้รับอุณหภูมิสูงเกินกว่า 37 องศาเซลเซียส จะทำให้รวงอ่อนที่กำลังเจริญเติบโตถูกยับยั้งและมีโอกาสเป็นหมันมากขึ้น อัตราการเป็นหมันจะสูงขึ้นอย่างรุนแรงเมื่อข้าวได้รับอุณหภูมิสูงนาน 1-2 ชั่วโมง ระหว่างที่ดอกบาน เพราะดอกข้าวไม่สามารถผสมติดได้ ในขณะที่การเจริญเติบโตของเมล็ดจะลดลง เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงกว่า 32 องศาเซลเซียส สูงกว่า 32 องศาเซลเซียส และมากกว่านั้นจำนวนเมล็ดจะลดลง

Osada *et al.* (1973) รายงานว่า พื้นที่ปลูกข้าวหลายจังหวัดในเขตที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทยที่ปลูกข้าวพันธุ์ส่งเสริมพันธุ์ใหม่ที่ออกรวงในเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคม แสดงเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบมากกว่าปกติ โดยเฉพาะพันธุ์ C4-63 ที่นำมาจากประเทศฟิลิปปินส์ แสดงเปอร์เซ็นต์เมล็ดลีบที่สูง ส่วน Satake and Yoshida (1978) ได้ทดลองในข้าว 3 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ N22 เป็นพันธุ์ที่ทนทานต่อความร้อน TR747B-2-6 ทนทานปานกลาง และพันธุ์ BKN6624 อ่อนแอต่อความร้อน พบว่า เปอร์เซ็นต์การผสมติดของพันธุ์ BKN6624 สูงสุด 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิตอนกลางวัน 29 องศาเซลเซียส อุณหภูมิตอนกลางคืน 21 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์การผสมติดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งข้าวพันธุ์ BKN6624 เปอร์เซ็นต์การติดลดลงเหลือ 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 32 องศาเซลเซียส และลดลงเหลือ 15 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 35 องศาเซลเซียส และลดลงจนถึง 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 38 องศาเซลเซียส ขณะที่พันธุ์ TR747B-2-6 เปอร์เซ็นต์การผสมติดสูงที่สุด คือสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิตอนกลางวัน 29 องศาเซลเซียส อุณหภูมิตอนกลางคืน 21 องศาเซลเซียส จะมีเปอร์เซ็นต์การผสมติดลดลงเหลือ 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 35 องศาเซลเซียส และลดลงเหลือ 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิตอนกลางวัน 38 องศาเซลเซียส ส่วนข้าวพันธุ์ N22 เปอร์เซ็นต์การผสมติดสูงที่สุด (สูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์) เมื่ออุณหภูมิตอนกลางวัน 29 องศาเซลเซียส อุณหภูมิตอนกลางคืน 21 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์การผสมติดจะลดลงเหลือ 90 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 35 องศาเซลเซียส และลดลง 70

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิสูง 38 องศาเซลเซียส และพบว่าเปอร์เซ็นต์การผสมติดของข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ จะลดลงเหลือ 0 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 41 องศาเซลเซียส

อิทธิพลของอุณหภูมิสูงที่มีผลต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว

อุณหภูมิ ได้มีการศึกษาพบว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าวและการให้ผลผลิต พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในระหว่าง 25-33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป (ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส) จะมีผลต่อการงอกของเมล็ด การยืดของใบ การแตกกอ การสร้างดอกอ่อน การผสมเกสร เป็นต้น เช่น พบว่าอุณหภูมิที่สูงเกินไปและต่ำเกินไปช่วงที่มีการออกดอกจะทำให้ดอกข้าวเป็นหมัน ซึ่งจะส่งผลทำให้ได้ผลผลิตต่ำกว่าปกติ เป็นต้น ดังนั้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นไม่ว่าจะเป็นกลางวัน หรือกลางคืน ล้วนมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช อุณหภูมิสูงในเวลากลางวันมีผลต่อการผสมเกสร ทำให้ผสมเกสรไม่ติด อุณหภูมิสูงในเวลากลางคืนมีผลต่อจำนวนดอก จำนวนเมล็ดที่ลีบเพิ่มมากขึ้น ในข้าวพันธุ์ IR72 หากอุณหภูมิกลางคืน (วัดจากอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย) เพิ่มขึ้นทุก 1 องศาเซลเซียส (จาก 22 องศาเซลเซียส) จะทำให้ผลผลิตข้าว ลดลง 10% งานวิจัยจากศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ปี 2543 พบว่าอุณหภูมิในช่วงเดือนมีนาคมที่สูงกว่าปกติ 1-3 องศาเซลเซียส ในช่วงผสมเกสรของข้าวนาปรัง ทำให้ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 เกิดเมล็ดลีบมากกว่า 40 % ในขณะที่พันธุ์สุพรรณบุรี 1 ไม่ได้รับความเสียหาย ผลการศึกษาแบบจำลองสภาพภูมิอากาศพบว่าในระยะ 20 ปี ต่อจากนี้ไปอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดจะไม่เปลี่ยนแปลงไปจากระดับในปัจจุบันมากนัก แต่ในระยะ 90 ปีจะเพิ่มขึ้น งานวิจัยด้านพืชพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับผลผลิตนั้นไม่เป็นเส้นตรง บางพืชอาจจะเจริญเติบโตได้ดีขึ้นในระยะแรกแต่ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ผลผลิตจะลดลง ดังนั้นผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตของพืชขึ้นอยู่กับว่าอุณหภูมิเริ่มต้นเป็นเท่าไรและพืชชนิดใด การสรุปทิศทางการเปลี่ยนแปลงของปริมาณผลผลิตในภาพรวมค่อนข้างยาก วิเชียร เกิดสุข และคณะ (2547) ได้เทียบผลผลิตข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 ที่ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ต่างๆ พบว่าในอีก 50 ปี ผลผลิตข้าวพันธุ์ดังกล่าว จะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 5-6 อย่างไรก็ดี นักวิชาการด้านพืชได้ให้ความเห็นว่าความผิดปกติของอุณหภูมิแม้จะเกิดขึ้นเพียงไม่กี่นาที อาจจะส่งผลเสียหายต่อผลผลิตเกษตรได้ ถ้าความผิดปกติของอุณหภูมิเกิดถี่ขึ้น จะทำให้ปริมาณผลผลิตลดลงได้ ซึ่ง Shen and Way (1970) รายงานว่า พันธุ์ข้าวกลุ่ม indica ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิและแสงแดด ข้าวที่ปลูกในเขตร้อนจะได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิสูงเสมอ ซึ่งทำให้ข้าวมีลักษณะผิดปกติ ความรุนแรงของความผิดปกติจะขึ้นอยู่กับระดับความสูงของอุณหภูมิ พันธุ์ ระยะการเจริญเติบโต และความรุนแรงขณะที่ข้าวได้รับอุณหภูมิสูง Yoshida (1973) ศึกษาช่วงอุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 22, 25, 28 และ 31 องศาเซลเซียส ในข้าวพันธุ์ IR8 พบว่าจำนวนเมล็ด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต่อรวงลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และ Murata (1976) พบว่า ข้าวบางพันธุ์เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงในช่วง 3 สัปดาห์ น้ำหนัก 1,000 เมล็ดลดลงจาก 24 กรัม เมื่อปลูกในที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 22 องศาเซลเซียส เหลือเพียง 21 กรัม เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นเป็น 28 องศาเซลเซียส อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส จะเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของข้าว อุณหภูมิต่ำกว่า 13 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส ข้าวจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ หากอุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้การแตกกอลดลง รวมทั้งทำให้จำนวนเมล็ดลีบสูงขึ้นซึ่งเป็นผลทำให้ผลผลิตลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้นอกห้องปฏิบัติการ

    1.1 ข้าวพันธุ์ไวแสง จำนวน 43 พันธุ์ และ ข้าวพันธุ์ไม่ไวแสง จำนวน 57 พันธุ์
    1.2 สารเคมีกำจัดโรคและแมลง
    1.3 ดินนา
    1.4 กระถางดิน
    1.5 ปุ๋ยสูตร 16-20-0 และ สูตร 46-0-0
    1.6 ป้ายกระดาษ
    1.7 ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว สูง 6 นิ้ว
    1.8 ถุงพลาสติก ขนาด 3x5 นิ้ว
    1.9 โรงเรือน (chamber)

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

    2.1 ตัวอย่างใบข้าว
    2.2 หลอดขนาด 0.5 มิลลิลิตร
    2.3 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope)
    2.4 PAM-2100 portable chlorophyll fluorometer
    2.5 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (data logger)
    2.6 สไลด์พร้อมกระจกปิด
    2.7 หลอดทดลอง (test tube)
    2.8 น้ำกลั่น (de-ionized water)
    2.9 1% iodine potassium iodide (IKI)
    2.10 alcohol 75%

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Split plot จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 สิ่งทดลอง คือ พันธุ์ข้าว จำนวน 84 พันธุ์ ได้แก่ข้าวพันธุ์ไวแสง จำนวน 32 พันธุ์ และ ข้าวพันธุ์ไม่ไวแสง จำนวน 52 พันธุ์ และทดสอบในสภาพอุณหภูมิปกติ (Ambient air temperature) และสภาพอุณหภูมิสูง (Stress temperature)

2. การดำเนินงาน

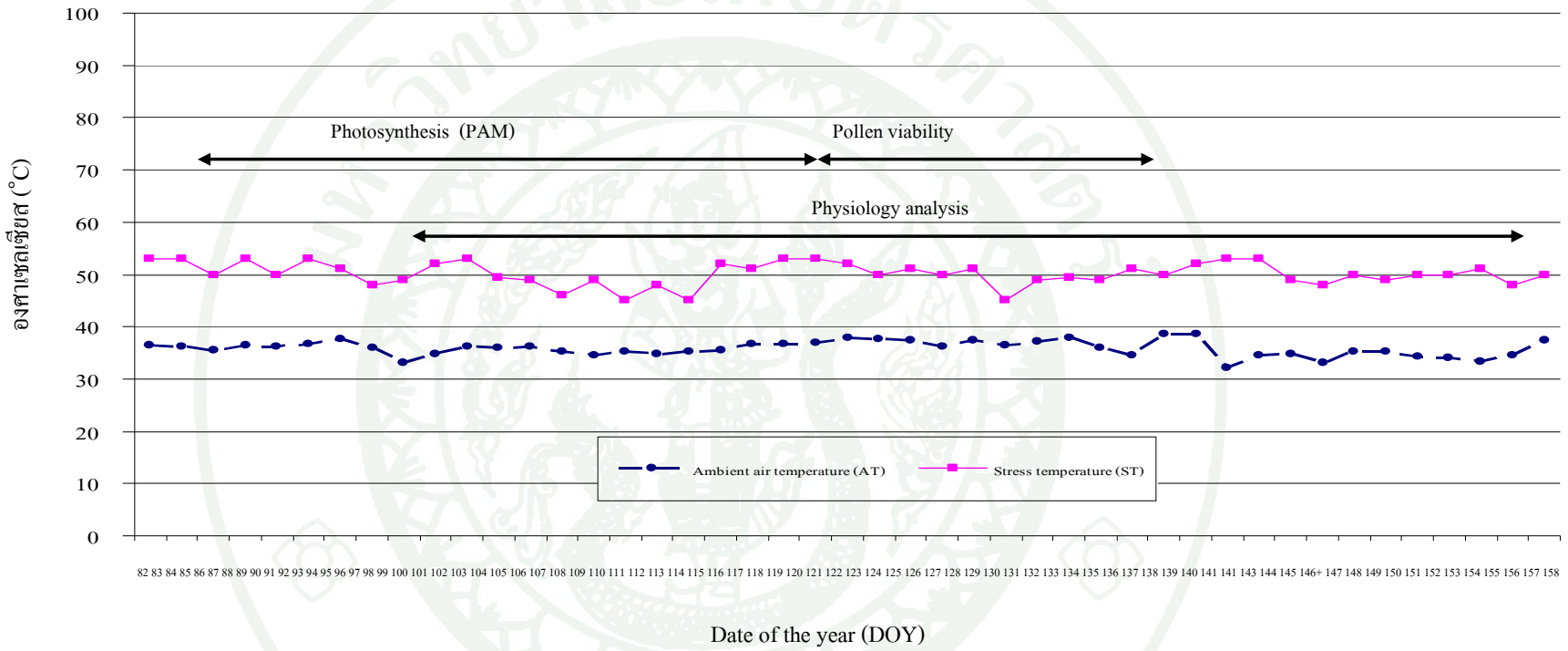
ดำเนินการทดลอง ณ หน่วยค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม

2.1 นำเมล็ดข้าวทั้งหมด 84 สายพันธุ์ ไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 วันเพื่อให้ข้าวเกิดการงอกเป็นตุ่มเล็กๆ จากนั้นนำข้าวทั้งหมดไปปลูกลงในท่อพีวีซี (เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว) ที่บรรจุดินเหนียวโดยปลูกท่อละ 1 เมล็ดแล้ววางท่อพีวีซีทั้งหมดลงในกระบะพลาสติกจำนวน 40 ท่อต่อกระบะ เมื่อข้าวมีอายุ 2 สัปดาห์ ใส่ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ และรดน้ำให้ท่วมกระบะข้าวทุกวันตลอดระยะเวลาปลูก เมื่อข้าวแตกหน่อให้ตัดหน่อข้าวให้เหลือเพียงลำต้นหลัก (main culm) 1 ต้นต่อ 1 ท่อพีวีซี เพื่อให้มีข้าวมีการเจริญเติบโตที่เท่ากัน เมื่อข้าวมีอายุประมาณ 3 สัปดาห์ นำพันธุ์ข้าวทั้งหมดเข้าห้องมืดเป็นเวลา 3 สัปดาห์ โดยเข้าเวลา 17.00 น. ออกเวลา 08.00 น. เพื่อให้ได้แสงจำนวน 9 ชั่วโมงต่อวัน โดยชักนำให้ข้าวไวแสงออกดอก เมื่อครบกำหนดนำข้าวทั้งหมดแบ่งเป็น 2 กลุ่มกลุ่มละ 84 สายพันธุ์ จำนวน 4 ซ้ำ เพื่อนำไปทดสอบในสภาพอุณหภูมิปกติ (Ambient air temperature) ทดลองในสภาพภายนอกโรงเรือน และสภาพอุณหภูมิสูง (Stress temperature) ทดลองในสภาพโรงเรือนปิด (chamber) และทำการเก็บข้อมูลเรื่องอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทั้งในเวลากลางวันและเวลากลางคืน โดยมีการเก็บข้อมูลทางด้านลักษณะทางประสิทธิภาพการใช้แสงในการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ที่วัดค่าในวันที่ 86 ถึง วันที่ 121 ของปี ลักษณะความมีชีวิตของละอองเกสร (pollen viability) ที่วัดค่าในวันที่ 121 ถึงวันที่ 138 ของปี และลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต (physiological) ได้แก่ จำนวนเมล็ดดีต่อต้น, น้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น, เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด, น้ำหนักแห้งลำต้น น้ำหนักแห้งรวง, จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อต้น และน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อต้น ที่วัดค่าในวันที่ 101 ถึงวันที่ 157 ของปี ซึ่งจะเห็นได้ว่าลักษณะที่วัดค่าทั้งหมดจะอยู่ในช่วงที่มีอุณหภูมิสูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตลอดระยะเวลาในการวัดค่า แสดงว่าลักษณะทั้งหมดที่ทำการทดสอบนั้นได้รับสภาพอุณภูมิสูงใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง (ภาพที่ 1)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 แสดงอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละวันในสภาพอุณหภูมิปกติและในสภาพโรงเรือนระหว่างการทดลอง

(Maximum temperature of ambient air temperature and growth chamber during experiment in March to July 2009

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การเก็บผลการทดลอง

3.1 วิธีการวัดผลของอุณหภูมิสูงต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

3.1.1 ความมีชีวิตของละอองเกสร (pollen viability)

เมื่อข้าวเริ่มออกดอกเก็บช่อดอกย่อยในวันที่ 18 มีนาคม 2553 ถึงวันที่ 19 เมษายน 2553 (ภาพที่ 1) ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิในสภาพอุณหภูมิปกติเฉลี่ย 35˚C และในสภาพอุณหภูมิสูงเฉลี่ย 49.8˚C โดยที่ละอองเกสรอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางเมล็ด โดยเก็บ 3 ช่อดอกย่อยต่อสายพันธุ์ทั้งในสภาพอุณหภูมิปกติและสภาพอุณหภูมิสูง เป็นจำนวน 4 ซ้ำ จากนั้นนำช่อดอกย่อยแช่ในหลอดทดลองขนาดเล็กที่บรรจุแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันการแห้งของละอองเกสร จากนั้นใช้ปากคีบคีบอับละอองเกสรออกจากช่อดอกย่อยและบดให้ละเอียดในหลอดทดลองขนาดเล็ก จากนั้นหยดไอโอดีนโพแทสเซียมไอโอไดด์ (iodine potassium iodide, IKI) ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ลงไปเพื่อย้อมอับละอองเกสรให้ติดสีน้ำเงิน จากนั้นหยดอับละอองเกสรที่ย้อมสีลงบนแผ่นสไลด์ตาราง (grid) เพื่อทำการนับจำนวนละอองเกสรที่ย้อมติดสี และไม่ติดสีภายใต้กล้องจุลทรรศ์กำลังขยาย 40 เท่า โดยสุ่มตรวจนับละอองเกสรที่ย้อมติดสีน้ำเงิน ที่มีรูปร่างกลมไม่บิดเบี้ยวจะเป็นละอองเกสรที่มีชีวิต ส่วนละอองเกสรที่ย้อมไม่ติดสี หรือติดสีจาง ติดสีไม่สม่ำเสมอจะเป็นละอองเกสรที่ไม่มีชีวิต จากนั้นนำมาเปรียบเทียบความมีชีวิตของละอองเกสรที่นับได้เป็นเปอร์เซ็นต์จากสูตร

$$\text{pollen} = \frac{\text{number of stained pollen}}{\text{total number of pollen grains}} \text{ x } 100\%$$

3.1.2 เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด Spikelet feritity (seed-set)

เก็บข้อมูลเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด (spikelet feritity; seed-set)ในวันที่ 10 เมษายน 2553 ถึงวันที่ 7 มิถุนายน 2553 (ภาพที่ 1) ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิในสภาพอุณหภูมิปกติเฉลี่ย 36.2˚C และในสภาพอุณหภูมิสูงเฉลี่ย 50˚C โดยเมื่อข้าวถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาตัดต้นข้าวแต่ละสายพันธุ์ทั้งในสภาพอุณหภูมิปกติและสภาพอุณหภูมิสูง โดยแยกออกเป็นสองส่วน คือส่วนลำต้นและส่วนรวง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้าวแล้วชั่งน้ำหนักสดทั้งสองส่วนจากนั้นนำไปใส่ในถุงสีน้ำตาล แล้วนำทั้งสองส่วนไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน แล้วนำทั้งสองส่วนไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักแห้งของลำต้นและรวง จากนั้นนำรวงข้าวนวดเมล็ดออกด้วยมือ แล้วทำการคัดแยกเมล็ดดีและเมล็ดลีบออกจากกัน เพื่อคำนวณหา จำนวนเมล็ดดีต่อต้น, จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อต้น จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหา น้ำหนักจำนวนเมล็ดดีต่อต้น, น้ำหนักจำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อต้น, น้ำหนักแห้งลำต้น น้ำหนักแห้งรวง และ เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด โดยใช้สูตร

$$\text{spikelet fertility (seed set)} = \frac{\text{filled grains}}{\text{total number of reproductive sites}} \times 100\%$$

3.2 ผลของอุณหภูมิต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง (primary process)

3.2.1 วัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (chlorophyll fluorescence)

วัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ (chlorophyll fluorescence) ในวันที่ 25 มีนาคม 2553 ถึงวันที่ 18 เมษายน 2553 (ภาพที่ 2) ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิในสภาพอุณหภูมิปกติเฉลี่ย 36.4 °C และในสภาพอุณหภูมิสูงเฉลี่ย 51.4°C เมื่อข้าวมีอายุประมาณ 6 สัปดาห์ ทำการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์โดยใช้เครื่อง PAM-2100 Portable Chlorophyll Fluorometer ของบริษัท Walz โดยการเก็บข้อมูลที่ข้าวมีระยะใบธง (flag leaf) โดยวัดค่าประสิทธิภาพการใช้แสงในขณะที่มีแสง (*in situ* Φ_{PSII}) ในเวลากลางวันช่วงเวลา 09.00 ถึง 12.00 น และประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (*in situ* Fv/Fm) ในเวลากลางคืนช่วงเวลา 21.00 น. ถึง 24.00 น. จากนั้นข้อมูลที่ได้บันทึกลงในคอมพิวเตอร์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้แสงในการสังเคราะห์แสงของสายพันธุ์ข้าวทั้งสองกลุ่ม

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ที่มีการวางแผนการทดลองสปลิทพลอท (Split Plot Design) ที่ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ สภาพอากาศ สภาพภายนอกโรงเรือนทดลอง (normal) และสภาพภายในโรงเรือนทดลอง (high temperature) สายพันธุ์ข้าว จำนวน 84 สายพันธุ์ ประกอบไปด้วย สายพันธุ์ข้าวไวแสง 32 สายพันธุ์ และสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง 52 สายพันธุ์ ซึ่งวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม R-program ของข้อมูล ประสิทธิภาพการใช้แสงในกระบวนการสังเคราะห์แสง, เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด, เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเรณู และผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถานที่และระยะเวลาที่ทำการทดลอง

สถานที่ทำการทดลอง

1. หน่วยค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม (Rice Gene Discovery Unit Rice Science Center Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakorn Pathom) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

2. ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 73140

ระยะเวลาที่ทำการทดลอง

ตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 จนถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2552 ที่เรือนทดลองหน่วยค้นหาและใช้ประโยชน์ยีนข้าว ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐมดังแสดงในรูปภาพที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

การทดลองนี้แบ่งการทดสอบภายใต้อุณหภูมิ 2 ระดับ คือในสภาพอุณหภูมิปกติ (30 ซ.) ซึ่งปลูกข้าวภายใต้สภาพแวดล้อมภายนอก และสภาพอุณหภูมิสูง (สูงกว่า 40 ซ.) ซึ่งปลูกข้าวภายในสภาพโรงเรือน (chamber) (ภาพที่ 2)

(a) **(b)**

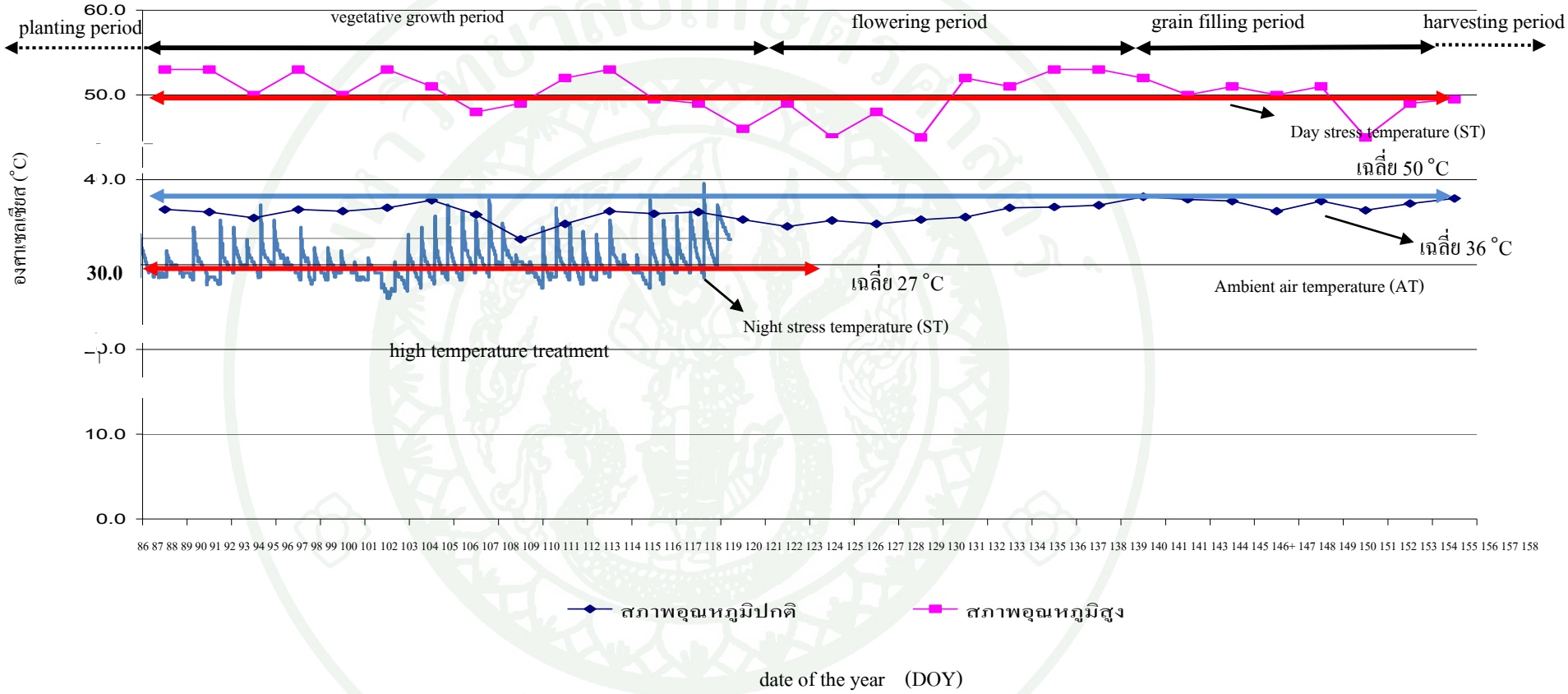
ภาพที่ 2 สภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature, AT) (a) และ สภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature, ST) (b)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

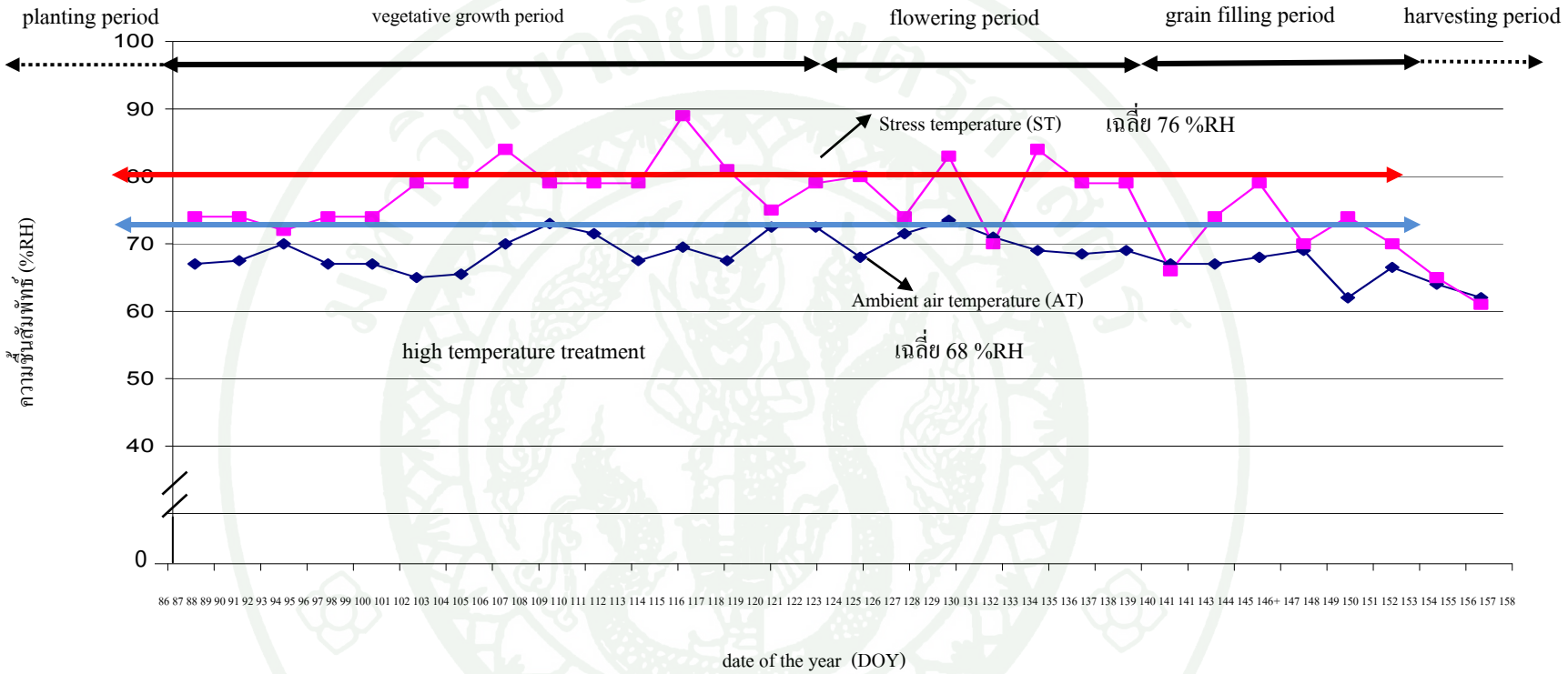
จากการศึกษาสภาพอุณหภูมิ ของวันที่ 24 มีนาคม 2552 ถึงวันที่ 23 เมษายน 2552 (ภาพที่ 3) พบว่าสภาพอุณหภูมิสูงในเวลากลางวัน (day stress temperature; ST) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 50°C ส่วนในสภาพอุณหภูมิปกติในเวลากลางวัน (day ambient air temperature; AT) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 36°C และในสภาพอุณหภูมิสูงในเวลากลางคืน (night stress temperature; ST) มีอุณหภูมิเฉลี่ย 27°C ซึ่งสอดคล้องกับ Fitter and Hay, 1987 พบว่า เมื่ออุณหภูมิของพืชที่สูงกว่า 40 องศาเซลเซียสเพืชจะมีการคายน้ำเพื่อปลดปล่อยความร้อนจากเนื้อเยื่อ จึงมักจะเกี่ยวข้องกับการหยุดชะงักของการปลดปล่อยความร้อนโดยการคายน้ำ เมื่ออุณหภูมิที่สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส นานมากกว่า 1 ชั่วโมง ที่ระยะออกดอกทำให้มีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่ำ (spikelet sterility) ดังนั้นถ้าปลูกข้าวในพื้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดความเสียหายในระยะการเจริญเติบโตต่างๆ (ตารางที่ 2) โดยอุณหภูมิที่สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส อันดับแรกที่ส่งผลกระทบ คือ ที่ระยะแทงช่อดอก (panicle initiation) ทำให้เกิดการการเป็นหมัน (sterility) และรองลงมาคือ ที่ระยะ 9 วัน ก่อนดอกบาน โดย Sato.,1960,.1966 พบว่าการเป็นหมันรุนแรงในฤดูร้อนที่แห้งแล้งในประเทศกัมพูชา ซึ่งเป็นรายงานครั้งแรกเกี่ยวกับอุณหภูมิสูงที่ก่อให้เกิดการเป็นหมันของข้าวเขตร้อน ข้าวจะมีอัตราการเป็นหมันเมื่อข้าวออกรวงในช่วงปลายเดือนมกราคมถึงกรกฎาคม ในเดือนเมษายนอัตราการเป็นหมันสูงที่สุดถึง 100 เปอร์เซ็นต์ อัตราการเป็นหมันจะลดลงแต่ยังคงมีอัตราสูงอยู่จนถึงปลายเดือนมิถุนายน ซึ่งอัตราการเป็นหมันเท่ากับในช่วงปลายเดือนมกราคมถึงปลายเดือนมีนาคมคือจะสูงกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ แต่ข้าวที่ออกรวงในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงต้นเดือนมกราคม จะมีอัตราการเป็นหมันต่ำกว่าช่วงอื่นๆ เมื่อค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงสุด 36 ถึง 37 องศาเซลเซียส ในเดือนเมษายนและเดือนพฤษภาคม อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเป็นหมันสูงที่สุด อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการผสมเกสรที่ผิดปกติซึ่งจะเกิดการแตกของอับเรณูที่ผิดปกติและการเหี่ยวเฉาของเกสรตัวเมีย และ IRRI (1976) รายงานว่าที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส การผสมเกสรไม่เกิดขึ้นในพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอต่ออุณหภูมิสูง หลังจากที่ให้ข้าวได้รับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 วัน ในข้าวพันธุ์ที่ทนทานแสดงเมล็ดที่เป็นหมันแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์อย่างเห็นได้ชัด เมื่อข้าวได้รับอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 วัน และพบว่าในสภาพอุณหภูมิสูงมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าในสภาพอุณหภูมิปกติ (ภาพที่ 4)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 แสดงอุณหภูมิสูงสุดของแต่ละวันในสภาพอุณหภูมิปกติและในสภาพโรงเรือนระหว่างการทดลอง (Maximum temperature of ambient air temperature and growth chamber during experiment in March to July 2009

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 แสดงความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดของแต่ละวันในสภาพอุณหภูมิปกติและในสภาพโรงเรือนระหว่างการทดลอง (Maximum temperature of ambient air temperature and growth chamber during experiment in March to July 2009

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ (Statistical Analysis)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนลักษณะองค์ประกอบผลผลิต ซึ่งแบ่งเป็นสองกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง 10 ลักษณะ คือ จำนวนเมล็ดดีต่อต้น, เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด ความมีชีวิตของละอองเกสร, จำนวนเมล็ดต่อต้น, น้ำหนักเมล็ดต่อต้น, น้ำหนักแห้งลำต้น, น้ำหนักแห้งรวง, *in situ* Fv/Fm และ *in situ* Φ_{PSII} โดยทุกลักษณะที่ทำการศึกษา พบว่าอุณหภูมิในสภาพปกติ (Ambient air temperature) และสภาพอุณหภูมิสูง (Stress temperature) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง, ระหว่างสายพันธุ์ข้าวทั้งหมดมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง และระหว่างอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและสายพันธุ์ข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.001$) ยกเว้นลักษณะ *in situ* Fv/Fm ระหว่างสายพันธุ์ข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และลักษณะ *in situ* Φ_{PSII} ระหว่างอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและสายพันธุ์ข้าวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติกับสภาพอุณหภูมิสูงของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสงกับกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง พบว่าทุกลักษณะที่ทำการศึกษามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ยกเว้น ลักษณะจำนวนเมล็ดดีต่อต้น, เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด, จำนวนเมล็ดดีต่อต้น, น้ำหนักจำนวนเมล็ดดีต่อต้น และ *in situ* Φ_{PSII} ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะในสภาพอุณหภูมิปกติของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสงกับกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง พบว่า ทุกลักษณะที่ทำการศึกษามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ซึ่งแสดงว่ากลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสงและกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสงของทุกลักษณะมีความแตกต่างกันตั้งแต่อยู่ในสภาพอุณหภูมิปกติ ยกเว้นลักษณะ *in situ* Fv/Fm ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะสภาพอุณหภูมิสูงของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสงกับกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง พบว่าทุกลักษณะที่ทำการศึกษามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ซึ่งแสดงว่ากลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสงและกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสงของทุกลักษณะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นก็ยังมีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นลักษณะ จำนวนเมล็ดดีต่อต้น, เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Prasad *et al*., (2006) ที่พบว่าอุณหภูมิสูงขึ้น 5 องศาเซลเซียส จากสภาพอุณหภูมิปกติทำให้การติดเมล็ดและผลผลิตเมล็ดข้าวลดต่ำลง และสายพันธุ์ข้าวจะตอบสนองต่ออุณหภูมิสูงแตกต่างกัน และ Satake and Yoshida (1978) พบว่าเมื่อรวงข้าวสัมผัสอุณหภูมิสูงกว่า33.7 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 1 ชั่วโมง ทำให้เป็นข้าวเป็นหมันได้ในระยะออกดอก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 แสดงค่าความแปรปรวนของผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตในสภาพอุณหภูมิปกติ 30°C (Ambient air temperature) ในสภาพอุณหภูมิสูง 40°C (Stress temperature) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง

SOV	d.f.	fs/p	%ss	sdw	pdw	ts/p	tsw/p	ppv	*in situ* Fv/Fm	*in situ* Φ_{PSII}
Replication	3	1503	442*	0.09	0.117	1209	0.357*	321	0.0027	0.0984
Temperature	1	155610**	124695**	87.51***	56.112***	260068***	58.461***	174439***	0.00416***	2.2875***
Vareitys	83	1455**	779***	8.81***	0.564***	5796***	0.494***	1346***	0.00055***	0.00422ns
Ambient air temp vs Stress temp										
nonpho vs photo	52	1481ns	737ns	8.51***	0.401*	4844ns	0.341ns	1141*	0.000591***	0.00322ns
Ambient air temperature										
nonphoto vs photo	83	2843***	1490***	3.89***	0.846***	8571***	0.979***	665***	0.00023ns	0.00432ns
Stress temperature										
nonphoto vs photo	83	0.193ns	1.273ns	6.38***	7.1268***	2432***	0.040***	1471***	0.000406***	0.00598***
Temp x Var	83	1471**	754***	1.15*	0.392***	5238***	0.526***	682***	0.000089ns	0.00609***
Residual	455	621	167	0.82	0.074	1640	0.135	366	0.000196	0.00368

*** filled spikelet/plt (fs/p), % seed set (%ss), shoot dry weight (sdw), paniple dry weight (pdw), total spikelet/plt (ts/p), total spikelet weight/plt (ts/p), panicle pollen viability (ppv), *in situ* Fv/Fm, *in situ* Φ_{P}

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบผลผลิต กับน้ำหนักเมล็ดต่อต้น

แยกการวิเคราะห์ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ สภาพอุณหภูมิปกติ (Ambient air temperature) สภาพอุณหภูมิสูง (Stress temperature) และการเปรียบเทียบระหว่าง สภาพอุณหภูมิปกติ (Ambient air temperature) สภาพอุณหภูมิสูง (Stress temperature) ซึ่งในสภาพอุณหภูมิปกติ พบว่า ทุกลักษณะมีนัยสำคัญทางสถิติในทางบวกสูง กับน้ำหนักเมล็ดต่อต้น ได้แก่ จำนวนเมล็ดดีต่อต้น เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด น้ำหนักแห้งรวง น้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อต้น น้ำหนักแห้งลำต้น และความมีชีวิตของละอองเกสร (มีค่า 0.84 0.77 0.76 0.72 0.58 0.45 และ 0.40 ตามลำดับ) สำหรับลักษณะที่มีนัยสำคัญทางสถิติในทางลบสูง ได้แก่ จำนวนเมล็ดลีบต่อต้น (มีค่า -0.22) ส่วนในสภาพอุณหภูมิสูง ทุกลักษณะมีนัยสำคัญทางสถิติในทางบวกสูง กับน้ำหนักเมล็ดต่อต้น ได้แก่ น้ำหนักเมล็ดลีบต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อต้น น้ำหนักแห้งรวง จำนวนเมล็ดลีบต่อต้น น้ำหนักแห้งลำต้น จำนวนเมล็ดดีต่อต้น เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด ความมีชีวิตของละอองเกสร (มีค่า 0.99 0.86 0.86 0.85 0.81 0.44 0.38 และ 0.31 ตามลำดับ) และการเปรียบเทียบลักษณะต่างๆ ภายในสภาพอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส กับ สภาพอุณหภูมิสูง จะเห็นถึงความสัมพันธ์ในทางบวกของลักษณะ จำนวนเมล็ดดีต่อต้น น้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด ความมีชีวิตของละอองเกสรทั้งส่วนบนและส่วนล่างช่อดอก จำนวนเมล็ดต่อต้น น้ำหนักเมล็ดต่อต้น น้ำหนักแห้งลำต้น และน้ำหนักแห้งรวง พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ลักษณะต่างๆ ลดลง ส่วนความสัมพันธ์ในทางลบของลักษณะจำนวนเมล็ดลีบต่อต้น พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้มีจำนวนเมล็ดลีบต่อต้นเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในแต่ละลักษณะนั้นมีความสอดคล้องกับการลดลงของน้ำหนักเมล็ดต่อต้นอีกด้วย (ตารางที่ 2) โดยสอดคล้องกับรายงานของ (Guilioni *et al*., 2003, Ferris *et al.,* 1998, Foolad, 2005) พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้จำนวนเมล็ดต่อต้น จำนวนเมล็ดดีต่อต้น ความมีชีวิตของละอองเกสรลดลง น้ำหนักเมล็ดต่อช่อดอกลดลง ซึ่งส่งผลต่อการลดลงของผลผลิตข้าว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 แสดงค่าความสัมพันธ์ของลักษณะต่างๆในสภาพอุณหภูมิสภาพอุณหภูมิปกติ (Ambient air temperature: AT) สภาพอุณหภูมิสูง (Stress temperature: ST) และ เปรียบเทียบระหว่าง สภาพอุณหภูมิปกติ (Ambient air temperature) สภาพอุณหภูมิสูง (Stress temperature)

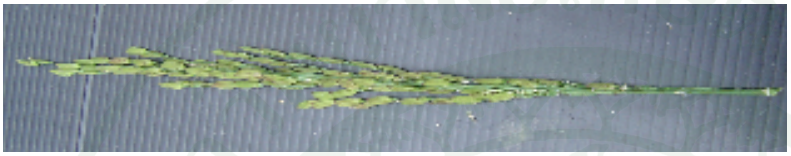
	total spikelet weight/plt. (tsw/p) (AT)	total spikelet weight/plt. (tsw/p) (ST)	total spikelet weight/plt. (tsw/p) (AT &ST)
filled spikelet/plt (fs/p)	0.84**	0.44**	0.90**
filled weight/plt (fw/p)	0.72**	-0.03ns	0.84**
% seed set (%ss)	0.77**	0.38**	0.87**
pollen viability (uppv)	0.40**	0.31**	0.63**
unfilled spikelet/plt (ufs/p)	-0.22*	0.85**	-0.20*
unfilled weight/plt.(ufw/p)	-0.10ns	0.99**	-0.04ns
total spikelet/plt (ts/p)	0.58**	0.86**	0.57**
shoot dry weight (sdw)	0.45**	0.81**	0.56**
paniple dry weight (pdw)	0.76**	0.86**	0.87**

จำนวนเมล็ดดีต่อต้น (fs/p), น้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น (fw/p), เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด (%ss), ความมีชีวิตของละอองเกสรทั้งส่วนบนและส่วนล่างช่อดอก (uppv and lppv), จำนวนเมล็ดลีบต่อต้น (ufs/p), น้ำหนักเมล็ดลีบต่อต้น (ufw/p), จำนวนเมล็ดต่อต้น (ts/p), น้ำหนักเมล็ดต่อต้น (tsw/p), น้ำหนักแห้งลำต้น (sdw), น้ำหนักแห้งรวง (pdw)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จำนวนเมล็ดดีต่อต้น น้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น และเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด

Ambient air temperature (AT)

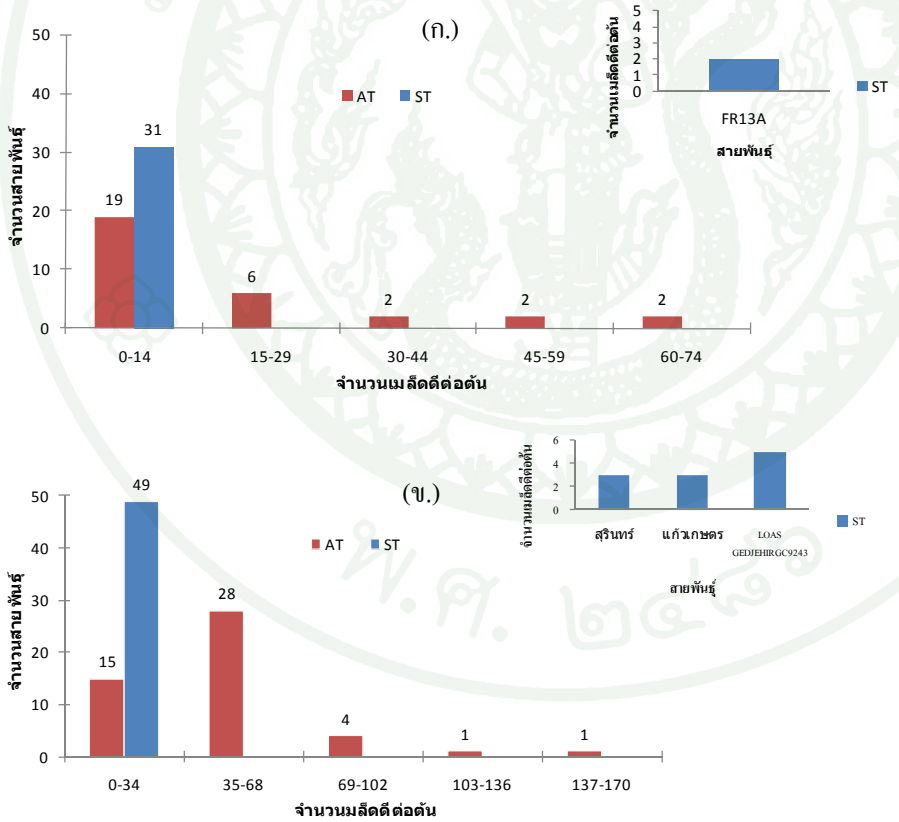


stress temperature (ST)

ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนมเล็ดดีต่อต้นระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

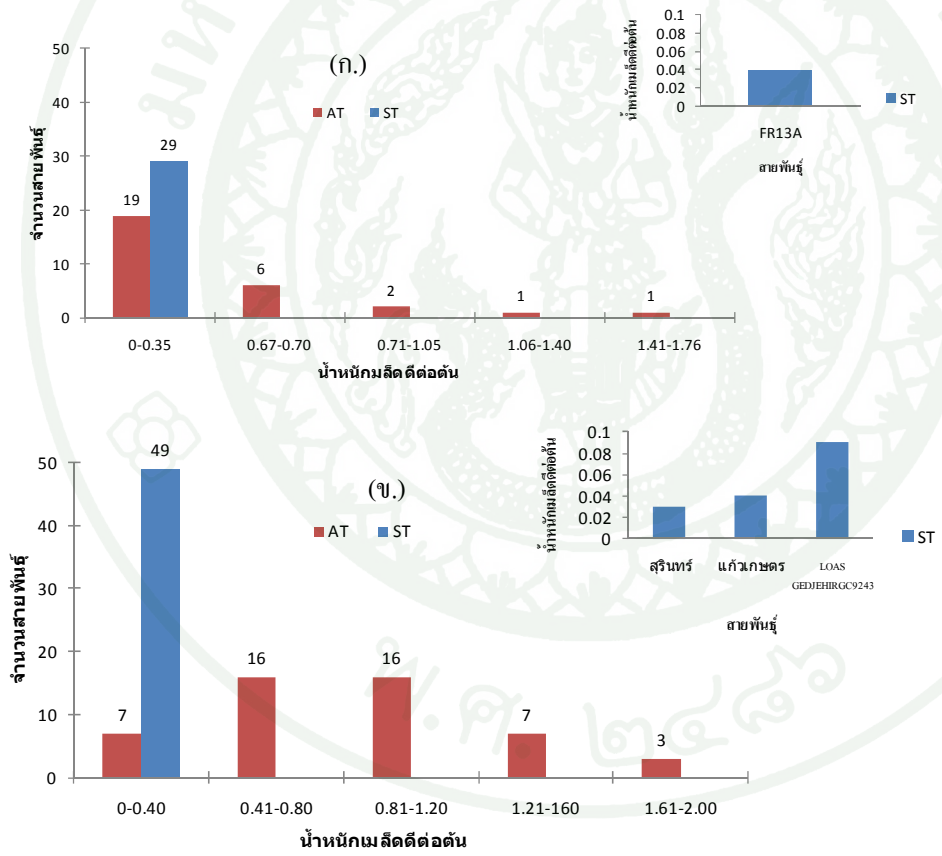
จากการทดสอบความทนทานร้อนของข้าว ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง โดยวิธีการวัดจำนวนเมล็ดดีต่อต้น พบว่า ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0-14 เมล็ดต่อต้น ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0-14 เมล็ดต่อต้น เช่นเดียวกัน โดยพบว่าสายพันธุ์ FR13A มีจำนวนเมล็ดดีต่อต้น 2 เมล็ด (ภาพที่ 6 ก) ส่วนกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 35-68 เมล็ดต่อต้น ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0-34 เมล็ดต่อต้น โดยพบว่าสายพันธุ์ สุรินทร์, แก้วเกษตร และ LOAS GEDJEH IRGRC9243 มีจำนวนเมล็ดดีต่อต้น 3, 3 และ 5 เมล็ด ตามลำดับ (ภาพที่ 6 ข) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสายพันธุ์ข้าวทั้งสองกลุ่ม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีจำนวนเมล็ดดีต่อต้นลดน้อยลง ซึ่งจากการแสดงในรูปจะเห็นว่าที่ในสภาพ Ambient air temperature (AT) จะมีการติดเมล็ดดีแต่เมื่อข้าวอยู่ในสภาพอุณหภูมิสูงขึ้นหรือสภาพ stress temperature (ST) จะมีการติดเมล็ดน้อยลง



ภาพที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนมเล็ดดีต่อต้นระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

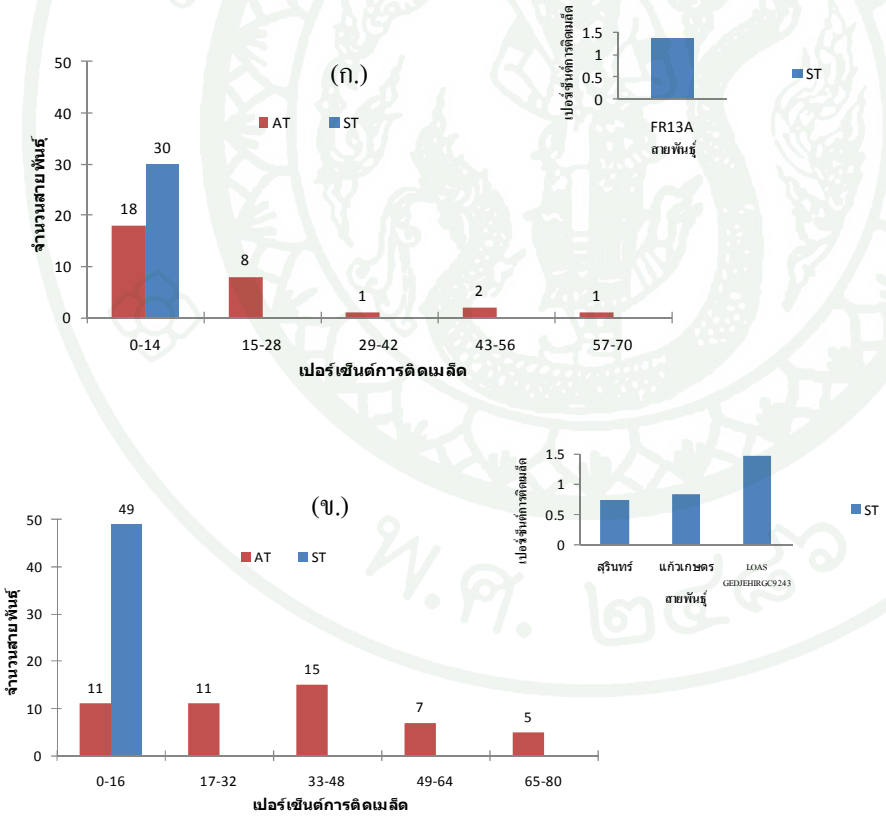
จากการทดสอบความทนทานร้อนของข้าว ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง โดยวิธีการวัดน้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น พบว่า ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0-0.35 กรัมต่อต้น ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0-0.35 กรัมต่อต้น เช่นเดียวกัน โดยพบว่าสายพันธุ์ FR13A มีน้ำหนักจำนวนเมล็ดดีต่อต้น 0.04 กรัม (ภาพที่ 7 ก) ส่วนกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.81-1.20 กรัมต่อต้น ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0-0.40 กรัมต่อต้น โดยพบว่าสายพันธุ์ สุรินทร์, แก้วเกษตร และ LOAS GEDJEH IRGRC9243 มีน้ำหนักจำนวนเมล็ดดีต่อต้น 0.03, 0.04 และ 0.09 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 7 ข) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสายพันธุ์ข้าวทั้งสองกลุ่ม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีน้ำหนักเมล็ดดีต่อต้นลดน้อยลง



ภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักจำนวนมเล็ดดีต่อต้นระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการทดสอบความทนทานร้อนของข้าว ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง โดยวิธีการวัดเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อต้น พบว่า ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0-14 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0-14 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกัน โดยพบว่าสายพันธุ์ FR13A มีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อต้น 1.37 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 8 ก) ส่วนกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 33-48 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0-16 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าสายพันธุ์ สุรินทร์, แก้วเกษตร และ LOAS GEDJEH IRGRC9243 มีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อต้น 0.74, 0.84 และ 1.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ(ภาพที่ 8 ข) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสายพันธุ์ข้าวทั้งสองกลุ่ม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดต่อต้นลดน้อยลง ซึ่งจะเห็นว่าวิธีการวัดจำนวนเมล็ดดีต่อต้น น้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น และเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด จะมีความผันแปรตามกัน

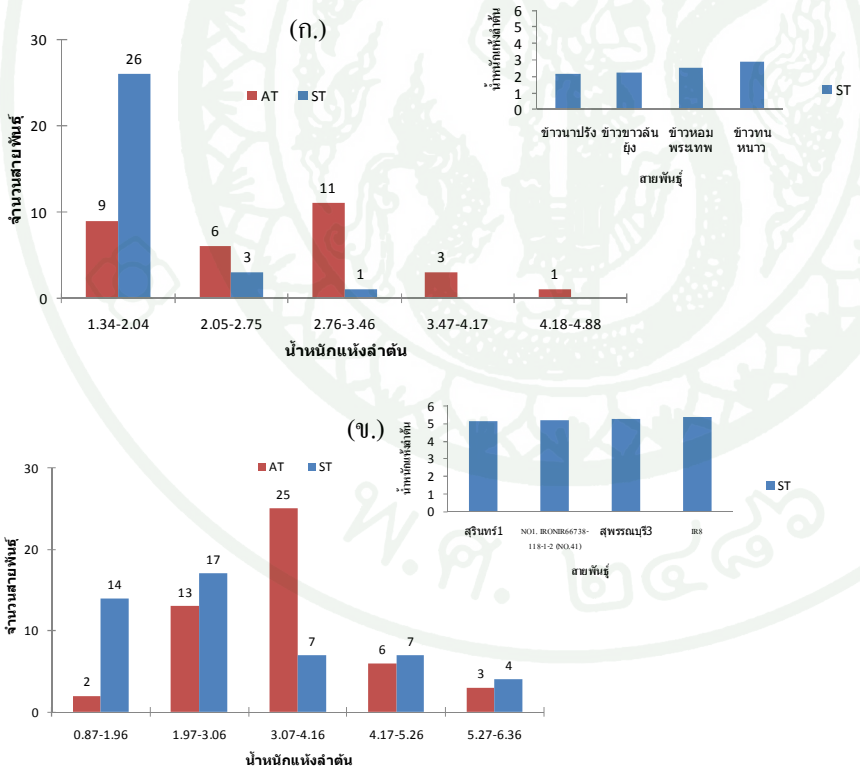


ภาพที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ดระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำหนักแห้งลำต้น

จากการทดสอบควาททนทานร้อนของข้าว ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง โดยวิธีการวัดน้ำหนักแห้งลำต้น พบว่า ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 2.76-3.46 กรัมต่อต้น ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 1.34-2.04 กรัมต่อต้น เช่นเดียวกัน โดยพบว่าสายพันธุ์ ข้าวนาปรัง, ข้าวขาวล้นยุ้ง, ข้าวหอมพระเทพ และข้าวทนหนาว มีน้ำหนักแห้งลำต้น 2.15, 2.23, 2.50 และ 2.90 กรัม ตามลำดับ(ภาพที่ 9 ก) ส่วนกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 3.07-4.16 กรัมต่อต้นส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 1.97-3.06 กรัมต่อต้น โดยพบว่าสายพันธุ์ สุรินทร์1, NO1. IRINIR66738-118-1-2(N0.41), สุพรรณบุรี3 และIR8 มีน้ำหนักแห้งลำต้น 5.15, 5.17, 5.27 และ 5.39 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 9 ข) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสายพันธุ์ข้าวทั้งสองกลุ่ม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีน้ำหนักแห้งลำต้นลดน้อยลง

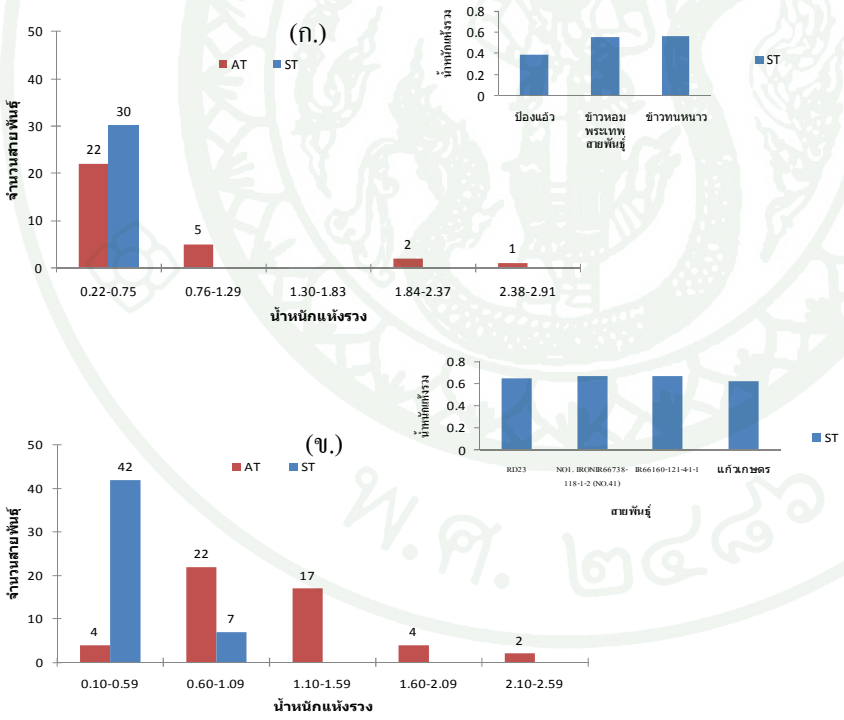


ภาพที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งลำต้นระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำหนักแห้งรวง

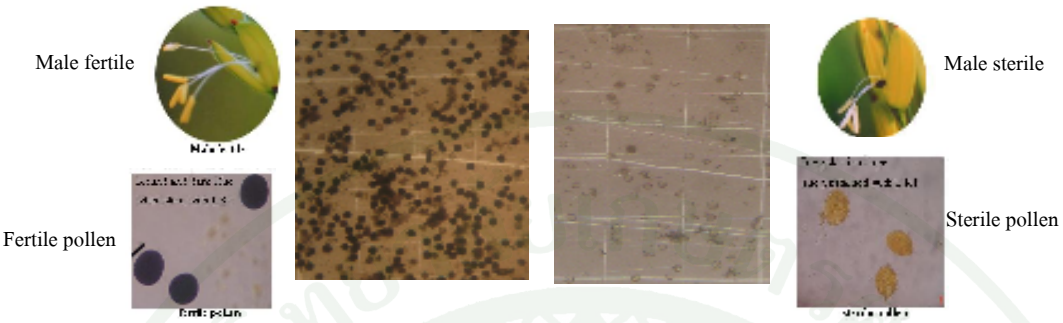
จากการทดสอบควาททนทานร้อนของข้าว ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง โดยวิธีการวัดน้ำหนักแห้งรวงต่อต้น พบว่า ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.22-0.75 กรัมต่อต้น ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.22-0.75 กรัมต่อต้น เช่นเดียวกัน โดยพบว่าสายพันธุ์ ข้าวป้องแอ้ว, ข้าวหอมพระเทพ และข้าวทนหนาว มีน้ำหนักแห้งรวง 0.39, 0.55 และ 0.56 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 10 ก) ส่วนกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.60-1.09 กรัมต่อต้นส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.10-0.59 กรัมต่อต้น โดยพบว่าสายพันธุ์ RD23, IR66160-121-4-1-1, NO1. IRIRON66738-118-1-2(N0.41) และแก้วเกษตร มีน้ำหนักแห้งรวง 0.65, 0.67, 0.67 และ 0.62 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 10 ข) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสายพันธุ์ข้าวทั้งสองกลุ่ม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีน้ำหนักแห้งรวงลดน้อยลง



ภาพที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งรวงระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

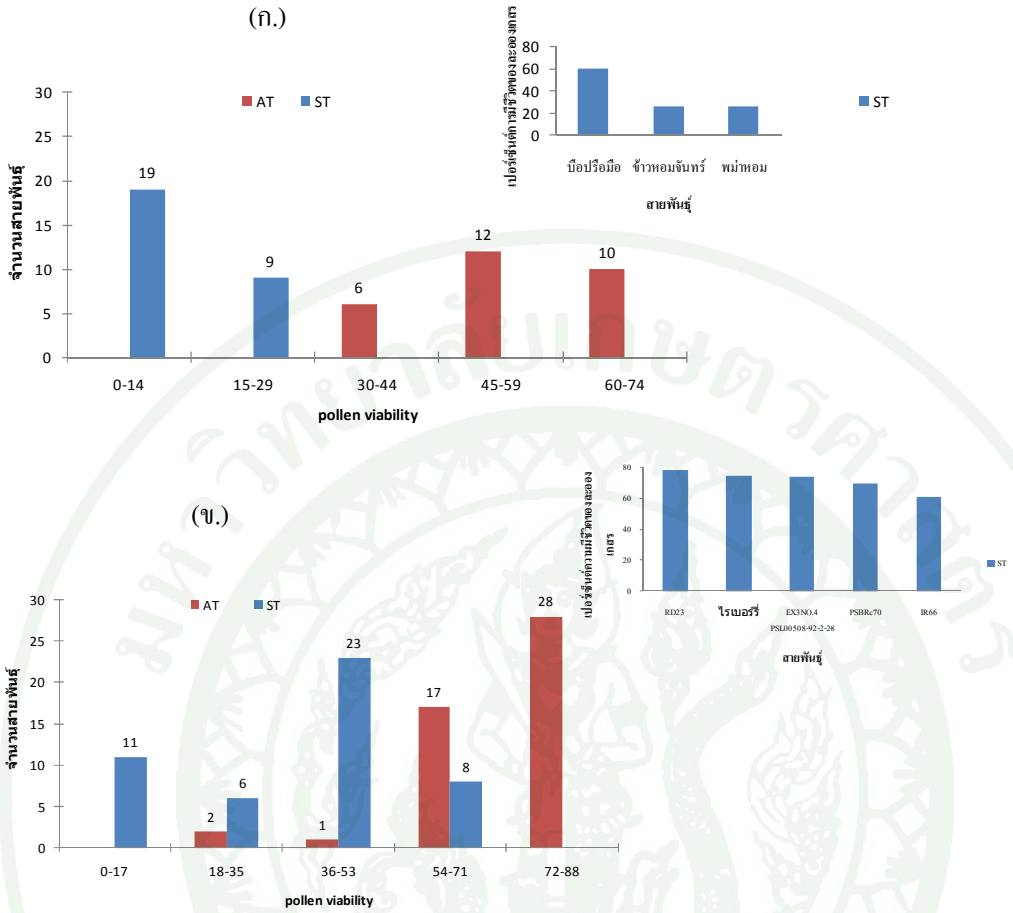
ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเกสร



Pollen in ambient air temperature (AT) Pollen in stress temperature (ST)

จากการทดสอบควาททนทานร้อนของข้าว ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง โดยวิธีการวัดค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเกสร พบว่า ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 45-59 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0-14 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกัน โดยพบว่าสายพันธุ์ ข้าวบือเปรือมือ, ข้าวหอมจันทร์ และข้าวพม่าหอม มีเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตของละอองเกสร 59.6, 25.7 และ 25.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 11 ก) ส่วนกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 72-88 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 36-53 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าสายพันธุ์ RD23, ไรเบอร์รี่, EX3no.4 PSL00508-92-2-2-8, PSBRc70 และ IR66 มีเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตของละอองเกสร 78.7, 74.6, 73.9, 70.0 และ 61.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 11 ข) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสายพันธุ์ข้าวทั้งสองกลุ่ม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเกสรลดน้อยลง ซึ่งจากการแสดงภาพของละอองเกสรในรูปจะเห็นว่าที่ในสภาพ Ambient air temperature (AT) จะมีความมีชีวิตของละอองเกสรมาก แต่เมื่อข้าวอยู่ในสภาพอุณหภูมิสูงขึ้นหรือสภาพ stress temperature (ST) ความมีชีวิตของละอองเกสรจะมีค่าต่ำลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

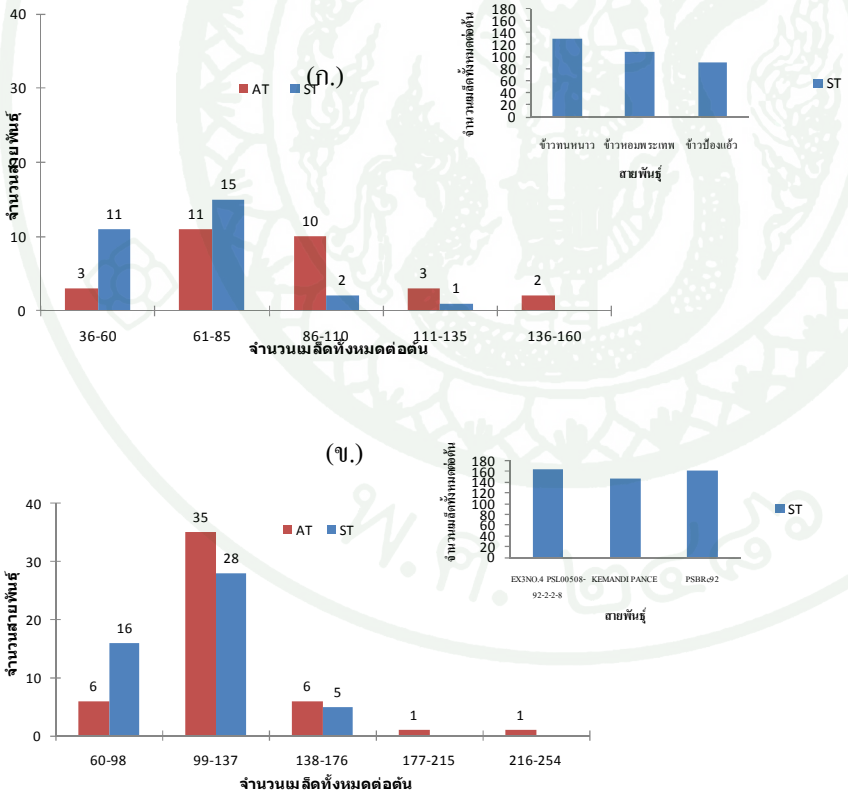


ภาพที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การมีชีวิตของละอองเกสรระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อต้นและน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อต้น

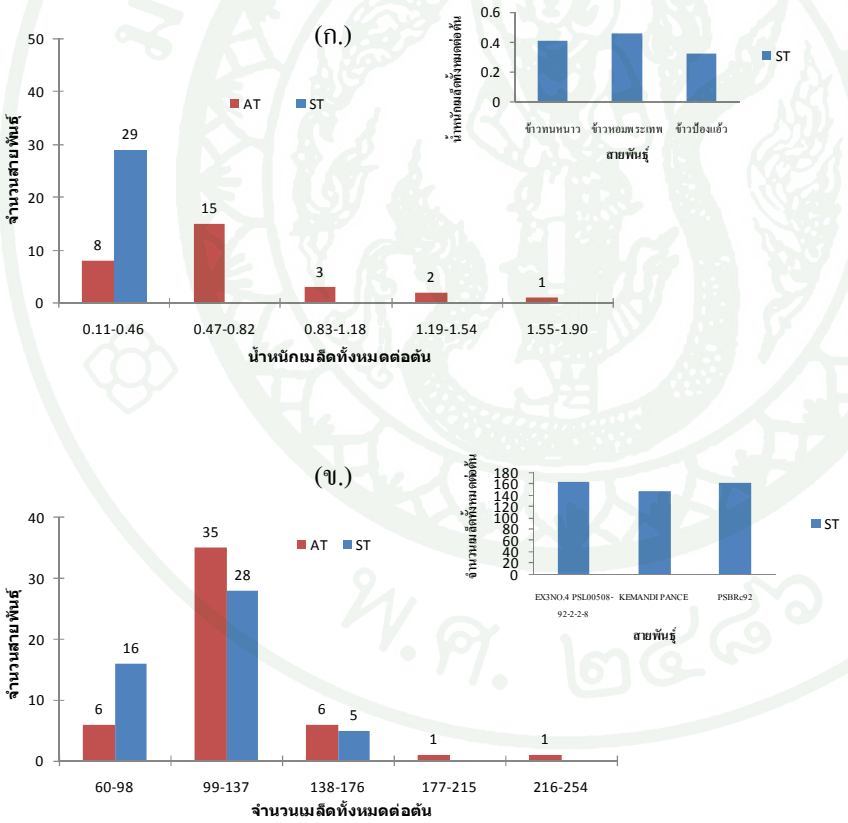
จากการทดสอบความทนทานร้อนของข้าว ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง โดยวิธีการวัดจำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อต้น พบว่า ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 61-85 เมล็ดต่อต้น ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 61-85 เมล็ดต่อต้น เช่นเดียวกัน โดยพบว่าสายพันธุ์ ข้าวทนหนาว, ข้าวหอมพระเทพ และข้าวป้องแอ้ว มีจำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อต้น 130, 109 และ 90 เมล็ด ตามลำดับ (ภาพที่ 12 ก) ส่วนกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 99-137 เมล็ดต่อต้น ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 99-137 เมล็ดต่อต้น เช่นเดียวกัน โดยพบว่าสายพันธุ์ EXNO4. PSL00508-92-2-2-8, KEMANDI PANCE และ PSBRc92 มีจำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อต้น 165, 146 และ 162 เมล็ด ตามลำดับ (ภาพที่ 12 ข) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสายพันธุ์ข้าวทั้งสองกลุ่ม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีจำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อต้นลดน้อยลง



ภาพที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนเมล็ดทั้งหมดระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

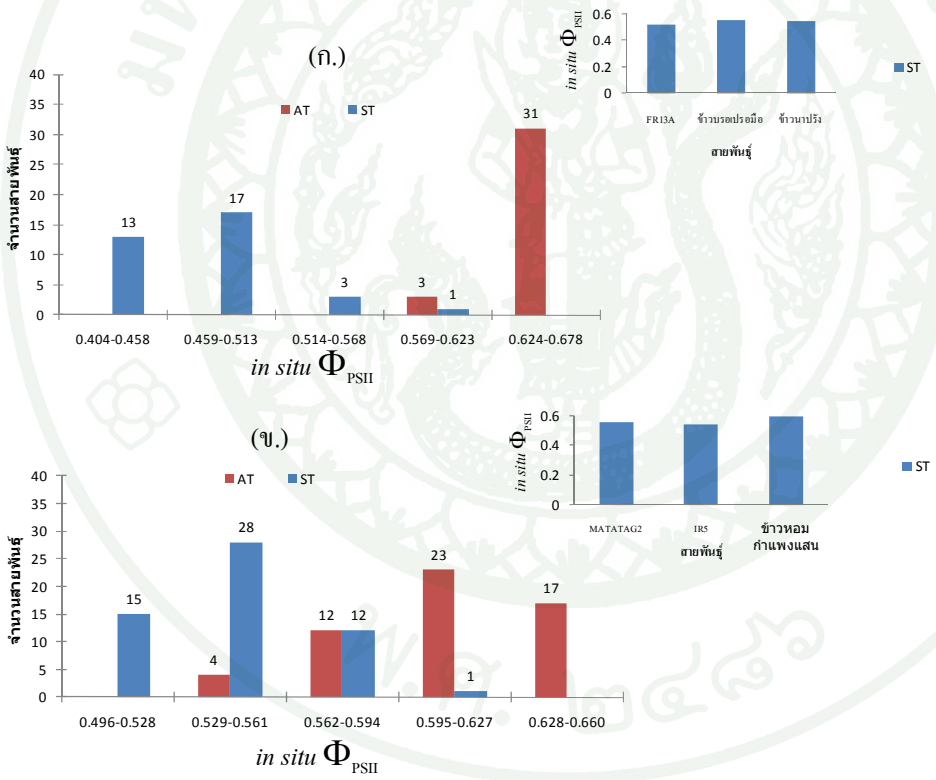
จากการทดสอบความทนทานร้อนของข้าว ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง โดยวิธีการวัดน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อต้น พบว่า ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.47-0.82 กรัมต่อต้น ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.11-0.46 กรัมต่อต้น เช่นเดียวกัน โดยพบว่าสายพันธุ์ ข้าวทนหนาว, ข้าวหอมพระเทพ และข้าวป้องแอ้ว มีน้ำหนักจำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อต้น 0.41, 0.46 และ 0.32 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 13 ก) ส่วนกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.66-1.15 กรัมต่อต้น ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.16-0.65 กรัมต่อต้น โดยพบว่าสายพันธุ์ EXNO4. PSL00508-92-2-2-8, KEMANDI PANCE และ PSBRc92 มีน้ำหนักจำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อต้น 0.51, 0.51 และ 0.41 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 13 ข) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสายพันธุ์ข้าวทั้งสองกลุ่ม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อต้นลดน้อยลง



ภาพที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักเมล็ดทั้งหมดระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

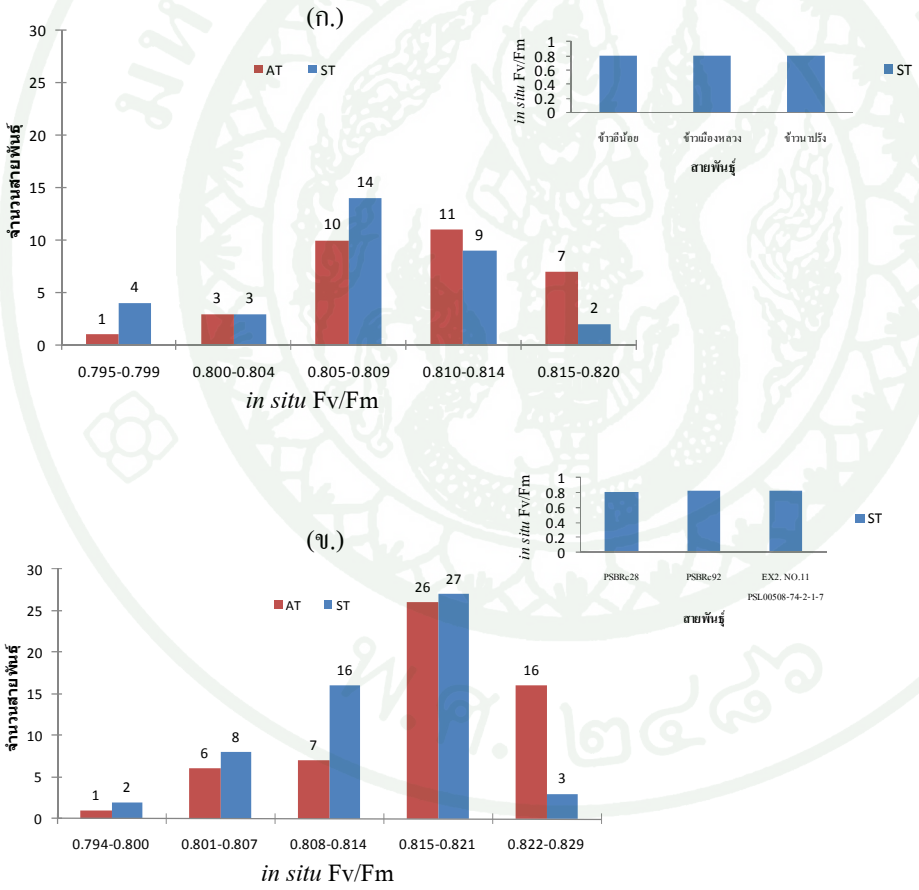
จากการทดสอบความทนทานร้อนของข้าว ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง โดยวิธีการวัดค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้แสงในสภาพได้แสง (*in situ* Φ_{PSII}) พบว่า ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.624-0.768 ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.459-0.513 โดยพบว่าสายพันธุ์ FR13A, ข้าวบรือเปรอมือ และข้าวนาปรัง มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้แสงในสภาพได้แสง (*in situ* Φ_{PSII}) 0.520, 0.549 และ 0.543 ตามลำดับ (ภาพที่ 14 ก) ส่วนกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.595-0.627 ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.529-0.581 โดยพบว่าสายพันธุ์ MATATAG2, IR5 และ ข้าวหอมกำแพงแสน มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้แสงในสภาพได้แสง (*in situ* Φ_{PSII}) 0.556, 0.542 และ 0.596 ตามลำดับ (ภาพที่ 14 ข)



ภาพที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้แสงในสภาพได้แสง (*in situ* Φ_{PSII}) ระหว่าง ambient air temperature (AT) และ stress temperature (ST)ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการทดสอบความทนทานร้อนของข้าว ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง โดยวิธีการวัดค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (*in situ* Fv/Fm) พบว่า ในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.810-0.814 ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.805-0.809 โดยพบว่าสายพันธุ์ ข้าวอีน้อย, ข้าวเมืองหลวง และข้าวนาปรัง มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (*in situ* Fv/Fm) 0.814, 0.814 และ 0.813 ตามลำดับ (ภาพที่ 15 ก) ส่วนกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง สายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิปกติ ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.815-0.821 ส่วนสายพันธุ์ข้าวในสภาพอุณหภูมิสูง ส่วนมากอยู่ในช่วงความถี่ 0.815-0.821 โดยพบว่าสายพันธุ์ PSBRc28, PSBRc92 และ EX2.NO11 PSL00508-74-2-1-7 มีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (*in situ* Fv/Fm) 0.806, 0.820 และ 0.822 ตามลำดับ (ภาพที่ 15 ข)



ภาพที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (*in situ* Fv/Fm)ระหว่างสภาพอุณหภูมิปกติ (ambient air temperature; AT) และสภาพอุณหภูมิสูง (stress temperature; ST) ของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง (ก.) และกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง (ข.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

ตารางที่ 3 แสดงการคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวไวแสงและสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสงของลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตและลักษณะทางสรีรวิทยาต่างๆ

ลักณะที่ศึกษา	สายพันธุ์ข้าวไวแสง	สายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง
จำนวนเมล็ดดีต่อต้น	FR13A	สุรินทร์, แก้วเกษตร, LOAS GEDJEHIRGC9243
น้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น	FR13A	สุรินทร์, แก้วเกษตร, LOAS GEDJEHIRGC9243
เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด	FR13A	สุรินทร์, แก้วเกษตร, LOAS GEDJEHIRGC9243
น้ำหนักแห้งลำต้น	ข้าวนาปรัง, ข้าวขาวล้นยุ้ง, ข้าวหอมพระเทพ, ข้าวทนหนาว	สุรินทร์, NO.1 IRONIR66738-118-1-2(N0.41), สุพรรณบุรี3, IR8
น้ำหนักแห้งรวง	ป้องแอ้ว, ข้าวหอมพระเทพ, ข้าวทนหนาว	RD23, NO.1 IRONIR66738-118-1-2(N0.41), IR66160-121-41-1, แก้วเกษตร
เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเกสร	บือเปรอมือ, ข้าวหอมจันทร์, พม่าหอม	RD23, ไรเบอร์รี่, EX3 NO.4 PSL0058-92-2-2-8, PSBRc70, IR66
จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อต้น	ข้าวทนหนาว, ข้าวหอมพระเทพ, ป้องแอ้ว	EX3 NO.4 PSL0058-92-2-2-8, KEMANDI PANCE, PSBRc92
น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อต้น	ข้าวทนหนาว, ข้าวหอมพระเทพ, ป้องแอ้ว	EX3 NO.4 PSL0058-92-2-2-8, KEMANDI PANCE, PSBRc92
in situ Φ_{PSII}	FR13A, บือเปรอมือ, ข้าวนาปรัง	MATATAG2, IR5, ข้าวหอมกำแพงแสน
in situ Fv/Fm	ข้าวอีน้อย, ข้าวเมืองหลวง, ข้าวนาปรัง	PSBRc28, PSBRc92, EX2 NO.11 PSL00508-74-2-1-7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. จากการศึกษาได้คัดเลือกสายพันธุ์ข้าวที่มีโอกาสทนต่อสภาพอุณหภูมิสูง โดยกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง ได้แก่ สายพันธุ์ FR13A ซึ่งมีจำนวนเมล็ดดีต่อต้น, น้ำหนักเมล็ดดีต่อต้น, เปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด, น้ำหนักแห้งลำต้น, น้ำหนักแห้งรวง,เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเกสร, จำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อต้น และ น้ำหนักจำนวนเมล็ดทั้งหมดต่อต้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 เมล็ด, 0.04 กรัม, 1.37 เปอร์เซ็นต์, 1.36 กรัม, 0.10 กรัม, 0.22 เปอร์เซ็นต์, 81 เมล็ด, 0.30 กรัม ตามลำดับ ส่วนกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง ได้แก่ สายพันธุ์ สุรินทร์1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3 เมล็ด, 0.03 กรัม, 0.74 เปอร์เซ็นต์, 5.15 กรัม, 0.63 กรัม, 38.12 เปอร์เซ็นต์ 137 เมล็ด, 0.52 กรัม, 0.496 และ 0.806 ตามลำดับ สายพันธุ์ แก้วเกษตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3 เมล็ด, 0.04 กรัม, 0.84 เปอร์เซ็นต์, 2.97 กรัม, 0.62 กรัม, 49.03 เปอร์เซ็นต์, 121 เมล็ด, 0.56 กรัม, 0.557 และ 0.814 ตามลำดับ และสายพันธุ์ LOAS GEDJEHIRGC9243 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5 เมล็ด, 0.09 กรัม, 1.48 เปอร์เซ็นต์, 4.61 กรัม, 0.58 กรัม, 48.88 เปอร์เซ็นต์, 116 เมล็ด, 0.48 กรัม, 0.516 และ 0.810 ตามลำดับ

2. จากการศึกษาองค์ประกอบผลผลิตข้าวภาพใต้สภาพอุณหภูมิสูง โดยลักษณะที่มีอิทธิพลต่อการเปอร์เซ็นต์การติดเมล็ด คือ จำนวนเมล็ดดีต่อต้น, จำนวนเมล็ดทั้งหมด, น้ำหนักเมล็ดทั้งหมดต่อต้น,น้ำหนักจำนวนเมล็ดดีต่อต้น, น้ำหนักแห้งลำต้น, น้ำหนักแห้งรวง และ เปอร์เซ็นต์ความมีชีวิตของละอองเกสร

3. จากการศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูง โดยลักษณะ *in situ* Φ_{PSII} และ *in situ* Fv/Fm ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยสายพันธุ์ที่คัดเลือกในกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสง ได้แก่ สายพันธุ์ FR13A มีค่าเท่ากับ 0.520 และ 0.799 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสง ได้แก่สายพันธุ์ สุรินทร์1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.496 และ 0.806 ตามลำดับ สายพันธุ์ แก้วเกษตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.557 และ 0.814 ตามลำดับ และสายพันธุ์ LOAS GEDJEHIRGC9243 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.516 และ 0.810 ตามลำดับ

4. ดังนั้นสายพันธุ์ที่คัดเลือกมีโอกาสที่ทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูงเพื่อใช้เป็นแหล่งพันธุ์ที่กรรมที่สามารถทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูงได้ในอนาคต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

วรวิทย์ พาณิชพัฒน์. 2546. **การปรับปรุงพันธุ์และขยายพันธุ์ข้าว**. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร และสหกรณ์.

พีรเดช ทองอำไพ. 2529. **ฮอร์โมนพืชและสารสังเคราะห์แนวทางการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย.** ห้างหุ้นส่วนไดนามิคการพิมพ์จำกัด, กรุงเทพฯ.

รัตนาวรรณ วิเศษ. 2532. **การศึกษาวิจัยบางประการที่มีอิทธิพลต่อการติดผลและการใช้สารเคมีควบคุมการติดผลและการหลุดร่วงของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ทะวาย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2548. คาร์บอนเมแทบอลิซึม. **สรีรวิทยาของพืช.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Acevedo, E., M. Nachit and G. Ortiz-Ferrara. 1991. Effects of Heat Stress on Wheat and Possible Selection Tools for Use in Breeding for Tolerance. In: **Wheat for the nontraditional warm areas. Saunders, D.A. (Ed.).** CIMMYT. Mexico. pp: 401-421.

Al-Khatib, K., and G.M. Paulsen. 1984. Mode of high temperature injury to wheat during grain development. **Plant Physiol**. 61:363-368.

Altschuler, M. and J.P. Mascarenhas. 1982. The synthesis of heat shock and normal proteins at high temperatures in plants and their possible roles in survival under heat stress, in **Heat Shock from Bacteria to Man**, Schlesinger, M. L., Ashburner, M. and Tissires, A., Eds., Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor, N. Y., pp. 321.

Ashraf, M. and P.J.C. Harris. 2005. **Abiotic Strsses; Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches.** Food Products Press. USA.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Berry, J. and O. Bjorkman, 1980. Photosynthetic response and adaptations to temperature in higher plants. Ann. Rev. **Plant Physiol.** 31: 491-532.

Bilger, W., U. Schreiber and M. Bock. 1995. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. **Oecologia** 102: 425 – 432.

Bhullar, S.S. and C.F. Jenner. 1985. Differential responses to high temperature of starch and nitrogen accumulation in the grain of four cultivars of wheat. **Aust. J. Plant Physiol**. 12: 363-375.

Bjorkman, O. and B. Demming. 1987. Photon yield of O2 evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origin. **Planta** 170: 489-504.

Blum, A. and A. Ebercon. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. **Crop Sci**. 21:43-47.

Coffman, F.A. 1957. Factors influencing heat resistance in oats. **Agron. J.** 49, 368.

Flagella, Z., D. Pastore, R.G. Campanile and N.D. Fonzo. 1994. Photochemical quenching of chlorophyll fluorescence and drought torerance in different durum wheat (*Triticum durum*) cultivars. **Journal of Agricultural Science** 122: 183-192.

Fokar, M., H.T. Nguyen and A. Blum. 1998. Heat tolerance in spring wheat. I. Genetic variability and heritability of cellular thermotolerance. **Euphytica** 104 :1-8.

Grover, A. and D. Minhas. 2000. Towards production of abiotic stress tolerant transgenic rice plants: issues, progress and future research needs. **Proc. Indian Natl. Acad. Sci.** 66: 13 – 32.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Gunderson, C.A., R.J. Norby and S.D. Wullshleger. 2000. Acclimation of photosynthesis and respiration to simulated climatic warming in northern and southern populations of Acer saccarum: laboratory and field evidence. **Tree Physiolo.** 20: 87 - 95.

Hall, A.E. 1992. Breeding for heat tolerance. **Plant Breed. Rev.** 10: 129-167.

Ilik, P., R. Kouril., J. Naus and F. Vacha. 2000. Spectral characterization of chlorophyll fluorescence in barley leaves during linear heating. Analysis of high-temperature fluorescence rise around 60 ºC. **J. Photochem. Photobilo.** 59: 103-114.

Jagadish, S.V.K., P.Q. Craufurd and T.R. heeler. 2007. High temperature stress and spikelet fertility in rice. **J. Exp. Bot.** 58: 1627 - 1635.

Krause, G.H. and E. Weis. 1984. Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology. II. Interpretation of fluorescence signals. **Photosyn. Res.** 5: 139-157.

_____and_____. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Boil.** 42: 313-349.

Law, R.D. and S.J. Crafts-Brandner. 1999. Inhibition and acclimation of photosynthesis to heat stress is closely correlated with activation of ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxygenase. **Plant Physiol**. 120: 173-181.

Leopold, A.C. and P.E. Kreidemann. 1975. **Plant Growth and Development**. 2nd ed., Tata McGrow-Hill, New Delhi.

Levitt, J. 1980. **Response of Plants to Environmental Stresses. Chilling injiry, Freezing and High Temperature Stresses**, I, Academic Press, New York.

Maestri, E., K. Natalya., C. Perrotta., M. Gulli., H. Nguyen and N. Marmiroli. 2002. Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals. **Plant Mol. Biol.** 48: 667-681.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Maisonneuve, B. and A.P.M. Dennigs. 1984. *In vitro* pollen germination and tube growth of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) and its relation with plant growth. **Euphytica** 33: 833 - 840.

Martineau, J.R., J.E. Specht, J.H. Williams and C.Y. Sullivan. 1979. Temperaturea Tolerance in soybeans. **Crop Sci**. 19:75-78.

Matsui, T. and K. Omasa. 2002. Rice (*Oryza sativa* L.) cultivars tolerant to high temperature at flowering: Anther characteristics. **Ann. Bot. (Lon.)** 89: 683 - 687.

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 Prod.Sci.** 4: 90 - 93.

Maxwell, K. and B.N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. **J. Exp. Bot.** 51: 659-668.

MeNairn, R.B. and H.B. Currier. 1968. Translocation blockage by sieve plate callose. **Planta.** 82: 369 - 370.

Mohammadi, V., M.R. Ghannadha., A.A. Zali and B. Yazdi-Sammadi. 2004. Effect of post anthesis heat stress on head traits of wheat**. Int. J. Agric. Biol.** 6: 42-44.

Nogues, S., L. Alegre, J. Araus., L. Perez-Arand and R. Lannoye. 1994. Modulated chlorophyll fluorescence and photosynthetic gas exchange as rapid screening method for drought tolerance in barley genotypes. **Photosynthetica** 30: 165-474.

Osada, A, V. Saciplapa., M. Rahong., S. Dhammanuvong and H. Chakrabandho. 1973. Abnormal occurrence of empty grains of indica rice plants in the dry, hot season in Thailand. **Proceedings of the Crop Science Society Japan** 42: 103 - 109.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Paulsen, G.M. 1994. High Temperature Responses of Crop Plants. *In*: **Physiology and Determination of Crop Yield.** Boote, K.J., T.R. Sinclair and G.M. Paulsen (Eds.), American Society of Agronomy, Madison, WI. pp: 365-389.

Peng, S.B., J.L. Huang., J.E. Sheehy., R.C. Laza., R.M. Visperas., X. Zhong., G.S. Centeno., G.S. Khush and K.G. Cassman. 2004. Rice yield decline with higher night temperature from global warming. **Proc. Natl. Acad. Sci.** U.S.A. 101, 9971 - 9975.

Petkova, V., I.D. Denev., D. Cholakov and I. Projazov. 2007. Field screening for heat tolerant common bean cultivars (*Phaseolus Vulgaris* L.) by meansuring of chlorophyll fluorescence induction parameter. **Scientia Horticulture** 111: 101-106.

Porter, D.R., H.T. Nguyen and J.J. Burke. 1995. Genetic control of acquired thermal tolerance in weat. **Euphytica** 83: 153-157.

Prasad, P.V.V., K.J. Boote., L.H. Allen., Jr.J.E. Sheehy and J.M.G. Thomas. 2006(a). Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. **Field Crop Res.** 95: 398 - 411.

Schreiber, U. and P.A. Armond. 1978. Heat induced changes of chlorophyll fluorescence in isolated chloroplast and related heat damage at pigment level. **Biochim. Biophys. Acta** 502: 138-151.

Shanahan, J.F., I.B. Edwards, J.S. Quick and R.J. Fenwick. 1990. Menbrane thermostability and heat tolerance of spring wheat. **Crop Sci**. 30:247-251.

Smillie, R.M. 1979. Coloured components of chloroplast membranes as intrinsic membrane probes for monitoring the development of heat injury in intact tissue. **Aust. J. Plant Physiol.** 6: 121-123.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Statake, T. and S. Yoshida. 1978. High temperature-induced sterility in indica rice at flowering. **J. Jpn. Crop Sci**. 47: 6 - 17.

Strasser, R., A. Srivastava and M. Tsimilli-Michael. 2000. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic sample. *In* P. Mohanty, M. Yunus and F. Pathre, eds. **Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation.** Taylor and Francis Publ. Co., London.

van Fracheboud, T. 2001. **Using Chlorophyll Fluorescence to Study Photosynthesis.** Institute of Plant Science ETH, Universitatrasse 2, Zurich.

Vasilakakis, M. and I.C. Porlingis. 1985. Effect of temperature on pollen germination, pollen tube growth, effective pollination period and fruit set of pear. **Hort. Sci.** 20: 733 - 735.

Yochida, S., T. Satake and D.S. Mackill. 1981. **High temperature stress in rice. IRRI Research Paper Ser**. 67 Int. Rice Research Inst., Manila Philippines.

Wardlaw, I.F., C. Blumenthal., O. Larroque and C. Wrigley. 2002. Contrasting effects of heat stress and heat shock on kernel weight and flour quality in wheat. **Funct. Plant Biol.** 29: 25-34.

Wilson, J.M. and J.A. Greaves. 1993. Development of fluorescence-based screening programs for temperature and water stress in crop plants, pp. 389-398. *In* C.G. Kuo, eds. **Adaptation of food crops to temperature and water stress.** Proc. Int. Symp. Taiwan, Asian Vegetable Research and development Center, Taipei.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 แสดงวันในรอบปี 2554 (The Date of the Year 2011 : DOY)

Day	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29		88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30		89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31		90		151		212	243		304		365

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 แสดงวันในรอบปี 2555 (The Date of the Year 2012 : DOY)

Day	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	1	32	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
2	2	33	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
3	3	34	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
4	4	35	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
5	5	36	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
6	6	37	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
7	7	38	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
8	8	39	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
9	9	40	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
10	10	41	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
11	11	42	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
12	12	43	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
13	13	44	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
14	14	45	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
15	15	46	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
16	16	47	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
17	17	48	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
18	18	49	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
19	19	50	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
20	20	51	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
21	21	52	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
22	22	53	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
23	23	54	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
24	24	55	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
25	25	56	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
26	26	57	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
27	27	58	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
28	28	59	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
29	29	60	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
30	30		90	121	151	182	212	243	274	304	335	365
31	31		91		152		213	244		305		366

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 รายชื่อสายพันธุ์ข้าวของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสงและกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสงของพารามิเตอร์ต่างๆ

หมายเลข	สายพันธุ์ไม่ไวแสง	หมายเลข	สายพันธุ์ไวแสง
1	Ex3 No.2 PSL00504-54-1-22	1	บือเปรอมือ
2	KEMANDI PANCE*	2	เสมอใจ
3	IR8	3	หอมพระเทพ
4	PSL224 SUBMERGENCE	4	น้ำรู
5	PSL1357 SUBMERGENCE	5	ข้าวนาปรัง
6	#319สินเหล็ก	6	ป้องแอ้ว
7	IR46	7	FR13A
8	IR45	8	ข้าวน้อย
9	Ex3 No.4 PSL00508-92-2-2-8	9	อีน้อย
10	PSBRc88	10	แดงพม่า
11	#91	11	หนีน้ำ
12	MATATAG2*	12	แก่นจันทร์
13	สุพรรณบุรี3	13	ข้าวหอมมะลิแดง
14	หอมกำแพงแสน(23-215)	14	ข้าวขาวกอ
15	Ex3 No.6 PSL00540-23-1-1-7	15	เมืองหลวง
16	PSBRc44	16	ดอกพยอม
17	Ex2No.11 PSL00508-74-2-1-7	17	KDML105
18	RD23	18	ข้าวเมล็ดเล็ก
19	IR62	19	ข้าวขาวล้นยุ้ง
20	MATATAG9*	20	ข้าวกอเตี้ย
21	HOMSUPAN/BT#274	21	หางยี71
22	IR32	22	ดอเชียงใหม่
23	Ex2No.9 PSL0034-50-2-1-3	23	ข้าวเบอร์16
24	Ex1 No.19 PSL0034-50-2-1-8	24	ยากู่
25	DJAWA PELET*	25	ข้าวทนหนาว
26	IR54	26	ข้าวชมัรธม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 รายชื่อสายพันธุ์ข้าวของกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไม่ไวแสงและกลุ่มสายพันธุ์ข้าวไวแสงของพารามิเตอร์ต่างๆ (ต่อ)

หมายเลข	สายพันธุ์ไม่ไวแสง	หมายเลข	สายพันธุ์ไวแสง
27	No.2 IRONIR67966-188-2-2-1(No.42)	27	เหลืองแก้ว
28	PSL00041 16 1 1 7	28	ข้าวหอม
29	สุรินทร์1	29	อีดอหอม
30	IR62266	30	เชียงรู้ง502
31	PSBRc4	31	เหนียวหอมปลาซิว
32	IR64	32	สัมพันธ์ใหญ่
33	IR50		
34	IR68552-100-1-2-2*		
35	HOMSUPAN/BT#255		
36	LOAS GEDJEH IRGC9243*		
37	No1. IIRONIR66738-118-1-2(No.41)		
38	#299		
39	PSBRc54		
40	แก้วเกษตร		
41	สุพรรณบุรี1		
42	IR70554-18-1-2*		
43	PSBRc70		
44	PSBRc28		
45	BT(สีนิล)		
46	IR66		
47	IR66160-121-4-1-1*		
48	PSBRc92		
49	IR5		
50	IR54		
51	PSBRc44		
52	PSBRc18		

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	กฤษณา หมื่นยุทธ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	15 กันยายน 2526
สถานที่เกิด	ชลบุรี
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์