

# วิทยาการข้าวไทย

เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม  
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



# คำนำ

---

ภูมิปัญญาไทยในเรื่องข้าวมีบทบาทสำคัญในพัฒนาการของระบบการผลิตข้าวที่ทำให้ประเทศไทยสามารถเลี้ยงผู้คนในประเทศแล้วยังมีเหลือเป็นสินค้าส่งออกมาตั้งแต่สมัยอยุธยา การนำวิทยาการสมัยใหม่มาผนวกกับภูมิปัญญาดั้งเดิมเพื่อการผลิตข้าว ได้เริ่มขึ้นที่ประเทศญี่ปุ่นที่อยู่ในภูมิภาคเขตอบอุ่น ในกลางพุทธศตวรรษ 2440 และขยายไปถึงภูมิภาคเขตร้อนรวมทั้งไทย ในช่วงต้นพุทธศตวรรษ 2500 ส่งผลให้การผลิตข้าวมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีผลกระทบไปถึงทั้งคนปลูกและบริโภคข้าว แต่ความก้าวหน้าของวิชาการที่เกี่ยวข้อง มีความเจาะจงเฉพาะทางเพิ่มมากขึ้น แต่ละสาขาวิชา มีรายละเอียดลงลึกในเพียงเสี้ยวส่วนเล็กๆ ของข้าว ทำให้ยากต่อการเห็นภาพรวม ที่ต้องอาศัยความเชื่อมโยงสหสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่างๆ

หนังสือนี้ได้เขียนขึ้น เพื่อช่วยให้นักศึกษา นักวิชาการ และผู้ที่สนใจ เข้าใจถึงองค์ความรู้และประเด็นความก้าวหน้าทางวิชาการ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตข้าว โดยได้รวบรวมเรื่องราวและผลการวิจัย ที่สำคัญต่อข้าวไทยเป็น 5 ตอน พร้อมด้วยเอกสารอ้างอิง เพื่อความสะดวกในการติดตามและยืนยันในรายละเอียด (ตอนที่ 1) กล่าวถึงการเพิ่มผลผลิตข้าว เริ่มด้วยพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ ที่ได้ปรับปรุงขึ้นตามหลักวิชาการ และแตกต่างไปจากพันธุ์พื้นเมือง มรดกทรัพยากรพันธุกรรมที่เป็นผลจากภูมิปัญญาท้องถิ่น ตามด้วยเรื่องราวเกี่ยวกับเงื่อนไขสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติและการจัดการในเรื่องน้ำ ดินและปุ๋ย ฤดูปลูก และระยะปลูก และ สภาพแวดล้อมทางเศรษฐกิจและสังคม

การเพิ่มผลผลิตข้าว เป็นความสำเร็จสำคัญของการนำวิทยาการสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ ด้วยผลพวงจากกระบวนการ “ปฏิวัติเขียว” (green revolution) ตกอยู่แก่ชาวนาที่มีพื้นที่นาที่อุดมด้วยน้ำและธาตุอาหารจากปุ๋ย สำหรับชาวนาส่วนใหญ่ของโลก รวมทั้งชาวนาในหลายพื้นที่ในประเทศไทย ที่อยู่ในสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม มีน้ำน้อยไปหรือมากเกินไป ดินไม่ดี สภาพเศรษฐกิจและสังคมไม่เอื้อต่อการลงทุนใช้ปัจจัยการผลิต

---

---

ต้นข้าวไม่สามารถให้ผลผลิตได้ตามศักยภาพทางพันธุกรรม วิทยาการที่ส่งผลในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวในภาวะแวดล้อมที่มีข้อจำกัด (ตอนที่ 2) จึงมีความสำคัญยิ่ง ต่อชาวนาที่ได้รับผลประโยชน์จากการปฏิบัติเขียน้อย เช่น ชาวนาในประเทศไทยถึงร้อยละ 75 ที่ทำนาที่อาศัยฝน การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวในภาวะแวดล้อมที่มีข้อจำกัด ได้อาศัยความก้าวหน้าทางวิชาการ ในสรีระเชิงนิเวศ พันธุศาสตร์ และอนุพันธุศาสตร์ ประกอบกับวิธีการทันสมัย ที่เริ่มต้นจากความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการปรับตัวของต้นข้าว ในดินน้ำขังและกระบวนการทางชีวภาพ ที่แตกต่างของข้าวขึ้นน้ำกับข้าวทนน้ำท่วม กลยุทธ์ต่างแบบของพันธุ์ข้าวในการปรับตัวต่อภาวะฝนแล้ง และความสำคัญของธาตุอาหารของต้นข้าวและผู้บริโภคข้าว

พันธุกรรม (genotype) ข้าว ที่กำหนดลักษณะที่แสดงออก (phenotype) ที่มีความสำคัญต่อทั้งผู้ปลูกและผู้บริโภคข้าว เป็นทรัพยากรสำคัญยิ่งอันหนึ่งของโลก (ตอนที่ 3) การใช้ประโยชน์และอนุรักษ์พันธุกรรมข้าวไทยที่หลากหลาย ต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานความเข้าใจถ่องแท้ถึงโครงสร้างของระบบพันธุกรรม ที่ประกอบด้วยข้าวปลูก ข้าวป่า และข้าววัชพืช พันธุ์ข้าวท้องถิ่นของประเทศไทย เป็นมรดกพันธุกรรมพืชที่สำคัญต่อผู้ปลูกและผู้บริโภคข้าวทั่วโลก เนื่องจากข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจ ผลตอบแทนจากการผลิตข้าว จึงเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จภายในบริบทของสภาพแวดล้อมทางเศรษฐกิจและสังคม ประกอบกับสภาพแวดล้อมทางกายภาพ และเงื่อนไขทางพันธุกรรม (ตอนที่ 4) ที่แยกออกเป็นผลตอบแทนจากการทำนาปลูกข้าว และการเพิ่มมูลค่าหลังการเก็บเกี่ยว (ตอนที่ 5) กล่าวถึงอนาคตของข้าวไทยในระบบเศรษฐกิจและสังคมที่ได้เปลี่ยนแปลงไปมาก ที่มีทั้งอุปสรรคและโอกาส รวมทั้งพัฒนาการแหล่งขององค์ความรู้และวิทยาการเพื่ออนาคตที่ยั่งยืน

# สารบัญ

|             |     |
|-------------|-----|
| คำนำ        | III |
| สารบัญ      | V   |
| สารบัญภาพ   | VI  |
| สารบัญตาราง | XVI |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| <b>ตอนที่ 1 การเพิ่มผลผลิต</b>                                    | 1  |
| บทที่ 1 พันธุ์ข้าวสมัยใหม่                                        | 5  |
| บทที่ 2 สภาพแวดล้อมตามธรรมชาติและการจัดการน้ำ                     | 15 |
| บทที่ 3 สภาพแวดล้อมตามธรรมชาติและการจัดการดิน และปุ๋ย             | 33 |
| บทที่ 4 สภาพแวดล้อมตามธรรมชาติและการจัดการ<br>ฤดูปลูก และระยะปลูก | 57 |
| บทที่ 5 สภาพแวดล้อมทางเศรษฐกิจและสังคม                            | 75 |

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| <b>ตอนที่ 2 ข้าวในภาวะแวดล้อมจำกัด</b>           | 89  |
| บทที่ 6 ข้าวในน่าน้ำท่วม                         | 93  |
| บทที่ 7 ทำนาอาศัยฝน                              | 111 |
| บทที่ 8 การขาดธาตุอาหารและปัจจัยจำกัดในการบริโภค | 119 |

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| <b>ตอนที่ 3 ทรัพยากรพันธุกรรม</b>              | 133 |
| บทที่ 9 ความหลากหลายทางพันธุกรรมในข้าว         | 135 |
| บทที่ 10 ข้าวป่า ข้าวปลูก ข้าววัชพืช           | 145 |
| บทที่ 11 มรดกพันธุกรรม - พันธุ์ข้าวท้องถิ่นไทย | 159 |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| <b>ตอนที่ 4 ผลตอบแทนจากการผลิตข้าว</b> | 177 |
| บทที่ 12 ผลตอบแทนจากการปลูกข้าว        | 179 |
| บทที่ 13 มูลค่าเพิ่มหลังการเก็บเกี่ยว  | 197 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| <b>ตอนที่ 5 ข้าวไทยในอนาคต</b> | 211 |
| บทที่ 14 อุปสรรคและโอกาส       | 213 |
| บทที่ 15 วิทยาการเพื่ออนาคต    | 223 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| พันธุ์ข้าว                      | 234 |
| ศัพท์ภาษาอังกฤษ และศัพท์วิชาการ | 239 |
| เอกสารอ้างอิง                   | 244 |
| ดัชนี                           | 264 |

# สารบัญภาพ

|             |                                                                                                                                                                                |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ภาพที่ 1ก   | ผลผลิตข้าวไทย เอเชีย อาเซียน และโลก พ.ศ. 2504-2556                                                                                                                             | 2  |
| ภาพที่ 1ข   | เปรียบเทียบผลผลิตข้าวเฉลี่ย ของ ญี่ปุ่น จีน อินเดีย ไทย และเพื่อนบ้านบางประเทศ                                                                                                 | 4  |
| ภาพที่ 1.1  | ต้นข้าวพันธุ์ IR8 ที่คัดเลือกมาจากลูกผสมระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมืองต้นสูง Peta และข้าวพันธุ์ต้นเตี้ย Dee Geo Woo Gen                                                            | 7  |
| ภาพที่ 1.2  | พื้นที่/ผลผลิตข้าวนาปรังที่ปลูกด้วยพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ทั้งหมดและพื้นที่ปลูกข้าวในประเทศไทย พันธุ์พื้นเมือง ฤดูนาปี 2539 และพันธุ์สมัยใหม่ ฤดูนาปี 2539 และฤดูนาปรัง 2540        | 8  |
| ภาพที่ 1.3  | ความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าวในการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน                                                                                                                        | 11 |
| ภาพที่ 1.4  | เปรียบเทียบความสูงของข้าวพันธุ์เตี้ย กับพันธุ์กึ่งเตี้ย Dee Geo Woo Gen และข้าวพันธุ์สูง C4-18                                                                                 | 12 |
| ภาพที่ 1.5  | ลักษณะที่แสดงออกโดยยีนแคระ Rh-B1 และ Rht-D1 ในสายพันธุ์ที่มีพันธุกรรมใกล้เคียง (NILs - Near isogenic lines) ของข้าวสาลีพันธุ์ Mercia                                           | 13 |
| ภาพที่ 1.6  | ความสัมพันธ์ทางลบ ระหว่างดัชนีการเก็บเกี่ยวกับความสูงต้นข้าว                                                                                                                   | 13 |
| ภาพที่ 2.1  | พื้นที่ข้าวนาปรังรายจังหวัด                                                                                                                                                    | 16 |
| ภาพที่ 2.2  | ผลผลิตข้าวโดยเฉลี่ย จากพื้นที่นา 1 ไร่ ใน 1 ปี ในพื้นที่นาชลประทาน และนาอาศัยน้ำฝน ของประเทศไทย (พ.ศ. 2555/6-2557/8)                                                           | 17 |
| ภาพที่ 2.3  | ระบบการปลูกข้าว จำแนกตามสภาพน้ำ                                                                                                                                                | 18 |
| ภาพที่ 2.4  | ข้าวไร่ในไร่นาหมื่นเรือน ของเกษตรกรที่สูง ใน อ.สบเมย จ.แม่ฮ่องสอน                                                                                                              | 19 |
| ภาพที่ 2.5  | ข้าวแอรอริกในแปลงเกษตรกร และแปลงทดลองที่ประเทศจีน                                                                                                                              | 21 |
| ภาพที่ 2.6  | นาในหุบที่สูง จังหวัดแม่ฮ่องสอน                                                                                                                                                | 22 |
| ภาพที่ 2.7  | ฝายกั้นน้ำ ของระบบเหมือง-ฝายชุมชน อายุ 120 ปี ที่บ้านน้ำปุก อ.ปง จ.พะเยา และ เขื่อนทดน้ำ บนแม่น้ำเจ้าพระยา ที่คุ้งบางกระเบียน ต.บางหลวง อ.สรรพยา จ.ชัยนาท สร้างเสร็จ พ.ศ. 2500 | 23 |
| ภาพที่ 2.8  | พื้นที่ปลูกข้าวในประเทศไทยโดยวิธีต่างๆ ในฤดูนาปี พ.ศ. 2539 และโดยสัดส่วนร้อยละรายภาค                                                                                           | 24 |
| ภาพที่ 2.9  | ต้นกล้าเตรียมเพื่อดำด้วยเครื่อง                                                                                                                                                | 25 |
| ภาพที่ 2.10 | การหยอดเมล็ดข้าวด้วยมือในการปลูกข้าวไร่ ที่บ้านห้วยทึบ จ.สบเมย แม่ฮ่องสอน และการปลูกข้าวไร่ด้วยเครื่องหยอดเป็นแถวพร้อมกับการหยอดปุ๋ย                                           | 26 |
| ภาพที่ 2.11 | ปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนไปตามระดับน้ำในกระถางนา และท่อวัดระดับน้ำใต้ดิน                                                                                                        | 27 |
| ภาพที่ 2.12 | ปริมาณน้ำฝนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2558 ที่ต่ำกว่า และฤดูฝนมาช้ากว่าค่าเฉลี่ย 30 ปี (2523-2553)                                                        | 29 |

# สารบัญภาพ

|             |                                                                                                                                                                                    |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ภาพที่ 2.13 | ผลผลิตข้าวของประเทศไทย                                                                                                                                                             | 30 |
| ภาพที่ 2.14 | ชวานาสุพรรณบุรีรวมกำลังสูบน้ำเข้านา ในต้นฤดูนาปี 2558                                                                                                                              | 31 |
| ภาพที่ 2.15 | ข้าวนาปี 2558 แห้งตาย เพราะกระทบแล้ง ในระยะตั้งท้อง                                                                                                                                | 31 |
| ภาพที่ 3.1  | แบบจำลองแสดงผลของความเป็นกรด-ด่างของดินต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช                                                                                                          | 35 |
| ภาพที่ 3.2  | ปัจจัยการผลิตในการเกษตรไทย พ.ศ. 2539-2548 เทียบเป็นหน่วยพลังงาน                                                                                                                    | 37 |
| ภาพที่ 3.3  | การใส่ปุ๋ยข้าวนาปีและนาปรัง ในประเทศไทย พ.ศ. 2530 และ พ.ศ. 2551 โดยเฉลี่ย และในนาอาศัยฝน และนาชลประทาน ฤดูนาปี พ.ศ. 2551                                                           | 38 |
| ภาพที่ 3.4  | ธาตุอาหารที่เก็บเกี่ยวออกไปจากท้องนาในประเทศแต่ละปีในข้าวเปลือก 38 ล้านตัน                                                                                                         | 38 |
| ภาพที่ 3.5  | การเปลี่ยนแปลงในการตอบสนองต่อปุ๋ย (กก. $N-P_2O_5-K_2O$ /ไร่) ในระยะยาว และการตอบสนองต่อปุ๋ย K ที่ระดับผลผลิตที่ต่างกัน จากนาปีและนาปรัง                                            | 40 |
| ภาพที่ 3.6  | การขาดธาตุอาหารและการเป็นพิษของธาตุในข้าวในทวีปเอเชีย                                                                                                                              | 41 |
| ภาพที่ 3.7  | การเข้าทำลายของหนอนม้วนใบข้าว ( <i>Cnaphalocrocis medinalis</i> Guenée) ในข้าวพันธุ์ กข2 (อายุ 52 วันหลังปักดำ) ที่เพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ย N (16-20-0)                               | 45 |
| ภาพที่ 3.8  | ช่วงเวลาพัฒนาการในข้าวอายุ 120 วันจากเมล็ด                                                                                                                                         | 45 |
| ภาพที่ 3.9  | วงแหวนสีเขียว (green ring) ระหว่างข้อบนสุดและข้อล่างถัดลงไป คือปล้องที่เริ่มขยายตัวและสะสมคลอโรฟิลล์ บ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงพัฒนาการ จากการสร้างลำต้นและใบ ไปสู่การถือกำเนิดของรวง | 46 |
| ภาพที่ 3.10 | การสะสมไนโตรเจนตามช่วงการเจริญเติบโตของต้นข้าว ที่ได้รับปุ๋ย N ในอัตรา 0-200 กก. N/เฮคตาร์                                                                                         | 47 |
| ภาพที่ 3.11 | ความสำคัญของขนาดราก ต่อการสะสม P และสมรรถภาพในการดูด P ในข้าว 30 สายพันธุ์                                                                                                         | 49 |
| ภาพที่ 3.12 | การขุดเพื่อวัดการแสดงออก (phenotyping) ในรากข้าว 200 สายพันธุ์ ใน GWAS เพื่อหาความสัมพันธ์กับ Genotype และบ่งชี้พันธุกรรมที่กำหนดลักษณะการใช้ P อย่างมีประสิทธิภาพ                 | 49 |
| ภาพที่ 3.13 | ความแปรปรวนในประสิทธิภาพการนำ P ที่ดูดสะสมไปสร้างเป็นมวลชีวะ (PUE) ในข้าว 29 พันธุ์ และความสัมพันธ์ระหว่าง PUE กับความสามารถสะสม P                                                 | 50 |
| ภาพที่ 3.14 | การแสดงออกของ QTL Pup1 ใน Kasalath และ NIL-Pup1 เปรียบเทียบกับ Nipponbare ที่ไม่มี Pup1                                                                                            | 51 |

# สารบัญภาพ

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ภาพที่ 3.15 | พันธุ์ข้าว IR64-Pup1 และ IR64 ในดิน P จำกัด ที่ประเทศแทนซาเนีย ทวีปแอฟริกา                                                                                                                                                                                                                           | 52 |
| ภาพที่ 3.16 | ลักษณะและตำแหน่งของซิลิคอน ในเซลล์ใบข้าว                                                                                                                                                                                                                                                             | 54 |
| ภาพที่ 3.17 | ปริมาณการสะสม Si และการปันส่วน Si ที่แตกต่างในส่วนต่างๆ ของต้นข้าว                                                                                                                                                                                                                                   | 54 |
| ภาพที่ 4.1  | ความยาววันตามตำแหน่งเส้นรุ้งบนพื้นผิวโลก ในซีกโลกภาคเหนือ เส้นศูนย์สูตร แสดงวันยาวที่สุด วันสั้นที่สุด วันที่กลางวันยาวเท่ากับ กลางคืน ในฤดูใบไม้ผลิ และในฤดูใบไม้ร่วง                                                                                                                               | 59 |
| ภาพที่ 4.2  | ปริมาณฝน และความยาววัน ที่เชียงใหม่ และสุพรรณบุรี (ข้อมูลเฉลี่ย พ.ศ. 2543-พ.ศ. 2555)                                                                                                                                                                                                                 | 60 |
| ภาพที่ 4.3  | อุณหภูมิระหว่างวัน (daily temperature) ที่เชียงใหม่ และสุพรรณบุรี (ข้อมูลเฉลี่ย พ.ศ. 2543-พ.ศ. 2555)                                                                                                                                                                                                 | 62 |
| ภาพที่ 4.4  | ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราพัฒนาการกับอุณหภูมิ เปรียบเทียบ ความสัมพันธ์จริงกับความสัมพันธ์ตามสมการด้วยแบบจำลอง และความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าวที่วัดในห้องควบคุมสภาพแวดล้อม                                                                                                                             | 63 |
| ภาพที่ 4.5  | แผนที่อุณหภูมิสูงสุดในระหว่างวัน ในประเทศไทย พ.ศ. 2550 สูงสุด 44° C วันที่ 25 เม.ย. ที่ อ.เมือง จ.ตาก                                                                                                                                                                                                | 64 |
| ภาพที่ 4.6  | ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุด และความเข้มแสง ในระหว่างฤดูปลูก กับผลผลิตเมล็ด ผลผลิตมวลชีวะส่วนเหนือดินและ จำนวนดอก ของข้าวพันธุ์ IR72 ที่ได้รับปัจจัยการผลิต และการจัดการ ในระดับสูงสุด ที่สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ เมืองลอสบาส ออส ประเทศฟิลิปปินส์ ในระหว่าง พ.ศ. 2512-พ.ศ. 2546 | 65 |
| ภาพที่ 4.7  | การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในประเทศไทยในระยะยาว 50 ปี                                                                                                                                                                                                                                                     | 66 |
| ภาพที่ 4.8  | ปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบผลผลิต กับอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด เฉลี่ยในแต่ละช่วงของพัฒนาการ ของข้าวพันธุ์ทนร้อน และไม่ทนร้อน                                                                                                                                                                          | 67 |
| ภาพที่ 4.9  | ข้าวลิบและเมล็ดขนาดมาตรฐาน (↓) ในข้าวไทยพันธุ์สุพรรณบุรี 1 (SPR1) ปทุมธานี 1 (PTT1) ชัยนาท 1 (CNT1) กข21 (RD21) ปลูกที่ เชียงใหม่ ใน 3 ฤดูปลูก                                                                                                                                                       | 68 |
| ภาพที่ 4.10 | ข้าวลิบ 2 แบบ จาก 2 กระบวนการ                                                                                                                                                                                                                                                                        | 69 |
| ภาพที่ 4.11 | ตัวอย่างรายละเอียดของกระบวนการสืบพันธุ์ในข้าวและข้าวสาลี                                                                                                                                                                                                                                             | 70 |
| ภาพที่ 4.12 | ความแตกต่างในการตอบสนองต่ออุณหภูมิสูงในข้าว 3 พันธุ์ ด้วยการมีชีวิตของละอองเรณู การงอกของเรณูบนยอดเกสรตัวเมีย และความสำเร็จในการผสมเกสร                                                                                                                                                              | 71 |

# สารบัญภาพ

|             |                                                                                                                                                                                                                              |     |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ภาพที่ 4.13 | เวลาผสมเกสรปกติในข้าวปลูกพันธุ์ IR64 เวลา 10:00 น. และเวลาผสมเกสรที่ถูกเลื่อนขึ้นมา เพื่อหลีกเลี่ยงอุณหภูมิที่พุ่งสูงขึ้นในตอนสาย ด้วยพัฏกรรมจาก <i>O. officinalis</i> ใน IR64-EMF ที่ 8:30 น. และใน Koshihikari ที่ 6:42 น. | 71  |
| ภาพที่ 4.14 | ภาพจำลองแสดงการแตกหน่อ (tillering) จากลำต้นของพืชตระกูลหญ้า                                                                                                                                                                  | 72  |
| ภาพที่ 4.15 | การแตกกอในข้าว เป็นลำต้นหลัก และหน่ออันดับต่างๆ                                                                                                                                                                              | 72  |
| ภาพที่ 4.16 | ความแตกต่างในลักษณะการเพิ่มขึ้นตามพื้นที่ใบ ของการสังเคราะห์แสง การสะสมคาร์บอน และการหายใจ ทำให้การสะสมน้ำหนักแห้งลดลงเมื่อ LAI สูงเกินระดับเหมาะสม                                                                          | 74  |
| ภาพที่ 5.1  | ความเชื่อมโยงสัมพันธ์ภายในห่วงโซ่มูลค่าเพิ่มของข้าวไทย                                                                                                                                                                       | 77  |
| ภาพที่ 5.2  | ราคาที่แตกต่างกันของข้าวไทย 3 ชนิด คิดเป็น % ราคาข้าวขาว 100B ราคาข้าวสารต่างชนิดและแหล่งที่มาในตลาดโลก พ.ศ. 2515 และ เปรียบเทียบราคาข้าวสาร 25% จากประเทศผู้ส่งออก 4 ประเทศ                                                 | 78  |
| ภาพที่ 5.3  | การเผาฟางข้าว                                                                                                                                                                                                                | 78  |
| ภาพที่ 5.4  | มูลค่าการสนับสนุนจากรัฐในการผลิตพืชหลักของโลก ใน พ.ศ. 2554 และราคาข้าวสารในประเทศในเอเชีย                                                                                                                                    | 80  |
| ภาพที่ 5.5  | ข้าวสีทอง (golden rice) เทียบกับข้าวสารธรรมดา                                                                                                                                                                                | 81  |
| ภาพที่ 5.6  | ความร่วมมือในการซ่อมบำรุงฝายหัวเมือง (พื้นที่รับน้ำประมาณ 500 ไร่) ที่ ต.เมืองคอง อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่ (เมื่อเดือน มีนาคม 2547)                                                                                            | 83  |
| ภาพที่ 5.7  | เชื่อนพระราม 6 บนแม่น้ำป่าสัก สร้างเสร็จ พ.ศ. 2467                                                                                                                                                                           | 85  |
| ภาพที่ 5.8  | ผลผลิตข้าวโดยเฉลี่ยของประเทศไทย พ.ศ. 2504-2556                                                                                                                                                                               | 86  |
| ภาพที่ 6.1  | ระดับน้ำในนาในเขตจังหวัดปราจีนบุรี และนครนายก พ.ศ. 2543-2544                                                                                                                                                                 | 95  |
| ภาพที่ 6.2  | สถิติน้ำท่วมทั่วประเทศ จำนวนอำเภอ/เขต (%อำเภอ/เขต ทั่วประเทศ) ที่ได้รับผลกระทบ และพื้นที่เกษตรที่ได้รับความเสียหาย จากอุทกภัย พ.ศ. 2532-2556                                                                                 | 96  |
| ภาพที่ 6.3  | ภาพตัดขวางรากข้าวแสดงโพรงอากาศ Aerenchyma ที่ใช้ลำเลียง $O_2$ ลงมาจากส่วนของต้นและใบที่อยู่เหนือน้ำ                                                                                                                          | 97  |
| ภาพที่ 6.4  | การลำเลียง $O_2$ จากส่วนต้น-ใบลงสู่ราก โดยทาง Aerenchyma และ รั่วไหลออกสู่ดิน ในต้นข้าวที่ขึ้นในดินไม่ขังน้ำ และขังน้ำ                                                                                                       | 98  |
| ภาพที่ 6.5  | ข้าวขึ้นน้ำในแปลงวิจัยที่ปราจีนบุรี และพันธุ์ปิ่นแก้ว 56                                                                                                                                                                     | 99  |
| ภาพที่ 6.6  | ข้าวพันธุ์ขาวบ้านนา กับพันธุ์เหลืองใหญ่ ปลูกในแปลงติดกัน ที่มีการระบายน้ำต่างกันเพียง 7-10 วัน                                                                                                                               | 100 |
| ภาพที่ 6.7  | แปลงทดลองข้าวนาข้าวสี ที่สถานีทดลองข้าวปราจีนบุรี (ศูนย์วิจัยข้าวปราจีนบุรี ในปัจจุบัน) พ.ศ. 2511                                                                                                                            | 101 |

## สารบัญภาพ

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ภาพที่ 6.8  | บทบาทของเอริลลิน และข้อเสนอยุทธศาสตร์การกระตุ้นให้เกิดการยืดปล้องในข้าวขึ้นน้ำ                                                                                                                                                                                                                     | 102 |
| ภาพที่ 6.9  | ลักษณะเมล็ด ข้าวเปลือกและข้าวกล้อง พันธุ์ข้าวทองถิ่นทนนน้ำท่วมจากอินเดีย                                                                                                                                                                                                                           | 103 |
| ภาพที่ 6.10 | ภาพจำลองเปรียบเทียบศักยภาพการให้ผลผลิต ของข้าวพันธุ์ทนทานต่อภาวะเครียด และข้าวพันธุ์หลัก ภายใต้ภาวะเครียด และภาวะปกติ                                                                                                                                                                              | 106 |
| ภาพที่ 6.11 | ภาพจำลองเปรียบเทียบบทบาทของพันธุกรรม และการจัดการในการกำหนดผลผลิตข้าว ในภาวะเครียด และภาวะปกติ                                                                                                                                                                                                     | 109 |
| ภาพที่ 7.1  | ช่วงฤดูปลูกที่อาศัยฝน เมื่อฝนที่ตกสะสมในแต่ละเดือน มีปริมาณสูงกว่ามาตรฐานการสูญเสียน้ำกลับสู่บรรยากาศ ( $ET_0$ ) ที่เชียงใหม่ และสุพรรณบุรี                                                                                                                                                        | 112 |
| ภาพที่ 7.2  | ฤดูปลูกที่สั้นลงที่ขอนแก่น ด้วยฝนต้นฤดูที่มาล่าช้า และฝนปลายฤดูที่สิ้นสุดลงเร็วขึ้น ในช่วง พ.ศ. 2555-พ.ศ. 2558 เทียบกับสถิติระยะยาว 30 ปี จาก พ.ศ. 2523-พ.ศ. 2553                                                                                                                                  | 113 |
| ภาพที่ 7.3  | ความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าว ในความสามารถปรับตัวต่อภาวะการขาดน้ำ จัดอันดับความทนทาน/อ่อนแอ จากผลผลิตเมื่อขาดน้ำในสัดส่วนของผลผลิตเมื่อไม่ขาดน้ำ ด้วยระเบียบการทดลองการขาดน้ำในช่วงเจริญพันธุ์ ปรับรูปแบบตามวิธีปลูกและอายุพันธุ์                                                                   | 116 |
| ภาพที่ 7.4  | ผลผลิตเมล็ดแสดงอิทธิพลของหน่วยพันธุกรรม (quantitative trait loci; QTL) กำหนดความทนแล้ง ( <i>qDTY1.1</i> และ <i>qDTY1.12</i> ) ในสายพันธุ์ข้าว เปรียบเทียบกับพันธุ์มาตรฐานทนแล้ง (IR74371-54-1-1) และไม่ทนแล้ง (IR64) และอันดับความทนทาน/อ่อนแอจากผลผลิตเมื่อขาดน้ำในสัดส่วนของผลผลิตเมื่อไม่ขาดน้ำ | 118 |
| ภาพที่ 8.1  | แบบจำลองแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหรือทรัพยากร A กับ B เชิงบวก และเชิงลบ                                                                                                                                                                                                                         | 122 |
| ภาพที่ 8.2  | แบบจำลองแสดงการตอบสนองต่อ B ของ A1 และ A2 แบบมีและไม่มีปฏิสัมพันธ์                                                                                                                                                                                                                                 | 123 |
| ภาพที่ 8.3  | การขังน้ำมีต่อการเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสต่างกันในดินต่างชนิด                                                                                                                                                                                                                                       | 125 |
| ภาพที่ 8.4  | เปรียบเทียบการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสในพันธุ์ข้าวไทย 2 พันธุ์                                                                                                                                                                                                                                       | 125 |
| ภาพที่ 8.5  | อาการขาดโบรอนจำเพาะในถั่วเหลือง กะหล่ำดอก มะละกอ ถั่วลิสง ข้าวสาลี และทานตะวัน                                                                                                                                                                                                                     | 126 |
| ภาพที่ 8.6  | ใบปกติที่มีสังกะสีพอเพียงเทียบกับใบขาดสังกะสี ที่มีรูปร่างบิดเบี้ยว ไม่สมดุล และมีขนาดเล็กผิดปกติ อาการใบเล็ก เนื่องจากขาด Zn ในทุเรียน ในมังคุด และใบขาดสมดุลย์ใบแห้ง ในมังคุด                                                                                                                    | 127 |

# สารบัญภาพ

|              |                                                                                                                                                                                                                                             |     |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ภาพที่ 8.7   | อาการก้นเน่า (blossom-end rot) เนื่องจากการขาดแคลเซียม<br>ในพริกหยวก พริก มะเขือเทศ                                                                                                                                                         | 128 |
| ภาพที่ 8.8   | การทดลองให้ปุ๋ยโบรอนเป็นแถบ ในแปลงทานตะวันขาดโบรอน                                                                                                                                                                                          | 128 |
| ภาพที่ 9.1   | ความหลากหลายในพันธุ์ข้าวท้องถิ่น บ้านห้วยทึบ ต.สบเมย อ.สบเมย<br>จ.แม่ฮ่องสอน พ.ศ. 2544-2546 ตามจำนวนเกษตรกรในพื้นที่ที่ปลูก<br>ข้าวแต่ละพันธุ์                                                                                              | 139 |
| ภาพที่ 9.2   | ความหลากหลายทางพันธุกรรมในข้าวพันธุ์หลัก 5 พันธุ์ (ข้าวดอกมะลิ<br>105, กข 15, กข 6, สุพรรณบุรี 1, ชัยนาท 1) เปรียบเทียบกับ ข้าวป่า<br>และข้าววัชพืชในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากการวิเคราะห์ Microsatellite                                   | 140 |
| ภาพที่ 9.3   | ความใกล้ชิดหรือแตกต่างในทางพันธุกรรมระหว่างข้าวพันธุ์หลัก 5 พันธุ์<br>กับ ข้าวป่าและข้าววัชพืชในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากการวิเคราะห์<br>Microsatellite                                                                                     | 141 |
| ภาพที่ 10.1  | โลกในยุค Triassic 200 ล้านปีมาแล้ว เมื่อครั้งพื้นผิวโลกที่กลายมาเป็น<br>ทวีปต่างๆ ยังเกาะกลุ่มเป็นมหาทวีป ลอเรเซีย และกอนด์วานาและ<br>ทวีปแอฟริกา อเมริกาใต้ คาบสมุทรอาระเบีย อินเดีย และออสเตรเลีย<br>ที่เกาะกลุ่มกัน เป็นมหาทวีปกอนด์วานา | 146 |
| ภาพที่ 10.2  | การแพร่กระจายของข้าวต่างจีโนมในสกุล <i>Oryza</i>                                                                                                                                                                                            | 147 |
| ภาพที่ 10.3  | ข้าวป่าสามัญ <i>Oryza rufipogon</i> แสดงลักษณะทางสัณฐาน ของเขี้ยวใบ<br>(auricle) และลิ้นใบ (ligule) ที่เป็นแบบฉบับของสกุล <i>Oryza</i> และ<br>ช่อดอกในระยะผสมเกสร                                                                           | 148 |
| ภาพที่ 10.4  | ดอกข้าวป่ามีหาง และลักษณะผสมเปิดของดอกข้าว                                                                                                                                                                                                  | 149 |
| ภาพที่ 10.5  | ตำแหน่ง GPS ข้าวป่าสามัญ <i>Oryza rufipogon</i> ชนิดข้ามปี<br>ในช่วงดอกบาน-ผสมเกสร ริมคลองชลประทานแม่แฝก<br>อ.สันทราย - อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่                                                                                             | 149 |
| ภาพที่ 10.6  | <i>Oryza rufipogon</i> แปลงใหญ่ (พ.ศ. 2545) ในพื้นที่ประมาณ 60 ไร่ ที่<br>ศูนย์วิจัยข้าวปราจีนบุรี อ.บ้านสร้าง จ.ปราจีนบุรี และในพื้นที่<br>ประมาณ 1,000 ไร่ หนองหาร จ.สกลนคร                                                               | 150 |
| ภาพที่ 10.7  | รวงข้าวป่า <i>O. officinalis</i> และ <i>O. ridleyi</i>                                                                                                                                                                                      | 151 |
| ภาพที่ 10.8  | ต้นข้าวป่า <i>O. granulata</i> และช่อดอกที่ไม่มีการแตกกิ่งก้าน แต่มีดอก/<br>เมล็ดที่มีรูปปลั๊กซ์แบบข้าว                                                                                                                                     | 151 |
| ภาพที่ 10.9  | การจำแนกขนาดและรูปร่างของข้าวเปลือก                                                                                                                                                                                                         | 154 |
| ภาพที่ 10.10 | ร่องรอยของเปลือกข้าวในอัฐิโบราณ พุทธศตวรรษที่ 13<br>จากดงศรีมหาโพธิ์ จ.ปราจีนบุรี                                                                                                                                                           | 154 |
| ภาพที่ 10.11 | รวงข้าวติดและ รวงข้าวหาง ก่อนการสุกแก่เมล็ดจะหลุดร่วงจากรวง<br>ไปหมด ในทั้งสองแบบ                                                                                                                                                           | 155 |

# สารบัญภาพ

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ภาพที่ 10.12 | พื้นที่นาที่รูกกล้าเข้าไปในถิ่นที่อยู่ของข้าวป่า ที่ ต.ดอนเจดีย์ อ.ดอนเจดีย์ จ.สุพรรณบุรี                                                                                                                                                                                                                    | 156 |
| ภาพที่ 10.13 | การแพร่กระจายของข้าววัชพืชภายในเวลา 5 ฤดูปลูก จากฤดูนาปรัง 2544 ถึงฤดูนาปรัง 2546                                                                                                                                                                                                                            | 157 |
| ภาพที่ 10.14 | ผลผลิตข้าวปลูกลดลงเมื่อข้าววัชพืชระบาดมากขึ้น ที่ อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี                                                                                                                                                                                                                                      | 158 |
| ภาพที่ 10.15 | ลักษณะที่หลากหลายของข้าววัชพืชข้าวเปลือกและข้าวกล้อง                                                                                                                                                                                                                                                         | 158 |
| ภาพที่ 11.1  | พื้นที่ปลูกพันธุ์ข้าวแบบต่างๆ ในฤดูนาปี 2539                                                                                                                                                                                                                                                                 | 161 |
| ภาพที่ 11.2  | ความหลากหลายในพันธุ์ข้าวท้องถิ่นในพื้นที่น้ำลึก-น้ำท่วม พ.ศ. 2543-2544 และพันธุ์ข้าวที่ปลูกในบ้านแม่มุต ต.แม่วิน อ.แม่วาง จ.เชียงใหม่ พ.ศ. 2544-2546 ตามจำนวนชาวนาในพื้นที่ที่ปลูกข้าวแต่ละพันธุ์                                                                                                            | 163 |
| ภาพที่ 11.3  | ความหลากหลายทางพันธุกรรม ( $H'$ ) วัดด้วยความแปรปรวนใน Microsatellite ของเชื้อพันธุ์ข้าวป๊อขอมิของเกษตรกร เปรียบเทียบกับของข้าวป่า ( <i>Oryza rufipogon</i> ) และข้าวปลูกพันธุ์หลัก 5 พันธุ์ (ข้าวดอกมะลิ 105, กข 15, กข 6, สุพรรณบุรี 1, ชัยนาท 1)                                                          | 165 |
| ภาพที่ 11.4  | ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างทางพันธุกรรม (CS Chord genetic distance) กับระยะทางระหว่างหมู่บ้าน (กิโลเมตร)                                                                                                                                                                                                     | 166 |
| ภาพที่ 11.5  | เครือข่ายการแลกเปลี่ยนเมล็ดข้าวพันธุ์เหมยนอง ที่บ้านแม่มุต ต.แม่วิน อ.แม่วาง จ.เชียงใหม่ และผลกระทบต่อดัชนีความหลากหลายใน Microsatellite ( $H'$ ) จากการแลกเปลี่ยนเมล็ดพันธุ์ข้าวเหมยนอง ที่บ้านสามสบ อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่                                                                                  | 167 |
| ภาพที่ 11.6  | การคัดเลือกเมล็ดพันธุ์ข้าวของเกษตรกร โดยการกระเทาะเมล็ดที่ปลายรวงด้วยเครื่องมือแบบต่างๆ และเลือกเกี่ยวข้าวจากในแปลงส่วนที่มีลักษณะดีมากที่สุดไว้ต่างหากสำหรับเพื่อทำเมล็ดพันธุ์ แล้วคัดรวงที่มีลักษณะไม่ถูกต้องออก ตามขนาดของรวง รูปร่างเมล็ด และสีของข้าวเปลือก                                             | 168 |
| ภาพที่ 11.7  | ปริมาณธาตุเหล็ก และสังกะสีในพันธุ์ข้าวท้องถิ่นจากที่สูง เทียบกับข้าวพันธุ์หลัก (ข้าวดอกมะลิ 105, ชัยนาท 1, ปทุมธานี 1)                                                                                                                                                                                       | 170 |
| ภาพที่ 11.8  | ความแตกต่างในความทนทานต่อแมลงบั่วในตัวอย่างเชื้อพันธุ์ข้าวเหมยนอง จากจังหวัดในภาคเหนือตอนบน 20 ตัวอย่างเปรียบเทียบกับมาตรฐานพันธุ์ทนทานใน 2 พันธุ์ และพันธุ์อ่อนแอ 3 พันธุ์ พร้อมด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงความแปรปรวนในความรุนแรงของแมลงบั่วจาก 5 แหล่ง (เชียงราย เชียงใหม่ ตาก ราชบุรี ลำปาง และหนองคาย) | 171 |

# สารบัญภาพ

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ภาพที่ 11.9  | ผลกระทบของของอะลูมิเนียม (30 มก. Al ต่อลิตร – $Al_{30}$ ) ต่อความยาวรากข้าว และความทนทานต่อความเป็นกรดในตัวอย่างเชื้อพันธุ์ข้าวไร่ 3 พันธุ์ พันธุ์ละ 2 ตัวอย่าง จากบ้านห้วยทึบ อ.สบเมย จ.แม่ฮ่องสอน วัดด้วยผลกระทบของของอะลูมิเนียม (30 มก. Al ต่อลิตร – $Al_{30}$ คิดเป็น % ของรากที่ไม่มีอะลูมิเนียม – $Al_0$ ) เทียบกับพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์มาตรฐานทนกรด Koshihikari | 172 |
| ภาพที่ 11.10 | ความทนทานต่อดินกรด (ความยาวรากใน $Al_{30}$ คิดเป็น % ของที่ไม่มีอะลูมิเนียม ( $Al_0$ )) ของข้าวพันธุ์เหลืองใหญ่ 15 เชื้อพันธุ์ เทียบกับพันธุ์มาตรฐาน ขาวดอกมะลิ 105                                                                                                                                                                                                              | 173 |
| ภาพที่ 11.11 | ความแปรปรวนของสีข้าวกล้องพันธุ์สังข์หยด จากจังหวัดพัทลุง สงขลา และนครศรีธรรมราช                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 174 |
| ภาพที่ 11.12 | การแยกแยะเมล็ดข้าวเหนียว และข้าวเจ้า ด้วยไอโอดีน และ % เมล็ดข้าวเหนียว และข้าวเจ้า ในเชื้อพันธุ์หมยนอง จากท้องถิ่นภาคเหนือ ตอนบน 20 เชื้อพันธุ์ และข้าวเหนียวพันธุ์มาตรฐาน หมยนอง 62M สันป่าตอง 1 และ กข 4                                                                                                                                                                       | 175 |
| ภาพที่ 11.13 | ความทนทานต่อดินกรด ภายในเชื้อพันธุ์ข้าวเหลืองใหญ่ #1 ที่มีความแตกต่าง ระหว่างต้น กับเหลืองใหญ่ #7 ที่ไม่ทนทั้งหมด                                                                                                                                                                                                                                                                | 175 |
| ภาพที่ 11.14 | การย้อมสีธาตุสังกะสีในเมล็ดข้าว ด้วย Dithizone (เป็นสีแดง) แสดงความแตกต่างเมล็ดที่มีความเข้มข้นของสังกะสีต่างกัน และสีแดงเข้ม แสดงความเข้มข้นสังกะสี ในจุมูกข้าว (Embryo) และเยื่อหุ้มเมล็ดที่สูงกว่าในเนื้อข้าว (Endosperm)                                                                                                                                                     | 176 |
| ภาพที่ 12.1  | ความแตกต่างในรสนิยมบริโภคข้าวในทวีปเอเชีย                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 181 |
| ภาพที่ 12.2  | ตัวอย่างข้าวเปลือกที่มีสิ่งปลอมปนในระดับปกติ ได้ราคา 8.30 บาท/กิโลกรัม และตัวอย่างข้าวที่มีเศษหญ้า/วัชพืชปนมามาก ได้ราคา 8.10 บาท/กิโลกรัม (ราคาใน พ.ศ. 2553)                                                                                                                                                                                                                    | 187 |
| ภาพที่ 12.3  | ความแตกต่างชัดเจน ระหว่างข้าวสารเหนียวทิบแสง และข้าวสารเจ้าที่โปร่งแสง ที่พอมองเห็นได้ในตัวอย่างข้าวเจ้า ที่มีข้าวเหนียวปนมา แต่แยกแยะได้ชัดเจนและรวดเร็ว ในข้าวเจ้าที่ย้อมสีด้วยไอโอดีนเป็นสีม่วงดำ และข้าวเหนียวที่ไม่ทำปฏิกิริยากับไอโอดีน                                                                                                                                    | 188 |
| ภาพที่ 12.4  | เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกและเมล็ดพืช แบบพกพา และที่ได้ รับการรับรองมาตรฐาน จากกรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์                                                                                                                                                                                                                                                                   | 189 |
| ภาพที่ 12.5  | ข้าวเปลือกมีเมล็ดเขียวมาก และสีเป็นข้าวสารเมล็ดหัก                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 189 |
| ภาพที่ 12.6  | เครื่องสีข้าวตัวอย่าง และกระดาน “บดข้าว” ประกอบด้วยแผ่นไม้ กระดาน และลูกกลิ้ง                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 190 |

# สารบัญภาพ

|              |                                                                                                                                                                                          |     |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ภาพที่ 12.7  | การบดข้าวเพื่อตรวจสอบลักษณะคุณภาพภายในเมล็ด ด้วยท่อพีวีซีบนแผ่นไม้กระดานและ ด้วยก้อนอิฐบนพื้นซีเมนต์                                                                                     | 191 |
| ภาพที่ 12.8  | ข้าวสารไม่มีท้องไข่ และข้าวท้องไข่ที่ต่างระดับ                                                                                                                                           | 191 |
| ภาพที่ 12.9  | นาข้าวที่อุรุภัย                                                                                                                                                                         | 194 |
| ภาพที่ 13.1  | ชนิดที่หลากหลายของข้าวไทยในพันธุ์ที่ปลูก และในตลาดส่งออก                                                                                                                                 | 199 |
| ภาพที่ 13.2  | การลดความชื้นข้าวด้วยการตาก                                                                                                                                                              | 201 |
| ภาพที่ 13.3  | การผลิตข้าวหนึ่งเพื่อบริโภคในครัวเรือน ที่อินเดีย                                                                                                                                        | 204 |
| ภาพที่ 13.4  | ปริมาณข้าวหนึ่งส่งออกจากประเทศไทย พ.ศ. 2514–2558                                                                                                                                         | 204 |
| ภาพที่ 13.5  | โรงสีข้าวหนึ่งทันสมัย                                                                                                                                                                    | 205 |
| ภาพที่ 13.6  | ส่วนแบ่งการตลาดข้าวไทยในตลาดโลก ด้วยข้าวชนิดหลัก 4 ชนิด ใน พ.ศ. 2550-2558                                                                                                                | 206 |
| ภาพที่ 13.7  | เมล็ดข้าวเปลือก ภาพจำลองตัดเปลือกออกส่วนหนึ่ง ให้เห็นข้าวกล้อง (ข้าวสารที่หุ้มด้วยชั้นรำ และจมูกข้าว) ที่อยู่ภายใต้เปลือก และเมล็ดข้าวสาร ที่ได้ขัดเอารำและจมูกออกไปแล้ว                 | 207 |
| ภาพที่ 13.8  | เกล็ดซิลิกาในแกลบ (rice phytolith)                                                                                                                                                       | 208 |
| ภาพที่ 13.9  | ผลผลิตรำข้าวในประเทศ ที่เพิ่มขึ้นตามผลผลิตข้าวเปลือก                                                                                                                                     | 209 |
| ภาพที่ 13.10 | วิตามินอี กลุ่ม ท็อกโคเฟอรอล (tocopherol) และท็อกโคทรินอล (tocotrienol) ในน้ำมันรำข้าว เทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ และน้ำมันเนย                                                           | 209 |
| ภาพที่ 14.1  | มูลค่าข้าวในเศรษฐกิจไทย นับเป็นเปอร์เซ็นต์ของมูลค่ารายได้ประชาชาติ (GDP) เปอร์เซ็นต์ของมูลค่ารายได้จากการส่งออก และในสัดส่วนของสินค้าส่งออกจากภาคการเกษตรโดยเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ. 2552-2556 | 214 |
| ภาพที่ 14.2  | การลำเลียงรถยนต์เพื่อส่งออกที่ทำเรือแหลมฉบัง                                                                                                                                             | 215 |
| ภาพที่ 14.3  | รายได้เงินสดสุทธิในครัวเรือนเกษตรกรรวม จากการเกษตร และนอกการเกษตร รายภาคและเฉลี่ยทั่วประเทศ พ.ศ. 2556                                                                                    | 215 |
| ภาพที่ 14.4  | การกระจายของจำนวนผู้ประกอบการและขนาดพื้นที่ทำนาในประเทศไทย ตามขนาดพื้นที่ทำกิน                                                                                                           | 216 |
| ภาพที่ 14.5  | การบริโภคข้าวเพิ่มขึ้นในแอฟริกาตอนใต้ทะเลทรายซาฮารา                                                                                                                                      | 217 |
| ภาพที่ 14.6  | การนำเข้าข้าวเพิ่มขึ้นในจีน                                                                                                                                                              | 217 |
| ภาพที่ 14.7  | ปริมาณข้าวสารส่งออกจากไทยไปประเทศจีน                                                                                                                                                     | 218 |
| ภาพที่ 14.8  | การสูบน้ำเข้านาที่สุพรรณบุรี                                                                                                                                                             | 220 |

# สารบัญภาพ

|             |                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ภาพที่ 14.9 | ความแปรปรวนของอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดในระหว่างวัน ในช่วงต่างๆ ของกระบวนการสร้างผลผลิตในข้าว ที่ปลูกในวันที่แตกต่างกัน ในฤดูนาปี และฤดูนาปรัง และผลกระทบของวันปลูกในฤดูนาปรังต่อผลผลิตข้าว 7 พันธุ์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของผลผลิตจากการปลูกในฤดูนาปี | 220 |
| ภาพที่ 15.1 | การเติบโตของผลงานวิจัยด้านข้าวนานาชาติ และผลงานวิจัยด้านข้าวใน พ.ศ. 2557 แบ่งตามสาขาวิชา                                                                                                                                                          | 226 |
| ภาพที่ 15.2 | Dwight C Finfrock กับ การทดลองข้าว ในโครงการช่วยเหลือจากมูลนิธิร็อกกี้เฟลเลอร์ พ.ศ. 2510                                                                                                                                                          | 226 |
| ภาพที่ 15.3 | เมล็ดพันธุ์ข้าว จากสำนักเมล็ดพันธุ์ข้าว                                                                                                                                                                                                           | 227 |
| ภาพที่ 15.4 | การเพิ่มขึ้นและถดถอยของงบประมาณวิจัยและพัฒนาการเกษตรในประเทศไทย ในราคาคงที่ พ.ศ. 2531 และในสัดส่วนมูลค่าผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ในช่วง พ.ศ. 2504-2549                                                                                                | 230 |
| ภาพที่ 15.5 | การลงทุนเพื่อวิจัยและพัฒนาการเกษตร ในประเทศไทยเทียบกับประเทศอื่นในเอเชีย และประเทศรายได้สูง                                                                                                                                                       | 230 |

# สารบัญตาราง

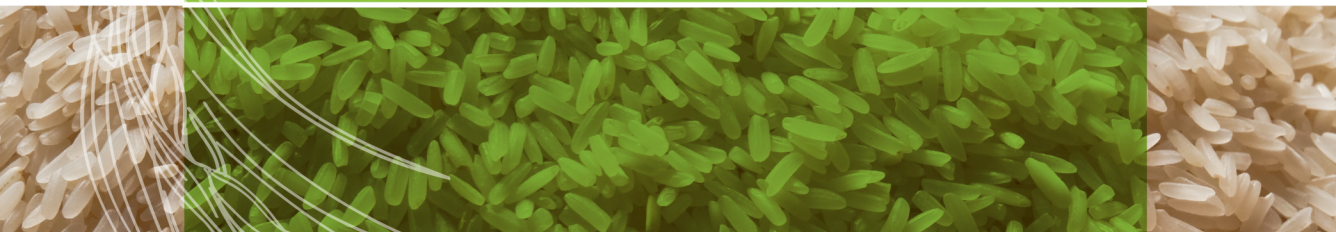
|              |                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ตารางที่ 1.1 | เปรียบเทียบสัดส่วนน้ำหนักเมล็ดต่อฟาง (G:S) และดัชนีการเก็บเกี่ยว (HI) ในพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ และพันธุ์แบบพื้นเมือง                                                                                                                     | 10 |
| ตารางที่ 2.1 | ผลผลิตเมล็ดข้าวเปลือกและการตอบสนองต่อปุ๋ย ในพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมือง กับพันธุ์ข้าวแอโรบิก ปลุกแบบแอโรบิก ในพื้นที่สูงที่จังหวัดหลวงพระบาง ประเทศลาว                                                                                    | 20 |
| ตารางที่ 2.2 | ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำนาด้วยวิธีการเตรียมดินและวิธีปลูกต่างกัน โดยการให้น้ำแบบ “แห้งสลับเปียก” ที่สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ Los Baños ประเทศฟิลิปปินส์                                                                                 | 28 |
| ตารางที่ 3.1 | ปริมาณธาตุอาหารในในพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ IR8 และข้าวพันธุ์พื้นเมือง Peta และธาตุอาหารที่ถูกเก็บเกี่ยวออกไปพร้อมกับข้าวเปลือกในแต่ละฤดูปลูก                                                                                              | 36 |
| ตารางที่ 3.2 | ปุ๋ยเชิงเดี่ยว ในสูตร $N-P_2O_5-K_2O$ และปริมาณธาตุอาหาร                                                                                                                                                                             | 39 |
| ตารางที่ 3.3 | คุณสมบัติและปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมัก 105 ตัวอย่าง ที่อิบารากิ ประเทศญี่ปุ่น                                                                                                                                                         | 42 |
| ตารางที่ 3.4 | ความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าวในการสะสม P ในดินที่มี P จำกัด ( $4.5 \text{ มก. P/กก.} - P_s$ ) และ P พอเพียง ( $25.6 \text{ มก. P/กก.} - P_D$ )                                                                                        | 48 |
| ตารางที่ 3.5 | เปรียบเทียบการสะสม P ลักษณะที่เกี่ยวข้อง และผลผลิต ในข้าว 3 พันธุ์ ที่ไม่มี QTL Pup1 (พันธุ์ Nipponbare) และมี QTL Pup1 (พันธุ์ NIL-C443, Kasalath)                                                                                  | 52 |
| ตารางที่ 3.6 | ผลกระทบจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต่อผลผลิตข้าว และการสะสม ธาตุอาหาร ไนโตรเจน (N) และซิลิกอน ( $SiO_2$ )                                                                                                                                   | 55 |
| ตารางที่ 3.7 | เงื่อนไขในการวินิจฉัยว่ามีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยซิลิกาให้แก่ข้าวในนาหรือไม่                                                                                                                                                           | 55 |
| ตารางที่ 4.1 | อุณหภูมิสำคัญ 3 จุด ของกระบวนการเจริญเติบโตและพัฒนาการของ ข้าว อุณหภูมิต่ำสุด ( $T_{min}$ ) และสูงสุด ( $T_{max}$ ) ที่กระบวนการนั้นๆ สามารถดำเนินไปได้ และอุณหภูมิเหมาะสมต่อการดำเนินไปของ กระบวนการในอัตราสูงสุด ( $T_{optimum}$ ) | 61 |
| ตารางที่ 4.2 | ผลผลิตของพันธุ์ข้าวที่มีความสามารถแตกกอจำกัด (IR747B2-6) ปานกลาง (IR22) และแตกกอได้ดี (IR8) เมื่อปลูกในระยะห่างต่างกัน                                                                                                               | 74 |
| ตารางที่ 5.1 | นโยบายและมาตรการแทรกแซงการผลิตและการตลาด ที่ดำเนินโดย ประเทศในเอเชีย ในระหว่าง พ.ศ. 2550-พ.ศ. 2556                                                                                                                                   | 80 |
| ตารางที่ 5.2 | องค์ประกอบโดยประมาณของพืชอาหารหลัก                                                                                                                                                                                                   | 82 |

# สารบัญตาราง

|               |                                                                                                                                                           |     |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ตารางที่ 6.1  | การสร้างความทนทานการจมน้ำแก่ข้าวพันธุ์หลัก โดยการผสมกลับเพื่อถ่ายทอดยีน <i>Sub1</i> และคัดเลือกด้วยวิธีทางอนุพันธุ์ศาสตร์ MAS (Marker Assisted Selection) | 105 |
| ตารางที่ 7.1  | ผลกระทบจากการขาดน้ำในช่วงเวลาต่างๆ ต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว                                                                                    | 114 |
| ตารางที่ 8.1  | บทบาทที่แตกต่างของโลหะหนัก                                                                                                                                | 129 |
| ตารางที่ 8.2  | ปริมาณธาตุเหล็กและสังกะสีในข้าวสาร ของข้าวไทย 15 พันธุ์ ปลูกในนาที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่                                                                   | 130 |
| ตารางที่ 8.3  | ปริมาณสารหนูในข้าวจากตลาดขายปลีกในประเทศสหรัฐอเมริกาและในประเทศไทย                                                                                        | 131 |
| ตารางที่ 9.1  | กลุ่มจีโนม ถิ่นที่อยู่ และชนิดหลัก ของข้าวในสกุล <i>Oryza</i>                                                                                             | 136 |
| ตารางที่ 9.2  | เปรียบเทียบระดับความหลากหลายของพันธุ์ข้าวใน 4 พันธุ์                                                                                                      | 139 |
| ตารางที่ 10.1 | แหล่งพันธุกรรมของลักษณะที่เป็นประโยชน์จากข้าวป่า                                                                                                          | 147 |
| ตารางที่ 10.2 | ลักษณะที่แตกต่างระหว่างข้าวปลูกกับข้าวป่า                                                                                                                 | 152 |
| ตารางที่ 10.3 | มาตรฐานความยาวและรูปร่างข้าวกล้อง                                                                                                                         | 153 |
| ตารางที่ 11.1 | การหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงพันธุ์ข้าวที่ปลูก ที่บ้านห้วยทึบะ ต.สบเมย อ.สบเมย จ.แม่ฮ่องสอน ในช่วงเวลา 3 ปี ใน พ.ศ. 2544 ถึง พ.ศ. 2546                          | 164 |
| ตารางที่ 11.2 | ตัวอย่างพันธุ์ข้าวท้องถิ่นไทย ที่มีเอกลักษณ์ที่เป็นที่รู้จักแพร่หลาย                                                                                      | 169 |
| ตารางที่ 11.3 | ความแปรปรวนในลักษณะคุณภาพ ของข้าวพันธุ์ท้องถิ่นจากที่สูง (สำรวจ ปี 2556) ที่มีชื่อเดียวกัน                                                                | 173 |
| ตารางที่ 12.1 | เปรียบเทียบราคาข้าวสาร ต่างมาตรฐานที่กำหนดโดยเปอร์เซ็นต์ตันข้าว                                                                                           | 192 |
| ตารางที่ 12.2 | การกระจายของขนาดพื้นที่ทำนา ตามจำนวนครัวเรือนทำนา และพื้นที่ทำกิน                                                                                         | 193 |
| ตารางที่ 13.1 | ข้าวไทยต่างชนิดเพื่อผู้บริโภคและผู้ใช้ต่างกลุ่ม ในตลาดภายในและต่างประเทศ                                                                                  | 200 |
| ตารางที่ 14.1 | ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับองค์ประกอบผลผลิตพันธุ์ข้าวไทย หนาวกับไม่หนาว                                                                                | 221 |



การเพิ่มผลผลิตข้าว เป็นความสำเร็จสำคัญของการนำวิทยาการสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ ด้วยผลพวงจากกระบวนการ “ปฏิวัติเขียว” (Green revolution) ตกอยู่แก่ชาวนาที่มีพื้นที่นาที่อุดมด้วยน้ำและธาตุอาหารจากปุ๋ย สำหรับชาวนาส่วนใหญ่ของโลกรวมทั้งชาวนาในหลายพื้นที่ในประเทศไทย ที่อยู่ในสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม มีน้ำน้อยไปหรือมากเกินไป ดินไม่ดี สภาพเศรษฐกิจและสังคมไม่เอื้อต่อการลงทุนใช้ปัจจัยการผลิต ต้นข้าวไม่สามารถให้ผลผลิตได้ตามศักยภาพทางพันธุกรรม วิทยาการที่ส่งผลในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวในภาวะแวดล้อมที่มีข้อจำกัด จึงมีความสำคัญยิ่งต่อชาวนาที่ได้รับผลประโยชน์จากการปฏิวัติเขียวน้อย



CHIANG MAI  
UNIVERSITY PRESS

ราคา 450 บาท

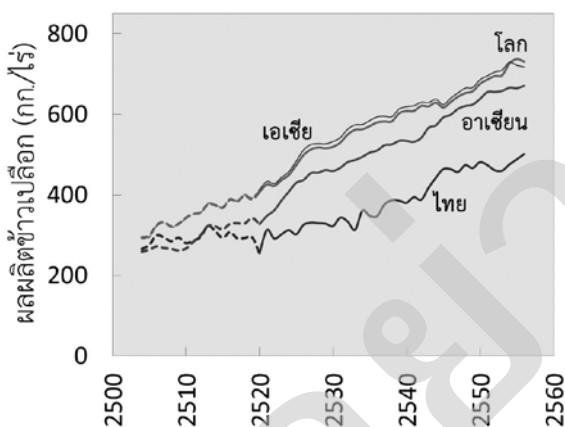


ตอนที่

# จำอย่าง 01

**การเพิ่มผลผลิต**

ผลผลิตข้าวต่อไร่ของประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากเพียงไร่ละ 265 กิโลกรัม ในปี พ.ศ. 2504 มาเป็นไร่ละ 502 กิโลกรัม ในปี พ.ศ. 2556 ด้วยอัตราการเติบโตโดยเฉลี่ยปีละ 6 กิโลกรัมต่อไร่ ในเวลาเกือบ 40 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2520 เป็นต้นมา แต่ผลผลิตข้าวต่อไร่ของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2556 ยังสูงเพียงร้อยละ 70 ของผลผลิตเฉลี่ยทั้งทวีปเอเชีย และร้อยละ 75 ของผลผลิตเฉลี่ยอาเซียน ด้วยอัตราการเติบโตของผลผลิตข้าวในทวีปเอเชีย อาเซียน และของโลก<sup>1</sup> ที่สูงเป็นถึงสองเท่าของผลผลิตข้าวไทย ในช่วงเวลา 6 ทศวรรษที่ผ่านมา (ภาพที่ 1ก)



ภาพที่ 1ก ผลผลิตข้าวไทย เอเชีย อาเซียน และโลก พ.ศ. 2504-2556

ที่มา: วาดจากข้อมูลใน FAOSTAT, 2015

การเพิ่มผลผลิตข้าวจากพื้นที่ 1 ไร่ เป็นความสัมฤทธิ์ผล ของการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ มาประยุกต์ใช้เพื่อการทำนา ประกอบกับพัฒนาการทางเทคโนโลยีและอุตสาหกรรม ในรูปของ เครื่องจักรกลขับเคลื่อนด้วยพลังงานปิโตรเลียมที่นำมาใช้ทดแทนแรงงานคนและสัตว์ และปุ๋ยไนโตรเจน ที่สังเคราะห์ขึ้นจากก๊าซไนโตรเจน ( $N_2$ ) ที่มีอยู่มากมายในบรรยากาศ ด้วยพลังงานจากก๊าซธรรมชาติ

ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับต้นข้าว ที่ได้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตจากการทำนา ครอบคลุมถึง

- พันธุศาสตร์เพื่อการปรับปรุงพันธุ์ข้าว อาทิ กระบวนการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรม บทบาท ของพันธุกรรมที่กำหนดลักษณะที่สำคัญต่อการปลูกและบริโภคข้าว สหสัมพันธ์ระหว่าง พันธุกรรม (genetic) สภาพแวดล้อม (environment) และการจัดการ (management) - GxExM

<sup>1</sup> การผลิตข้าวของโลกเกือบทั้งหมดอยู่ในทวีปเอเชีย ข้อมูลการผลิตและผลผลิตของทั้งสองแหล่งจึงเกือบเป็นตัวเลข เดียวกัน

- สรีระเชิงนิเวศในการตอบสนองต่อภาวะแวดล้อมเพื่อการจัดการและการปรับปรุงพันธุ์ อาทิ ลักษณะทรงพุ่ม ที่เอื้อต่อการรับแสง ทนทานต่อการโคนล้ม การปันส่วนน้ำหนักเมล็ดต่อฟาง อุณหภูมิและช่วงแสงที่กำกับพัฒนาการของดอก ประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารในการสร้างผลผลิต

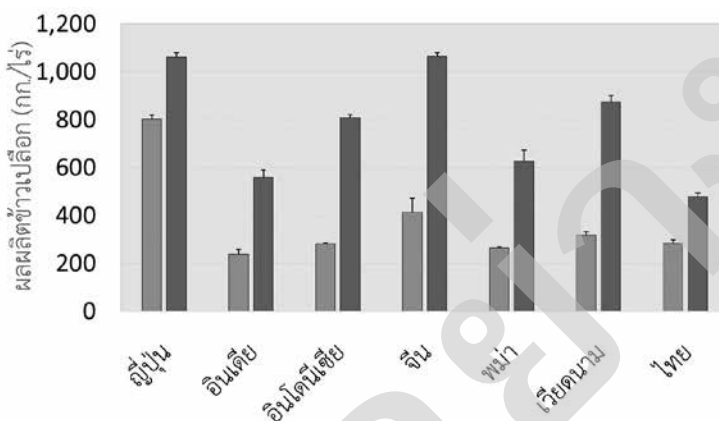
ความรู้ทางวิชาการด้านธาตุอาหารพืชสมัยใหม่ ถือว่าเริ่มขึ้นเมื่อมีการค้นพบธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช อันได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) กำมะถัน (S) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) ในคริสต์ศตวรรษที่ 19 ด้วยนักวิจัยผู้บุกเบิกอย่าง Sprengel (เกิด ค.ศ. 1787 ตาย ค.ศ. 1859) และ Liebig (เกิด ค.ศ. 1803 ตาย ค.ศ. 1873) (van der Ploeg et al., 1999) และได้พบธาตุอาหารที่จำเป็นมากขึ้นอีกในเวลาต่อมา ได้แก่ ธาตุเหล็ก (Sachs, 1860) แมงกานีส (McHargue, 1922)<sup>2</sup> โบรอน (Warrington, 1923)<sup>2</sup> สังกะสี (Sommer and Lipman, 1926)<sup>2</sup> ทองแดง (Lipman and MacKinney, 1931)<sup>2</sup> โมลิบดีนัม (Arnon and Stout, 1938)<sup>2</sup> คลอรีน (Broyer et al., 1954)<sup>2</sup> นิกเกิล (Brown et al., 1987)<sup>2</sup>

ส่วนความรู้วิชาการทางพันธุศาสตร์ที่เป็นพื้นฐานของการปรับปรุงพันธุ์ข้าว เริ่มด้วยผลงานทดลองของ เม็นเดล (Gregor Johann Mendel เกิด ค.ศ. 1822 ตาย ค.ศ. 1884) ซึ่งได้ทำการเสนอในการประชุม Natural History Society of Brünn in Moravia (ใน Czech Republic ปัจจุบัน) ในวันที่ 8 กุมภาพันธ์ และ 8 มีนาคม ปี ค.ศ. 1865 และลงตีพิมพ์ใน Proceedings of the Natural History Society of Brünn ในปี 1866 โดยมีได้รับความสนใจจากนักวิชาการในเวลาที่เขายังมีชีวิตอยู่ แต่ได้ถูกค้นพบและเผยแพร่ใหม่ในต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 โดยนักวิทยาศาสตร์ 3 คนจาก 3 ประเทศ (Hugo de Vries ชาวดัตช์ Carl Erich Correns ชาวเยอรมัน และ Erich von Tschermak ชาวออสเตรีย) และมีการพัฒนาจนกลายเป็นวิชาพันธุศาสตร์ (genetics) ในเวลาต่อมา (Henig, 2000)

พัฒนาการระบบการทำการ ที่เพิ่มผลผลิตข้าวในทวีปเอเชีย เป็นผลพวง (outcome) ของการนำความรู้ทางวิชาการเหล่านี้ มาประยุกต์ใช้ในการเกษตร ซึ่งได้เกิดขึ้นก่อนที่ประเทศญี่ปุ่นในช่วงพุทธศตวรรษ 2500 ด้วยผลผลิตข้าวเปลือก ที่สูงเป็น 2 เท่าของจีน และ 3 เท่าของอินเดีย ตลอดจนประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งไทย (ภาพที่ 1ข) ญี่ปุ่นเป็นประเทศแรกที่ได้นำหลักการทางวิทยาศาสตร์ มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อการทำนา เช่นการปรับปรุงพันธุ์ข้าวด้วยหลักการถ่ายทอดพันธุกรรม ที่เริ่มขึ้นใน พ.ศ. 2447 การใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งปุ๋ยไนโตรเจน ก่อนที่จะเปลี่ยนไปใช้ไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมี ที่ผลิตด้วยพลังงานปิโตรเลียม

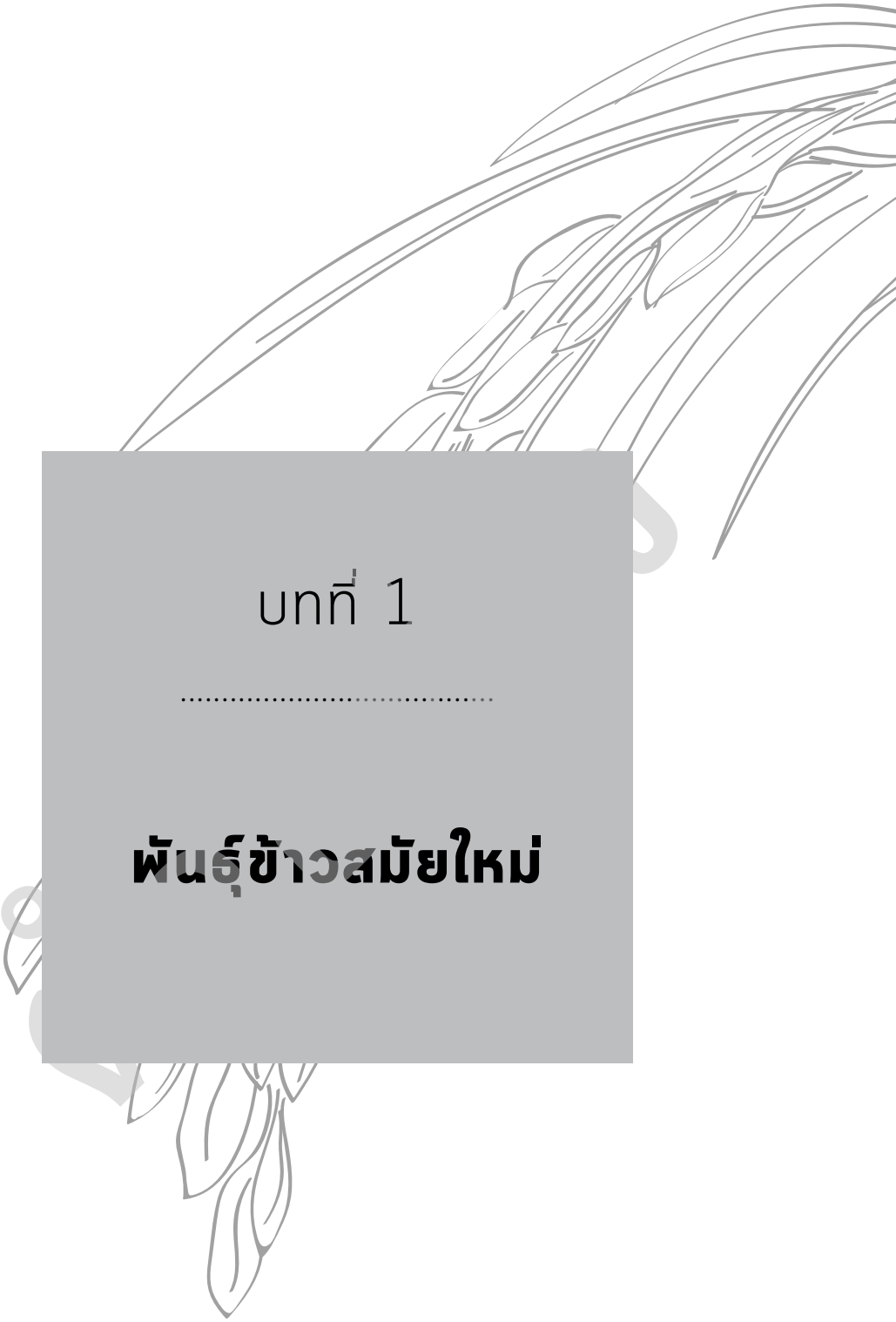
<sup>2</sup>อ้างอิงต่อจาก Marschner, 1995

ตั้งแต่ พ.ศ. 2500 เป็นต้นมา การนำความรู้ทางวิชาการ มาประยุกต์ใช้ในการทำนา ได้มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มผลผลิตข้าว ในประเทศอื่นๆ ในเอเชียรวมทั้งไทย จากพัฒนาการในระบบการทำนา ที่นำไปสู่การเพิ่มผลผลิตต่อไร่และผลผลิตต่อแรงงาน ด้วยพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ (บทที่ 1) การจัดการที่อยู่บนพื้นฐานความเข้าใจเรื่องการปรับตัวต่อภาวะแวดล้อมทางกายภาพของต้นข้าว เกี่ยวกับน้ำ (บทที่ 2) ดินและปุ๋ย (บทที่ 3) และฤดูกาล (บทที่ 4) ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงในภาวะแวดล้อมทางเศรษฐกิจและสังคมที่มีผลกระทบสำคัญต่อการตลาด การค้าขาย และการบริโภคข้าว (บทที่ 5)



**ภาพที่ 1 ข** เปรียบเทียบผลผลิตข้าวเฉลี่ย ของ ฟิลิปปินส์ จีน อินเดีย ไทย และเพื่อนบ้านบางประเทศ (พร้อมด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) พ.ศ. 2504-2508 (■) และ พ.ศ. 2552-2556 (■)

ที่มา: วาดจากข้อมูลใน FAOSTAT, 2015



บทที่ 1

.....

**พันธุ์ข้าวสมัยใหม่**

1. การปรับปรุงพันธุ์ข้าวสมัยใหม่
2. พื้นฐานทางสรีระเชิงนิเวศที่กำหนดผลผลิต
  - สัดส่วนเมล็ดต่อฟาง และ ดัชนีการเก็บเกี่ยว
  - การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน (nitrogen responsiveness)
  - การตอบสนองต่อช่วงแสง (sensitivity to photoperiod)
3. ยีนกำหนดความสูงของลำต้น

### กรอบ 1.1 การปรับปรุงพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ บนรากฐานความรู้ทางพันธุศาสตร์

พันธุ์ข้าวพื้นเมืองดั้งเดิมของไทยและประเทศอื่นๆ ในเอเชียเขตร้อน มีข้อจำกัดที่มีศักยภาพการให้ผลผลิตเมล็ดต่ำ เพราะเมื่อปลูกในดินที่อุดมหรือใส่ปุ๋ยไนโตรเจน มักจะประสบปัญหาเหี่ยว ใบให้ผลผลิตเป็นฟางเป็นส่วนใหญ่ ให้ผลผลิตเมล็ดเป็นส่วนน้อย ลำต้นที่สูงมักจะโค่นล้มลงนอนราบไปบนพื้น ทำความเสียหายต่อผลผลิต ซึ่งแตกต่างไปจากข้าวเขตอบอุ่นของญี่ปุ่น ที่ได้มีพัฒนาการให้มิดันเตี้ยไปก่อนหน้านี้แล้ว (กรอบ 1.1)

#### กรอบ 1.1 การปรับปรุงพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ บนรากฐานความรู้ทางพันธุศาสตร์

พันธุ์ข้าวสมัยใหม่ (modern rice varieties, MVs) ถูกพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกที่ญี่ปุ่นจากการผสมเกสรระหว่างพันธุ์ (hybridization) ที่เริ่มขึ้นใน พ.ศ. 2447 หลังจากหลักฐานเกี่ยวกับการถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้ถูกเผยแพร่ไปทั่วโลก พันธุ์ข้าวสมัยใหม่ ที่มีผลกระทบต่อการทำนาของญี่ปุ่นอย่างจริงจัง คือพันธุ์ชุด “นอริน” (ชื่อย่อในภาษาญี่ปุ่นของกระทรวงเกษตรและป่าไม้) นอริน 1 (Norin No. 1) เป็นพันธุ์ที่พัฒนาจากลูกผสมที่สร้างขึ้นที่สถานีทดลอง Rikuu ใน พ.ศ. 2465 และการคัดเลือกลูกผสมชั่วที่ 5-8 (F5-F8) ที่สถานีทดลอง Niigata ข้าวพันธุ์นอริน 1 ให้ผลผลิตสูง ตอบสนองต่อปุ๋ย มีอายุสั้นเหมาะสมกับพื้นที่นาทางภาคเหนือ มีคุณภาพหุงต้มดี เป็นที่นิยมของทั้งผู้ปลูกและผู้บริโภค ใน พ.ศ. 2482 ญี่ปุ่นมีพื้นที่ปลูก นอริน 1 ถึงเกือบ 1 ล้านไร่ ทำให้ข้าวที่ผลิตในประเทศสามารถแข่งขันได้กับข้าวที่นำเข้าจากอาณานิคมของญี่ปุ่นในสมัยนั้น อาทิ จากคาบสมุทรมลายู

การนำความรู้วิทยาศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์นี้ มีผลกระทบไม่แต่เฉพาะในญี่ปุ่นแต่ยังได้ขยายขอบเขตไปถึงการพัฒนากระบวนการเพาะปลูกทั่วโลก โดยเฉพาะใน “การปฏิวัติเขียว” ที่ส่งผลในการเพิ่มผลผลิตต่อไร่ข้าวและข้าวสาลีในภูมิภาคเขตร้อน ตั้งแต่ช่วงต้นพุทธศตวรรษ 2500 เป็นต้นมา ด้วยนวัตกรรมสำคัญในการปรับปรุงพันธุ์ คือการมีต้นเตี้ย ที่เป็นต้นแบบของพันธุ์ข้าวและข้าวสาลีสมัยใหม่ มีศักยภาพการให้ผลผลิตเมล็ดสูง

ตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน ทนทานต่อการโค่นล้ม แหล่งพันธุกรรมของยีนต้นเตี้ย (dwarfing genes) ในพันธุ์ข้าวสาลีสมัยใหม่ทั้งหมด มาจากนอริน 10 พันธุ์ข้าวสาลีญี่ปุ่น สูง 60 ซม. (เพียงครึ่งหนึ่งของข้าวสาลีพันธุ์ดั้งเดิม) ที่พัฒนาขึ้นใน พ.ศ. 2478 ที่สถานีทดลองจังหวัด Iwate และถูกนำไปอเมริกาโดยเจ้าหน้าที่เกษตรในกองทัพบกของสหรัฐอเมริกา หลังสงครามโลกครั้งที่สอง และถูกใช้เป็นแหล่งพันธุกรรมของยีนต้นเตี้ย ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวสาลีทั่วโลก

ที่มา: แปลเรียบเรียงจาก Reitz and Salmon, 1968; Hayami and Ruttan, 1985; Borojovic and Borojovic, 2005

## 1. การปรับปรุงพันธุ์ข้าวสมัยใหม่

การพัฒนาพันธุ์ข้าวสมัยใหม่สำหรับภูมิอากาศเขตร้อน (tropical climate) ได้มีขึ้นในเวลาหลังจากการพัฒนาพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ของญี่ปุ่น ที่มีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ในภูมิอากาศเขตอบอุ่น (temperate climate) ถึง 3 ทศวรรษ

- พันธุ์ข้าวสมัยใหม่สำหรับเขตร้อนพันธุ์แรกของโลก คือ ไทจงเนทีฟ 1 (Taichung Native 1, TN1) เป็นลูกผสมระหว่าง พันธุ์ข้าวเขตร้อนกึ่งเตี้ย (semi-dwarf) แตกกอดี พันธุ์ Dee Geo Woo Gen กับ Tsai-yuan-chung ออกเป็นพันธุ์รับรองในไต้หวัน ใน พ.ศ. 2499
- IR8 เป็นลูกผสมระหว่าง Dee Geo Woo Gen กับ Peta พันธุ์ข้าวพื้นเมืองของอินโดนีเซีย (ภาพที่ 1.1) ที่ได้พัฒนาขึ้นโดยสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) ออกเป็นพันธุ์รับรองใน พ.ศ. 2509 ที่มีผลกระทบต่อการทำนาไปทั่วเอเชีย (Yoshida, 1981)

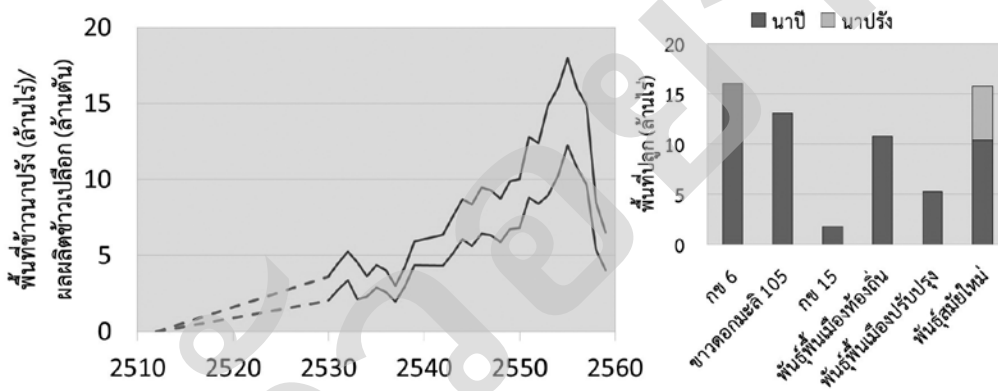


ภาพที่ 1.1 ต้นข้าวพันธุ์ IR8 (ขวา) ที่คัดเลือกมาจากลูกผสมระหว่างข้าวพันธุ์พื้นเมืองต้นสูง Peta (กลาง) และข้าวพันธุ์ต้นเตี้ย Dee Geo Woo Gen (ซ้าย)

ที่มา: สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI)

พันธุ์ข้าวสมัยใหม่ของไทยพันธุ์แรก 3 พันธุ์ ที่ถูกนำออกเป็นพันธุ์รับรองใน พ.ศ. 2512 ได้แก่ กข1 กข3 (คัดเลือกมาจากลูกผสม เหลืองทอง X IR8) และ กข2 ซึ่งเป็นข้าวเหนียว (คัดมาจากลูกผสม กำผาย 15 X TN1) การพัฒนาพันธุ์ข้าวสมัยใหม่สำหรับเขตร้อน ยังคงดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง และมีลักษณะเด่นเพิ่มขึ้น เช่น คุณภาพเมล็ด และความต้านทานโรคและแมลงศัตรูที่สำคัญ ทั้งโดยสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) เช่น IR36 IR64 IR72 และโดยโครงการปรับปรุงพันธุ์ข้าวของแต่ละประเทศรวมทั้งไทย

พันธุ์ข้าวสมัยใหม่นี้มีความสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวของประเทศไทย ด้วยผลกระทบโดยตรงต่อการทำนาปรังที่ใช้พันธุ์ข้าวสมัยใหม่ทั้งหมด (ภาพที่ 1.2 ซ้าย) แต่พื้นที่ทำนาในฤดูนาปีส่วนใหญ่ยังใช้พันธุ์พื้นเมือง (ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์พื้นเมืองของแต่ละท้องถิ่น) และพันธุ์ปรับปรุงที่ยังคงไว้ซึ่งลักษณะของพันธุ์พื้นเมือง (กข6 กข15) (ภาพที่ 1.2 ขวา) ด้วยเงื่อนไขทางกายภาพโดยเฉพาะการชลประทานในฤดูแล้งและการตลาด



ภาพที่ 1.2 พื้นที่/ผลผลิตข้าวนาปรังที่ปลูกด้วยพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ทั้งหมด (ซ้าย) และ พื้นที่ปลูกข้าวในประเทศไทย พันธุ์พื้นเมือง ฤดูนาปี 2539 และพันธุ์สมัยใหม่ ฤดูนาปี 2539 และฤดูนาปรัง 2540 (ขวา) กข6 และ กข15 เป็นพันธุ์ข้าวที่ปรับปรุงโดยการนำพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ไปอาบรังสีแกมมา ที่ยังคงลักษณะของพันธุ์พื้นเมือง พันธุ์ข้าวพื้นเมืองปรับปรุง คือพันธุ์ข้าวท้องถิ่นของเกษตรกรที่ได้ถูกนำมาคัดเลือกพันธุ์

ที่มา: คำนวณและวาดจากข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ในปีต่างๆ

## 2. กระบวนการทางสรีระเชิงนิเวศที่กำหนดผลผลิต

นอกจากการมีต้นเตี้ย ลักษณะเด่นของพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ ที่แตกต่างไปจากพันธุ์ข้าวพื้นเมืองดั้งเดิม ที่มีผลกระทบโดยตรงต่อผลผลิต คือ “ความไม่ไวแสง” ศักยภาพการให้ผลผลิตเป็นเอกลักษณ์ของพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ ที่วัดได้ในเชิงปริมาณ เป็นส่วนน้ำหนักเมล็ดต่อฟาง หรือดัชนีการเก็บเกี่ยว และการตอบสนองต่อไนโตรเจน

### 2.1 การตอบสนองต่อช่วงแสง (sensitivity to photoperiod)

ลักษณะของการตอบสนองต่อช่วงแสงหรือความยาววัน (photoperiod หรือ day-length) ในพันธุ์ข้าวไทยในปัจจุบัน ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ตามลักษณะของพัฒนาการภายใต้ช่วงแสงในเขตพื้นที่นาส่วนใหญ่ของประเทศไทย ที่มีกลางวันสั้นที่สุดประมาณ 11 ชั่วโมง ในราววันที่ 22-23 ธันวาคม หลังจากนั้นกลางวันจึงเริ่มยาวขึ้นจนถึงราววันที่ 22-23 มิถุนายน เป็นวันที่มีกลางวันยาวที่สุดประมาณ 13 ชั่วโมง ตามด้วยกลางวันที่สั้นลงอีกเรื่อยๆ ได้แก่

- 1) พันธุ์ข้าวไวแสง หรือไวต่อช่วงแสง ที่ปลูกและให้ผลผลิตได้เป็นปกติ ในฤดูนาปี (ฤดูฝน) เท่านั้น ด้วยกลไกพัฒนาการ ที่ถูกกำหนดควบคุมด้วยช่วงแสงที่สั้นลงในปลายฤดูฝน (โดยปัจจัยหลักจริงๆ ที่เป็นตัวกระตุ้นการเปลี่ยนแปลง คือกลางคืนหรือช่วงปราศจากแสงที่ยาวขึ้น) ในกลุ่มนี้รวมพันธุ์ข้าวพื้นเมืองทั้งหมด ทั้งพันธุ์ข้าวที่ได้ปรับปรุงแล้วโดยการคัดเลือกพันธุ์ เช่น ข้าวดอกมะลิ 105 เหนียวสันป่าตอง โดยการผสมเกสร เช่น พิษณุโลก 1 สกลนคร และวิธีการอื่นๆ เช่นการกระตุ้นให้เกิดการกลายพันธุ์ เช่น กข6 และกข15 พันธุ์ข้าวไวแสงเหล่านี้ จึงมีวันออกรวงและวันสุกแก่ที่ตายตัวตามปฏิทิน
- 2) พันธุ์ข้าวไม่ไวแสง หรือไม่ไวต่อช่วงแสง ที่ปลูกและให้ผลผลิตได้เป็นปกติตลอดทั้งปี จึงปลูกได้ทั้งในฤดูนาปี และนาปรัง (ฤดูแล้ง) ปีละสองถึงสามครั้ง บางพื้นที่ในภาคกลางมีการทำนาติดต่อกัน โดยไม่คำนึงถึงฤดูกาล ภายในเวลา 1 ปี พื้นที่นาหนึ่งไร่จึงให้ผลผลิตได้ 2-3 ครั้ง การชลประทานเป็นสิ่งจำเป็นในการทำนาปรังในช่วงฤดูแล้งที่ไม่มีฝนตก พื้นที่นาทั้งประเทศของไทย ประมาณ 70 ล้านไร่สามารถทำนาปรังได้ประมาณหนึ่งในสี่ส่วน เรียกว่ามีระบบการเพาะปลูกมีความเข้มข้นร้อยละ 125 (cropping intensity 125%)

### 2.2 สัดส่วนน้ำหนักเมล็ดต่อฟาง และดัชนีการเก็บเกี่ยว

พันธุ์ข้าวสมัยใหม่ให้ผลผลิตเป็นเมล็ดมากแต่ฟางน้อย ในขณะที่พันธุ์ข้าวแบบพื้นเมืองผลผลิตเป็นเมล็ดน้อยแต่ฟางมาก ศักยภาพการให้ผลผลิต (yield potential) ของข้าว ซึ่งแสดงถึงความสำเร็จในการปันส่วน สารสังเคราะห์แสงที่สะสมเป็นน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดิน ไปเป็นผลผลิตเมล็ด วัดได้ด้วยตัวเลขชุดเดียวกัน คือน้ำหนักเมล็ด กับน้ำหนักฟาง (ที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นเดียวกัน) แต่คำนวณเป็น 2 แบบ คือ (ก) สัดส่วนเมล็ดต่อฟาง กับ (ข) ดัชนีการเก็บเกี่ยว

**ก) สัดส่วนน้ำหนักเมล็ดต่อฟาง (grain:straw ratio; G:S)**

= น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก ต่อหน่วยน้ำหนักฟาง

= นน. เมล็ด/นน. ฟาง

**ข) ดัชนีการเก็บเกี่ยว (harvest index; HI)**

= น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือก คิดเป็นสัดส่วน (หรือเปอร์เซ็นต์) ของน้ำหนักแห้งทั้งหมดในส่วนเหนือดิน

= นน. เมล็ด/(นน. เมล็ด + นน. ฟาง) หรือ นน. เมล็ด  $\times$  100/(นน. เมล็ด + นน. ฟาง)

พันธุ์ข้าวพื้นเมือง กับพันธุ์สมัยใหม่ มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ในศักยภาพการให้ผลผลิตเมล็ด เมื่อวัดด้วยสัดส่วนเมล็ดต่อฟาง หรือดัชนีการเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 1.1 ดูตอนรายละเอียดเพิ่มเติมในตอน 1.4)

- พันธุ์ข้าวพื้นเมืองให้ผลผลิตเมล็ดในปริมาณประมาณครึ่งเดียวของน้ำหนักฟาง (G:S  $\approx$  0.5)
- พันธุ์ข้าวสมัยใหม่ให้ผลผลิตเมล็ดในปริมาณประมาณใกล้เคียงกับน้ำหนักฟาง (G:S  $\approx$  1)

**ตารางที่ 1.1** เปรียบเทียบสัดส่วนน้ำหนักเมล็ดต่อฟาง (G:S) และดัชนีการเก็บเกี่ยว (HI) ในพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ และพันธุ์แบบพื้นเมือง

| พันธุ์สมัยใหม่ | นน. เมล็ดต่อฟาง (G:S) | ดัชนีการเก็บเกี่ยว (HI %) | พันธุ์พื้นเมือง | นน. เมล็ดต่อฟาง (G:S) | ดัชนีการเก็บเกี่ยว (HI %) |
|----------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|
| IR8            | 1.15                  | 53                        | Hung            | 0.60                  | 38                        |
| Chianung 242   | 1.14                  | 53                        | Peta            | 0.49                  | 33                        |
| TN1            | 1.20                  | 55                        | นางมล S4        | 0.40                  | 29                        |
| Tainan 3       | 1.23                  | 55                        | พวงนาก 16       | 0.58                  | 37                        |
| IR5            | 0.95                  | 49                        | H4              | 0.69                  | 41                        |
|                |                       |                           | Sigadis         | 0.56                  | 36                        |

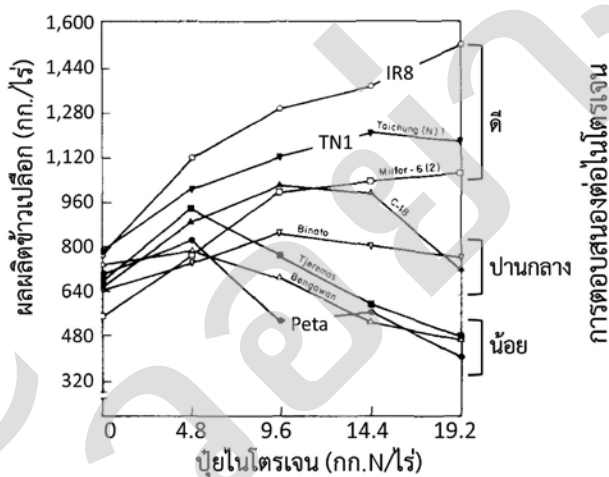
ที่มา: ดัดแปลงจาก Chandler, 1969

ผลผลิตข้าวมักจะวัดที่ความชื้นมาตรฐานร้อยละ 14 (โดยการวัดด้วยเครื่องวัดความชื้น ที่มีทั้งแบบมือถือใช้สะดวก) สัดส่วนเมล็ดต่อฟางและดัชนีการเก็บเกี่ยว ที่คำนวณอาจมีความคลาดเคลื่อนเมื่อความชื้นของเมล็ดและของฟางไม่ได้ปรับให้อยู่ในระดับเดียวกัน ด้วยผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นมาตรฐาน (14%) ดัชนีการเก็บเกี่ยวจะมีค่าสูงเกินจริงเมื่อคำนวณจากน้ำหนักฟางที่ความชื้นต่ำกว่า 14% (เช่น ที่ความชื้น 0% หลังจากการอบ หรือสูงกว่าเล็กน้อยหลังการตากแดด) และมีค่าต่ำกว่าจริงเมื่อคำนวณจากน้ำหนักฟางที่ความชื้นสูงกว่า 14% (เช่น เมื่อซังฟางทันทีหลังการเก็บเกี่ยว)

## 2.3 การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน (nitrogen responsiveness)

เนื่องจากไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารที่เป็นปัจจัยจำกัด (limiting factor) ที่แพร่หลายที่สุดในนาข้าว การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจึงเป็นวิธีการจัดการเพื่อเพิ่มผลผลิตจากการทำนาที่ง่ายและสะดวก เมื่อได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่า จากผลผลิตข้าวที่เพิ่มขึ้น และสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างราคาข้าวกับราคาปุ๋ย แต่ข้าวต่างพันธุ์ที่ได้รับปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณเท่ากัน ให้ผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้นในปริมาณที่ต่างกัน เรียกว่า การตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนแตกต่างกัน สามารถประเมินได้จากตัววัดเชิงปริมาณ 2 ตัว คือ

- ปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้น จากปุ๋ยไนโตรเจนที่ได้รับเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม และ
  - อัตราไนโตรเจนที่ยังให้ผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้น
- (ภาพที่ 1.3)



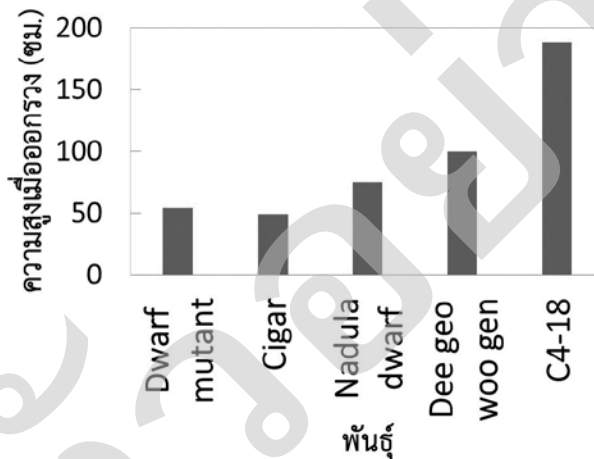
ภาพที่ 1.3 ความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าวในการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจน  
ที่มา: ดัดแปลงจาก De Datta et al., 1968

- IR8 เป็นต้นแบบของพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ มีการตอบสนองต่อไนโตรเจนดี (ในทำนองเดียวกับข้าว สาลิดันกิ่งเตี้ย และข้าวโพดไฮบริด) ที่ให้ผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้นในอัตราโดยเฉลี่ย 50 กิโลกรัม เมื่อได้รับปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม ในช่วงจาก 0 ถึง 20 กก. N/ไร่
- Peta เป็นตัวอย่างของพันธุ์ข้าวพื้นเมืองดั้งเดิม ที่ให้ผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้นเพียง 20 กิโลกรัม เมื่อได้รับปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม เพียงในช่วงไม่เกิน 5 กก. N/ไร่ อัตราปุ๋ยมากกว่า 5 กก. N/ไร่ ทำให้ผลผลิตลดลง จากการเหี่ยวและต้นโคนล้มก่อนสุกแก่

- พันธุ์ข้าวที่ตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนปานกลาง ให้ผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้นจากปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราไม่เกิน 10 กก. N/ไร่ ด้วยปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นประมาณ 30 กิโลกรัม จากปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม

### 3. ยีนกำหนดความสูงของลำต้น

ลำต้นของพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ที่มีความสูงไม่เกิน 120 เซนติเมตร ถูกกำหนดโดยยีนแคระ (dwarfing gene) ด้วยต้นแบบของพันธุ์ข้าวสมัยใหม่ Dee Geo Woo Gen (DGWG) ที่สูงประมาณ 100 ซม. ซึ่งนับว่ายังไม่เตี้ยที่สุด (ภาพที่ 1.4) ในบางตำราจึงเรียกว่า “พันธุ์ข้าวกึ่งเตี้ย” (semi-dwarf) ให้แยกแยะชัดเจน จากพันธุ์แคระจัด ที่มีต้นสูงเพียง 50-75 ซม. จนมีศักยภาพในการสังเคราะห์แสงและให้ผลผลิตต่ำ (Aquino and Jennings, 1966)



ภาพที่ 1.4 เปรียบเทียบความสูงของข้าวพันธุ์เตี้ย กับพันธุ์กึ่งเตี้ย Dee geo woo gen และข้าวพันธุ์สูง C4-18  
ที่มา: Singh and Ram, 1997

ยีนแคระจาก DGWG เรียกว่า *sd1* เป็นยีนที่กำหนดความสูงของลำต้นพันธุ์ข้าวสมัยใหม่เกือบทั้งหมด (Jennings, 1964; Hedden, 2003) ในขณะที่พันธุ์ข้าวสายพันธุ์ใหม่ส่วนใหญ่ถูกจำกัดความสูงต้น ด้วยยีน *Rht-B1b* และ *Rht-D1b* (Evans, 1998) ซึ่งได้รับการยืนยันด้วยการศึกษาเปรียบเทียบความสูง ของต้นข้าวสายพันธุ์ที่มีพันธุกรรมใกล้เคียง (NILs - Near isogenic lines) ที่มีและไม่มียีนแคระ (ภาพที่ 1.4) ยีนแคระเหล่านี้แสดงออกโดยการกำกับควบคุมการผลิตหรือการทำงานของเอนไซม์จิบเบอเรลลิน (Gibberellin - GA) (Hedden, 2003) โดย *Sd1* ในข้าว และ *Rht-B1b* กับ *Rht-D1b* ในข้าวสาลี ล้วนแต่มีผลในการจำกัดการยืดปล้อง แต่ด้วยกระบวนการทางอณูพันธุกรรมที่แตกต่างกัน