# บทที่ 6

## วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเพื่อศึกษาพัฒนาการของข้าว ที่สัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิสะสม พบว่าพันธุ์ข้าวที่ปลูกใช้ระยะเวลาการพัฒนาการตั้งแต่ระยะต้นกล้าจนถึงสุกแก่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอุณหภูมิสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 1,897 องศาเซลเซียส ซึ่งคิดเป็นจำนวนวัน 105 วันหลังปลูก ทั้งนี้เป็นไปได้เพราะพันธุ์ข้าวเหนียวก่ำที่นำมาศึกษาเป็นข้าวไวแสง (สายบัว, 2552) ที่มีความต้องการความยาวของวันใกล้เคียงกัน โดยระยะเวลาที่ข้าวได้รับแสงในแต่ละวัน หรือความยาวของกลางวัน มีส่วนสำคัญในการกระตุ้นให้ข้าวเข้าสู่ระยะกำเนิดช่อดอก (panicle initiation) ข้าวที่เป็นพันธุ์ไวแสงนี้การออกดอกขึ้นอยู่กับวันที่มีความเหมาะสม หรืออาจจะไม่ออกดอกเลยถ้ามีวันยาวมาก (เฉลิมพล, 2542) จำรัส (2534) ได้อธิบายถึงพัฒนาการทางลำต้นของข้าวที่มีความสัมพันธ์กับช่วงแสงว่าพันธุ์ข้าวที่ไวต่อช่วงแสงเมื่อพัฒนาการจนถึงระยะแตกกอสูงสุดแล้วยังไม่สามารถให้กำเนิดช่อดอกได้หากช่วงแสงของวันไม่สั้นพอ ดังนั้น ข้าวจะรอจนถึงเวลาที่มีช่วงแสงของวันสั้นเพื่อไปกระตุ้นให้ทำการสร้างช่อดอก ส่วนผลการศึกษายังแสดงให้เห็นอีกว่ามีความแปรปรวนของพันธุ์ข้าวที่ตอบสนองต่อค่าอุณหภูมิสะสมในระยะกำเนิดช่อดอกจนถึงระยะออกรวง ซึ่งสามารถแบ่งพันธุ์ข้าวออกเป็น 3 กลุ่ม ตามระยะพัฒนาการที่สัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิสะสม ทั้งนี้โดยพบว่าพันธุ์ข้าวกลุ่มที่ 1 ได้แก่พันธุ์สะเมิง 7 และสะเมิง 8 ต้องการอุณหภูมิสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 199 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 20 วันหลังกำเนิดช่อดอก ส่วนพันธุ์ข้าวกลุ่มที่ 2 ได้แก่พันธุ์สะเมิง 1 สะเมิง 2 สะเมิง 4 PGMHS 3 PGMHS 11 PGMHS 13 PGMHS 15 และ PGMHS 17 ใช้อุณหภูมิสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 248 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 25 วันหลังกำเนิดช่อดอก และข้าวในกลุ่มที่ 3 ได้แก่พันธุ์ PGMHS 7 และPGMHS 12 ใช้อุณหภูมิสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 272 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 28 วันหลังกำเนิดช่อดอก นอกจากนั้นยังพบอีกว่าในระยะออกรวงถึงระยะสุกแก่ทางสรีระนั้นจะมีความแปรปรวนของพันธุ์ข้าวกับอุณหภูมิสะสมด้วย โดยการศึกษาสามารถแบ่งพันธุ์ข้าวออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้คือ กลุ่มที่ 1 ได้แก่พันธุ์สะเมิง 1 สะเมิง 4 PGMHS 7 และ PGMHS 11 ใช้อุณหภูมิสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 244 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 25 วันหลังออกรวง ส่วนพันธุ์ข้าวกลุ่มที่ 2 ได้แก่พันธุ์สะเมิง 2 PGMHS 3 PGMHS 12 PGMHS 13 และ PGMHS 15 ใช้อุณหภูมิสะสมเฉลี่ย 264 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 28 วันหลัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ออกรวง และข้าวในกลุ่มที่ 3 ได้แก่พันธุ์ สะเมิง 7 สะเมิง 8 PGMHS 17 ใช้อุณหภูมิสะสมเฉลี่ย 310 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 33 วันหลังออกรวง ซึ่งผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนในช่วงระยะกำเนิดช่อดอก ระยะออกรวงและระยะสุกแก่ทางสรีระนั้นมีผลมาจากลักษณะประจำพันธุ์ที่ตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะอุณหภูมิอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับ Huang *et al*. (1998) ที่พบว่าอุณหภูมิที่ได้รับในแต่ละวันจะมีอิทธิพลต่อการสะสมน้ำหนักแห้งของต้นข้าวและการสร้างน้ำหนักของรวงข้าวในระยะกำเนิดช่อดอกจนถึงระยะสะสมน้ำหนักเมล็ด

จากการศึกษายังพบว่าการปรากฏของใบหนึ่งใบของข้าวเหนียวก่ำพื้นเมืองที่นำมาศึกษามีความสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิสะสม เนื่องจากค่าอุณหภูมิสะสมเพื่อการปรากฏใบหนึ่งใบเป็นลักษณะเฉพาะทางพันธุกรรมของพืชไร่โดยทั่วไป อย่างไรก็ตามการปรากฏของใบหนึ่งใบของแต่ละพันธุ์มีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 91-105 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของจารุวรรณ (2542) ที่ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการหนึ่งใบของข้าวโพดพันธุ์ NSX991003, DX999 และ NSX982013 กับค่าอุณหภูมิสะสม ซึ่งพบว่าอุณหภูมิสะสมที่ข้าวโพดที่ใช้เพื่อการปรากฏใบหนึ่งใบไม่มีความแตกต่างกันเช่นกัน

ผลการวิเคราะห์จำนวนวันของการสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดของต้น ใบ และน้ำหนักแห้งรวม (ต้นและใบ) พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับพัฒนาการหนึ่งใบ แต่พบว่ามีความแตกต่างของน้ำหนักแห้งต้น ใบ และน้ำหนักรวม ระหว่างพันธุ์ข้าว แสดงให้เห็นว่ามีความแปรปรวนของลักษณะพันธุ์ เช่น ความสูง จำนวนหน่อต่อกอ และน้ำหนักรวง ส่งผลต่อน้ำหนักแห้งสูงสุดของพันธุ์ ดังผลการศึกษาที่ชี้ให้เห็นว่าข้าวพันธุ์ PGMHS 7 มีความสูงมากที่สุด และการสะสมน้ำหนักแห้งต้น ใบ และรวมมากที่สุดเช่นกัน ซึ่ง Jamal *et al*. (2009) ได้ทำการศึกษาข้าว 6 สายพันธุ์ พบว่าข้าวพันธุ์ ILLABONG มีความยาวรวง ความสูงและน้ำหนักเมล็ดมากที่สุดส่งผลให้มีน้ำหนักของส่วนเหนือดินมากสุดเช่นกัน ทั้งนี้ก็จะต้องขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเจริญเติบโตของพืชนั้นด้วย นอกจากนี้ปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งของการเจริญเติบโตของพืช จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรมของพืชด้วย (Yoshida, 1981)

ในส่วนของพลวัตการสะสมน้ำหนักแห้งต้น ใบ และน้ำหนักรวม ของข้าวทุกพันธุ์สามารถอธิบายด้วยสมการ 3$^{rd}$ Order Polynomial ที่มีลักษณะคล้าย S-shape กล่าวคือ การเริ่มต้นสะสมน้ำหนักแห้งจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ในตอนแรก และมีอัตราเร่งการสะสมน้ำหนักแห้งสูงในช่วงแตกกอ และการสะสมน้ำหนักแห้งจะเริ่มคงที่หลังระยะออกรวง โดยน้ำหนักแห้งที่สะสมจะลดลงที่ระยะสุกแก่ ทั้งนี้ในการเริ่มต้นของการเจริญเติบโตของข้าวจะเป็นไปอย่างช้าๆ เพราะพื้นที่ใบที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงยังไม่มาก แต่เมื่อข้าวเข้าสู่ระยะแตกกอ พื้นที่ใบจะเพิ่มขึ้นอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รวดเร็ว ส่งผลให้มีการสังเคราะห์แสงมากขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้อัตราการสะสมน้ำหนักแห้งในระยะนี้สูง แต่เมื่อข้าวเข้าสู่ระยะออกรวง ข้าวจะไม่มีการเจริญเติบโตทางต้นและใบ ซึ่งเฉลิมพล (2542) กล่าวว่า อายุการเจริญทางลำต้นและใบของข้าวจะหยุดลง เมื่อข้าวเริ่มทอดปล้องจะเป็นดรรชนีบ่งชี้ว่าการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบของข้าวใกล้จะสิ้นสุดลง ส่งผลให้การสะสมน้ำหนักแห้งหยุด และเมื่อเข้าสู่ระยะสุกแก่น้ำหนักแห้งจะลดลง การส่งถ่ายสารสังเคราะห์ (remobilization) จากต้นและใบไปสู่รวง ซึ่งระยะนี้ข้าวจะเกิดแก่ตายของเซลล์ต้นและใบ (senescence)

สำหรับผลผลิตนั้น พบว่ามีความแปรปรวนระหว่างพันธุ์โดยข้าวพันธุ์ PGMHS 17 และ PGMHS 3 ให้ผลผลิตสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 439 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนพันธุ์ PGMHS 15 ให้ผลผลิตต่ำสุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 200 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งจากการสังเกตพบว่าน้ำหนัก 1,000 เมล็ดและค่าดัชนีเก็บเกี่ยว ส่งผลต่อผลผลิต เนื่องจากข้าวพันธุ์ PGMHS 17 และ PGMHS 3 ที่มีผลผลิตสูงนั้นพบว่ามีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวและน้ำหนัก 1,000 เมล็ดสูง โดยเฉลิมพล (2542) กล่าวว่าการเพิ่มผลผลิตสามารถทำได้โดยการเพิ่มองค์ประกอบผลผลิตตัวใดตัวหนึ่งหรือหลายตัวพร้อมกัน แต่การเพิ่มตัวใดตัวหนึ่งอาจมีผลทำให้องค์ประกอบตัวอื่นเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งองค์ประกอบผลผลิตของข้าวมีลักษณะที่ยืดหยุ่นทดแทนกันได้ เมื่อองค์ประกอบหนึ่งลดลงผลผลิตอาจไม่ลดลงได้ ทั้งนี้เพราะว่าผลผลิตนั้นถูกทดแทนด้วยองค์ประกอบอื่นที่เพิ่มขึ้น และจากผลการวิเคราะห์ได้พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างพันธุ์ของจำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และจำนวนเมล็ดลีบต่อรวง อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่าผลผลิตมีความสัมพันธ์กับจำนวนเมล็ดต่อรวง จำนวนเมล็ดดีต่อรวง และค่าดัชนีเก็บเกี่ยว ซึ่งในกรณีของข้าวพันธุ์สะเมิง 4 ที่พบว่ามีผลผลิตต่ำ แต่มีน้ำหนัก 1,000 เมล็ดและค่าดัชนีเก็บเกี่ยวสูง ที่เป็นเช่นนี้เพราะเกิดการหักล้มและตายของต้นทำให้จำนวนประชากรต้นต่อพื้นที่ขณะเก็บเกี่ยวมีน้อย

จากผลการศึกษาการสะสมสารประกอบฟีนอลิคทั้งหมดของต้นนั้นพบว่าข้าวทุกพันธุ์มีแนวโน้มของปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดในต้นลดลงจากระยะต้นกล้าจนถึงระยะก่อนกำเนิดช่อดอก จากนั้นปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงระยะออกรวง ในทางกลับกันการสะสมสารฟีนอลิคทั้งหมดในใบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากระยะต้นกล้าจนถึงระยะก่อนกำเนิดช่อดอก จากนั้นปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดกลับมีแนวโน้มลดลงจนถึงระยะออกรวง ทั้งนี้เป็นไปได้เพราะปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่ง Hagen *et al*., 2006) พบว่าปริมาณฟีนอลิคขึ้นอยู่กับปริมาณคลอโรฟิลล์ที่พบในเนื้อเยื่อชั้นเอพิเดอร์มิส และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าวจะเพิ่มขึ้นตามระยะการเจริญเติบโต โดยปริมาณคลอโรฟิลล์จะเพิ่มขึ้นจากระยะกล้าและจะสูงสุดในช่วงกำเนิดช่อดอก จากนั้นจะลดลง ทั้งนี้เพราะคลอโรฟิลล์จะเกิดการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สลายตัวเร็วกว่าการสร้างหลังการเจริญเติบโตเต็มที่ในระยะกำเนิดช่อดอก (Norman *et al*., 1992) เนื่องจากคลอโรฟิลล์ในใบพืชเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่ง อายุและลำดับของใบในทรงพุ่ม (Taiz and Zeiger, 1991) ส่วนปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดในต้นที่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย อาจเป็นไปได้เนื่องจากปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดลงในระยะที่แผ่ปกคลุมเต็มที่ และหลังจากที่มีการยืดปล้องทำให้ต้นได้รับแสงแดดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการสร้างคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น และสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดในระยะสุกแก่ทางสรีระ

นอกจากนั้นจากการวิเคราะห์ยังพบความแปรปรวนของปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดระหว่างพันธุ์ โดยมีแนวโน้มของพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดในเมล็ดสูงในระยะสุกแก่ทางสรีระ แต่ปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดในแกลบจะต่ำ ในทางกลับกันพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดในแกลบสูงในระยะสุกแก่ทางสรีระจะมีปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดในเมล็ดต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่พบความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญระหว่างปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดในเมล็ดกับปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดในแกลบ ซึ่งจากการทดลองพบว่าข้าวพันธุ์สะเมิง 1 และ PGMHS 15 เป็นข้าวที่มีปริมาณสารฟีนอลิคในเมล็ดสูง แต่มีปริมาณสารฟีนอลิคในแกลบน้อย ในทางกลับกันข้าวพันธุ์ สะเมิง 2 และ PGMHS 12 มีปริมาณสารฟีนอลิคในแกลบสูง แต่มีปริมาณสารฟีนอลิคในเมล็ดต่ำ ซึ่งความแตกต่างของการสะสมสารฟีนอลิคน่าจะเป็นลักษณะที่ถูกควบคุมด้วยพันธุกรรม

นอกจากนั้นจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่าปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดในเมล็ดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับน้ำหนักแห้งใบสูงสุด และความยาวรวง ชี้ให้เห็นว่าใบและรวงที่มีความยาวมาก จะเป็นแหล่งสร้าง (source) และสะสมสารฟีนอลิคที่สามารถส่งไปยังเมล็ดได้ นอกจากนั้นสารฟีนอลิคในเมล็ดยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความแข็งของเมล็ด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมล็ดที่มีความแข็งมากจะมีความหนาแน่นของแป้งข้าว (sink) ที่เป็นแหล่งสะสมสารฟีนอลิคมาก

ในส่วนของการวิเคราะห์แบบจำลอง empirical ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สัมพันธ์กับพัฒนาการ การเจริญเติบโต และปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมด พบว่าการปรากฏของใบหนึ่งใบของข้าวทุกพันธุ์ที่สัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิสะสมนั้น สามารถใช้สมการเส้นตรง (linear) ในการอธิบายการปรากฏใบหนึ่งใบกับค่าอุณภูมิสะสมที่ใช้ ซึ่งสอดคล้องกับ (จารุวรรณ, 2542) ที่พบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมีรูปแบบเป็นเส้นตรง ในส่วนของการสะสมน้ำหนักแห้งต้นและใบนั้นการใช้สมการ 3$^{rd}$ Order Polynomial ที่มีลักษณะ S-shape จะเหมาะสมกับการอธิบายการเจริญเติบโตหรือการสะสมน้ำหนักแห้งของพืชได้ดี ซึ่งการเจริญเติบโตของข้าวจะมีการเริ่มเจริญเติบโตขึ้นอย่างช้าๆ ในตอนแรกและมีอัตราเร่งการเจริญเติบโตสูงขึ้นในช่วงแตกกอ และการเจริญเติบโตจะเริ่มคงที่หลังระยะแทงรวง โดยการเจริญเติบโตจะลดลงที่ระยะสุกแก่ สำหรับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมดในต้นและใบสามารถอธิบายโดยสมการ 2nd Order Polynomial โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารฟีนอลิคทั้งในต้นและใบนั้น จะมีลักษณะของการเพิ่มขึ้นและลดลงตามระยะการเจริญเติบโต เนื่องจากปริมาณสารฟีนอลิคในใบมีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์

กล่าวโดยสรุปแล้วงานวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า ข้าวเหนียวก่ำพื้นเมืองนำมาศึกษามีความแปรปรวนทางด้านพัฒนาการ การเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และปริมาณสารฟีนอลิคทั้งหมด ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรดังกล่าวข้างต้น สามารถที่จะอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองข้าวต่อไป นอกจากนั้นยังเป็นข้อมูลสำหรับนักปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่จะช่วยคัดเลือกพันธุ์ให้ได้ลักษณะตามต้องการ เช่น การที่มีผลผลิตและสารประกอบฟีนอลิค หรือการคัดเลือกลักษณะอายุข้าวพันธุ์เบาที่สามารถ ให้สารประกอบฟีนอลิคสูงเป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved