วิจารณ์ผลการทดลอง

ขนาดของพื้นที่ใบธงและใบล่างในแต่ละสายพันธุ์

ขนาดของพื้นที่ใบธงและใบล่างของข้าวทั้ง 6 สายพันธุ์แตกต่างกัน และเมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้พื้นที่ใบธงและใบล่างของทุกสายพันธุ์เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3 และ 7) การใส่ไนโตรเจนทำให้ความกว้างของทั้งใบธงและใบล่างในแต่ละสายพันธุ์เพิ่มขึ้นแต่ไม่มีผลต่อความยาว (ตารางที่ 1,2,5 และ 6) ซึ่งลักษณะดังกล่าวสามารถบ่งชี้ได้ว่าความแปรปรวนของพื้นที่ใบธงและใบล่างน่าจะขึ้นอยู่กับการเจริญเติบโตทางด้านกว้างมากกว่าด้านยาว โดยความกว้างของใบธงจะแสดงการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต่างกันแต่ใบล่างตอบสนองต่อไนโตรเจนเหมือนกัน ส่วนความยาวของใบธงและใบล่างได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมน้อยมากแต่ความแตกต่างดังกล่าวน่าจะเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของยีน (gene action) โดยพบว่าบางสายพันธุ์ของลูกผสม (F_1) เช่น ลูกผสมระหว่างข้าวเหนียวดำเชียงใหม่ × กข.6 มีความยาวของใบธงและใบล่างสูงเกินกว่าค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อและแม่ (ตารางที่ 2 และ 6) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการแสดงลักษณะถูกควบคุมโดยยีนที่แสดงผลแบบข่ม (dominant gene) และแสดงลักษณะข่มเกิน (overdominant gene) ซึ่งหมายความว่า ลูกผสมที่มีพันธุกรรมแบบ heterozygous จะมีความดีเด่นกว่าลูกผสมที่มีพันธุกรรมแบบ homozygous

การสะสมไนโตรเจนในระยะผสมเกสร

เปอร์เซนต์ไนโตรเจนในใบธงระยะผสมเกสรของแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกัน การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้เปอร์เซนต์ไนโตรเจนในใบธงของทุกสายพันธุ์เพิ่มขึ้นเหมือนกัน (ตารางที่ 9) อาจเป็นไปได้ว่าเมื่อไนโตรเจนในดินมีมากขึ้นจึงส่งผลให้มีการดูดใช้ไนโตรเจนจากดินเพื่อลำเลียงไปสะสมยังใบธงมากขึ้น Peng and Cassman (1998) รายงานว่า การใส่ไนโตรเจนที่ระยะสร้างรวงอ่อนทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทไนโตรเจนไปสู่ใบสูงกว่าเมื่อไม่ใส่ไนโตรเจน เมื่อพิจารณาถึงปริมาณไนโตรเจนในใบธงของข้าวแต่ละสายพันธุ์จะพบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้การสะสมไนโตรเจนในใบธงเพิ่มขึ้นแตกต่างกัน (ตารางที่ 12) ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวน่าจะเป็นผลมาจากลักษณะทางพันธุกรรมของข้าวที่เป็นตัวกำหนดขนาดของส่วนที่สามารถสะสมไนโตรเจน เช่น ลูกผสมระหว่างข้าวเหนียวดำเชียงใหม่ × กข.6 เป็นสายพันธุ์ที่มีพื้นที่และน้ำหนักใบมากจึงแสดงลักษณะการสะสม

ไนโตรเจนในใบสูง ในขณะที่พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีพื้นที่และน้ำหนักใบน้อยจึงแสดงลักษณะการสะสมไนโตรเจนในใบต่ำ ซึ่งลักษณะดังกล่าวน่าจะบ่งชี้ได้ว่าขนาดของ sink ที่แตกต่างมีผลไปจำกัดการดูดใช้และการลำเลียงไนโตรเจนในใบธงต่างกัน ซึ่งลักษณะดังกล่าวส่งผลให้ประสิทธิภาพของการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนของข้าวแต่ละสายพันธุ์ต่างกัน สอดคล้องกับ Clark (1987) ที่ได้รายงานว่าความแตกต่างของการดูดใช้ไนโตรเจน และประสิทธิภาพการถ่ายเทไนโตรเจนถูกกำหนดโดยพันธุกรรมและความสามารถในการแสดงลักษณะดังกล่าวได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อม นอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณไนโตรเจนในใบล่างน่าจะมีผลกระทบต่อปริมาณไนโตรเจนในใบธง โดยสายพันธุ์ที่มีไนโตรเจนในใบธงสูงจะมีไนโตรเจนในใบล่างสูง ส่วนสายพันธุ์ที่ไนโตรเจนในใบธงต่ำจะมีไนโตรเจนในใบล่างต่ำด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 9,10,12 และ 13) อาจเป็นไปได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง source และ sink มีผลไปกำหนดปริมาณการลำเลียงไนโตรเจน โดยไนโตรเจนจะถูกลำเลียงไปสู่ sink ได้มากขึ้นเมื่อมี source ขนาดใหญ่ขึ้น

ปริมาณไนโตรเจนในรวงข้าวแต่ละสายพันธุ์สอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนในใบธงคือ เมื่อใส่ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นทำให้การสะสมไนโตรเจนในรวงเพิ่มขึ้นเหมือนกันทุกสายพันธุ์ (ตารางที่ 11) อาจเป็นเพราะว่า การใส่ไนโตรเจนทำให้ข้าวสามารถดูดใช้และถ่ายเทไนโตรเจนไปสู่รวงได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสายพันธุ์พบว่าการสะสมไนโตรเจนในรวงไม่สอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนในใบธง เช่น พันธุ์ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่มีปริมาณไนโตรเจนในใบธงต่ำ (4.39 มก./ใบ) แต่มีไนโตรเจนในรวงสูง (1.20%) ในขณะที่ลูกผสมระหว่างข้าวเหนียวดำเชียงใหม่ × กข.6 มีปริมาณไนโตรเจนในใบธงสูง (6.68 มก./ใบ) แต่มีไนโตรเจนในรวงต่ำ (1.10%) (ตารางที่ 11-12) ความไม่สอดคล้องของลักษณะดังกล่าว อาจเป็นผลมาจากความแปรปรวนของการลำเลียงไนโตรเจนไปสะสมในแต่ละส่วนของพืชแต่ละพันธุกรรม มีความแตกต่างกัน สอดคล้องกับ Norman *et al.* (1992) ที่รายงานว่าการสะสมไนโตรเจนในแต่ละส่วนของข้าวจะแตกต่างกันโดยได้รับอิทธิพลจากพันธุกรรม และนอกจากนั้นความแตกต่างของลักษณะพันธุกรรมที่กำหนดส่วนที่จะสามารถสะสมไนโตรเจนเป็นตัวจำกัดประสิทธิภาพการลำเลียงไนโตรเจน และ Pollmer *et al.* (1979) ยังได้พบว่า ความสามารถในการดูดใช้และการลำเลียงไนโตรเจนของข้าวโพดขึ้นอยู่กับขนาดของส่วนที่จะสามารถสะสมไนโตรเจน (sink capacity) ถูกกำหนดโดยพันธุกรรม

การสะสมไนโตรเจนระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา

ในระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาเปอร์เซนต์ไนโตรเจนในใบธงของข้าวทั้ง 6 สายพันธุ์ลดลง ขณะที่เปอร์เซนต์ไนโตรเจนในเมล็ดเพิ่มขึ้น แสดงว่าเมื่อถึงระยะเจริญทางด้านสืบพันธุ์ไนโตรเจนจะถูกถ่ายเทจากใบธงไปสู่เมล็ด จากผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้เปอร์เซนต์ไนโตรเจนในใบธงลดลงน้อยกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และข้าวแต่ละสายพันธุ์มีเปอร์เซนต์ไนโตรเจนลดลงไม่เท่ากัน (ตารางที่ 9) ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากข้าวดูดใช้ไนโตรเจนจากดินไปสะสมในใบธงและส่วนอื่นเพิ่มขึ้น แต่เมื่อส่วนที่ทำหน้าที่สะสมไนโตรเจน (เมล็ด) ถูกกำหนดโดยพันธุกรรมทำให้การถ่ายเทไนโตรเจนจากใบธงไปสู่ส่วนที่ทำหน้าสะสมในเมล็ด (sink capacity) ถูกจำกัดตามไปด้วย ส่งผลให้อัตราส่วนของไนโตรเจนในเมล็ดต่อไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าต่ำ หรือประสิทธิภาพการถ่ายเทไนโตรเจนมีค่าลดลง สอดคล้องกับ Westcott *et al.* (1986) ที่รายงานว่า ประสิทธิภาพการถ่ายเทไนโตรเจนของข้าวจะลดลงเมื่ออัตราไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

ปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดของข้าวทุกสายพันธุ์มีความแตกต่างกันในข้าวเปลือกและข้าวกล้อง (ตารางที่ 14-15) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้ปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดเพิ่มขึ้นทั้งในข้าวเปลือกและข้าวกล้อง (ตารางที่ 14-15) แสดงว่าเมื่อไนโตรเจนในดินมีมากทำให้ข้าวแต่ละพันธุกรรมสามารถดูดใช้และลำเลียงไนโตรเจนไปสู่เมล็ดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Yoshida and Ahn (1968) ที่ได้รายงานว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจะทำให้ปริมาณไนโตรเจนในใบสูงระยะผสมเกสร และไนโตรเจนจะถูกถ่ายเทจากใบไปสู่เมล็ด

เปอร์เซนต์ไนโตรเจนในใบธงระยะผสมเกสรกับเปอร์เซนต์ไนโตรเจนในเมล็ดระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยาของข้าวที่มีพันธุกรรมต่างกันไม่มีความสอดคล้องกัน โดยพันธุ์ กข. 6 มีไนโตรเจนในใบธงสูง (2.38%) แต่ปริมาณไนโตรเจนในข้าวเปลือก และข้าวกล้องมีต่ำ (0.88 และ 1.19% ตามลำดับ) พันธุ์ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่ มีปริมาณไนโตรเจนในใบธงค่อนข้างต่ำ (2.18%) แต่ปริมาณไนโตรเจนในข้าวเปลือกและข้าวกล้องสูง (1.04 และ 1.35% ตามลำดับ) ในขณะที่ลูกผสมระหว่างข้าวเหนียวดำเชียงใหม่ × กข.6 มีไนโตรเจนในใบธงค่อนข้างสูง (2.30%) แต่ปริมาณไนโตรเจนในข้าวเปลือกและข้าวกล้องปานกลาง (0.94 และ 1.29%) (ตารางที่ 11-13) พันธุ์ข้าวเหนียวดำอาจแสดงประสิทธิภาพใน

การลำเลียงไนโตรเจนในเนื้อเยื่อทางด้านลำต้นต่ำแต่มีประสิทธิภาพการลำเลียงสูงในเนื้อเยื่อทางด้านสืบพันธุ์ ขณะที่ประสิทธิภาพการลำเลียงในพันธุ์กข.6 เป็นไปในทางตรงกันข้าม และเมื่อนำพันธุกรรมของทั้ง 2 สายพันธุ์มารวมกันจึงทำให้ลูกผสมระหว่างข้าวเหนียวดำเชียงใหม่ × กข.6 แสดงประสิทธิภาพการลำเลียงไนโตรเจนค่อนข้างสูงทั้งในเนื้อเยื่อทางด้านลำต้นและทางด้านสืบพันธุ์ ความไม่สอดคล้องดังกล่าวขึ้นอยู่กับขนาดของส่วนที่ทำหน้าที่สะสมไนโตรเจนและความสามารถของพันธุกรรมที่แสดงลักษณะการลำเลียงไนโตรเจนจากใบธงไปสู่เมล็ด ซึ่ง เฉลิมพล (2540) ได้กล่าวว่า ขนาดสูงสุด (potential size) ถูกกำหนดโดยพันธุกรรม และ Perez (1973) ได้รายงานว่า ความแตกต่างของไนโตรเจนในเมล็ดขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการลำเลียงไนโตรเจนจากใบไปสู่เมล็ดหลังจากระยะผสมเกสรมากกว่าประสิทธิภาพการลำเลียงไนโตรเจนในต้นพืช นอกจานั้นแล้ว การสะสมไนโตรเจนของเมล็ดยังถูกลำเลียงมาจากลำต้น กาบใบ และการดูดใช้จากดิน (Mae, 1986; Wilson *et al.*, 1989)

พฤติกรรมของยีนที่ควบคุมไนโตรเจนหรือโปรตีนข้าวพบว่าลูกผสม (F_1) คือ ขาวดอกมะลิ 105/ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่ และ กข.6 × ขาวดอกมะลิ 105 มีโปรตีนโดยเฉลี่ยเท่ากับค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อหรือพันธุ์แม่ที่มีโปรตีนต่ำ (ตารางภาคผนวกที่ 1-2) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ายีนที่ควบคุมโปรตีนเป็น dominant gene และจะแสดงลักษณะโปรตีนต่ำมากกว่าโปรตีนสูง สอดคล้องกับ Hillerislembers *et al.* (1973) Chang and Lin (1974) และ IRRI (1977) ที่รายงานว่า ลักษณะของยีนที่ควบคุมโปรตีนต่ำจะแสดงลักษณะข่มยีนที่ควบคุมโปรตีนสูง ส่วนลูกผสมระหว่างข้าวเหนียวดำเชียงใหม่ × กข.6 มีโปรตีนอยู่ระหว่างค่าเฉลี่ยของพันธุ์พ่อและแม่ ซึ่งน่าจะเป็นเพราะว่าพันธุกรรมข้าวที่แสดงลักษณะ heterozygous ทำให้ยีนที่ควบคุมโปรตีนสูงช่วยส่งเสริมการแสดงลักษณะในเชิงบวก สอดคล้องกับ Chang and Lin (1974) ที่รายงานว่า ลักษณะทางพันธุกรรมของโปรตีนข้าวถูกควบคุมโดยยีนที่แสดงผลแบบบวก (additive gene) อย่างไรก็ตามจะพบว่าปริมาณไนโตรเจนในใบธงมีความสัมพันธ์กับโปรตีนในเมล็ดแต่ละสายพันธุ์ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับต่างสายพันธุ์พบว่าปริมาณไนโตรเจนในใบธงไม่สอดคล้องกับโปรตีนในเมล็ด อาจเป็นเพราะว่าการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนไปสู่เมล็ดของแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกันทำให้การสังเคราะห์โปรตีนของเมล็ดแตกต่างกัน สอดคล้องกับ Kaul (1973) ที่ได้รายงานว่า ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวขึ้นอยู่กับการดูดใช้ไนโตรเจนไปสะสมในเนื้อเยื่อทางลำต้น การลำเลียงและถ่ายเทไนโตรเจนจากเนื้อเยื่อทางลำต้นไปสะสมในเมล็ด และอัตราการสังเคราะห์โปรตีนของเมล็ด

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิต

ผลผลิตของข้าวทั้ง 6 สายพันธุ์แตกต่างกัน (ตารางที่ 16) เนื่องมาจากความสามารถของพันธุกรรมที่เป็นตัวกำหนดองค์ประกอบของผลผลิต การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นทุกสายพันธุ์โดยไนโตรเจนมีผลต่อการเพิ่มจำนวนรวงต่อพื้นที่ (ตารางที่ 17) เมื่อเปรียบเทียบการให้ผลผลิตระหว่างลูกผสม (F_1) กับพันธุ์พ่อแม่พบว่าทุกคู่ผสมจะให้ผลผลิตสูงเกินกว่าพันธุ์พ่อและแม่ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า พันธุกรรมของลูกผสม ที่เป็น heterozygous อาจแสดงลักษณะของยีนที่ควบคุมจำนวนรวงต่อกอให้เป็นลักษณะการข่มเกิน (over dominace) จึงทำให้ลูกผสม F_1 แสดงลักษณะของผลผลิตดีเด่น (heterosis) เหนือกว่าพันธุ์พ่อแม่ ซึ่งสอดคล้องกับ Virmani *et al.* (1981) ที่รายงานว่า พันธุกรรมข้าวที่แตกต่างกันเมื่อนำมาผสมกันจะทำให้จำนวนเมล็ดต่อรวง รวงต่อกอและน้ำหนักเมล็ดของลูกผสมแสดงความดีเด่น

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาพื้นที่ใบธงและผลผลิตพบว่า ลูกผสมระหว่างกข.6 × ขาวดอกมะลิ 105 มีพื้นที่ใบธงน้อย ผลผลิตสูง ในขณะที่พันธุ์ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่มีพื้นที่ใบธงมาก ผลผลิตต่ำ (ตารางที่ 3 และ 16) อาจเป็นไปได้ว่าสายพันธุ์ที่มีพื้นที่ใบธงมากทำให้เกิดการบังแสง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง และทำให้ผลผลิตต่ำ ส่วนปริมาณไนโตรเจนในใบธงของทั้ง 2 สายพันธุ์ดังกล่าวนั้นพบว่ามีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตต่ำ (ข้าวเหนียวดำเชียงใหม่) มีไนโตรเจนในเมล็ดสูง ส่วนสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง (กข.6 × ขาวดอกมะลิ 105) มีไนโตรเจนในเมล็ดต่ำ (ตารางที่ 14-15 และ 16) ซึ่งลักษณะดังกล่าวน่าจะเกี่ยวข้องกับความสามารถของพันธุกรรมที่จะเคลื่อนย้ายสารสังเคราะห์ไปสะสมในเมล็ด จากการศึกษาของ Peterson *et al.* (1975) พบว่า ในข้าวโอ๊ต (*Avena sativa* L.) พันธุ์ที่มีโปรตีนในเมล็ดสูงมีประสิทธิภาพการถ่ายเทไนโตรเจนสูง ในขณะที่พันธุ์โปรตีนต่ำมีประสิทธิภาพการถ่ายเทสารสังเคราะห์สูง แต่ประสิทธิภาพการถ่ายเทไนโตรเจนต่ำ