บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

เมื่อพืชขาดธาตุเหล็กจะทำให้เกิดภาวะพร่องของคลอโรฟิลล์ในใบพืช (Terry and Abdia, 1986) ซึ่งในข้าวก็มีการตอบสนองในแบบเดียวกันคือ เมื่อข้าวขาดธาตุเหล็กจะแสดงอาการเหลือง (Fe deficiency chlorosis) ในใบอ่อน โดยเฉพาะข้าวที่มีอายุน้อยจะอ่อนแอต่อการขาดธาตุเหล็ก (Mori *et al.*, 1991) จากการคัดเลือกพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ YEB สูงกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (พันธุ์ตรวจสอบ) โดยวัดจากปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (Chlorophyll meter SPAD 502) พบว่าข้าว 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ซิวลาว พันธุ์จอนแดง พันธุ์ PRE 87003-1-3-1-1 พันธุ์ กข 10 และพันธุ์หอมพิษณุโลก 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ YEB สูงกว่าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งวิธีการคัดเลือกพันธุ์ดังกล่าวปรับปรุงมาจากวิธีการคัดเลือกพันธุ์ทนต่อการขาดธาตุเหล็ก จากการแสดงอาการเหลืองของใบในถั่ว chickpea โดยให้คะแนนระดับการแสดงอาการเหลืองในใบอ่อนของ Saxena *et al.* (1990) ซึ่งต้องใช้ความชำนาญในการให้คะแนนและใช้เวลามาก ดังนั้นวิธีการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์โดยใช้เครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์จะเป็นวิธีที่มีความแม่นยำและประหยัดเวลามากกว่า

จากการศึกษาอิทธิพลของระดับเหล็กต่อข้าวแต่ละพันธุ์ในปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ YEB พบว่าข้าวพันธุ์หอมพิษณุโลก 1 มีการตอบสนองของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งสภาพขาดเหล็ก (Fe0) และได้รับเหล็กพอเพียง (Fe3.5) ไม่ต่างกัน และในสภาพขาดเหล็กมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่าพันธุ์อื่นๆ ซึ่งความทนทานต่อการแสดงอาการเหลืองของใบ (Chlorosis resistance) จะมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับปริมาณที่แตกต่างกันของธาตุเหล็กที่หามาได้ (Marschner *et al.*, 1986; Römheld, 1987) ดังนั้นพันธุ์หอมพิษณุโลก 1 จึงมีความทนทานต่อการแสดงอาการเหลืองของใบเพราะมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงซึ่งอาจเกิดจากพันธุ์หอมพิษณุโลก 1 เป็นพันธุ์ที่ทนต่อการขาดเหล็ก

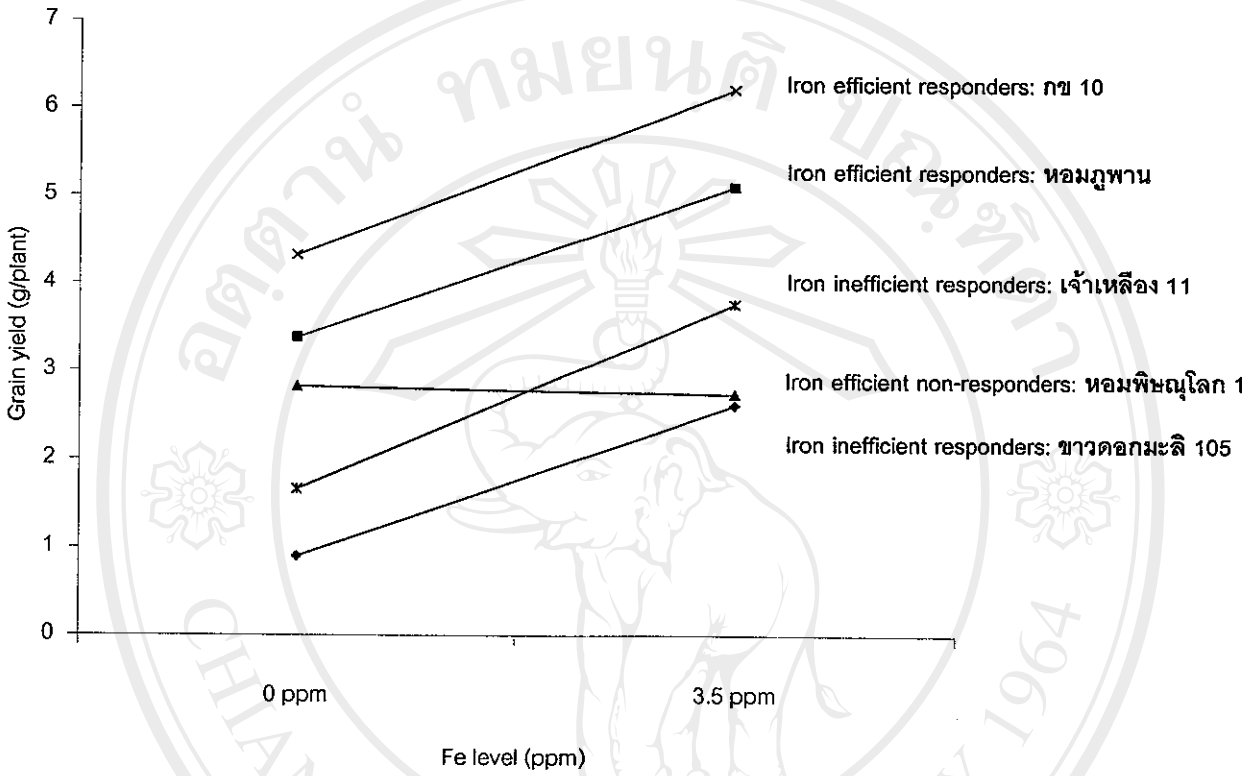
จากการจัดจำแนกพันธุ์ทน และพันธุ์ที่อ่อนแอต่อการขาดธาตุเหล็ก น่าจะเป็นแบบเดียวกับธาตุอาหารชนิดอื่นๆ จากข้อสันนิษฐานของ Marschner (1995) ได้กล่าวว่าสมรรถภาพการใช้ธาตุอาหารของพืชจะต่างกันในพืชแต่ละพันธุ์ ซึ่งน่าจะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการหาหรือความสามารถในการดูดธาตุอาหารจากดิน ดังนั้นพืชที่มีสมรรถภาพในการดูดธาตุอาหารได้ดีแม้อยู่ในสภาพขาดจึงจัดว่าเป็นพันธุ์ทน จากการศึกษาสมรรถภาพในการดูดธาตุเหล็ก พบว่า พันธุ์หอมพิษณุโลก 1 เป็นพันธุ์ทน เพราะมีสมรรถภาพในการดูดธาตุเหล็กสูงกว่าพันธุ์อื่นๆในสภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ขาดเหล็ก ในระยะเริ่มสร้างตาดอก แต่อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของเหล็กในใบอ่อนที่สุดที่แผ่ขยายเต็มที่ ในระยะเริ่มสร้างตาดอก ที่อยู่ในสภาพขาดเหล็ก พบว่าข้าวทุกพันธุ์มีความเข้มข้นของเหล็กในใบอ่อนที่สุดที่แผ่ขยายเต็มที่ ระหว่าง 14.57-21.97 มิลิกรัมเหล็ก/กิโลกรัม ซึ่งเป็นความเข้มข้นของเหล็กในระดับขาดแคลน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Reuter *et al.* (1997) พบว่าความเข้มข้นของเหล็กในใบอ่อนที่สุดที่แผ่ขยายเต็มที่ ที่ขาดแคลนในระยะเริ่มสร้างตาดอกอยู่ระหว่าง 60-69 มิลิกรัมเหล็ก/กิโลกรัม ซึ่งการเจริญเติบโตของข้าวที่อายุน้อยจะมีความอ่อนแอต่อการขาดธาตุเหล็กมากกว่าเมื่อข้าวมีอายุมากขึ้น (Mori *et al.*, 1991)

นอกจากความสามารถในการดูดธาตุอาหารของพืชแล้วความสามารถในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารได้ดี หรือเกี่ยวข้องกับความสามารถในการใช้ธาตุอาหาร (Marschner, 1995) โดยความสามารถในการให้ผลผลิตสูงในดินที่มีธาตุอาหารจำกัดสำหรับพันธุ์มาตรฐาน สามารถบ่งชี้ถึงสมรรถภาพในการใช้ธาตุอาหารของแต่ละพันธุ์ได้ (Graham, 1984) ซึ่งพบว่า ข้าวในกลุ่มที่มีความสามารถในการให้ผลผลิตสูงแม้อยู่ในสภาพขาดเหล็กมีอยู่ 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ กข 10 พันธุ์หอมภูพาน และพันธุ์หอมพิษณุโลก 1 ซึ่งการตอบสนองในการสร้างผลผลิตของข้าวแต่ละพันธุ์จะสอดคล้องกับการจัดจำแนกการตอบสนองของ Gerloff (1977) (ภาพที่ 5.1) โดยพบว่า ข้าวพันธุ์หอมพิษณุโลก 1 เป็นพันธุ์ที่มีสมรรถภาพในการใช้เหล็กแบบไม่มีการตอบสนอง (Iron efficient non-responders) คือผลผลิตที่สภาพขาดเหล็กและได้รับเหล็กพอเพียงสูงและไม่ต่างกัน พันธุ์ที่มีสมรรถภาพในการใช้เหล็กแบบมีการตอบสนอง (Iron efficient responders) ได้แก่พันธุ์ กข 10 และพันธุ์หอมภูพาน ซึ่งมีผลผลิตในสภาพขาดเหล็กสูงแต่เมื่ออยู่ในสภาพเหล็กพอเพียงผลผลิตจะเพิ่มสูงขึ้นอีก ส่วนพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์เจ้าเหลือง 11 เป็นพันธุ์ที่ไม่มีสมรรถภาพในการใช้เหล็กแบบมีการตอบสนอง (Iron inefficient responders) คือมีผลผลิตในสภาพขาดเหล็กต่ำและเมื่ออยู่ในสภาพเหล็กพอเพียงจะมีผลผลิตเพิ่มสูงขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 5.1 แสดงการจัดจำแนกการตอบสนองในการสร้างผลผลิตของข้าว ตามแบบการตอบสนองของ Gerloff (1977)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การศึกษากลไกการตอบสนองของข้าวพันธุ์หอมพิษณุโลก 1 ต่อการปลดปล่อยสารไฟโทซิเดโรฟอร์ โดยใช้ข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60 เป็นพันธุ์ตรวจสอบ เนื่องจากความสามารถในการหาธาตุเหล็ก นอกจากสมรรถภาพในการดูดธาตุเหล็ก ยังมีกลไกอีกกลไกหนึ่งที่มีความสำคัญต่อความสามารถในการหาธาตุเหล็ก คือ ความสามารถในการสังเคราะห์และปลดปล่อยสารไฟโทซิเดโรฟอร์ของรากข้าวและพืชในตระกูลหญ้าชนิดอื่นๆ เช่น ข้าวสาลีซึ่งเป็นพืชที่มีความสามารถในการปลดปล่อยสารไฟโทซิเดโรฟอร์รองลงมาจากข้าวบาร์เลย์ที่มีการปลดปล่อยสารไฟโทซิเดโรฟอร์ออกมามากที่สุดในพืชตระกูลหญ้า ซึ่งสารไฟโทซิเดโรฟอร์จะทำปฏิกิริยาคีเลชันกับเฟอริก (Fe^{3+}) (Marschner, 1995) ทำให้รากพืชสามารถดูดใช้เหล็กได้ จึงเป็นกลยุทธสำคัญของพืชตระกูลหญ้าในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของเหล็กในดิน และแก้ปัญหาการขาดแคลนเหล็ก (Takagi, 1993) ซึ่งจากการศึกษาการตอบสนองดังกล่าวในข้าวแต่ละพันธุ์ และข้าวสาลี โดยทางอ้อม ที่ระยะ 30 วันหลังย้ายปลูก พบว่า ในสภาพขาดธาตุเหล็ก ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เป็นพันธุ์อ่อนแอต่อการขาดธาตุเหล็ก เมื่อปลูกร่วมกับข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60 และปลูกร่วมกับข้าวพันธุ์หอมพิษณุโลก 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ทนต่อการขาดธาตุเหล็ก มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ่อนที่สุดที่แผ่ขยายเต็มที่สูงกว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกพันธุ์เดียว เมื่อทำการทดลองซ้ำ พบว่า ที่ระยะ 30 วันหลังย้ายปลูก และที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก มีการตอบสนองของปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ่อนที่สุดที่แผ่ขยายเต็มที่ เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ส่วนสมรรถภาพในการดูดธาตุเหล็กของพันธุ์ข้าวที่อ่อนแอต่อการขาดธาตุเหล็ก คือพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เมื่อปลูกร่วมกับข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60 และปลูกร่วมกับข้าวพันธุ์หอมพิษณุโลก 1 ซึ่งเป็นพันธุ์ทนต่อการขาดธาตุเหล็ก จะมีสมรรถภาพในการดูดธาตุเหล็กในสภาพขาดเหล็กสูงขึ้นและไม่ต่างกับในสภาพเหล็กพอเพียงเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกพันธุ์เดียว จะมีสมรรถภาพในการดูดธาตุเหล็กต่ำ นอกจากนั้นสมรรถภาพในการดูดธาตุเหล็กของพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกร่วมกับพันธุ์ฝาง 60 และที่ปลูกร่วมกับพันธุ์หอมพิษณุโลก 1 ในสภาพขาดเหล็กไม่ต่างจากพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกพันธุ์เดียวในสภาพที่ได้รับธาตุเหล็กพอเพียง ซึ่งแสดงว่าแม้ในสภาพขาดธาตุเหล็กข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกร่วมกับพันธุ์ฝาง 60 และปลูกร่วมกับพันธุ์หอมพิษณุโลก 1 ก็ได้รับธาตุเหล็กอย่างพอเพียง ทั้งนี้เนื่องมาจากข้าวสาลีพันธุ์ฝาง 60 และข้าวพันธุ์หอมพิษณุโลก 1 มีกลไกที่สามารถทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็กในดินเพิ่มขึ้นและข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สามารถดูดไปใช้ได้ โดยกลไกดังกล่าวน่าจะเป็นกลไกในการปลดปล่อยสารไฟโทซิเดโรฟอร์ ซึ่งเป็นกลไกการตอบสนองในพืชตระกูลหญ้าเมื่อขาดธาตุเหล็กโดยการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของเหล็กในดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งจากผลการตอบสนองต่อการขาดธาตุเหล็กในกลไกดังกล่าวของข้าวสาลีและข้าว จะพบว่ามีความสอดคล้องกับการตอบสนองในพืชตระกูลหญ้าชนิดอื่นๆ ที่มีการศึกษามาแล้ว พบว่าพืชที่มีความทนทานต่อการขาดธาตุเหล็กจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารไฟโทซิเดโรฟอร์ที่ปลดปล่อยออกมาเพิ่มขึ้นภายใต้สภาพการขาดธาตุเหล็ก เช่น ข้าวบาร์เลย์จะมีความทนทานต่อการขาดธาตุเหล็กเพราะมีความสามารถในการปลดปล่อยสารไฟโทซิเดโรฟอร์ออกมาในปริมาณมาก ส่วนของข้าวจะมีความอ่อนแอต่อการขาดธาตุเหล็กมากกว่าเพราะมีการปลดปล่อยสารไฟโทซิเดโรฟอร์ออกมาในปริมาณน้อย (Sugiura *et al.*, 1981; Takagi *et al.*, 1984) ซึ่งคล้ายกับ Römheld and Marschner (1990) พบว่าอัตราการปลดปล่อยสารไฟโทซิเดโรฟอร์เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยดังนี้คือ ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี ข้าวไรด์ ข้าวโพด และข้าวฟ่าง นอกจากนั้นยังพบว่าข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต (oat) ในสภาพขาดเหล็กมีอัตราการดูดใช้เหล็กในรูปของเหล็กไฟโทซิเดโรฟอร์ (Fe Phytosiderophore, FeHMA) สูงกว่าประมาณ 6-8 เท่า จากในสภาพที่ได้รับเหล็ก

แต่อย่างไรก็ตามในอนาคตควรมีการทดสอบกลไกที่สามารถทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นในข้าวพันธุ์หอมพิษณุโลก 1 เป็นกลไกเดียวกับกลไกในการปลดปล่อยสารไฟโทซิเดโรฟอร์ของพืชตระกูลหญ้าหรือไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved