

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ช
สารบัญ	ฎ
สารบัญตาราง	ฐ
สารบัญภาพ	ด
บทที่ 1 คำนำ	1
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	3
1 ธาตุเหล็กในดินและความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็กในดิน	3
2 การดูดใช้และการขนส่งธาตุเหล็กในข้าว	4
2.1 การขนส่งธาตุเหล็กระยะสั้น	4
2.2 การขนส่งธาตุเหล็กระยะไกล	8
2.3 การเคลื่อนที่ได้ในโพลีเอม	10
2.4 การหมุนเวียนของธาตุเหล็ก	11
3 การสะสมธาตุเหล็กในส่วนต่างๆของพืช	12
4 การขาดธาตุเหล็ก	13
4.1 บทบาทของธาตุเหล็กในพืช	13
4.2 การตอบสนองของข้าวต่อสภาพดินที่มีธาตุเหล็กต่ำ	14
5 สมรรถภาพการใช้ธาตุเหล็ก	16
6 ความแตกต่างทางพันธุกรรมของการตอบสนองต่อการขาดธาตุเหล็ก	17
6.1 ความแตกต่างในพืชต่างชนิด	17
6.2 พืชต่างพันธุ์ในชนิดเดียวกัน	19
7 การควบคุมทางพันธุกรรมในการตอบสนองต่อการขาดธาตุเหล็ก	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	22
1 การเปรียบเทียบพันธุ์และสายพันธุ์ข้าวไทย 39 พันธุ์/สายพันธุ์ ภายใต้สภาพการขาดธาตุเหล็ก	22
2 ศึกษากลไกการตอบสนองทางสรีระต่อประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุเหล็ก ในพันธุ์ข้าวไทย	23
3 ศึกษากลไกการตอบสนองระดับโมเลกุลต่อประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุเหล็ก ในพันธุ์ข้าวไทย โดยวิธีทางอ้อม	25
3.1 การตอบสนองของพันธุ์ข้าวไทยและข้าวสาลีต่อการปลดปล่อย สารไฟโตเคโรฟอร	25
3.2 การตอบสนองของพันธุ์ข้าวไทยและข้าวสาลีต่อการปลดปล่อย สารไฟโตเคโรฟอรที่อายุ 30 วันหลังย้ายปลูกและที่ระยะการเจริญตาดอก	26
4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	27
บทที่ 4 ผลการทดลอง	28
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดลอง	114
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	119
เอกสารอ้างอิง	121
ภาคผนวก	129
ประวัติผู้เขียน	165

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ความแตกต่างด้านสภาพเคลื่อนที่ได้ของธาตุอาหารในฟิลเอ็ม	10
4.1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอ่อนที่สุดที่แผ่ขยายเต็มที่แล้ว (SPAD value) ในข้าวไทยทั้ง 39 พันธุ์ อายุ 60 วัน	28
4.2.1 อิทธิพลของระดับเหล็กในสารละลายต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ (SPAD unit) ที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก ที่ระยะตั้งท้อง และที่ ระยะสุกแก่	32
4.2.2 อิทธิพลของระดับเหล็กในสารละลายต่อจำนวนหน่อ (หน่อ/ต้น) ที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก ที่ระยะตั้งท้อง และที่ ระยะสุกแก่	34
4.2.3 อิทธิพลของเหล็กต่อน้ำหนักแห้งต้น (กรัม/ต้น) ที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก ที่ระยะตั้งท้อง และที่ ระยะสุกแก่	36
4.2.4 อิทธิพลของเหล็กต่อน้ำหนักแห้งราก (กรัม/ต้น) ที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก ที่ระยะตั้งท้อง และที่ ระยะสุกแก่	38
4.2.5 อิทธิพลของเหล็กต่อผลผลิตข้าว (กรัม/ต้น) ที่ระยะสุกแก่ (maturity)	39
4.2.6 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อความเข้มข้นเหล็กในราก (มิลลิกรัมเหล็ก/กิโลกรัม) ที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก ที่ระยะตั้งท้อง และที่ ระยะสุกแก่	41
4.2.7 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อความเข้มข้นเหล็กในใบอ่อนที่สุดที่แผ่ขยายเต็มที่ (มิลลิกรัมเหล็ก/กิโลกรัม) ที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก ที่ระยะตั้งท้อง และที่ ระยะสุกแก่	43
4.2.8 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อความเข้มข้นเหล็กในใบ (มิลลิกรัมเหล็ก/กิโลกรัม) ที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก ที่ระยะตั้งท้อง และที่ ระยะสุกแก่	45
4.2.9 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อความเข้มข้นเหล็กในในส่วนที่เหลือง (มิลลิกรัมเหล็ก/กิโลกรัม) ที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก ที่ระยะตั้งท้อง และที่ ระยะสุกแก่	47
4.2.10 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อความเข้มข้นเหล็กในเมล็ด (มิลลิกรัมเหล็ก/กิโลกรัม)	48
4.2.11 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณเหล็กในราก (มิลลิกรัมเหล็กต่อต้น) ที่ระยะเริ่มสร้างตาดอกที่ระยะตั้งท้อง และที่ ระยะสุกแก่	50

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.2.12 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณเหล็กในใบอ่อนที่สุดที่แผ่ขยายเต็มที่ (มิลิกรัมเหล็กต่อต้น) ที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก ที่ระยะตั้งท้อง และที่ ระยะสุกแก่	52
4.2.13 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณเหล็กในใบ (มิลิกรัมเหล็กต่อต้น) ที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก ที่ระยะตั้งท้อง และที่ ระยะสุกแก่	54
4.2.14 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณเหล็กในส่วนที่เหลือ (มิลิกรัมเหล็กต่อต้น) ที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก ที่ระยะตั้งท้อง และที่ ระยะสุกแก่	56
4.2.15 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณเหล็กในเมล็ด (มิลิกรัมเหล็กต่อต้น)	57
4.2.16 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณเหล็กในส่วนเหนือดินทั้งหมด (มิลิกรัมเหล็กต่อต้น) ที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก ที่ระยะตั้งท้อง และที่ ระยะสุกแก่	59
4.2.17 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อสมรรถภาพในการดูดใช้เหล็ก (mg Fe / g root dry weight) ที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก ที่ระยะตั้งท้อง และที่ ระยะสุกแก่	61
4.3.1.1 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ (SPAD value) ในใบอ่อนที่แผ่ขยายเต็มที่ ที่ 30 วันหลังย้ายปลูก	63
4.3.1.2 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อจำนวนหน่อ (หน่อ/ต้น) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูก	65
4.3.1.3 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อน้ำหนักแห้งต้น (กรัม/ต้น) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูก	67
4.3.1.4 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อน้ำหนักแห้งราก ที่ 30 วันหลังย้ายปลูก	69
4.3.1.5 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อความเข้มข้นเหล็กในราก (มิลิกรัมเหล็กต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง: mg Fe / kg) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูก	71
4.3.1.6 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อความเข้มข้นเหล็กในใบอ่อนที่แผ่ขยายเต็มที่ (มิลิกรัมเหล็กต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง: mg Fe / kg) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูก	73
4.3.1.7 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อความเข้มข้นเหล็กในส่วนที่เหลือ (มิลิกรัมเหล็กต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง: mg Fe / kg) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูก	74
4.3.1.8 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณธาตุเหล็กในราก (มิลิกรัมเหล็กต่อต้น) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูก	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.3.1.9 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณธาตุเหล็กในใบอ่อนที่แผ่ขยายเต็มที่ (มิลิกรัมเหล็กต่อต้น) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูก	78
4.3.1.10 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณธาตุเหล็กในส่วนที่เหลือ (มิลิกรัมเหล็กต่อต้น) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูก	80
4.3.1.11 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณธาตุเหล็กในส่วนเหนือดินทั้งหมด (มิลิกรัมเหล็กต่อต้น) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูก	81
4.3.1.12 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อสมรรถภาพในการดูดใช้เหล็ก (mg Fe / g root dry weight) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูก	83
4.3.2.1 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ (SPAD value) ในใบอ่อนที่แผ่ขยายเต็มที่ ที่ 30 วันหลังย้ายปลูกและที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก	86
4.3.2.2 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อจำนวนหน่อ (หน่อ/ต้น) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูก และที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก	88
4.3.2.3 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อน้ำหนักแห้งราก ที่ 30 วันหลังย้ายปลูก และที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก	90
4.3.2.4 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อน้ำหนักแห้งราก ที่ 30 วันหลังย้ายปลูก และที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก	92
4.3.2.5 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อความเข้มข้นเหล็กในราก (มิลิกรัมเหล็กต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูกและที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก	95
4.3.2.6 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อความเข้มข้นเหล็กในใบอ่อนที่แผ่ขยายเต็มที่ (มิลิกรัมเหล็กต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูกและที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก	98
4.3.2.7 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อความเข้มข้นเหล็กในส่วนที่เหลือ (มิลิกรัมเหล็กต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูกและที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก	101
4.3.2.8 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณธาตุเหล็กในราก (มิลิกรัมเหล็กต่อต้น) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูกและที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.3.2.9 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณธาตุเหล็กในใบอ่อนที่แผ่ขยายเต็มที่ (มีลิกรัมเหล็กต่อต้น) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูกและที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก	106
4.3.2.10 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณธาตุเหล็กในส่วนที่เหลือ (มีลิกรัมเหล็กต่อต้น) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูกและที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก	108
4.3.2.11 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อปริมาณธาตุเหล็กในส่วนเหนือดินทั้งหมด (มีลิกรัมเหล็กต่อต้น) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูกและที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก	110
4.3.2.12 อิทธิพลของระดับเหล็กต่อสมรรถภาพในการดูดใช้เหล็ก (mg Fe / g root dry weight) ที่ 30 วันหลังย้ายปลูกและที่ระยะเริ่มสร้างตาดอก	113

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 แสดงแบบการตอบสนองของรากต่อสภาพการขาดธาตุเหล็ก ในพืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่ไม่ใช่พืชตระกูลหญ้า (พวกที่ 1(strategy I)) : (R) เป็นตัวชักนำให้เกิดรีดักเตส, (TR) เป็นตัวขนส่งหรือเป็นช่องทาง สำหรับเฟอร์รัสไอออน (Fe(ii)), (1) กระตุ้นให้เกิดการปั๊มโปรตอนออกมา (proton efflux pump), (2) เพิ่มการปลดปล่อยสารรีดักเตสหรือสารคีเลต (reductants/chelators)	7
2.2 ภาพแสดงการตอบสนองของรากต่อสภาพการขาดธาตุเหล็กในพืชตระกูลหญ้า (graminaceous species) (พวกที่ 2 (strategy II)): (E) การสังเคราะห์และ การปลดปล่อยสารไฟโตซิเดโรเฟอร์ (phytosiderophores); (TR) เป็นตัวขนส่ง (translocator) ของเหล็กไฟโตซิเดโรเฟอร์ (Fe (III) phytosiderophores) ใน plasma membrane: โครงสร้างของไฟโตซิเดโรเฟอร์คือกรดมิวจินอิก และสารดังกล่าวจะเป็นคีเลตของเฟอร์ริกไอออน (Fe (III) chelate)	8
2.3 กระบวนการสังเคราะห์ไฟโตซิเดโรเฟอร์ (phytosiderophores) ในรากพืชที่ขาดเหล็ก	16
5.1 แสดงการจัดจำแนกการตอบสนองในการสร้างผลผลิตของข้าว	116