

ผลของเหล็กต่อผลผลิตและคุณภาพของข้าว^{1/}

Effects of iron on yield and quality of rice^{1/}

ผู้ทำสัมมนา

นายอภิทรัพย์ จำปาสา^{2/}

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี แก้วระหัน^{3/}

บทคัดย่อ

ธาตุเหล็กเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อมนุษย์มาก ถ้าขาดจะมีผลทำให้เกิดอาการ หงุดหงิด ความคิดความอ่านไม่แจ่มใส นอนไม่หลับ ความอ่อนเปลี้ยของกล้ามเนื้อ ผมหหลุด อาการเวียนศีรษะ ภูมิต้านทาน จึงมีแนวทางการศึกษาในการเพิ่มธาตุเหล็กในอาหารโดยเฉพาะข้าว ซึ่งเป็นอาหารหลัก ดังนั้นการสัมมนานี้ จึงรวบรวมผลของผลเหล็กต่อผลผลิตและคุณภาพของข้าว การปลูกข้าวในชุดดิน ร้อยเอ็ด ดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มและชุดดินพิมายที่ให้ปุ๋ยทางใบในอัตรา 0, 0.25, 0.5 และ 1 กก./ไร่ ในระยะแตกกอหรือระยะออกดอก เหล็กในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปทั้งหมดซึ่งเป็น องค์ประกอบของแร่ในดิน การฉีดพ่นเหล็กทางใบทำให้ผลผลิตเมล็ดของข้าวเพิ่มขึ้น และการปลูกข้าว ในอัตราที่แตกต่างกันได้แก่ 0, 2, 4, 8 และ 16 มก. เหล็ก/กก.ในดินนาชุดดินท่าตูม ชุดดิน ร้อยเอ็ด และชุดดินอุบล พบว่า การเจริญเติบโตตามอัตราที่ใช้ชนิดของดินและระยะการเจริญเติบโตของ โดย ถ้าเป็นดินที่เปอร์เซ็นต์ดินเหนียวมากใช้อัตราที่สูง 16 มก./กก ของชุดดินท่าตูม ในขณะที่ดินร้อยเอ็ด และอุบลที่ใช้อัตราที่ต่ำ (2หรือ4 มก/กก) ทำให้พบปริมาณเหล็กในข้าวที่ไม่ขัดสีสูงและพบผลผลิตมาก เช่นเดียวกันและระยะการเจริญเติบโตควรให้ในช่วงระยะตั้งท้องในอัตรา 0.5 กก./ไร่

คำสำคัญ: จุลธาตุอาหาร; ข้าว; ดินเนื้อปานกลาง

1/เอกสารประกอบรายวิชา 1201 480 สัมมนาทางพืชไร่

2/นักศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาควิชาพืชไร่คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3/อาจารย์ประจำภาควิชาพืชไร่คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

ข้าวเป็นธัญพืชสำคัญที่สุดในด้านโภชนาการและการได้รับแคลอรีของมนุษย์ ข้าวคิดเป็นพลังงานกว่า หนึ่งในห้าที่มนุษย์ทั่วโลกบริโภค ประเทศไทยรู้จักปลูกข้าวและบริโภคข้าวเป็นพืชอาหารหลักมาไม่ต่ำกว่า 5,000 ปีมาแล้ว การที่ข้าวเป็นพืชอาหารหลักของคนไทยมาเป็นระยะเวลายาวนานนี้ ดำรงชีพของคนไทย ต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบันในแต่ละปีประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 58 ล้านไร่ ผลผลิต รวมทั้งประเทศ ประมาณ 30 ล้านตัน ข้าวเปลือกโดยมีส่วนใช้บริโภคภายในประเทศ 21 ล้านตัน และส่งออกประมาณ 9 ล้านตัน และการจัดการธาตุอาหารของพืชมีความสำคัญต่อการสร้างผลผลิตและคุณภาพทางโภชนาการของข้าวเช่นเดียวกัน ธาตุเหล็ก (Fe) เป็นปัญหาทางด้านสาธารณสุขที่พบมากที่สุดในประเทศไทยและประเทศกำลังพัฒนาทั้งหลาย คือ โรคโลหิตจางจากการขาดธาตุเหล็ก โดยคนไทยไม่น้อยกว่า 40% เป็นโรคโลหิตจางจากการขาดธาตุ เหล็ก (กรมอนามัย, 2548) ประชากรโลก 1 ใน 3 เป็นโรคโลหิตจาง และ อีก 1 ใน 3 มีภาวะพร่องธาตุ เหล็ก แต่ยังไม่มีการโลหิตจาง โรคโลหิตจางมีสาเหตุมาจากร่างกายขาดธาตุเหล็กเป็นส่วนใหญ่ กล่าวคือ ร่างกายมีการสร้างเม็ดเลือดแดงไม่เพียงพอ เนื่องจากได้รับธาตุเหล็กจากอาหารหรือดูดซึมธาตุ เหล็กไม่เพียงพอ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อระบบการเรียนรู้ บุคลิกภาพและการเจริญเติบโตของเด็กทารก เด็กก่อนวัยเรียน และเด็กวัยเรียน กระทั่งต่อระบบภูมิคุ้มกันโรคและการเจ็บป่วยในทุกกลุ่มอายุ

การบริโภคข้าวที่ขาดธาตุเหล็กส่งผลให้เกิดการขาดธาตุเหล็กต่อผู้บริโภคข้าว เกิดอาการ เช่น รู้สึกหงุดหงิด ความคิดความอ่านไม่แจ่มใส นอนไม่หลับ ความอ่อนเปลี้ยของกล้ามเนื้อ ผมหด อาการเวียนศีรษะ ภูมิต้านทานแยลง การขาดธาตุเหล็กอย่างต่อเนื่องอาจลามเป็น ภาวะโลหิตจางและความอ่อนเปลี้ยที่เพิ่มขึ้น ภาวะเกล็ดเลือดมากสามารถเกิดขึ้นได้ด้วย การขาดธาตุเหล็กในเลือดเป็นเหตุอย่างหนึ่งที่ทำให้บุคคลไม่ สามารถให้เลือด โดยข้าวจะแสดงอาการขาดแคลนหาก ความเข้มข้นของเหล็กในใบ ข้าวที่ได้รับเหล็กไม่ เพียงพอจะแสดงอาการในระยะเริ่มต้นของการเจริญเติบโต โดยจะพบใบอ่อนเป็นสีเหลือง ต้นข้าวแคระแกรน จำนวนการติดเมล็ดจะลดลง ถ้าอาการรุนแรงต้น ข้าวก็จะกลายเป็นสีเหลืองและตาย (Dobermann and Fairhurst, 2000) การเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวจะทำให้การได้รับธาตุเหล็กจากการบริโภคข้าวเป็น อาหารหลักใน แต่ละวันเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยเฉพาะในกลุ่มประชากรที่มีปัญหาเกี่ยวกับโรคโลหิตจาง เนื่องมาจากการขาดธาตุเหล็ก แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวเพียงอย่างเดียวไม่ได้ หมายความว่าความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็กจะสูงเพิ่มขึ้นไปด้วย ดังนั้นสมาคมบับนี้จึงได้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาและรวบรวมข้อมูลผลของเหล็กต่อการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตของข้าว

ข้าว

ข้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวตระกูลหญ้า Peaceae หรือ Gramineae จัดอยู่ในสกุล (Genus) *Oryza* ข้าวที่มนุษย์ใช้บริโภคมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ข้าวปลูกเอเชีย (*Oryza sativa*) และข้าวปลูกแอฟริกา (*Oryza glaberrinna*) ลักษณะทั่วไปของข้าวประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่อยู่ใต้ดินเรียกว่ารากและส่วนที่อยู่เหนือดินเรียกว่า ลำต้น รากข้าวเป็นระบบรากฝอย ทำหน้าที่ยึดลำต้นไม่ให้ล้มดู่น้ำและธาตุอาหารจากดิน ลำต้นข้าวประกอบด้วยใบและปล้องหลายปล้องเชื่อมต่อกันด้วยข้อ ในระยะกล้าจะมองเห็นส่วนของปล้องหรือข้อไม่ชัดเจน เนื่องจากยังไม่ยืดตัวส่วนในระยะแตกกอ ปล้องจะยืดทำให้มองเห็นชัดเจน สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการยืดของปล้องของต้นข้าวได้แก่ ระดับน้ำ แสงสว่าง จำนวนประชากรของต้นข้าว ข้อเป็นจุดกำเนิดของตาใบ ตายอด และตาราก ส่วนของตาใบจะเจริญพัฒนาเป็นใบ ส่วนตายอดจะพัฒนาเป็นหน่อและรวง สำหรับตารากจะพัฒนาเป็นราก (กรมการข้าว, 2547)

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย และยังเป็นอาหารหลักของคนไทยและคนในทวีปเอเชีย ข้าว นอกจากจะใช้บริโภคเป็นอาหารหลักในชีวิตประจำวันของมนุษย์แล้วยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นอาหารอย่างอื่นได้เช่น ขนม เครื่องดื่ม และอาหารสัตว์เป็นต้นในปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าว 62,079,904 ไร่ ผลผลิต รวม 28,170,634 ตัน และผลผลิตเฉลี่ย 436.37 กก./ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) ซึ่งในปี พ.ศ.2557 ประเทศไทยมีพื้นที่ที่ประสบกับความแห้งแล้งประมาณ 1,179,175 ไร่ โดยเป็นมูลค่าความเสียหายของผลผลิต 663,708.86 ตัน คิดเป็นมูลค่า 5,532 ล้านบาท ซึ่งปัญหาหนึ่งในการผลิตข้าวคือสภาวะความแห้งแล้ง (drought) หรือข้าวขาดน้ำซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวลดลง (Kumar et al., 2008) ผลผลิตของข้าวที่กระทบแล้งในช่วงต้นฤดูปลูกหรือในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบจะลดลงน้อยกว่าข้าวที่กระทบแล้งในช่วงปลายฤดูปลูกเพราะข้าวที่กระทบแล้งในช่วงต้นฤดูปลูกมีโอกาสในการฟื้นตัวได้มากกว่า อย่างไรก็ตามการขาดน้ำในช่วงต้นฤดูปลูกทำให้ข้าวแตกกอน้อย (Bernier et al., 2008) พื้นที่ใบลดลง (Farooq et al., 2010) ส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งทั้งหมดลดลง (Kumar et al., 2006) แนวทางการแก้ปัญหาข้าวกระทบแล้งนอกจากจะใช้ระบบการจัดการชลประทานและการใช้พันธุ์ข้าวทนแล้งเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งข้าวพันธุ์ทนแล้งจะสามารถเจริญเติบโตให้ผลได้ในสภาพที่น้ำมีน้อยหรือขาดน้ำบางช่วงเวลา

การเจริญเติบโตของข้าว

การเจริญเติบโตของข้าว แบ่งได้ดังนี้

- 1.การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ แบ่งออกเป็น

-ระยะกล้า เริ่มตั้งแต่เมล็ดข้าวเริ่มงอกจนถึงมีใบ 5-6 ใบ หรือประมาณ 20 วัน หลังหว่าน

-ระยะแตกกอ เริ่มตั้งแต่มีการปักดำข้าวจนถึงข้าวสร้างรวงอ่อน หรือประมาณ 30-50 วัน หลังปักดำ

2.การเจริญเติบโตทางระบบสืบพันธุ์ จะใช้เวลาประมาณ 30-50 วัน หลังข้าวแตกกอสูงสุด หรือแตกกอเต็มที่ แบ่งออกเป็น

-ระยะสร้างรวงอ่อน เป็นช่วงที่ข้าวมีการเจริญเติบโตเต็มที่ ลำต้นจะเปลี่ยนจากลักษณะแบน เป็นต้นกลม

-ระยะตั้งท้อง ระยะนี้จะเห็นต้นข้าวมีลักษณะกลมพองขึ้นอย่างชัดเจน และมีใบธงปรากฏให้เห็น

-ระยะออกดอกและผสมพันธุ์ เป็นช่วงที่ข้าวจะส่งรวงพันจากกาบใบ ดอกข้าวจะบานและละอองเกสรตัวผู้จะร่วงลงบนเกสรตัวเมีย

3.การเจริญเติบโตทางเมล็ด

เริ่มจากการผสมเกสรของดอกข้าว ภายในเมล็ดข้าวมีลักษณะคล้ายน้ำมันแล้วจะเปลี่ยนเป็นแป้งแข็งจนกระทั่งสุกแก่ ในระยะนี้จะใช้เวลาประมาณ 30-35 วัน

องค์ประกอบผลผลิตของข้าว

โดยบันทึก จำนวนก่อดอพื้นที่ จำนวนรวงต่อกอ จำนวนเมล็ดดีต่อรวง จำนวนเมล็ดลีบต่อรวง น้ำหนักเมล็ดแห้งต่อรวง น้ำหนัก 1,000 เมล็ด จำนวนเมล็ดต่อรวง ผลผลิตเมล็ดต่อไร่ และ น้ำหนักฟางข้าวแห้ง ดัชนีการเก็บเกี่ยว (ด้วยรัก และคณะ, 2555)

การใส่ปุ๋ยข้าว

1.ดินร่วนทรายหรือดินทราย

การใส่ปุ๋ยเคมี

การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1

- ข้าวไวต่อช่วงแสงใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 20-25 กิโลกรัมต่อไร่ในประมาณ 20-30 วัน หลังข้าวงอกหากไม่มีปุ๋ย 16-16-8 ให้ใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตสูตรต่างๆ เช่น 16-20-0, 18-22-0, 20-20-0 และ 18-46-0 แทนได้โดยใส่อัตรา 20-25 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) อัตรา 5-10 กิโลกรัมต่อไร่

- ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงใส่ปุ๋ยสูตร 16-16-8 อัตรา 30-35 กิโลกรัมต่อไร่ประมาณ 20-30 วัน หลังข้าวงอก หากไม่มีปุ๋ย 16-16-8 ให้ใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตสูตรต่างๆ เช่น 16-20-0, 18-22-0,

20-20-0 และ 18-46-0 แทนได้โดยใส่อัตรา 30-35 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) อัตรา 5-10 กิโลกรัมต่อไร่

การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 2

- ข้าวไวต่อช่วงแสงใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ หรือปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะกำเนิดช่อดอก หรือ 30 วันก่อนข้าวออกดอก

- ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ หรือปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) อัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะกำเนิดช่อดอก หรือ 30 วันก่อนข้าวออกดอก

2.ดินร่วนเหนียวหรือดินเหนียว

การใส่ปุ๋ยเคมี

การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1

- ข้าวไวต่อช่วงแสงใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตสูตรต่างๆ เช่น 16-20-0, 18-22-0, 20-20-0 และ 18-46-0 อัตรา 20-25 กิโลกรัมต่อไร่ ไร่ ประมาณ 20-30 วันหลังข้าวงอก

- ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟตสูตรต่างๆ เช่น 16-20-0, 18-22-0, 20-20-0 และ 18-46-0 อัตรา 30-35 กิโลกรัมต่อไร่ ไร่ ประมาณ 20-30 วันหลังข้าวงอก

การใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 2

- ข้าวไวต่อช่วงแสงใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ หรือปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะกำเนิดช่อดอก หรือ 30 วันก่อนข้าวออกดอก

- ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ หรือปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) อัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่ ที่ระยะกำเนิดช่อดอก หรือ 30 วันก่อนข้าวออกดอก

ธาตุเหล็ก

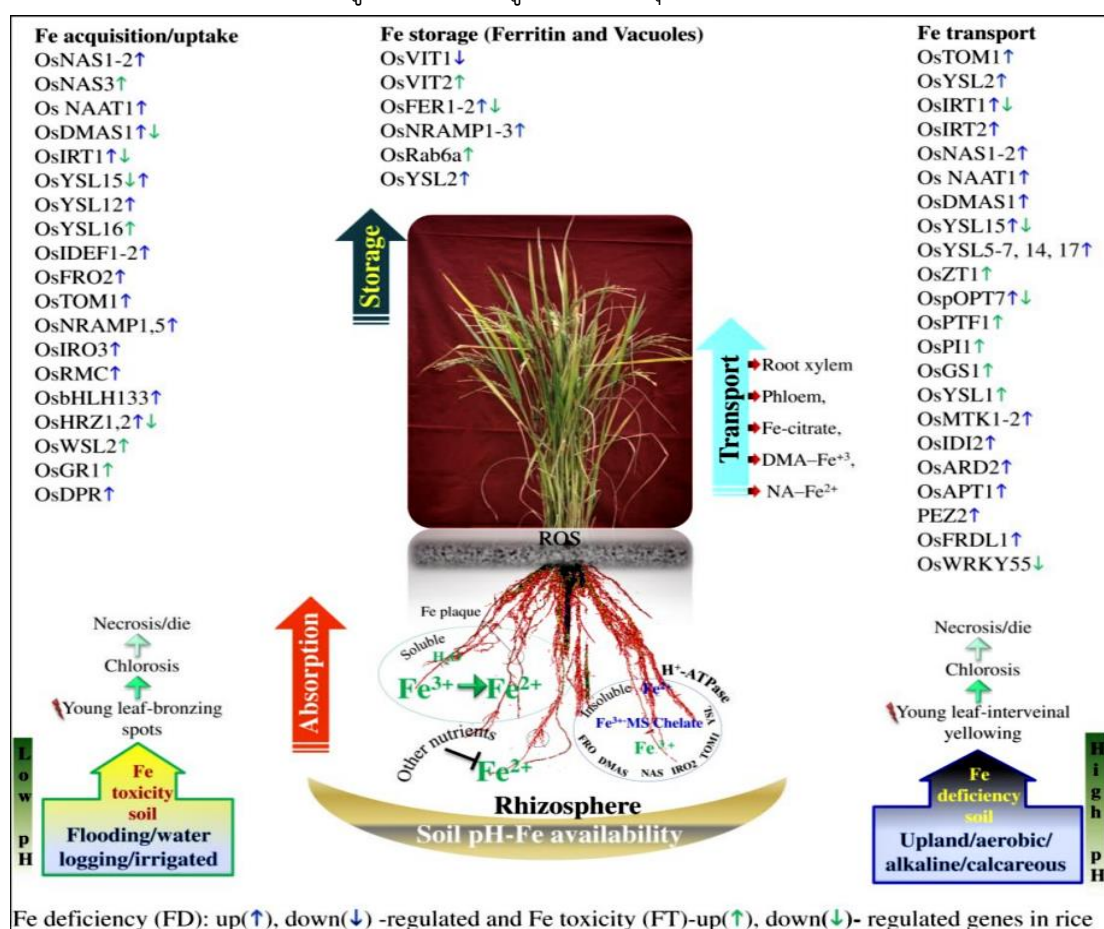
ชนิดของจุลธาตุอาหารที่พืชต้องการใช้ประโยชน์

หน้าที่ของเหล็กภายในต้นพืชแสดงบทบาทสำคัญมากมายหลายประการ การขาดแคลนส่วนใหญ่ออกให้เกิดลักษณะของใบเปลี่ยนแปลงไปเป็นสีเหลืองจากเกือบทั้งหมดที่เรียกว่า อาการคลอโรซิสตามปกติทั่วไปถึงแม้ว่าเราจะพบธาตุเหล็กสะสมอยู่อย่างอุดมสมบูรณ์มาก ภายในทุกบริเวณพื้นที่ดินก็ตาม แต่ระดับความเป็นประโยชน์ของเหล็กที่จะถูกปลดปล่อยออกมาให้รากพืชได้นำไปใช้เสริมสร้างส่วนต่างๆ มักเป็นไปในลักษณะที่ค่อนข้างต่ำมากแทบทั้งสิ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพของดินแคลคาร์เรียสที่มีค่า pH สูงด้วยแล้วต้นพืชแทบไม่สามารถดึงดูดนำธาตุอาหารเหล็กไปใช้เพื่อการดำรงชีพหรือสร้างความเจริญเติบโตได้มากเท่าใด ในกรณีพืชจะแสดงอาการเหล็กคลอโรซิสปรากฏออกมาให้เห็นอย่างชัดเจน นอกจากนี้อาการเหล็กคลอโรซิสที่เกิดแก่ต้นพืชยังเกี่ยวข้องอยู่กับการช่วยลด

ปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สะสมอยู่ภายในใบอีกด้วยเช่นกัน และอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงหรือกระบวนการสำคัญที่สุดทำให้ต้นพืชที่ปลูกอยู่ในไร่นามีอัตราการเติบโตต่ำลง พร้อมทั้งลดประสิทธิภาพต่อการสร้างผลผลิตทางเศรษฐกิจเป็นไปได้อย่างทุกขณะ

พื้นฐานของความคลาดเคลื่อนของความเป็นพิษของเหล็กและการขาดแคลนธาตุเหล็ก

ต้นข้าวใช้วิธีการต่างๆ เพื่อแนวทางการเอาชนะการขาดแคลนธาตุเหล็กเช่น กิจกรรมรีดักเทส การหลั่งสารหลั่งของราก การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างรากและการกระตุ้นการขนส่งเหล็ก ความทนทานต่อการขาดแคลนธาตุเหล็กในพันธุ์ข้าว มีความเกี่ยวข้องกับการหลั่งของสารหลั่งรากที่เพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยในการละลายเหล็กและทำให้เหล็กเข้าถึงรากได้อย่างอิสระ ซึ่งจะถูกส่งไปยังส่วนต่างๆ ของพืช โดยการขนส่งไปยังส่วนต่างๆ กิจกรรมจุลินทรีย์ดินเช่น การทำให้เป็นกรดและการหลั่งของโมเลกุลธาตุเหล็ก ส่งผลต่อการละลาย การดูดซับและการดูดซึมของธาตุเหล็กจากดิน (ภาพที่ 1)



ที่มา: Mahender et al.2019

รูปภาพที่ 1 แผนผังของความเป็นพิษของเหล็ก (FT) และยืนความทนทานต่อการขาดแคลนธาตุเหล็ก (FD) ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงในระดับการถอดความ

บทบาทของธาตุเหล็กต่อการเจริญเติบโต

Mahender (2019) รายงานว่า เหล็กมีบทบาทในการควบคุมหน้าที่ที่สำคัญในพืช การหายใจของไมโทคอนเดรีย การสังเคราะห์ทางชีวภาพของนิวคลีโอไทด์ การสังเคราะห์ด้วยแสง การดูดซึมไนโตรเจน การควบคุมฮอร์โมน การเคลื่อนย้ายอาหาร ฯลฯ เป็นปัจจัยร่วมที่สำคัญสำหรับเอนไซม์หลายชนิด Fe ช่วยในการควบคุมความเสถียรภาพของโปรตีนและยังช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเช่น การให้น้ำ การคายน้ำปฏิกิริยาไฮดรอกซิเดชัน การเร่งปฏิกิริยาที่ขึ้นกับปรอทและการเร่งปฏิกิริยาโฟโตรีดอกซ์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการล้างพิษของ Fe ส่วนเกิน จึงเป็นหนึ่งในแร่ธาตุที่จำเป็นต่อพืชเป็นอย่างมากการอยู่รอด ตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นส่วนเกินของ Fe^{2+} ภายในเซลล์พืชอาจเร่งขึ้นปฏิกิริยารีดอกซ์หลายอย่าง Fe²⁺ ทำหน้าที่เป็นผู้ให้อิเล็กตรอนและกลไกการป้องกันสารต้านอนุมูลอิสระมากมายของ ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเทส, คาตาเลส, โพลีฟีนอล ออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดส มีบทบาทสำคัญในการป้องกันจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน Fe- ส่งผลให้เกิดการออกฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้เป็นตัวกำหนดเพื่อระบุพันธุ์ข้าวที่ทนต่อ FT พืชต้องการประมาณ 10^{-9} ถึง 10^{-4} M ของ Fe สำหรับการเจริญเติบโตและการพัฒนาที่เหมาะสมที่สุดและเพื่อให้วงจรชีวิตสมบูรณ์มากกว่า 90% ของ Fe ทั้งหมดในพืชจะถูกเก็บไว้ในคลอโรพลาสต์ เพื่อรักษาความสมบูรณ์ของโครงสร้างและการทำงานของไทลาคอยด์เพื่อทำการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างแข็งแรง

ผลผลิตของข้าว

ณัฐวดี และคณะ (2564) ผลของเหล็กและแมงกานีสต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาต่างชนิด รายงานว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กในอัตราที่แตกต่างกันไม่มีผลทางสถิติต่อน้ำหนักแห้งต่อชั่งข้าว (27.0-41.9 ก./กระถาง) เปอร์เซ็นต์เมล็ดดี (ร้อยละ 68.3-87.0) และน้ำหนัก 100 เมล็ด (1.27-2.11 ก.) (Table 1) อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยเหล็กส่งเสริมการสร้างผลผลิตของข้าวที่ปลูกในชุดดินอุบลใต้ในระดับหนึ่ง จะให้น้ำหนักเมล็ดข้าวที่ความชื้นร้อยละ 14 ของข้าวในดินนี้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 17.2 ก./กระถาง ขณะที่ดำรับที่เหลือให้น้ำหนักเมล็ดข้าวไม่แตกต่างจากดำรับควบคุม (6.93-8.37 ก./กระถาง) ยกเว้นการใส่เหล็กในอัตรา 8 มก./กก. ที่ให้น้ำหนักเมล็ดข้าวต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 5.17 ก./กระถาง (Table 1) และให้ผลคล้ายคลึงกับในชุดดินร้อยเอ็ดที่การใส่เหล็กมีแนวโน้มส่งเสริมให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (18.5-21.2 เปรียบเทียบกับ 17.0 ก./กระถาง) โดยเฉพาะการใส่ในอัตรา 4 มก./กก. แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 1) นอกจากนี้การใส่เหล็กในทุกอัตราส่งเสริมการสร้างรวงของข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดโดยทำให้จำนวนรวงเพิ่มขึ้น จากดำรับควบคุมทางสถิติยกเว้นการใส่เหล็กในอัตรา 4 มก./กก. ที่ให้ค่าไม่แตกต่างจากดำรับควบคุม (8 รวง/กระถาง) และจำนวนรวงจะมีค่าสูงสุดไม่แตกต่างกันอยู่ในพิสัย 11.0-11.3 รวง/กระถาง เมื่อใส่เหล็กในอัตราสูงถึง 8 และ 16 มก./กก.

ตารางที่ 1 ผลของอัตราปุ๋ยธาตุเหล็กต่อองค์ประกอบผลผลิตของข้าวหอมมะลิ 105 ที่ปลูกใน ชุดดินท่าตูม (Tt), ชุดดินร้อยเอ็ด (Re) และชุดดินอุบล (Ub)

Fe Rate (mg/kg ⁻¹)	Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub
	Filled grain (%)			Number of panicle (panicle/pot ⁻¹)			Grain yield at 14% (g/pot ⁻¹)		
0	79.7	78.0	82.7	9.0	8.0b	9.0	24.6	17.0	8.37b
2	81.3	74.0	87.0	11.0	9.0ab	10.0	21.4	18.9	6.93bc
4	78.7	68.3	84.7	8.7	8.0b	10.3	20.1	21.2	17.2a
8	76.0	71.0	87.0	8.7	11.0a	10.0	23.7	14.7	5.17c
16	81.0	79.7	84.0	7.7	11.3a	7.7	21.0	18.5	8.10b
F-test	ns	Ns	Ns	ns	*	ns	ns	Ns	**
% cv	4.9	5.9	7.4	12.9	13.0	19.4	14.6	21.5	15.0
	100-grain wt. at 14 (g)			Dry stover wt. (g/pot ⁻¹)					
0	1.58	1.27	1.87	41.9	38.6	29.7			
2	1.43	1.60	1.88	38.8	36.9	31.2			
4	1.49	1.44	2.11	36.3	36.8	31.6			
8	1.48	1.37	1.39	38.9	37.3	30.7			
16	1.51	1.35	1.78	39.1	37.7	27.0			
F-test	ns	Ns	ns	ns	ns	ns			
% cv	9.4	17.8	18.8	7.4	8.6	11.6			

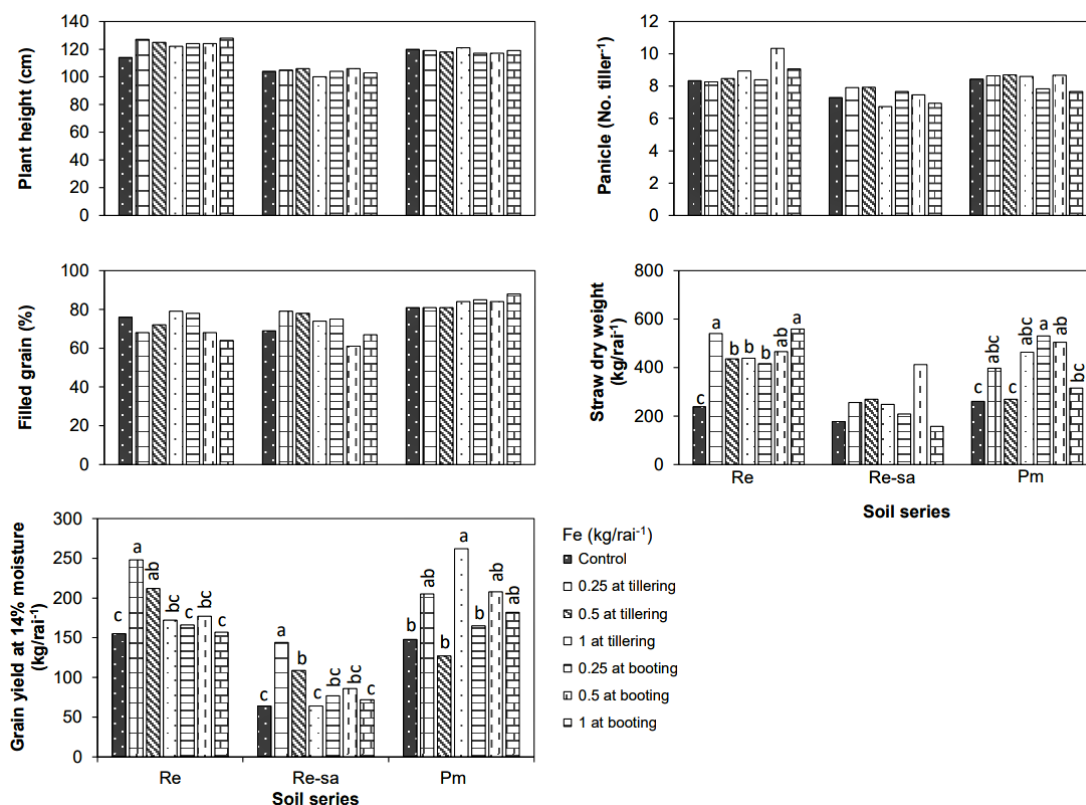
ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, ** = ข้อมูลมีความแตกต่างทางสถิติ

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก ณัฐวดี และคณะ (2564)

ผลของปุ๋ยเหล็กต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าว

ชิตีฮาวา และคณะ (2564) ศึกษาสถานะของเหล็กในพื้นที่กุลาร้องไห้และการตอบสนองของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่อ ปุ๋ยเหล็กที่ให้ทางใบ รายงานว่า การให้ปุ๋ยเหล็กทางใบไม่มีผลต่อความสูงจำนวนรวง และเปอร์เซ็นต์เมล็ดดีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 แต่ส่งผลให้น้ำหนักต่อชั่งแห้งแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นในดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม (157-412 กก./ไร่) โดยได้รับควบคุมที่ไม่มี การให้เหล็กทางใบให้น้ำหนักต่อชั่งแห้งต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 238 และ 261 กก./ไร่ ในชุดดินร้อยเอ็ด และชุดดินพิมายตามลำดับ (Figure 2) การฉีดพ่นเหล็กในอัตรา 0.25 กก./ไร่ที่ ระยะแตกกอจะให้น้ำหนักแห้งต่อชั่งของข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 541 กก./ไร่ ขณะที่เมื่อฉีดพ่นในอัตราที่เพิ่มขึ้นจะให้น้ำหนักแห้งต่อชั่งลดลง ไม่แตกต่างกัน (436-439

กก./ไร่) แต่การฉีดพ่นเหล็กที่ระยะออกดอกกลับให้น้ำหนักแห้งต่อชั่งเพิ่มขึ้นตามอัตราเหล็กทางสถิติ (416-466 กก./ไร่) และให้น้ำหนักต่อชั่งแห้งสูงสุดเช่นกันเมื่อทำการฉีดพ่นเหล็กในอัตรา 1 กก./ไร่ ที่ระยะออกดอกเท่ากับ 559 กก./ไร่ ส่วนในชุดดินพินายพบว่าการฉีดพ่นเหล็กที่ระยะออกดอกจะให้น้ำหนักต่อชั่งสูงกว่าการฉีดพ่นที่ระยะแตกกอทาง สถิติเมื่อทำการฉีดพ่นในอัตราที่เทียบเท่ากันยกเว้นในอัตรา 1 กก./ไร่ (316 เปรียบเทียบกับ 463 กก./ไร่) โดยการฉีดพ่น เหล็กในอัตรา 0.25 กก./ไร่ ที่ระยะออกดอกให้น้ำหนักแห้งต่อชั่งในดินนี้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 531 กก./ไร่ ขณะที่การฉีดพ่นเหล็กในอัตรา 0.5 กก./ไร่ ที่ระยะแตกกอให้น้ำหนักต่อชั่งไม่แตกต่างจากตำรับควบคุมซึ่งมีค่าต่ำที่สุด (Figure 2) แสดงให้เห็นว่าควรให้เหล็กแก่ข้าวที่ปลูกในชุดดินนี้ที่ระยะออกดอกอาจเนื่องจากสภาพพีเอชของดินที่เป็นด่างอาจทำให้เหล็กละลายออกมาในระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวไม่เพียงพอ การให้ปุ๋ยเหล็กทางใบส่งเสริมการสร้างผลผลิตของข้าวอย่างชัดเจน เนื่องจากตำรับควบคุมให้ผลผลิตเมล็ดต่ำที่สุดอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 155, 64.5 และ 148 กก./ไร่ ในชุดดินร้อยเอ็ด ดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม และชุดดินพินายตามลำดับ (Figure 2) นอกจากนี้การฉีดพ่นเหล็กในอัตราที่เทียบเท่าที่ระยะแตกกอจะให้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่าการฉีดพ่น ที่ระยะออกดอกทางสถิติ(Figure 2) โดยการฉีดพ่นเหล็กในอัตรา 0.25 กก./ไร่ ที่ระยะแตกกอทำให้ได้ผลผลิตเมล็ดในชุดดินร้อยเอ็ดและดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มสูงสุดเท่ากับ 248 และ 144 กก./ไร่ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลผลิตข้าวที่ปลูกในดินทั้งสองลดลงตามอัตราของเหล็กที่เพิ่มขึ้นในทั้งสองระยะที่ทำการฉีดพ่น ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่าปุ๋ยเหล็กที่ให้เพิ่มเติมอาจเป็นพิษต่อข้าวที่ โดยเฉพาะการใส่ในอัตรา 1 กก.เหล็ก/ไร่ ถึงแม้ว่าเหล็กจะเพิ่มผลผลิตข้าวแต่ข้าวในชุดดินพินายส่วนใหญ่ไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยเหล็กทางใบเนื่องจากในเกือบทุกตำรับการทดลองให้ผลผลิตข้าวต่ำไม่แตกต่างอย่างชัดเจนจาก ตำรับควบคุมอยู่ในพิสัย 127-208 กก./ไร่ ยกเว้นการฉีดพ่นเหล็กที่ระยะแตกกออัตรา 1 กก./ไร่ ให้ผลผลิตเมล็ดข้าวสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 262 กก./ไร่ (Figure 2) ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินพินายมีสมบัติดินที่แตกต่างจากชุดดินทั้งสองอย่างชัดเจน โดยเฉพาะปริมาณดินเหนียวจึงมีแหล่งที่ปลดปล่อยให้เหล็กออกมาโดยเฉพาะในสภาพน้ำขังที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพรีดอกซ์ของดิน ทำให้เหล็กละลายออกมาเป็นประโยชน์ได้เพียงพอต่อความต้องการของข้าว อย่างไรก็ตามผลผลิตเมล็ดและต่อชั่งข้าวในดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มมีค่าต่ำกว่าในดินอื่นๆ อย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเป็นผลจากระดับความเค็มและอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินที่มีค่าสูงกว่าในดินอื่นๆ อย่างชัดเจนจึงส่งผลกระทบต่อข้าว



ที่มา: ชิตีฮาวา และคณะ (2564)

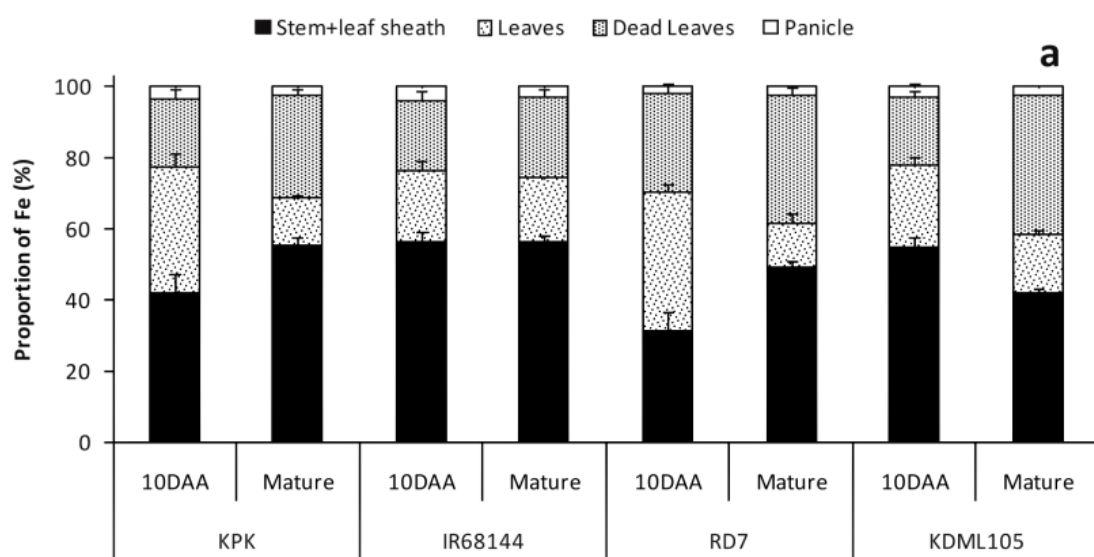
ภาพที่ 2 การเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าว ที่ได้รับผลกระทบจากอัตราที่แตกต่างกัน ที่ปลูกในดินร่อยเอ็ด (Re) ดินเค็มร่อยเอ็ด (Re-sa) และดินพินาย (Pm)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของข้าว

ช่อเพชร และคณะ (2558) การปันส่วนธาตุเหล็กและสังกะสีในระยะเต็มเมล็ดของต้นข้าว รายงานว่า การแบ่งปันธาตุเหล็กในต้นข้าวมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวส่วนต่างๆ ของต้นข้าวและระยะ เจริญเติบโต (Table 2, Figure 3a) พันธุ์ KPK และ IR68144 ซึ่งมีความเข้มข้นของธาตุเหล็กในเมล็ดสูง พบว่าที่ระยะสุกแก่ KPK มีการปันส่วนไปยังลำต้นและใบตายเพิ่มขึ้นและลดลงในใบอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ 10DAA แต่ IR68144 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในการปันส่วนไปยังส่วนของต้นข้าวระหว่างสองระยะเจริญ RD7 และ KDML105 ซึ่งมีความเข้มข้นธาตุเหล็กในเมล็ดต่ำที่ระยะสุกแก่ RD7 มีการปันส่วนไปยังลำต้นและกาบใบและใบตายเพิ่มขึ้น และลดลงในใบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ KDML105 มีการปันส่วนไปยังลำต้นและกาบใบและใบลดลงแต่การปันส่วนไปที่ใบตายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การปันส่วนไปยังรวงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในข้าวทั้ง 4 พันธุ์

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้าวที่มี Fe ระหว่าง 4 ยีนของข้าว

Fe partitioning	Fe partitioning	
	df	P
Genotype (G)	3	ns
Plant part (PP)	3	<0.001
Harvest (H)	1	ns
G*PP	9	<0.001
G*H	3	ns
PP*H	3	<0.001
G*PP*H	9	<0.001
4x4x2 Factorial in CRD		

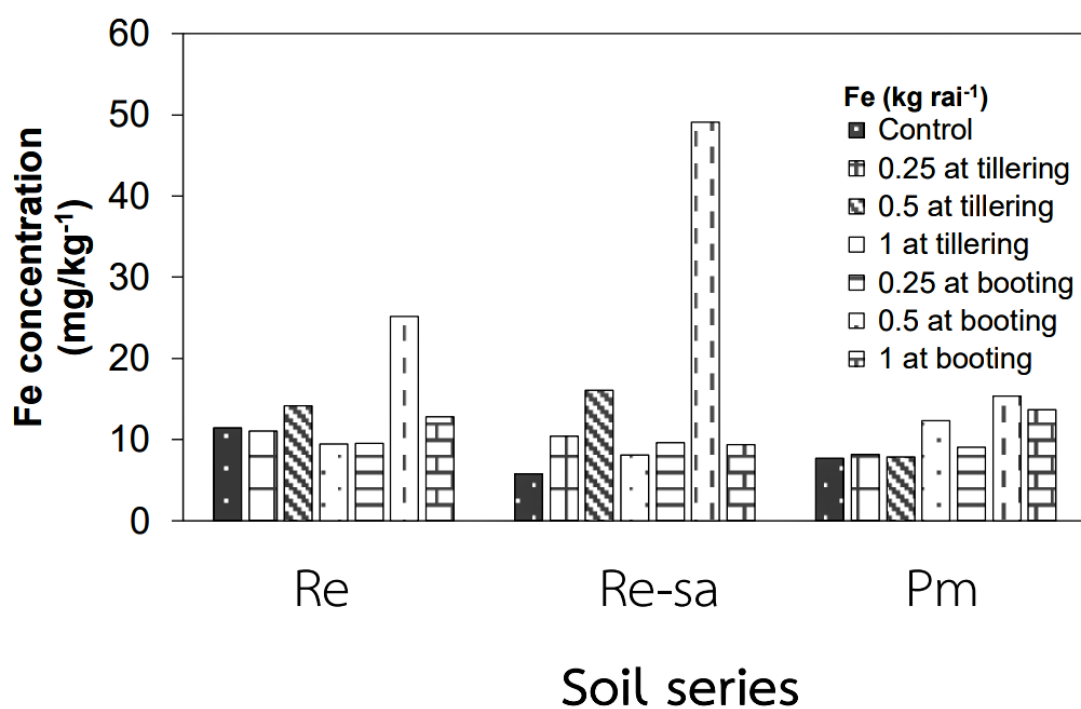


ที่มา: ช่อเพชร และคณะ (2558)

ภาพที่ 3 การแบ่งส่วนของ Fe (a) ที่ 10DAA และสุกในส่วนของพืช

คุณภาพเชิงโภชนาการของข้าว

ชิตีฮาวา และคณะ (2564) ศึกษาสถานะของเหล็กในพื้นที่กุลาร้องไห้และการตอบสนองของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่อ ปุ๋ยเหล็กที่ให้ทางใบ รายงานว่า จากปริมาณเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเหล็กเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ที่มีบทบาทต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของมนุษย์โดยแหล่งของธาตุทั้งสองที่มนุษย์ได้รับส่วนใหญ่ได้มาจากเมล็ดธัญพืชโดยเฉพาะข้าว การให้ปุ๋ยเหล็กทางใบที่ระยะแตกกอหรือระยะออกดอกไม่มีผลต่อความเข้มข้นของเหล็กในข้าวกล้องโดยความเข้มข้นของเหล็กอยู่ในพิสัย 9.42-25.1, 5.77-49.1 และ 7.67-15.4 มก./กก. สำหรับในชุดดินร้อยเอ็ด ดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มและชุดดินพินายตามลำดับ (Figure 3) อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของเหล็กในข้าวกล้องอยู่ในพิสัยเดียวกับที่พบในธัญพืช รายงานพิสัยความเข้มข้นของเหล็ก 6-24 มก./กก. ดินที่ทำการศึกษามีปริมาณเหล็กในดินมีค่าสูงเกินระดับวิกฤตสำหรับข้าวอย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามปริมาณเหล็กในดินเหล่านี้อาจยังคงไม่เพียงพอสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 เนื่องจากข้าวตอบสนองเชิงบวกต่อปุ๋ยเหล็กที่ให้ทางใบอย่างชัดเจนหรืออาจเนื่องจากการปลูกข้าวในสภาพขังน้ำจะส่งเสริมให้เหล็กที่เป็นองค์ประกอบของแร่ในดินละลายออกมาจนทำอันตรายต่อรากข้าวทำให้ไม่สามารถดูดกินเหล็กทางดิน การให้ปุ๋ยเหล็กทางใบจึงส่งเสริมการดูดใช้ธาตุเหล็กของข้าวจึงทำให้มีการเจริญเติบโตและผลผลิตเพิ่มขึ้น



ที่มา: ชิตีฮาวา และคณะ (2564)

ภาพที่ 3 ผลของปุ๋ยเหล็กทางใบต่อความเข้มข้นของ Fe ในข้าวกล้องของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในชุดดินร้อยเอ็ด (Re) ชุดดินเค็มร้อยเอ็ด (Re-sa) และ ชุดดินพินาย (Pm)

สรุป

จากการให้ธาตุเหล็กต่อผลผลิตข้าวแตกต่างกันที่ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินท่าตูม ชุดดินร้อยเอ็ด ชุดดินอุบลและในพื้นที่ถูกร้องไห้ ซึ่งข้าวแสดงการตอบสนองเชิงบวกต่อเหล็กในระดับหนึ่งและเห็นผลอย่างชัดเจนในชุดดินอุบลโดยการใส่เหล็กจะเพิ่มน้ำหนักเมล็ดข้าวและจำนวนรวงของข้าว ในขณะที่ดินในพื้นที่ถูกร้องไห้ ที่มีปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดินที่พืชดูดใช้ได้ทันทีมีอยู่ในสัดส่วนที่น้อยกว่าเหล็กทั้งหมดอย่างชัดเจน แต่ยังคงอยู่ในระดับที่สูงกว่าระดับวิกฤตในดินสำหรับข้าว ถึงแม้ว่าการฉีดพ่นเหล็กทางใบไม่มีผลต่อจำนวนเมล็ดดี แต่ส่งเสริมให้ข้าวดูดใช้ธาตุอาหารหลักเพิ่มขึ้นจึงทำให้น้ำหนักตอซังแห้งและผลผลิตเมล็ดของข้าวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนแสดงให้เห็นว่าปริมาณเหล็กในดินที่ทำการทดสอบเหล่านี้ยังคงไม่เพียงพอสำหรับข้าว แต่การฉีดพ่นเหล็กทางใบในอัตราสูงกว่า 0.5 กก./ไร่ และการใส่เหล็กในอัตรา 4 มก./กก. จะส่งผลเชิงลบต่อการเจริญเติบโตข้าวโดยทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง แสดงให้เห็นว่าอัตรานี้อาจสูงมากจนมีแนวโน้มทำให้เกิดความเป็นพิษต่อข้าว การแบ่งปันของธาตุเหล็กของเมล็ดข้าวขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดใช้ของราก การหมุนเวียนธาตุอาหาร และศักยภาพในการลำเลียงธาตุทั้งสองจากต้นไปสู่เมล็ดซึ่งมีผลต่อการปันส่วน ธาตุอาหารไปสู่เมล็ดแตกต่างกันในข้าว

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. เอกสารวิชาการ 18/2547. แหล่งที่มา : <http://lib.doa.go.th/multim/e-book/EB00263.pdf>.
- ช่อเพชร แสนไชย , ชนากานต์ เทโบลต์ พรหมอุทัย , ศันสนีย์ จำจด , Bernard Dell2 และ เบญจวรรณ ฤกษ์เกษม. 2558. การปันส่วนธาตุเหล็กและสังกะสีในระยะเต็มเมล็ดของต้นข้าว. เกษตร 43 (1) : 67-78.
- ชิตีฮาวา นุวันนา , ศุภิมา ธนะจิตต์ , สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม และ เอิบ เขียววรีนรมณ์. 2564. สถานะของเหล็กในพื้นที่ถูกร้างไ้และการตอบสนองของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่อ ปุ๋ยเหล็กที่ให้ทางใบ. วารสารเกษตร 49(1): 25-36.
- ณัฐวดี อยู่เจริญกิจ , ศุภิมา ธนะจิตต์ และ สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม. 2564. ผลของเหล็กและแมงกานีสต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาต่างชนิด. วารสารเกษตร 49(1): 12-24.
- ด้วยรัก กล้าเชื้อ , นรณ วรามิตร และ อภิชาติ วรรณวิจิตร. 2555. อิทธิพลของวันปลูกและพันธุ์ต่อองค์ประกอบผลผลิตและผลผลิตชีวมวลของข้าว. การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี2558. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- Bernier, J., Atlin, G.N., Serraj, R., Kumar, A. and Spaner, D. 2008. Breeding upland rice for drought resistance. The Science of Food and Agriculture 88 : 972-939.
- Buchanan, B.B., W. Gruissem, and R.L. Jones. 2015. Biochemistry and Molecular Biology of Plants: John Wiley & Sons.
- Dobermann, A., and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Manangement. Potash and Phosphate Institute. Canada.
- Farooq, M., Kobayashi, N., Ito, O., Wahid, A. and Jerraj, R. 2010. Broader leave result in better performance of indica rice under drought stress. Journal of Plant Physiology 167 : 1066-1075.
- Kumar, A., Bernier, J., Verulkar, S., Lafitte, H.R. and Atlin, G.N. 2008. Breeding for drought tolerance: direct selection for yield, response to selection and uses of drought-tolerant donors in upland and lowland-adapted population. Field Crops Research 107 : 221-231.

Kumar, A., Sarawgi, A.K., Ramos, C., Amarante, S.T., Ismail, A.M. and Wade, L.J. 2006.

Partitioning of dry matter during drought stress in rainfed lowland rice. *Field Crops Research* 98 : 1-11.

Mahender Anumalla, B. P.M. Swamy, Annamalai Anandan, and Jauhar Ali. 2019.

"Tolerance of Iron-Deficient and -Toxic Soil Conditions in Rice" *Plants* 8, no. 2: 31.