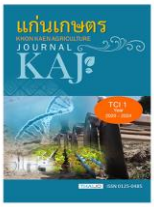
วารสารแก่นเกษตร THAIJO

Content List Available at ThaiJo

Khon Kaen Agriculture Journal

Journal Home Page : https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agkasetkaj



สถานะของเหล็กในพื้นที่กุลาร้องไห้และการตอบสนองของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่อปุ๋ยเหล็กที่ให้ทางใบ

Status of iron in Kula Ronghai area and response of Khao Dok Mali 105 rice to iron foliar fertilizer

ซิตีฮาวา นุวันนา[1], ศุภิฌา ธนะจิตต์[1]*, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม[1] และ เอิบ เขียวรื่นรมณ์[1]

Siteehawa Nuwanna[1], Suphicha Thanachit[1]*, Somchai Anusontpornperm[1] and Irb Kheoruenromne[1]

[1] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ 10900

[1] Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 10900

* Corresponding author email : agrspc@ku.ac.th

Received: date; May 18, 2020 Accepted: date; July 16, 2020 Published: date

บทคัดย่อ: ศึกษาสถานะของเหล็กในดินในพื้นที่กุลาร้องไห้และผลของปุ๋ยเหล็กต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในชุดดินร้อยเอ็ด ดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มและชุดดินพิมายซึ่งเป็นดินที่ได้รับอิทธิพลของเกลือโดยทำการทดสอบฉีดพ่นเหล็กทางใบในอัตรา 0, 0.25, 0.5 และ 1 กก./ไร่ในระยะแตกกอ หรือ ระยะออกดอก พบว่า เหล็กในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปทั้งหมดซึ่งเป็นองค์ประกอบของแร่ในดิน รูปที่สกัดได้ในดินจะมีปริมาณมากที่สุดเมื่อสกัดด้วยสารละลาย DTPA-AB แต่คงอยู่ในสัดส่วนที่น้อยกว่าเหล็กทั้งหมดอย่างชัดเจน เช่นเดียวกับเหล็กที่ละลายน้ำที่พืชดูดใช้ได้ทันทีมีอยู่น้อยมาก การฉีดพ่นเหล็กทางใบทำให้น้ำหนักตอซังและผลผลิตเมล็ดของข้าวเพิ่มขึ้นทางสถิติโดยการฉีดพ่นในอัตรา 0.25 กก./ไร่ที่ระยะแตกกอให้น้ำหนักตอซังข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดสูงสุดเท่ากับ 541 กก./ไร่ และน้ำหนักเมล็ดข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดและดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 248 และ 144 กก./ไร่ตามลำดับ การฉีดพ่นเหล็กในอัตรา 1 กก./ไร่ที่ระยะเดียวกันยังให้น้ำหนักเมล็ดข้าวในชุดดินพิมายสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 262 กก./ไร่ การฉีดพ่นเหล็กที่ระยะแตกกอทำให้ได้น้ำหนักตอซังและผลผลิตเมล็ดของข้าวสูงกว่าการฉีดพ่นที่ระยะออกดอกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การฉีดพ่นเหล็กทางใบส่วนใหญ่ทำให้ข้าวสะสมและดูดใช้ธาตุอาหารหลักเพิ่มขึ้นทางสถิติ ผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งตอซังของข้าวมีสหสัมพันธ์ผกผันกับความเข้มข้นของเหล็กในแกลบและรำ (r= -0.43** และ -0.29**) ส่วนร้อยละเมล็ดดีมีสหสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเข้มข้นของเหล็ก (r= 0.21*) แต่มีสหสัมพันธ์ผกผันกับความเข้มข้นของไนโตรเจน (r=-0.72**) ในเมล็ดข้าว

คำสำคัญ: จุลธาตุอาหาร; ดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ; ดินเนื้อปานกลาง; ข้าวหอมมะลิ

ABSTRACT: Status of soil iron (Fe) in Kula Ronghai area and effect of Fe fertilizers on Khao Dok Mali 105 (KDML 105) rice planted in Roi Et soil series (Re) in Surin province and salt affected soils, Roi Et soil series, saline variant (Re-sa) and Phimai soil series (Pm) in Nakhon Ratchasima province, were investigated. Foliar application was performed at the rates: 0, 0.25, 0.5 and 1 kg/rai of Fe at tillering or booting stages. Results showed that most soil Fe was in a total form as a component of soil minerals. The content of extractable

form in the soils was the highest when extracted with DTPA-AB but clearly lower proportion than the total Fe. Water soluble Fe, the readily available form, was found only in very small amounts. Foliar application of Fe statistically increased straw weight and grain yield of rice, especially when applied at the rate of 0.25 kg/rai at tillering stage, significantly giving the highest straw weight of 541 kg/rai in Re soil series, and grain weight of 248 and 144 kg/rai in Re soil series and Re-sa, respectively. Foliar application of Fe at the rate of 1 kg/rai at the same growth stage also significantly gave the highest grain weight of 262 kg/rai in Pm soil series. In addition, Fe foliar application at tillering stage significantly promoted greater straw weight and grain yield of rice than did at booting stage. Foliar application of Fe significantly increased the concentration and uptake of major plant nutrients. Grain yield and straw weight of rice had negative correlation with Fe concentration in rice husk and bran (r=-0.43** and -0.29**). Filled grain percentage of rice correlated with Fe (r= 0.21*), but negatively correlated with N (r=-0.72**) concentrations in rice grain.

Keyword: micronutrient; salt affected soils; medium textured-soils; jasmine rice

บทนำ

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 หรือที่คนไทยเรียกกันสั้น ๆ ติดปากในเวลาต่อมาว่าข้าวหอมมะลิเป็นพันธุ์ข้าวที่มีชื่อเสียงและได้รับความนิยมแพร่หลายไปทั่วโลกเนื่องจากเป็นข้าวเจ้าที่มีเมล็ดเรียวยาว เมื่อหุงสุกจะเหนียวนุ่ม มีกลิ่นหอมคล้ายกลิ่นใบเตย (แสงนวล และอัมรา, 2548) ข้าวพันธุ์นี้เป็นข้าวไวแสงจึงเพาะปลูกได้เฉพาะในฤดูนาปีโดยมีเขตการปลูกสำคัญอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในดินนาดอนที่มีเนื้อดินบนค่อนข้างหยาบถึงปานกลาง มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางส่วนเป็นดินเค็ม โดยเฉพาะในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ที่ครอบคลุมจังหวัดร้อยเอ็ด ศรีษะเกษ สุรินทร์ ยโสธร และมหาสารคามซึ่งเป็นแหล่งผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่มีคุณภาพเป็นอันดับหนึ่งของประเทศแต่ผลผลิตที่ได้ยังคงมีค่าต่ำกว่าศักยภาพของพันธุ์ที่มีค่าเท่ากับ 343 กก./ไร่ (กรมการข้าว, 2553)

เหล็กจัดเป็นจุลธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวมากถึงแม้ว่าจะต้องการในปริมาณเล็กน้อยโดยหากได้รับไม่เพียงพอจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพและผลผลิตโดยเหล็กเป็นธาตุที่จำเป็นต่อกระบวนการหายใจ การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และสังเคราะห์โปรตีนที่อยู่ในคลอโรพลาสต์ (Buchanan, 2015) โดยข้าวจะแสดงอาการขาดแคลนหากความเข้มข้นของเหล็กในใบ (Y brade) ที่ระยะแตกกอมีค่าน้อยกว่า 70 มก./กก. และข้าวจะตอบสนองต่อเหล็กเมื่อดินมีปริมาณเหล็กที่สกัดด้วยสารละลาย DTPA มีค่าต่ำกว่า 5 มก./กก. (Dobermann and Fairhurst, 2000) แต่ในดินเขตร้อนที่มีเนื้อดินหยาบและมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำมักมีแหล่งที่ให้จุลธาตุอาหารต่ำ (Kabata-Pendias and Pendias, 2001; Sanchez, 2019) จึงทำให้ปริมาณเหล็กอาจไม่เพียงพอต่อพืช ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของดินส่วนใหญ่ที่ใช้ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ข้าวที่ได้รับเหล็กไม่เพียงพอจะแสดงอาการในระยะเริ่มต้นของการเจริญเติบโตโดยจะพบใบอ่อนเป็นสีเหลือง ต้นข้าวแคระแกรน จำนวนการติดเมล็ดจะลดลง ถ้าอาการรุนแรงต้นข้าวก็จะกลายเป็นสีเหลืองและตาย (Dobermann and Fairhurst, 2000) โดยมีรายงานที่แสดงว่าการใส่ปุ๋ยเหล็กสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ (Zayed et al., 2011, Zhang et al., 2009) และจากการศึกษาเบื้องต้นในดินทรายล้างในโรงเรือนทดลอง พบว่า การใส่ปุ๋ยเหล็กจะทำให้ผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 เพิ่มขึ้นแต่เมื่อใส่ในอัตราสูงกว่า 2 มก./กก. ของเหล็กอาจเป็นพิษต่อข้าวเนื่องจากการตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตลดลงทางสถิติเนื่องจากการปลูกข้าวในสภาพน้ำขังส่งเสริมให้เหล็กละลายออกมาเพิ่มขึ้นจนอาจเป็นพิษต่อข้าว (Fageria, 2014; Xiaoyun et al., 2012) ถึงแม้ว่าข้าวเป็นพืชที่ต้องการธาตุเหล็กมากและทนทานต่อความเป็นพิษของเหล็กมากกว่าพืชอื่น (Zhang et al., 2017) แต่ในสภาพที่มีเหล็กในสารละลายดินมากเกินไปจะทำอันตรายต่อรากข้าวโดยเฉพาะในช่วงข้าวแตกกอโดยรากจะสั้นและมีสีน้ำตาลเข้ม (Fageria, 2014; Xiaoyun et al.,

2012) ดังนั้นการให้ปุ๋ยเหล็กทางใบจึงน่าเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการให้โดยตรงทางดินซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Duraisamy et al. (2001) และ Kumar et al (2018) เนื่องจากข้าวสามารถดูดใช้เหล็กได้โดยตรงผ่านทางใบในส่วนที่เรียกว่า cuticular pores (Fang et al., 2008) อย่างไรก็ตามระยะการเจริญเติบโตของข้าวที่เหมาะสมต่อการให้ปุ๋ยทางใบจำเป็นต้องมีการศึกษาร่วมด้วย นอกจากนี้งานทดลองที่เกี่ยวข้องกับจุลธาตุอาหารโดยเฉพาะเหล็กกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในประเทศไทยยังมีอยู่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอาหารหลัก ดังนั้นการศึกษาสถานะของเหล็กในดินและผลของปุ๋ยเหล็กที่มีต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในดินต่างชนิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะทำให้ได้องค์ความรู้และข้อสรุปที่มีความชัดเจนถึงผลของเหล็กที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการถ่ายทอดสู่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือต่อไป

วิธีการศึกษา

การศึกษาประกอบด้วย 1) การประเมินสถานะของเหล็กในดินโดยทำการเก็บตัวอย่างดินบนของชุดดินที่ใช้ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 อย่างแพร่หลายในพื้นที่กุลาร้องไห้ จำนวน 5 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินพิมาย (Ustic Endoaquerts) ชุดดินกุลาร้องไห้ (Typic Natraqualfs) ชุดดินร้อยเอ็ด (Aeric Kandiaquults) ชุดดินอุบล (Aquic Arenic (Aquic Grossarenic) Haplustalfs) และชุดดินท่าตูม (Aeric (Plinthic) Endoaqualfs) ชุดดินละ 5-10 บริเวณในช่วงที่มีการพักแปลงก่อนปลูกข้าว รวม 40 บริเวณ และ 2) การศึกษาการตอบสนองของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่อเหล็กโดยทำการคัดเลือกแปลงนาเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ ชุดดินร้อยเอ็ด (Roi et soil series; Re) ในอำเภอศรีขรภูมิ (Re) จังหวัดสุรินทร์จำนวน 1 บริเวณ และอีก 2 บริเวณในจังหวัดนครราชสีมาซึ่งอยู่ในดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม (Re-sa) ในอำเภอโนนไทย และชุดดินพิมาย (Phimai soil series; Pm) ในอำเภอพิมาย โดยดินทั้งสามบริเวณอยู่ในกลุ่มเนื้อปานกลางซึ่งมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทรายจนถึงดินร่วนเหนียว แต่มีปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์แตกต่างกันอยู่ในพิสัย 43.5-576 มก./กก. ดินมีปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง (43.29-284 มก./กก.) และมีอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (SAR) อยู่ในพิสัย 44.1-56.4 ยกเว้นชุดดินร้อยเอ็ด ซึ่งค่า SAR ของดินทั้งสองมีค่าสูงเกิน 13 จึงจัดเป็นดินโซดิก ชุดดินร้อยเอ็ดเป็นกรดจัดมาก (pH 4.48) ขณะที่ชุดดินที่เหลือเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย (pH 7.31-7.45) และชุดดินพิมายมีความความอุดมสมบูรณ์สูงสุดรวมถึงปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ (**Table 1**) การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้อัตรา 2 มก. เหล็ก/กก. ซึ่งเทียบเท่ากับการใส่เหล็กอัตรา 0.5 กก./ไร่เป็นอัตราแนะนำที่นำมาทดสอบและปรับให้แตกต่างกันจำนวน 7 ตำรับการทดลอง ได้แก่ ไม่มีการให้ปุ๋ยเหล็กทางใบ (ควบคุม) การให้เหล็กทางใบในรูป $FeCl_3.6H_2O$ ในอัตรา 0.25, 0.5 และ 1 กก. เหล็ก/ไร่ ที่ระยะแตกกอ หรือ ที่ระยะออกดอก โดยทำการเจือจางในน้ำกลั่นในอัตรา 100 ล./ไร่ และในแต่ละครั้งที่ให้ปุ๋ยทางใบจะทำการฉีดพ่นด้วยน้ำกลั่นสำหรับตำรับที่ไม่มีให้ปุ๋ยเหล็กรวมทั้งตำรับควบคุมในปริมาณเท่ากัน ดำเนินการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ ระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม 2561 โดยจัดทำแปลงทดลองย่อยขนาด 4x4 ม. ยกคันนากว้าง 0.5 ม. สูง 0.3 ม. ปรับพื้นที่และย่อยดินในกระทงนาด้วยจอบ ปล่อยน้ำเข้าแล้วทำการขังน้ำทิ้งไว้ 5 วัน แล้วจึงปักดำกล้าข้าวที่อายุ 35 วัน จำนวน 3 ต้น/กอ โดยใช้ระยะปลูกเท่ากับ 25x25 ซม. การใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักใส่ในอัตราแนะนำสำหรับค่าวิเคราะห์ ได้แก่ อัตรา 3.6-3-6 กก. $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่ สำหรับชุดดินร้อยเอ็ด และ 3.6-3-3 กก. $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/ไร่ สำหรับชุดดินที่เหลือโดยใส่หลังปักดำข้าวไปแล้ว 7 วัน จากนั้นแต่งหน้าด้วยไนโตรเจนอัตรา 5.4 กก./ไร่ ที่ระยะแตกกอในทุกบริเวณ

Table 1 Property of Roi Et (Re) Phimai saline (Pm-sa) and Roi Et saline (Re-sa) soil series prior to conducting the experiment

Property	Soil series		
	Re	Pm	Re-sa
Texture	Loam	Clay loam	Sandy loam
Sand (%)	38.8	33.5	58
Silt (%)	36.4	29.7	16
Clay (%)	24.8	36.8	26
Soil pH (1:1 H_2O)	4.48	7.31	7.45
ECe[1] (dS/m^{-1})	0.12	0.91	2.21
SAR[2]	3.7	44.1	56.4
Total N[3] (g/kg^{-1})	0.60	0.42	0.06
Available P[4] (mg/kg^{-1})	15.3	21.4	3.33
Exchangeable K[5] (mg/kg^{-1})	1.2	2.2	0.38
Exchangeable Ca[5] (mg/kg^{-1})	13	77	115.7
Exchangeable Mg[5] (mg/kg^{-1})	0.8	5.7	6.43
Exchangeable Na[5] (mg/kg^{-1})	24	284	43.29
Available Fe[6] (mg/kg^{-1})	43.5	576	113

[1]ECe = electrical conductivity (saturated plate method); [2]SAR = sodium adsorption ratio; [3] Kjeldahl method; [4]Bray II; [5]1M NH_4OAc at pH 7.0 extraction; [6]DTPA extraction**,** critical levels of DTPA extracted Fe in soils are 4.5 mg kg^{-1} (Lindsay and Norvell, 1978)

การเก็บข้อมูล 1) การวิคราะห์ปริมาณเหล็กทั้งหมดในดิน (total Fe) โดยการย่อยด้วยกรด HCl และ HNO_3 ในอัตราส่วน 3:1 %v/v (Chen and Ma, 2001) เหล็กในสารละลายดิน (water soluble Fe) (Yusiharni and Gilkes, 2012) และเหล็กที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available Fe) โดยใช้น้ำยาสกัดดินที่แตกต่างจำนวน 4 ชนิด DTPA (Lindsay and Norvell, 1978), DTPA-AB (Soltanpour and Schwab, 1977), Melich 3 (Mehlich, 1984) และ 0.1 M HCl (Sorensen et al., 1971) 2) ข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวที่อายุ 100 วันโดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยว 9 $ม^2$ ได้แก่ ความสูงและจำนวนรวงของข้าว น้ำหนักแห้งตอซัง ผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 14 และจำนวนเมล็ดดี 3) ตัวอย่างข้าวที่อายุเก็บเกี่ยวแบบแยกส่วน ได้แก่ เมล็ดข้าวกล้อง เมล็ดข้าวขาว แกลบและรำ และตอซังข้าวเพื่อนำไปวิเคราะห์เข้มข้นของธาตุอาหาร และ 4) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย ใช้ Duncan multiple range test (DMRT) และการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารกับผลผลิตข้าวโดยใช้ Partial correlation analysis

ผลการศึกษา

1. สถานะของเหล็กในดินในพื้นที่กุลาร้องไห้

ชุดดินตัวแทนที่พบในพื้นที่กุลาร้องไห้พบว่าเหล็กในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปทั้งหมดซึ่งเป็นองค์ประกอบของแร่ (74-4,156 มก./กก.) โดยเฉพาะในชุดดินพิมายทั้งนี้เนื่องจากชุดดินพิมายมีวัตถุต้นกำเนิดเป็นตะกอนแม่น้ำที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบสูง เหล็กในแร่เหล่านี้มักเป็นแหล่งสำรองที่ให้เหล็กแก่พืช (Kabata-Pendias and Pendias, 2001) ขณะที่เหล็กในส่วนที่สกัดได้จะมีค่าแตกต่างกันตามน้ำยาสกัดดิน (**Figure 1**) โดยน้ำกลั่นจะสกัดเหล็กออกมาในสัดส่วนที่น้อยที่สุดอยู่ในพิสัย 4-525 มก./

กก. ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกชะละลายออกไปจากดินได้ง่ายโดยเฉพาะในดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างหยาบ (Brady and Weil, 2016) ส่วนสารสกัด DTPA-AB สกัดเหล็กออกมามากที่สุดโดยให้ค่าอยู่ในพิสัย 86-894 มก./กก. ส่วน DTPA และ Mehlich III ให้เหล็กอยู่พิสัยใกล้เคียงกันเท่ากับ 24-728 และ 72-577 มก./กก. ตามลำดับ ขณะที่การสกัดดินด้วยสารละลายกรดอ่อน HCl ให้ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ออกมาน้อยกว่าโดยให้ค่าอยู่ในพิสัย 23-964 มก./กก. และชุดดินพิมายเป็นชุดดินที่ให้ปริมาณเหล็กที่สกัดได้โดยน้ำยาสกัดชนิดต่าง ๆ สูงกว่าในชุดดินอื่น ๆ ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

อย่างไรก็ตามปริมาณเหล็กในดินที่สกัดโดยใช้สารละลาย DTPA มีค่าสูงเกินกว่าระดับวิกฤต (4.5 มก./กก.) ที่รายงานโดย Lindsay and Norvell (1978) และระดับวิกฤตสำหรับข้าว (5 มก./กก.) ที่รายงานโดย Dobermann and Fairhurst (2000) อย่างชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดินที่พืชดูดใช้ได้ทันทีซึ่งหมายถึงปริมาณเหล็กที่สกัดได้และเหล็กที่ละลายอยู่ในสารละลายดินพบว่าอยู่ในสัดส่วนที่น้อยกว่าเหล็กทั้งหมดอย่างชัดเจนโดยเฉพาะปริมาณเหล็กที่ละลายน้ำ ซึ่งเหล็กทั้งหมดในดินนี้จะปลดปล่อยและให้เหล็กต่อพืชผ่านกระบวนการผุพัง (Kabata-Pendias and Pendias, 2001) รวมถึงสภาพขังน้ำหากใช้ในการปลูกข้าว (Fageria, 2014)

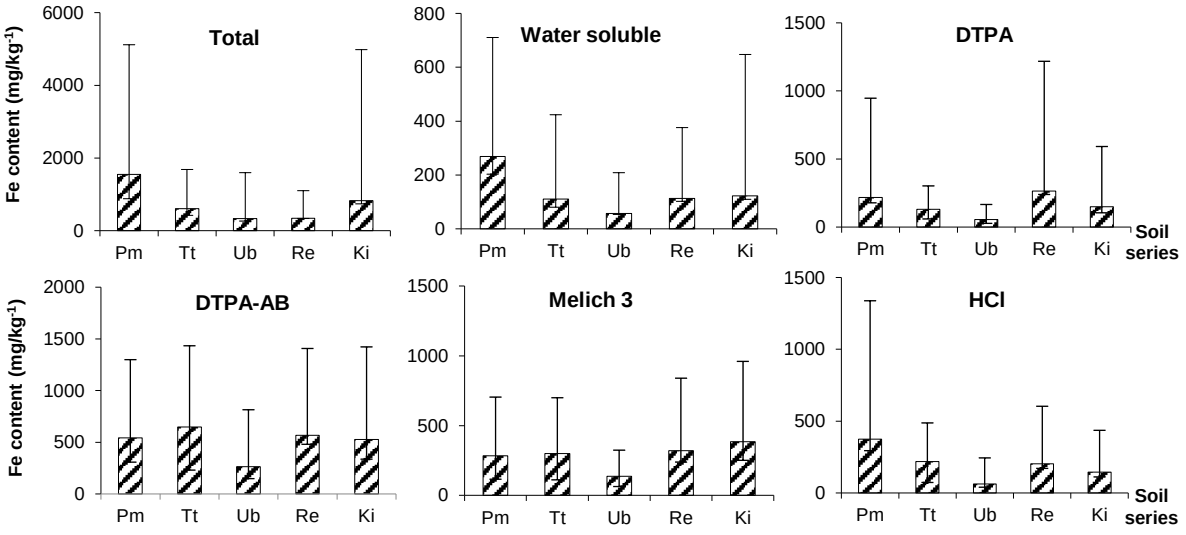


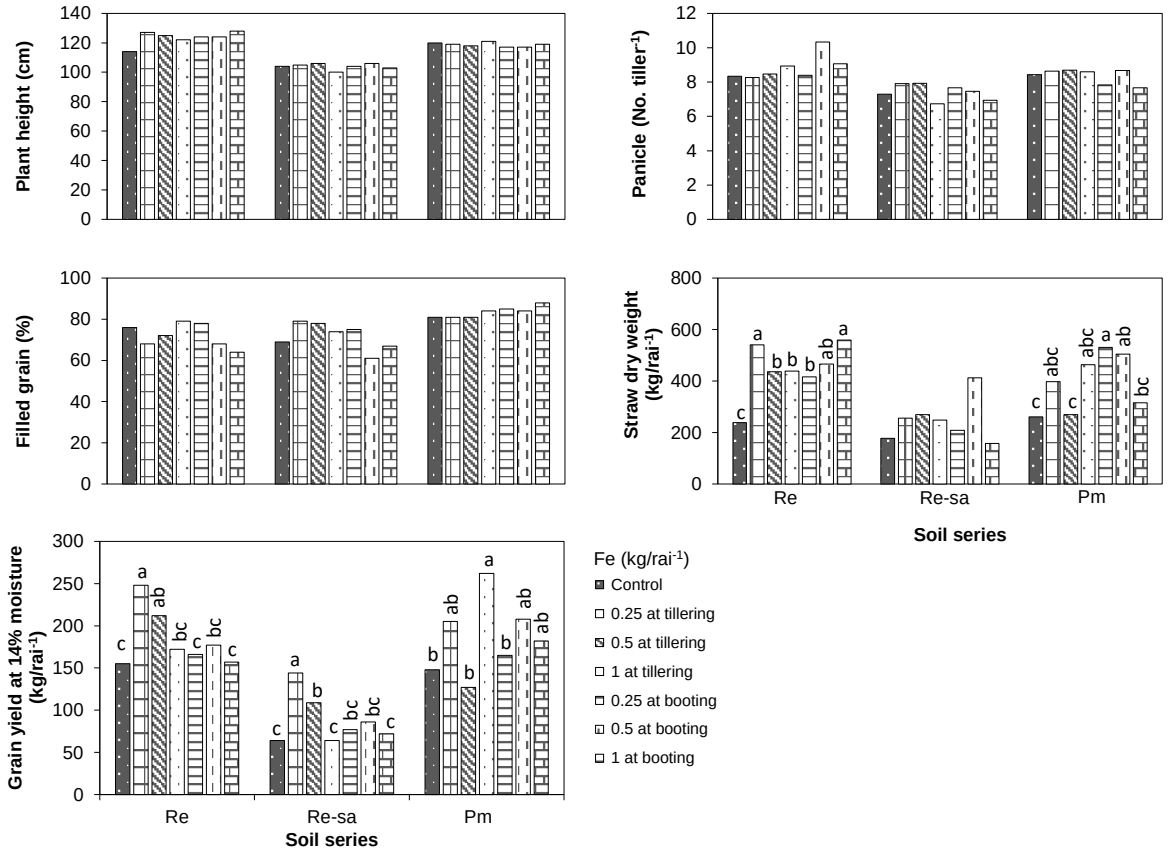
Figure 1 Total Water soluble and Extractable Fe concentration in paddy soils of Kula Ronghai area: Phimai (Pm), Tha Tum (Tt), Ubon (Ub), Roi Et (Re), Kula Ronghai (Ki), soil series. Line within the error bar shows maximum and minimum values of each soil series

2. ผลของปุ๋ยเหล็กต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105

การให้ปุ๋ยเหล็กทางใบไม่มีผลต่อความสูง จำนวนรวง และร้อยละเมล็ดดีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 แต่ส่งผลให้น้ำหนักตอซังแห้งแตกต่างกันทางสถิติยกเว้นในดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม (157-412 กก./ไร่) โดยตำรับควบคุมที่ไม่มีการให้เหล็กทางใบให้น้ำหนักตอซังแห้งต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 238 และ 261 กก./ไร่ ในชุดดินร้อยเอ็ด และชุดดินพิมายตามลำดับ (**Figure 2**) การฉีดพ่นเหล็กในอัตรา 0.25 กก./ไร่ที่ระยะแตกกอจะให้น้ำหนักแห้งตอซังของข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 541 กก./ไร่ ขณะที่เมื่อฉีดพ่นในอัตราที่เพิ่มขึ้นจะให้น้ำหนักแห้งตอซังลดลงไม่แตกต่างกัน (436-439 กก./ไร่) แต่การฉีดพ่นเหล็กที่ระยะออกดอกกลับให้น้ำหนักตอซังแห้งเพิ่มขึ้นตามอัตราเหล็กทางสถิติ (416-466 กก./ไร่) และให้น้ำหนักตอซังแห้งสูงสุดเช่นกันเมื่อทำการฉีดพ่นเหล็กในอัตรา 1 กก./ไร่ ที่ระยะออกดอกเท่ากับ 559 กก./ไร่ ส่วนในชุดดินพิมายพบว่าการฉีดพ่นเหล็กที่ระยะออกดอกจะให้น้ำหนักตอซังสูงกว่าการฉีดพ่นที่ระยะแตกกอทางสถิติเมื่อทำการฉีดพ่นในอัตราที่เทียบเท่ากันยกเว้นในอัตรา 1 กก./ไร่ (316 เปรียบเทียบกับ 463 กก./ไร่) โดยการฉีดพ่น

เหล็กในอัตรา 0.25 กก./ไร่ ที่ระยะออกดอกให้น้ำหนักแห้งตอซังในดินนี้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 531 กก./ไร่ ขณะที่การฉีดพ่นเหล็กในอัตรา 0.5 กก./ไร่ ที่ระยะแตกกอให้น้ำหนักตอซังไม่แตกต่างจากตำรับควบคุมซึ่งมีค่าต่ำที่สุด (**Figure 2**) แสดงให้เห็นว่าควรให้เหล็กแก่ข้าวที่ปลูกในชุดดินนี้ที่ระยะออกดอกอาจเนื่องจากสภาพพีเอชของดินที่เป็นด่างอาจทำให้เหล็กละลายออกมาในระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวไม่เพียงพอ

การให้ปุ๋ยเหล็กทางใบส่งเสริมการสร้างผลผลิตของข้าวอย่างชัดเจนเนื่องจากตำรับควบคุมให้ผลผลิตเมล็ดต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 155, 64.5 และ 148 กก./ไร่ ในชุดดินร้อยเอ็ด ดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม และชุดดินพิมายตามลำดับ (**Figure 2**) นอกจากนี้การฉีดพ่นเหล็กในอัตราที่เทียบเท่าที่ระยะแตกกอจะให้ผลผลิตเมล็ดสูงกว่าการฉีดพ่นที่ระยะออกดอกทางสถิติ (**Figure 2**) ทั้งนี้อาจเนื่องข้าวมักแสดงอาการขาดเหล็กตั้งแต่ในระยะแรก ๆ ของการเจริญเติบโต (Dobremann and Fairhurst, 2000) โดยการฉีดพ่นเหล็กในอัตรา 0.25 กก./ไร่ ที่ระยะแตกกอทำให้ได้ผลผลิตเมล็ดในชุดดินร้อยเอ็ดและดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มสูงสุดเท่ากับ 248 และ 144 กก./ไร่ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามผลผลิตข้าวที่ปลูกในดินทั้งสองลดลงตามอัตราของเหล็กที่เพิ่มขึ้นในทั้งสองระยะที่ทำการฉีดพ่น ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่าปุ๋ยเหล็กที่ให้เพิ่มเติมอาจเป็นพิษต่อข้าวที่โดยเฉพาะการใส่ในอัตรา 1 กก.เหล็ก/ไร่ ถึงแม้ว่าเหล็กจะเพิ่มผลผลิตข้าวแต่ข้าวในชุดดินพิมายส่วนใหญ่ไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยเหล็กทางใบเนื่องจากในเกือบทุกตำรับการทดลองให้ผลผลิตข้าวต่ำไม่แตกต่างอย่างชัดเจนจากตำรับควบคุมอยู่ในพิสัย 127-208 กก./ไร่ ยกเว้นการฉีดพ่นเหล็กที่ระยะแตกกออัตรา 1 กก./ไร่ ให้ผลผลิตเมล็ดข้าวสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 262 กก./ไร่ (**Figure 2**) ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินพิมายมีสมบัติดินที่แตกต่างจากชุดดินทั้งสองอย่างชัดเจนโดยเฉพาะปริมาณดินเหนียวจึงมีแหล่งที่ปลดปล่อยให้เหล็กออกมาโดยเฉพาะในสภาพน้ำขังที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพรีดอกซ์ของดิน ทำให้เหล็กละลายออกมาเป็นประโยชน์ได้เพียงพอต่อความต้องการของข้าว อย่างไรก็ตามผลผลิตเมล็ดและตอซังข้าวในดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มมีค่าต่ำกว่าในดินอื่น ๆ อย่างชัดเจนทั้งนี้อาจเป็นผลจากระดับความเค็มและอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินที่มีค่าสูงกว่าในดินอื่น ๆ อย่างชัดเจนจึงส่งผลกระทบเชิงลบต่อข้าว



Note: Different lowercase letters on bars grouped within the same soil are significant difference at $p \leq 0.05$ according to DMRT

Figure 2 Growth, yield and yield components of KDML 105 rice as affected by different rates of Fe foliar fertilizer grown in Roi Et (Re), Roi Et saline (Re-sa) and Phimai (Pm) soil series

คุณภาพเชิงโภชนาการพิจารณาจากปริมาณเหล็กและสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเหล็กและสังกะสีเป็นองค์ประกอบของเอมไซม์ที่มีบทบาทต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของมนุษย์ (Kohlmeier, 2003; Lursinsap, 2002) โดยแหล่งของธาตุทั้งสองที่มนุษย์ได้รับส่วนใหญ่ได้มาจากเมล็ดธัญพืชโดยเฉพาะข้าว (อัจฉรา, 2550) การให้ปุ๋ยเหล็กทางใบที่ระยะแตกกอหรือระยะออกดอกไม่มีผลต่อความเข้มข้นของเหล็กและสังกะสีในข้าวกล้องโดยความเข้มข้นของเหล็กอยู่ในพิสัย 9.42-25.1, 5.77-49.1 และ 7.67-15.4 มก./กก. และ ความเข้มข้นของสังกะสีอยู่ในพิสัย 10.3-12.8, 0.95-7.79 และ 2.26-6.78 มก./กก. สำหรับในชุดดินร้อยเอ็ด ดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มและชุดดินพิมายตามลำดับ (**Figure 3**) อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของเหล็กในข้าวกล้องอยู่ในพิสัยเดียวกับที่พบในธัญพืช ขณะที่ความเข้มข้นของสังกะสีอยู่ในพิสัยต่ำกว่าที่พบในธัญพืชโดย Welch and Graham (2004) รายงานพิสัยความเข้มข้นของเหล็กและสังกะสีในธัญพืชอยู่ในพิสัย 6-24 และ 14-58 มก./กก. ตามลำดับ โดยความต้องการสังกะสีต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของร่างกายของคนไทยเพศชายและเพศหญิงต่อวันมีค่าเท่ากับ 13 และ 7 มก./วันตามลำดับ (เอมอร และรัชนี, 2546) จึงควรบริโภคข้าวมากกว่า 1000 กรัมจึงจะทำให้ได้สังกะสีเพียงพอต่อความต้องการ

โดยภาพรวม พบว่า ดินที่ทำการศึกษามีปริมาณเหล็กในดินมีค่าสูงเกินระดับวิกฤตสำหรับข้าวที่รายงานโดย Dobermann and Fairhurst (2000) อย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามปริมาณเหล็กในดินเหล่านี้อาจยังคงไม่เพียงพอสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 เนื่องจากข้าวตอบสนองเชิงบวกต่อปุ๋ยเหล็กที่ให้ทางใบอย่างชัดเจน หรืออาจเนื่องจากการปลูกข้าวในสภาพขังน้ำจะส่งเสริมให้เหล็กที่เป็นองค์ประกอบของแร่ในดินละลายออกมามากจนทำอันตรายต่อรากข้าวทำให้ไม่สามารถดูดกิน

เหล็กทางดิน (Fageria, 2014; Xiaoyun et al., 2012) การให้ปุ๋ยเหล็กทางใบจึงส่งเสริมการดูดใช้ธาตุเหล็กของข้าวจึงทำให้มีการเจริญเติบและผลผลิตเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Duraisamy et al. (2001) และ Kumar et al (2018)

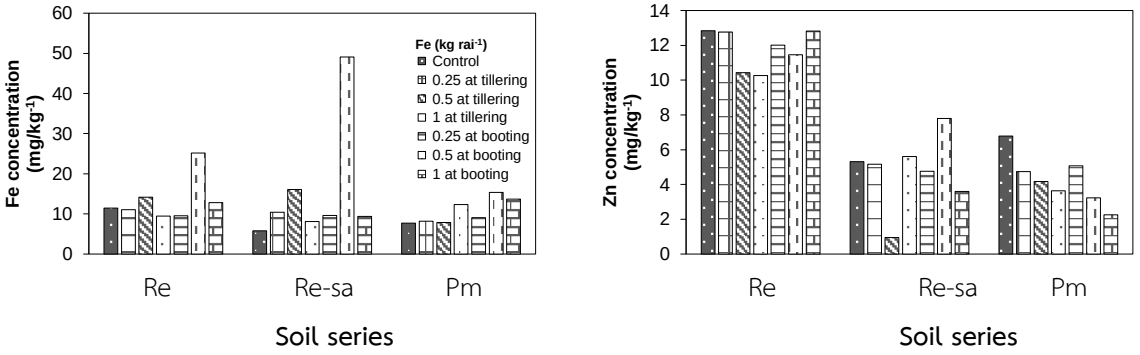


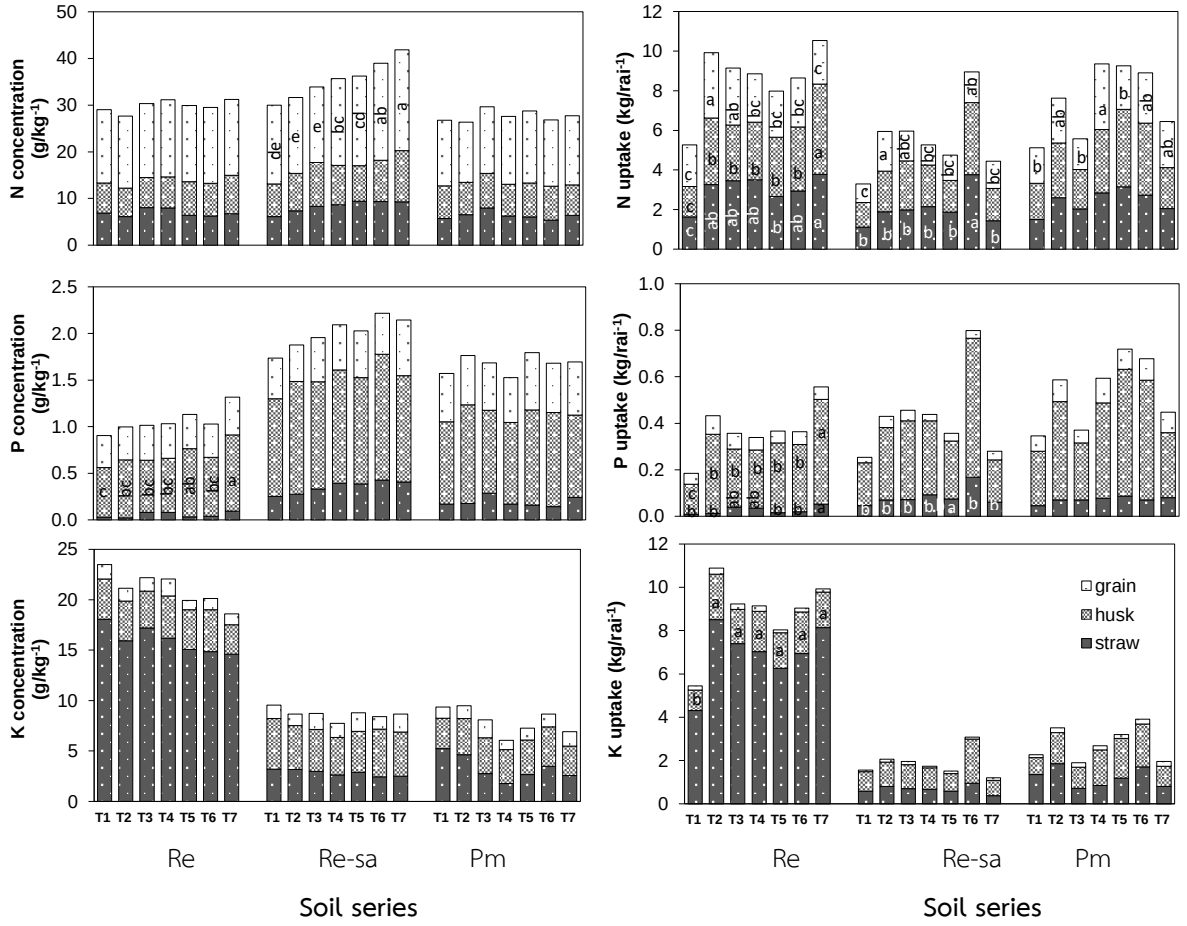
Figure 3 Effect of Fe foliar fertilizer on Fe and Zn concentrations in bran rice of KDML 105 rice grown in Roi Et (Re), Roi Et saline (Re-sa) and Phimai (Pm) soil series

ผลของปุ๋ยเหล็กต่อความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของข้าว

การใส่ปุ๋ยเหล็กทางใบส่วนใหญ่ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของข้าว แต่การฉีดพ่นเหล็กทางใบในทุกอัตราทำให้ความเข้มข้นไนโตรเจนในเมล็ดข้าวในดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม และความเข้มข้นฟอสฟอรัสในแกลบและรำของข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดเพิ่มขึ้นทางสถิติโดยจะมีค่าสูงสุดเมื่อทำการฉีดพ่นเหล็กในอัตรา 1 กก./ไร่ ที่ระยะออกดอกโดยให้ค่าเท่ากับ 21.6 และ 0.82 ก./กก. ตามลำดับ (**Figure 4**)

การให้ปุ๋ยเหล็กทางใบส่งเสริมให้การดูดใช้ธาตุอาหารหลักของข้าวอย่างชัดเจนโดยในชุดดินร้อยเอ็ดพบว่าตำรับควบคุมให้ข้าวดูดใช้ไนโตรเจนในตอซัง ในแกลบและรำ และในเมล็ดข้าวต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 1.63, 1.54 และ 2.1 กก./ไร่ตามลำดับ (**Figure 4**) การฉีดพ่นเหล็กที่ระยะแตกกอในอัตรา 0.25-1 กก./ไร่ให้ตอซังข้าวดูดใช้ไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอยู่ในพิสัย 3.26-3.51 กก./ไร่ และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.78 กก./ไร่เมื่อการฉีดพ่นเหล็กที่ระยะออกดอกในอัตรา 1 กก./ไร่ ซึ่งยังเป็นอัตราที่ทำให้ตอซังข้าวดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่กลับทำให้เมล็ดข้าวดูดใช้ไนโตรเจนต่ำไม่แตกต่างจากตำรับควบคุม (2.20 กก./ไร่) ส่วนตำรับการทดลองที่เหลือให้เมล็ดข้าวดูดใช้ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.29 กก./ไร่ เมื่อฉีดพ่นเหล็กที่ระยะแตกกอในอัตรา 0.25 กก./ไร่ เช่นเดียวกับการฉีดพ่นเหล็กในทุกอัตราที่ทำให้แกลบและรำของข้าวดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงไม่แตกต่างกันอยู่ในพิสัย 2.81-3.37, 0.25-0.34 และ 1.64-2.10 กก./ไร่ยกเว้นการฉีดพ่นเหล็กในอัตรา 1 กก./ไร่ที่ระยะออกดอกที่ให้แกลบและรำของข้าวดูดใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 4.56 และ 0.45 กก./ไร่ตามลำดับ (**Figure 4**)

การให้ปุ๋ยเหล็กทางใบในดินคล้ายชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มทำให้ตอซังข้าวดูดใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำไม่แตกต่างจากตำรับควบคุมทางสถิติอยู่ในพิสัย 1.11-2.14 และ 0.045-0.093 กก./ไร่ ยกเว้นการให้ปุ๋ยเหล็กในอัตรา 0.5 กก./ไร่ที่ระยะออกดอกที่ให้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 3.76 และ 0.168 กก./ไร่ ตามลำดับ แต่การให้ปุ๋ยเหล็กทางใบในทุกตำรับการทดลองทำให้เมล็ดข้าวดูดใช้ไนโตรเจนเพิ่มขึ้น (1.02-1.55 กก./ไร่) และมีค่าสูงสุด (2.0 กก./ไร่) เมื่อฉีดพ่นเหล็กที่ระยะแตกกอในอัตรา 0.25 กก./ไร่ **(Figure 4)** เช่นเดียวกับในชุดดินพิมายที่ตำรับการทดลองส่วนใหญ่ให้เมล็ดข้าวดูดใช้ไนโตรเจนสูงกว่าตำรับควบคุมทางสถิติและมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 3.31 กก./ไร่เมื่อฉีดพ่นเหล็กที่ระยะแตกกออัตรา 1 กก./ไร่ ยกเว้นการฉีดพ่นเหล็กที่ระยะแตกกอในอัตรา 0.5 กก./ไร่ หรือ การฉีดพ่นเหล็กที่ระยะออกดอกในอัตรา 0.25 กิโลกรัมต่อไร่ที่ให้ค่าต่ำไม่แตกต่างจากควบคุม (**Figure 4**)



Note: Different lowercase letters within bars grouped within the same soil are significant difference at $p \leq 0.05$ according to DMRT

T1 = No Fe foliar fertilizer; T2, T3, T4 = 0.25, 0.5, 1.0 kg Fe rai^{-1} at tillering stage, respectively; T5, T6, T7 = 0.25, 0.5, 1.0 kg Fe rai^{-1} at booting stage, respectively

Figure 4 Effect of Fe foliar fertilizer on plant nutrient concentration and uptake in different plant parts of KDML105 rice grown in Roi Et (Re), Roi Et saline (Re-sa) and Phimai (Pm-sa) soil series

สหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นธาตุอาหารหลักและเหล็กในเนื้อเยื่อพืชกับองค์ประกอบผลผลิตของข้าว

ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของข้าวมีสหสัมพันธ์ทางสถิติกับองค์ประกอบผลผลิตข้าว ยกเว้นจำนวนเมล็ดดีของข้าวที่ไม่พบสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในแกลบและรำของข้าว และความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าว (**Table 2**) อย่างไรก็ตามมีเพียงความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นกับผลผลิตเมล็ดข้าว ($r = 0.45^{**}$) และน้ำหนักแห้งตอซังข้าว ($r = 0.33^{**}$) ขณะที่ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักอื่น ๆ ในเนื้อเยื่อข้าวส่วนที่เหลือมีสหสัมพันธ์แบบผกผันกับองค์ประกอบผลผลิตข้าวทั้งสาม (**Table 2**) แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของธาตุอาหารเหล่านี้มีแนวโน้มไม่ส่งเสริมการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตข้าวหากพบในปริมาณที่สูงโดยเฉพาะความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดข้าวอาจทำให้จำนวนเมล็ดดีของข้าวลดลง ($r=-0.72^{**}$) เช่นเดียวกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซังข้าวที่อาจทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง ($r=-0.68^{**}$) (**Table 2**) เนื่องจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้ค่อนข้างสูงซึ่งมีค่าเกินกว่า 0.65 ทั้งนี้มีความเป็นไปได้เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่ส่งเสริมการเจริญเติบโต ดังนั้นการที่ข้าวสะสมไนโตรเจนมากเกินไปจะทำให้แก่ช้าลง (Dobremann and Fairhurst, 2000) จึงอาจส่งผลต่อเนื่องถึงการพัฒนาเมล็ด ทำให้จำนวนเมล็ดดีน้อยลง ส่วนในกรณีของฟอสฟอรัสอาจเนื่องจากการสะสมฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อพืชสูงไปอาจยับยั้งการดูดกินธาตุอาหารบาง

ธาตุโดยเฉพาะสังกะสี (Dobremann and Fairhurst, 2000) อีกทั้งอาจทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารระหว่างไนโตรเจนและโพแทสเซียม (Kabata Pendias and Pendias, 2001) จึงส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของข้าว

Table 2 Correlation coefficients (r) between plant nutrient concentrations in plant part and yield components of KDML 105 rice

Plant part of rice	Plant nutrient	Grain yield	Dry straw yield	Filled grain
Rice straw	N	-0.54**	-0.53**	-0.56**
	P	-0.68**	-0.59**	-0.47**
	K	0.45**	0.33**	-0.19*
	Fe	0.02	0.03	-0.02
Rice husk and bran	N	-0.42**	-0.32**	-0.49**
	P	-0.46**	-0.25**	0.01
	K	-0.12*	-0.04	-0.01
	Fe	-0.43**	-0.29**	-0.04
Rice grain	N	-0.57**	-0.49**	-0.72**
	P	-0.29**	-0.23**	-0.06
	K	-0.34**	-0.40**	-0.25**
	Fe	0.13	0.17	0.21*

*,** = Correlations are significant at $p \leq 0.05$ and 0.01, respectively; n = 63

ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในตอซังมีแนวโน้มส่งเสริมการเพิ่มผลผลิตเมล็ดและน้ำหนักแห้งตอซังของข้าวทั้งนี้เนื่องจากให้สหสัมพันธ์เชิงบวก เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่พืชดูดใช้อย่างเหลือเฟือโดยไม่แสดงอาการเป็นพิษ (Brady and Weil, 2016) โดยทั่วไปโพแทสเซียมมีความสำคัญในการเคลื่อนย้ายสารอาหารหรือผลผลิตจากการสังเคราะห์แสงในพืช การที่ข้าวสะสมโพแทสเซียมในเนื้อเยื่อไม่เพียงพอจะทำให้มีลำต้นแคระแกร็น การแตกกอลดลง รวมทั้งส่งผลกระทบต่อการติดรวง (Dobremann and Fairhurst, 2000) จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลผลิตลดลง นอกจากนี้ ร้อยละเมล็ดดีมีสหสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดข้าว ($r = 0.21^*$) (**Table 2**) แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดข้าวมีแนวโน้มส่งเสริมการสร้างร้อยละเมล็ดดีของข้าวเนื่องจากเหล็กเป็นธาตุที่จำเป็นในการสังเคราะห์โปรตีน (Dobermann and Fairhurst, 2000; Fageria, 2014) จึงน่าจะมีบทบาทที่สำคัญต่อการพัฒนาเมล็ดของข้าว อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของเหล็กในแกลบและรำกลับมีแนวโน้มไม่ส่งเสริมการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตข้าวเนื่องจากให้สหสัมพันธ์แบบผกผันกับผลผลิตเมล็ด ($r=-0.43^{**}$) และน้ำหนักแห้งตอซังข้าว ($r=-0.29^{**}$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (**Table 2**) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการสะสมเหล็กในเนื้อเยื่อพืชสูงไปอาจเป็นพิษต่อข้าว ทำให้ข้าวดูดธาตุอาหารไม่เพียงพอกับความต้องการ (ทัศนีย์, 2550) จึงส่งผลให้กระทบเชิงลบต่อการเจริญเติบโตของข้าว

สรุป

ดินนาที่ใช้ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่กุลาร้องไห้จะมีเหล็กส่วนใหญ่อยู่ในรูปทั้งหมดซึ่งเป็นองค์ประกอบของแร่ในดินที่สามารถให้เป็นแหล่งสำรองของเหล็กที่ให้แก่พืชในระยะยาว ขณะที่ปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ในดินที่พืชดูดใช้ได้ทันทีมีอยู่ในสัดส่วนที่น้อยกว่าเหล็กทั้งหมดอย่างชัดเจน แต่ยังคงอยู่ในระดับที่สูงกว่าระดับวิกฤตในดินสำหรับข้าว ถึงแม้ว่าการฉีดพ่นเหล็กทางใบไม่มีผลต่อจำนวนเมล็ดดีและโภชนาการของข้าว แต่ส่งเสริมให้ข้าวดูดใช้ธาตุอาหารหลักเพิ่มขึ้นจึงทำให้

น้ำหนักตอซังแห้งและผลผลิตเมล็ดของข้าวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนแสดงให้เห็นว่าปริมาณเหล็กในดินที่ทำการทดสอบเหล่านี้อาจยังคงไม่เพียงพอสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 แต่การฉีดพ่นเหล็กทางใบในอัตราสูงมากกว่า 0.5 กก./ไร่ ทำให้ผลผลิตข้าวลดลงจึงมีแนวโน้มเป็นพิษต่อข้าวทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณเหล็กที่มีอยู่ดังเดิมในดินและการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการขังน้ำ นอกจากนี้การฉีดพ่นเหล็กที่ระยะแตกกอจะส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวได้ดีกว่าการฉีดพ่นเหล็กที่ระยะออกดอก ผลผลิตเมล็ดและตอซังแห้งของข้าวต่างมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของโพแทสเซียมในตอซังข้าว เช่นเดียวกับร้อยละเมล็ดดีมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดข้าว

คำขอบคุณ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก) และสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (สวพ.)

เอกสารอ้างอิง

กรมการข้าว. 2553. ข้าวขาวดอกมะลิ 105. สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์. 2550. ดินที่ใช้ปลูกข้าว พิมพ์ครั้งที่ 4 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพมหานคร.

แสงนวล ทองเพียร และ อัมรา เวียงวีระ. 2548. ลักษณะพิเศษของข้าวหอมมะลิ. กสิกร 78: 6-11.

อัจฉรา ดลวิทยาคุณ. 2550. พื้นฐานโภชนาการ. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

เอมอร วสันตวิสุทธิ์ และ รัชนี คงคาฉุยฉาย. 2546. สังกะสี, น. 274-282. *ใน* สุปรานี แจ้งบำรุง, ประไพศรี ศิริจักรวาล, ประภาศรี ภูวเสถียร, เบ็ญจลักษณ์ ผลรัตน์, อุไรพร จิตต์แจ้ง, สุภัจฉรา นพจินดา, อรวรรณ ภู่ชัยวัฒนานนท์, ทิพยเนตร อริยปิติพันธ์ และ สุจิตต์ สาลีพันธ์ บรรณาธิการ. ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย. โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์, กรุงเทพฯ.

Brady, N.C., and R.R. Weil. 2016. The Nature and Properties of Soils. 15th Person, Prentice Hall, New York.

Buchanan, B.B., W. Gruissem, and R.L. Jones. 2015. Biochemistry and Molecular Biology of Plants: John Wiley & Sons.

Chen, M., and L.Q. Ma. 2001. Comparison of three aqua regia digestion methods for twenty Florida soils. Soil Science Society of America Journal. 65: 491–499.

Dobermann, A., and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Manangement. Potash and Phosphate Institute. Canada.

Duraisamy, P., and A.K. Mani. 2001. Effect of iron and molybdenum on yield and nutrition of horse gram in red loamy sand soil. Mysore Journal of Agricultural Sciences. 35: 297-301.

Fageria, N.K. 2014. Mineral Nutrition of Rice. Boca Raton, FL: CRC Press.

Fang, Y., L. Wang, Z. Xin, L. Zhao, X. An, and Q. Hu. 2008. Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 56: 2079-2084.

Kabata-Pendias, A., and H. Pendias 2001. Trace Elements in Soils and Plants, 3th edition. CRC Press LLC.

Kohlmeier, M. 2003. Nutrient Metabolism. Academic Press, California.

Kumar, V., D. Kumar, Y.V. Singh, R. Raj, and N. Singh. 2018. Effect of iron nutrition on plant growth and yield of aerobic rice. International Journal of Chemical Studies. 6: 999-1004.

Lindsay, W.L., and W.A. Norvell. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal. 42: 421-42.

Lursinsap, T. 2002. Zinc in Human Nurtrition. Available Source: http://www.sci.ru.ac.th/chem/web%20genchem%202002/research%20%20page_1/paper/ZN.pdf, Accessed November 17, 2015.

Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soilextractant: A modification of Mehlich 2 extractant. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 15: 1409-1416.

Sanchez, P.A. 2019. Properties and Management of Soils in the Tropics: Cambridge University Press.

Soltanpour, P.N., and A.P. Schwab. 1977. A new soil test for macro- and micro-nutrients in alkaline soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 8: 195-207.

Sorensen, R.C., D.D. Oelsligle, and D. Knuden. 1971. Extraction of Zn, Fe and Mn from soils with 0.1 M hydrochloric acid as affected by soil properties, solution, soil ratio; and length of extraction period. Soil Science. 11: 352-359.

Welch, R.M., and R.D. Graham. 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. Journal of Experimental Botany. 55: 353-364.

Xiaoyun, F., Md. K. Rezaul, C. Xinping, Z. Yueqiang, G. Xiaopeng, Z. Fusuo, and Z. Chunqin. 2012. Growth and iron uptake of lowland and aerobic rice genotypes under flooded and aerobic cultivation. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 43: 1811-1822

Yusiharni, E., and R.J. Gilkes. 2012. Minerals in the ash of Australian native plants. Geoderma 189: 369-380.

Zayed, B.A., A.K.M. Salem and H.M. El Sharkawy 2011. Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oriza sativa* L.) growth and yield under saline soil conditions. World Journal of Agricultural Sciences. 7: 179-184.

Zhang, J., K. Chen, Y. Pang, S.A. Naveed, X. Zhao, X. Wang, Y. Wang, M. Dingkuhn, J. Pasuquin, Z. Li, and J. Xu. 2017. QTL mapping and candidate gene analysis of ferrous iron and zinc toxicity tolerance at seedling stage in rice by genome-wide association study. BMC Genomics 18: 828, DOI 10.1186/s12864-017-4221-5

Zhang, J., M. Wang, and L. Wu. 2009. Can foliar iron-containing solutions be a potential strategy to enrich iron concentration of rice grains (*Oryza sativa L.*)?. Acta Agriculturae Scandinavica. 59: 389-394.