

ผลของเหล็กและแมงกานีสต่อข้าวชาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาต่างชนิด

Effect of iron and manganese on Khao Dok Mali 105 rice grown in different paddy soils

ณัฐวดี อยู่เจริญกิจ¹, ศุภิมา ธนะจิตต์^{1*} และ สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม¹

Nuttawadee Yoojaroenkit¹, Suphicha Thanachit^{1*} and Somchai Anusontpornperm¹

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

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

บทคัดย่อ: ทำการปลูกข้าวชาวดอกมะลิ 105 ในโรงเรือนเพื่อศึกษาการตอบสนองต่อเหล็กหรือแมงกานีสในอัตราที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0, 2, 4, 8 และ 16 มก. เหล็ก/กก. หรือ 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 4.0 มก.แมงกานีส/กก. ในดินนาชุดดินท่าตุม ชุดดินร้อยเอ็ด และชุดดินอุบลพบว่า ความสูงของข้าวที่ปลูกในดินทั้งสามลดลงตามอัตราเหล็กที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่จำนวนรวงของข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามอัตราของเหล็ก (11.0-11.3 รวง/กระถาง) ยกเว้นในอัตรา 4 มก./กก. แต่การใส่เหล็กในอัตรานี้ก็กลับให้น้ำหนักเมล็ดข้าวในดินอุบลสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 17.2 ก./กระถาง ส่วนการใส่เหล็กในอัตราอื่น ๆ ให้น้ำหนักเมล็ดไม่แตกต่างจากตัวควบคุม (6.93-8.37 ก./กระถาง) ยกเว้นในอัตรา 8 มก./กก. ที่ให้ค่าต่ำที่สุด (5.17 ก./กระถาง) แมงกานีสไม่มีผลต่อองค์ประกอบผลผลิตของข้าวแต่ให้ความสูงของข้าวในชุดดินท่าตุมและชุดดินร้อยเอ็ดไม่แตกต่างจากตัวควบคุม (155-156 ซม.) ยกเว้นในอัตรา 2 มก./กก. ที่ให้ค่าสูงที่สุดเท่ากับ 162 และ 165 ซม.ตามลำดับ เหล็กและแมงกานีสเพิ่มโภชนาการของข้าวทางสถิติโดยการใส่เหล็กทำให้เหล็กและสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องสูงที่สุดเมื่อใส่ในอัตรา 2 มก./กก. ขณะที่แมงกานีสเพิ่มเพียงความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องในชุดดินร้อยเอ็ดเมื่อใช้ในอัตรา 4 มก./กก. การใส่แมงกานีสในอัตรา 0.5 และ 1 มก./กก. ทำให้ข้าวสะสมและดูดใช้ธาตุอาหารหลักเพิ่มขึ้นทางสถิติ ส่วนเหล็กทำให้ข้าวในดินท่าตุมและอุบลดูดใช้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมลดลงขณะที่อัตราที่ทำให้ข้าวสะสมและดูดใช้ในโตรเจนเพิ่มขึ้นแปรปรวนในแต่ละดินอยู่ในพิสัย 4-16 มก./กก. ความเข้มข้นของเหล็กในเนื้อเยื่อพืชไม่มีสหสัมพันธ์กับผลผลิตข้าว แต่ความสูงของข้าวมีสหสัมพันธ์กับแมงกานีสในต่อชั่งข้าว ($r = 0.73^*$) และในเมล็ด ($r = 0.88^*$) เช่นเดียวกับจำนวนรวงข้าวที่มีสหสัมพันธ์กับแมงกานีสในต่อชั่งข้าว ($r = 0.73^*$)

คำสำคัญ: จุลธาตุอาหาร; การจัดการธาตุอาหารพืช; ดินโซติก; ดินเนื้อปานกลาง; ข้าวหอมมะลิ

ABSTRACT: Khao Dok Mali 105 rice was planted in greenhouse to study its response to different rates of iron (0, 2, 4, 8 and 16 mg Fe/kg) and manganese (0, 0.5, 1.0, 2.0 and 4.0 mg Mn/kg) in Tha Tum, Roi Et and Ubon soils series. Results showed that plant height in these three soils decreased significantly with increasing rate of Fe while number of panicle in Roi Et soil series (11.0-11.3 panicle/pot) statistically increased with increasing rate of Fe except the rate 4 mg Fe/kg. At this rate of 4 mg Fe/kg also resulted in significantly increased grain weight in Ubon soil series (17.2 g/pot) whereas the other rates gave no statistical difference to that of the control (6.93-8.37 g/pot) with the rate of 8 mg Fe/kg giving the lowest amount of 5.17 g/pot. Manganese had no impact on rice yield components but induced similar plant height to the control in Ubon and Roi Et soil series with the except of 2 mg Mn/kg that gave the highest values of 162 and 165 cm, respectively. Iron and Mn statistically improved nutritional fact of rice grain of which the addition of 2 mg Fe/kg induced the highest Fe and Zn in brown rice grain while the use of 4 mg Mg/kg increased only Zn concentration in the grain in Roi Et soil series. The application of 0.5 and 1 mg Mn/kg significantly increased the uptake of primary plant nutrients and Fe application decreased P and K uptake in Tha Tum and Ubon

* Corresponding author: agrspc@ku.ac.th

soil series. Rates of Fe that induced an increase in N uptake varied among soils, ranging between 4-16 mg/kg. Iron concentration in plant tissue had no correlation with rice yield components but plant height correlated with Mn concentration in rice stover ($r = 0.73^*$) and grain ($r = 0.88^*$) as well as number of panicle that correlated with Mn concentration in rice stover ($r = 0.73^*$).

Keywords: micronutrient; plant nutrient management; sodic soils; medium texture soils; jasmine rice

บทนำ

ข้าวไทยที่เป็นรู้จักและเป็นที่ยอมรับโคกอย่างแพร่หลายทั่วโลก ได้แก่ ข้าวหอมมะลิพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวที่มีคุณภาพการหุงต้มดี เป็นที่ต้องการของตลาดโลกเป็นอย่างมากจึงทำรายได้เข้าสู่ประเทศในแต่ละปีเป็นมูลค่าสูง (ตลาดสินค้าเกษตรล่วงหน้า, 2554) โดยเป็นข้าวเจ้าที่มีเมล็ดข้าวเรียวยาว ขาวใส เมื่อบริโภคจะนุ่ม เหนียว และมีกลิ่นหอมคล้ายกลิ่นใบเตย และปลูกกันอย่างแพร่หลายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแต่มีผลผลิตต่ำ (แสงนวล และ อัมรา, 2548)

เหล็กและแมงกานีสเป็นจุลธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อข้าวเช่นเดียวกับธาตุอาหารหลักโดยเหล็กเป็นธาตุที่จำเป็นในการสังเคราะห์โปรตีนที่อยู่ในคลอโรพลาสต์เพื่อนำไปสร้างคลอโรฟิลล์ ส่วนแมงกานีสเป็นตัวกระตุ้นของเอนไซม์หลายชนิดที่มีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์แสง รวมทั้งกระตุ้นการงอกและการสุกแก่ของผลผลิต (Mousavi et al., 2011) ถึงแม้ว่าข้าวจะต้องการจุลธาตุอาหารเหล่านี้ในปริมาณเล็กน้อย แต่ในดินเขตร้อนที่มีเนื้อดินค่อนข้างหยาบรวมถึงดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำจะมีแหล่งให้จุลธาตุรวมถึงเหล็กและแมงกานีสในปริมาณต่ำ (Kabata-Pendias and Pendias, 2001; Sanchez, 2019) ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของดินหลักที่ใช้ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จึงทำให้จุลธาตุอาหารเหล่านี้มีอยู่น้อยจนอาจไม่เพียงพอสำหรับข้าว ข้าวที่ได้รับเหล็กไม่เพียงพอจะแสดงอาการในระยะเริ่มต้นของการเจริญเติบโตโดยจะพบใบอ่อนเป็นสีเหลือง ถ้าอาการรุนแรงต้นข้าวก็จะกลายเป็นสีเหลืองและตาย รากข้าวมีสีดำปนเทา (ทัศนีย์, 2550; Fageria, 2014; Xiaoyun et al., 2010) ส่วนข้าวที่ได้รับแมงกานีสไม่เพียงพอจะมีใบอ่อนสีค่อนข้างซีดหรือเขียวซีดแต่เส้นใบยังมีสีเขียวรวมทั้งพบจุดประสีเหลือง ถ้าข้าวขาดแมงกานีสรุนแรง เส้นใบจะกลายเป็นสีน้ำตาลและแห้งตาย ต้นข้าวแคระแกร็น จำนวนการติดเมล็ดจะลดลง (Dobermann and Fairhurst, 2000) โดยทั่วไปหากดินมีเหล็กและแมงกานีสต่ำสามารถเพิ่มปริมาณธาตุทั้งสองได้ในรูปของปุ๋ยโดยการใส่ปุ๋ยเหล็ก (Rakesh et al., 2012, Kulandaivel et al., 2004; Abid et al., 2002; Gomaa et al., 2015; Kumar et al., 2018) และปุ๋ยแมงกานีส (Abid et al., 2002) จะสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าวได้รวมทั้งคุณภาพของข้าวทางด้านการเพิ่มจำนวนเมล็ดดี แต่อัตราที่ข้าวจะตอบสนองจะแตกต่างกันไปในแต่ละดิน นอกจากนี้โดยทั่วไปการปลูกข้าวในสภาพน้ำขังจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรีดอกซ์ของดินซึ่งทำให้เหล็กและแมงกานีสละลายออกมาให้เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้นซึ่งหากมีมากเกินไปอาจส่งผลเป็นพิษต่อพืช จึงส่งผลกระทบต่อข้าวหากมีการให้เหล็กหรือแมงกานีสเพิ่มเติม (Fageria, 2014; Xiaoyun et al., 2010) อย่างไรก็ตามข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวพื้นเมืองไวแสงที่มักไม่ตอบสนองต่อปุ๋ยเคมี (แสงนวล และ อัมรา, 2548) ดังนั้นการตอบสนองของข้าวต่อเหล็กและแมงกานีสจึงน่าจะแตกต่างจากข้าวเจ้าทั่วไป อีกทั้งการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับบทบาทของจุลธาตุที่มีต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อให้ได้ความชัดเจนถึงบทบาทของเหล็กและแมงกานีสที่มีข้าวรวมทั้งให้ได้อัตราของปุ๋ยเหล็กและแมงกานีสที่เหมาะสมต่อเพิ่มผลผลิตข้าว การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเหล็กและแมงกานีสที่มีต่อผลผลิตและการดูใช้ธาตุอาหารของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาต่างชนิด ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะสามารถนำไปทดสอบต่อในภาคสนามเพื่อประโยชน์ในการถ่ายทอดสู่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือสำหรับการจัดการปุ๋ยจุลธาตุที่เหมาะสมต่อไป

วิธีการศึกษา

จากการศึกษาเบื้องต้นในโรงเรือนที่ทำการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในทรายล้าง พบว่า การใส่เหล็กและแมงกานีสที่อัตรา 2 มก./กก. จะให้ผลผลิตข้าวสูงสุด การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้อัตราข้างต้นมาทำทดสอบอีกครั้งในชุดดินตัวแทนซึ่งเป็นดินหลักที่ใช้ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้อย่างแพร่หลายจำนวน 3 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินร้อยเอ็ด (Re, Aeric Kandiaquults) ชุดดินท่าตูม (Tt, Aeric (Plinthic) Endoaqualfs) ชุดดินอุบล (Ub, Aquic Arenic (Aquic Grossarenic) Haplustalfs) โดยทำการเก็บตัวอย่างดิน

บนที่มีความลึกประมาณ 30 ซม. เพื่อนำมาปลูกข้าวทดสอบในโรงเรือนทดลอง ดินตัวแทนทั้งสามชุดดินอยู่ในกลุ่มดินเนื้อปานกลางซึ่งมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนปนทรายแป้ง (Table 1) ดินเป็นกรดอ่อนถึงกรดจัดมาก (pH 4.48-6.35) และมีระดับความเค็มอยู่ในพิสัย 0.19-0.97 เดซิซีเมนส์/ม. ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อพืชปลูกเนื่องจากมีค่าต่ำกว่า 2 เดซิซีเมนส์/ม. แต่ชุดดินท่าตุมและชุดดินร้อยเอ็ดมีอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมเท่ากับ 20.8 และ 34.0 ซึ่งสูงมากกว่า 13 แสดงให้เห็นว่าดินทั้งสองเป็นดินโซดิก ดินทั้งสามชุดดินมีสมบัติคล้ายคลึงกันโดยมีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ระดับต่ำมาก (1.25-3.58 เซนติโมลประจุ/กก.) แต่กลับมีปริมาณธาตุอาหารพืชอยู่ในระดับปานกลาง รวมทั้งปริมาณเหล็ก (31.0-62.8 มก./กก.) และแมงกานีสที่สกัดได้ในดิน (29.2-52.1 มก./กก.) มีค่าสูงเกินกว่าระดับวิกฤตที่รายงานโดย Lindsay and Norvell (1978) (Table 1)

การศึกษานี้ทำการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในโรงเรือนทดลองในระหว่างเดือน ก.ค.-ธ.ค. 2561 เพื่อทดสอบถึงผลของเหล็กหรือแมงกานีสในอัตราที่แตกต่างกันจำนวน 5 อัตรา คือ 0, 2, 4, 8 และ 16 มก. เหล็ก/กก. หรือ 0, 0.5, 1.0, 2.0 และ 4.0 มก. แมงกานีส/กก. การวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ ใช้ดินแห้งหนัก 10 กก. ใส่ลงกระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. สูง 10 ซม. ใส่น้ำกลั่น ตีดินให้แตกละเอียด ปักดำกล้าข้าวอายุ 14 วัน จำนวน 3 ต้น/กระถาง รักษาระดับน้ำให้สูง 5 ซม. จากผิวดินตลอดระยะเวลาการทดลองโดยใช้น้ำกลั่น และในทุกตำรับการทดลองในการทดลองจุลธาตุอาหารแต่ธาตุจะมีการเติมธาตุอาหารอื่น ๆ นอกเหนือจากธาตุที่ทำการศึกษาในอัตราที่มากเกินพอ (Table 2) โดยทำการใส่หลังปักดำข้าวไปแล้ว 7 วัน ยกเว้นไนโตรเจนที่แบ่งใส่ครั้งละเท่า ๆ กัน จำนวน 3 ครั้ง ได้แก่ 7 วันหลังปักดำข้าว ที่ระยะแตกกอ และที่ระยะกำเนิดช่อดอก การเก็บข้อมูลพืช ได้แก่ 1) บันทึกวันที่ออกดอกเกินกว่าร้อยละ 50 2) ข้อมูลผลผลิตข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยวหรือ 30 วันหลังออกดอก ได้แก่ ความสูง จำนวนรวง น้ำหนักแห้งตอซัง ผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 14 และจำนวนเมล็ดดี และ 3) ตัวอย่างพืชที่ระยะเก็บเกี่ยวแบบแยกส่วน ได้แก่ เมล็ดข้าวกล้อง และตอซังข้าว (รวมแกลบ) ถูกนำไปย่อยด้วยกรด $H_2SO_4-Na_2SO_4-Se$ เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจนโดย Kjeldahl method ส่วนความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสี เหล็ก และแมงกานีสจะทำการย่อยตัวอย่างด้วยกรด $HNO_3-H_2SO_4-HClO_4$ และวัดปริมาณฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง spectrophotometer ส่วนธาตุที่เหลือทำการวัดด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 2) การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กและแมงกานีสในเนื้อเยื่อพืชกับองค์ประกอบผลผลิตของข้าวโดยใช้ partial correlation analysis

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105

การใส่ปุ๋ยเหล็กในอัตราที่แตกต่างกันไม่มีผลทางสถิติต่อจำนวนวันที่ออกดอกเกินกว่าร้อยละ 50 ของข้าว (78.7-85.0 วันหลังปักดำ) น้ำหนักแห้งต่อชั่งข้าว (27.0-41.9 ก./กระถาง) ร้อยละเมล็ดดี (ร้อยละ 68.3-87.0) และน้ำหนัก 100 เมล็ด (1.27-2.11 ก.) ในทุกชุดดิน แต่ส่งผลให้ความสูงของข้าวแตกต่างกันทางสถิติโดยความสูงของข้าวจะลดลงตามอัตราเหล็กที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่เหล็กในอัตรา 16 มก./กก. ให้ความสูงของข้าวต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 156, 159 และ 120 ซม. ในชุดดินท่าตุม ชุดดินร้อยเอ็ด และชุดดินอุบลตามลำดับ (Table 3) อย่างไรก็ตามการให้ปุ๋ยเหล็กส่งเสริมการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของข้าวที่ปลูกในชุดดินอุบลได้ในระดับหนึ่งเนื่องจากการใส่ในอัตรา 2 มก.เหล็ก/กก. เป็นอัตราเดียวที่ให้ความสูงของข้าวสูงกว่าในตำรับควบคุมทางสถิติซึ่งให้ค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 137 ซม. เช่นเดียวกับการใส่เหล็กในอัตราที่เพิ่มขึ้นเป็น 4 มก./กก. จะให้น้ำหนักเมล็ดข้าวที่ความชื้นร้อยละ 14 ของข้าวในดินนี้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 17.2 ก./กระถาง ขณะที่ตำรับที่เหลือให้น้ำหนักเมล็ดข้าวไม่แตกต่างจากตำรับควบคุม (6.93-8.37 ก./กระถาง) ยกเว้นการใส่เหล็กในอัตรา 8 มก./กก. ที่ให้น้ำหนักเมล็ดข้าวต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 5.17 ก./กระถาง (Table 3) และให้ผลคล้ายคลึงกับในชุดดินร้อยเอ็ดที่การใส่เหล็กมีแนวโน้มส่งเสริมให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (18.5-21.2 เปรียบเทียบกับ 17.0 ก./กระถาง) โดยเฉพาะการใส่ในอัตรา 4 มก./กก. แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ (Table 3) นอกจากนี้การใส่เหล็กในทุกอัตราส่งเสริมการสร้างรวงของข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดโดยทำให้จำนวนรวงเพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุมทางสถิติยกเว้นการใส่เหล็กในอัตรา 4 มก./กก. ที่ให้ค่าไม่แตกต่างจากตำรับควบคุม (8 รวง/กระถาง) และจำนวนรวงจะมีค่าสูงสุดไม่แตกต่างกันอยู่ในพิสัย 11.0-11.3 รวง/กระถางเมื่อใส่เหล็กในอัตราสูงถึง 8 และ 16 มก./กก. ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาในประเทศอินเดียที่พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยเหล็กทำให้ผลผลิตเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวโดยจะให้ผลผลิตสูงสุดเมื่อใส่เหล็กซัลเฟตในอัตรา 4 (Rakesh et al., 2012) และ 2 กก./ไร่ (Kulandaivel et al., 2004) เช่นเดียวกับการศึกษาในประเทศปากีสถานโดย Abid et al. (2002) แต่จะต้องใช้เหล็กในอัตรา 10 มก./กก. ซึ่งจะสูงกว่าผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ เหล็กเป็นธาตุที่จำเป็นในการสังเคราะห์โปรตีนที่อยู่ในคลอโรพลาสต์ และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานำ O₂ ไปสู่กระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโต (Rout and Sahoo, 2015) อย่างไรก็ตามการสภาพขังน้ำจึงทำให้เหล็กในแหล่งแร่สำรองในดินละลายออกมาบางส่วน ทำให้ความเป็นประโยชน์ของเหล็กต่อข้าวเพิ่มขึ้น (Fageria, 2014) แต่การใส่ปุ๋ยเหล็กในอัตราสูงเกินไปโดยเฉพาะเมื่อสูงกว่า 4 มก./กก. อาจเป็นพิษต่อข้าวโดยทำให้รากข้าวสั้นและมีสีน้ำตาลเข้มจึงยับยั้งการดูดธาตุอาหาร (Dobermann and Fairhurst, 2000; Fageria, 2014; Xiaoyun et al., 2010) จึงส่งผลให้กระทบเชิงลบต่อการเจริญเติบโตของข้าวโดยเฉพาะความสูง และทำให้ผลผลิตข้าวลดลงในที่สุด

แมงกานีสเกี่ยวข้องในการถ่ายเทฟอสเฟตโดยเป็นตัวเชื่อมระหว่าง ATP กับเอนไซม์ รวมถึงการสร้างวิตามินหลายชนิดซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว (Mousavi et al., 2011) แต่การใส่ปุ๋ยแมงกานีสในอัตราที่แตกต่างกันกลับไม่มีผลต่อวันที่ออกรวง (81.0-87.0 วันหลังปักดำ) และจำนวนรวง (6.33-11.0 รวง/กระถาง) ของข้าวรวมทั้งองค์ประกอบผลผลิตที่เหลือ ได้แก่ น้ำหนักแห้งต่อชั่งข้าว (29.3-40.8 ก./กระถาง) ร้อยละเมล็ดดี (ร้อยละ 63.0-86.3) น้ำหนัก 100 เมล็ด (1.52-2.25 ก.) และผลผลิตเมล็ดข้าว (29.3-40.8 ก./กระถาง) ในทั้งสามชุดดิน (Table 4) ทั้งนี้เนื่องจากในสภาพน้ำขังจะส่งเสริมให้แมงกานีสละลายออกมาเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในดินที่มีฤทธิ์เป็นกรด (ทัศนีย์, 2550) ดังเช่นดินที่ทำการศึกษาก็อาจทำให้มีแมงกานีสเพียงพอับความต้องการของข้าว การตอบสนองต่อปุ๋ยแมงกานีสของข้าวที่ปลูกจึงไม่ชัดเจน นอกจากนี้การให้แมงกานีสเพิ่มเติมอาจทำให้มีมากจนอาจเป็นพิษต่อข้าวโดยเฉพาะเมื่อใส่สูงเกินกว่า 2 มก./กก. เนื่องจากทำให้ความสูงของข้าวลดลงโดยการใส่แมงกานีสทุกอัตรา ให้ความสูงของข้าวที่ปลูกในชุดดินท่าตุมและชุดดินร้อยเอ็ดต่ำไม่แตกต่างจากตำรับควบคุมโดยให้ค่าอยู่ในพิสัย 155-156 ซม. ยกเว้นการใส่แมงกานีสในอัตรา 2 มก./กก. ที่ให้ความสูงของข้าวที่ปลูกในดินทั้งสองสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 162 และ 165 ซม. ตามลำดับซึ่งให้ความสูงของข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดสูงไม่แตกต่างจากการใส่แมงกานีสในอัตรา 1 มก./กก. ซึ่งให้ผลคล้ายคลึงกับในข้าวที่ปลูกในชุดดินอุบลแต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติโดยการใส่แมงกานีสในอัตรา 0.5 มก./กก. ให้ความสูงของข้าวสูงสุด (132 ซม.) และความสูงของข้าวมีแนวโน้มเพิ่มตามอัตราของแมงกานีสที่เพิ่มขึ้น (123-128 ซม.) (Table 4) ทั้งนี้เนื่องจากแมงกานีสที่มีอยู่ในดิน

สารละลายดินจะยับยั้งการเจริญเติบโตของรากข้าวรวมทั้งการแตกกอทำให้การเจริญเติบโตของข้าวลดลง (Dobermann and Fairhurst, 2000; Fageria, 2014)

ถึงแม้ว่าดินที่ทำการศึกษามีปริมาณเหล็กและแมงกานีสเกินระดับวิกฤตแต่ปริมาณเหล็กและแมงกานีสในดินเหล่านี้อาจยังคงไม่เพียงพอสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 เนื่องจากข้าวแสดงการตอบสนองเชิงบวกต่อเหล็กและแมงกานีสในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยเหล็กหรือแมงกานีสอาจไม่สามารถแก้ไขปัญหาเหล็กและแมงกานีสในดินไม่เพียงพอสำหรับข้าวได้ เนื่องจากปุ๋ยเหล็กหรือแมงกานีสที่ใส่เพิ่มเติมลงไปจะเกิดการละลายและตกตะกอนอย่างรวดเร็วเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเคมีของดินในสภาพน้ำขังทำให้ข้าวไม่สามารถดูดกินได้ (Fan et al., 2012; Fageria, 2014) แต่เมื่อระยะเวลาการขังน้ำนานขึ้นจะส่งเสริมให้เหล็กหรือแมงกานีสละลายออกมาจำนวนมากจนทำอันตรายต่อรากข้าวจึงไม่สามารถดูดกินธาตุอาหารพืชได้ (Xiaoyun et al., 2010) การศึกษาของ Duraisamy et al. (2001) และ Kumar et al (2018) จึงแนะนำให้ปุ๋ยเหล็กและแมงกานีสทางใบจะสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ดีกว่าการให้ทางดินเนื่องจากพืชสามารถดูดใช้ได้โดยตรงผ่านทางใบในส่วนที่เรียกว่า cuticular pores (Fang et al., 2008)

Table 3 Effect of Fe fertilizer rates on yield components of KDML 105 rice grown on Tha tum (Tt), Roi Et (Re) and Ubon (Ub)

soil series												
Fe rate (mg/kg)	Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub
	50% Panicle day (DAT)			Number of panicle (panicle/pot)			Plant height (cm)			Dry stover wt. (g/pot ⁻¹)		
0	81.3	80.7	84.7	9.0	8.0b	9.0	164a	167a	133b	41.9	38.6	29.7
2	80.7	82.3	84.3	11.0	9.0ab	10.0	158bc	164a	137a	38.8	36.9	31.2
4	78.7	81.3	83.7	8.7	8.0b	10.3	162a	158b	130b	36.3	36.8	31.6
8	80.7	81.7	83.3	8.7	11.0a	10.0	160b	162ab	125c	38.9	37.3	30.7
16	81.0	81.0	85.0	7.7	11.3a	7.7	156c	159b	120d	39.1	37.7	27.0
F-test	ns	ns	ns	ns	*	ns	**	**	**	ns	ns	ns
% CV	1.4	2.2	1.9	12.9	13.0	19.4	0.8	0.0	1.6	7.4	8.6	11.6
soil series												
Fe rate (mg/kg)	Filled grain (%)			100-grain wt. at 14 (g)			Grain yield at 14% (g/pot)					
	Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub
0	79.7	78.0	82.7	1.58	1.27	1.87	24.6	17.0	8.37b			
2	81.3	74.0	87.0	1.43	1.60	1.88	21.4	18.9	6.93bc			
4	78.7	68.3	84.7	1.49	1.44	2.11	20.1	21.2	17.2a			
8	76.0	71.0	87.0	1.48	1.37	1.39	23.7	14.7	5.17c			
16	81.0	79.7	84.0	1.51	1.35	1.78	21.0	18.5	8.10b			
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**			
% CV	4.9	5.9	7.4	9.4	17.8	18.8	14.6	21.5	15.0			

ns=non-significant; *,** significant at p ≤ 0.05 and 0.01 respectively, different lowercase letters within the same column are significant difference according to DMRT at p ≤ 0.05

Table 4 Effect of Mn fertilizer rates on yield components of KDML 105 rice grown on Tha tum (Tt), Roi Et (Re) and Ubon (Ub)

soil series												
Mn rate (mg/kg)	Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub
	50% Panicle day (DAT)			Number of panicle (panicle/pot)			Plant height (cm)			Dry stover wt. (g/pot)		
0	81.0	83.0	85.0	11.0	10.7	6.33	155b	155b	128	40.8	36.5	28.3
0.5	81.3	82.0	85.3	9.67	11.0	7.33	155b	156b	132	40.3	34.8	29.3
1.0	81.7	81.3	85.3	10.0	9.67	8.67	156b	162a	125	39.2	36.2	29.9
2.0	81.3	84.3	85.3	9.33	10.0	8.33	162a	165a	128	40.6	35.8	29.9
4.0	81.3	83.0	87.0	10.3	7.67	9.00	155b	156b	123	35.3	34.0	31.0
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	**	ns	ns	ns	ns
% CV	2.2	2.2	1.0	20.2	14.6	24.3	1.6	1.2	2.9	10.9	6.2	11.4
soil series												
Mn rate (mg/kg)	Filled grain (%)			100-grain wt. at 14 (g)			Grain yield at 14% (g/pot)					
	Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub
0	75.0	81.3	70.3	1.65	1.54	2.08	22.8	17.2	13.4			
0.5	77.7	82.0	68.0	1.71	1.42	2.11	21.5	16.7	14.5			
1.0	74.3	67.3	73.3	2.00	1.49	2.16	22.4	14.6	12.5			
2.0	74.3	86.3	73.7	1.66	1.61	2.25	20.4	17.7	14.2			
4.0	73.7	79.3	63.0	1.42	1.55	1.54	17.9	16.2	10.0			
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns			
% CV	3.8	10.0	10.8	22.7	14.4	22.7	9.6	19.9	19.2			

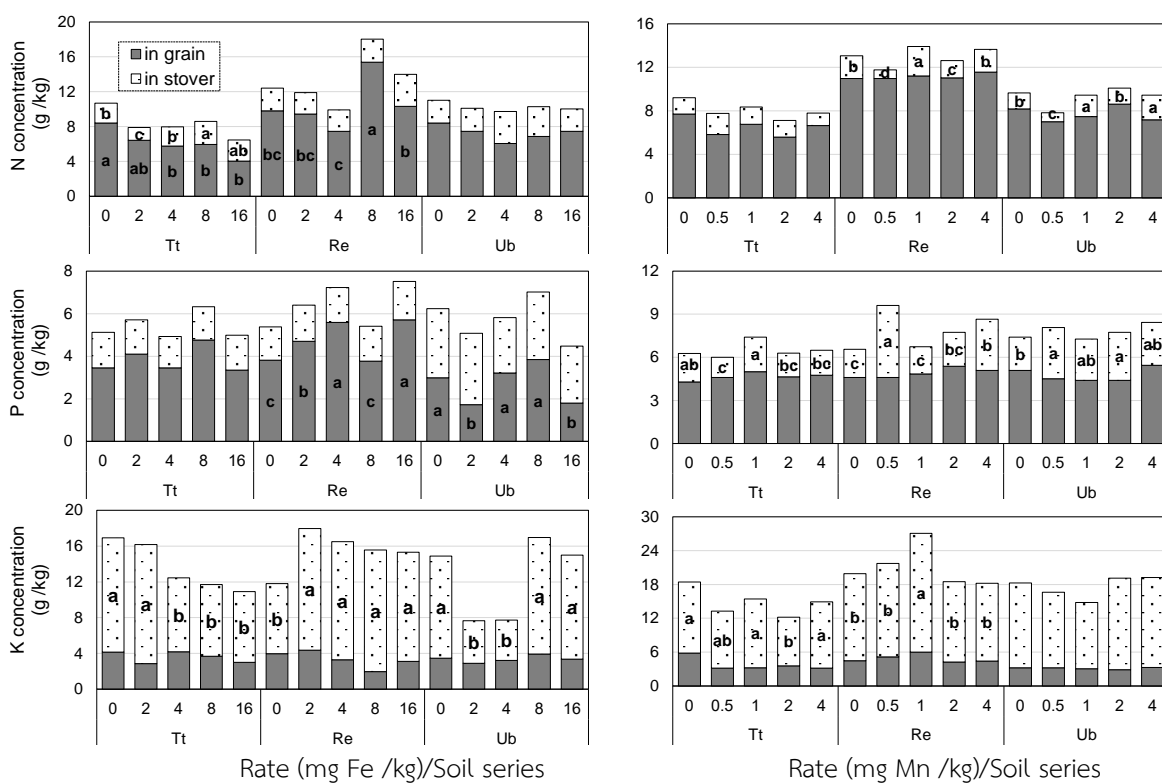
ns=non-significant; *,** significant at p ≤ 0.05 and 0.01 respectively, different lowercase letters within the same column are significant difference according to DMRT at p ≤ 0.05

2. ความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของข้าวขาวดอกมะลิ 105

การใส่ปุ๋ยเหล็กในทุกอัตราทำให้ข้าวในชุดดินท่าตุมมีความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดข้าวและโพแทสเซียมในตอซึ่งไม่แตกต่างกันอยู่ในพิสัย 4.03-6.42 และ 7.88 8.28 ก./กก. ซึ่งต่ำกว่าค่ารับควบคุมทางสถิติ (8.40 และ 12.8 ก./กก. ตามลำดับ) เช่นเดียวกับในชุดดินอุบลที่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวและความเข้มข้นของโพแทสเซียมในตอซึ่งในค่ารับควบคุมมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 2.99 และ 11.4 ก./กก. และมีค่าลดลงจนมีค่าต่ำที่สุดไม่แตกต่างกันเมื่อมีการใส่เหล็ก ยกเว้นการใส่เหล็กในอัตรา 4 หรือ 8 มก./กก. และ 8 หรือ 16 มก./กก. ที่ให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (3.21-3.84 ก./กก.) และโพแทสเซียม (11.6-13.1 ก./กก.) ไม่แตกต่างจากค่ารับควบคุมตามลำดับ (Figure 1a)

การใส่ปุ๋ยเหล็กส่งเสริมข้าวที่ปลูกในชุดดินร้อยเอ็ดสะสมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นโดยการใส่ปุ๋ยเหล็กในอัตรา 8 และ 16 มก./กก. ให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในเมล็ดสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามลำดับเท่ากับ 15.4 และ 5.71 ก./กก. ยกเว้นการใส่เหล็กในอัตรา 2 และ 8 มก./กก. ที่ให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำไม่แตกต่างจากค่ารับควบคุมตามลำดับ

(Figure 1a)



Different lowercase letters accompanying bars representing mean nutrient concentrations in grain or in stover within the same soil are significant different according to DMRT at $p \leq 0.05$

(a)

(b)

Figure 1 Effect of fertilizer rates on primary nutrient concentrations in different plant parts of KDML 105 rice grown on Tha tum (Tt), Roi Et (Re) and Ubon (Ub) soil series; Fe fertilizer (a) and Mn fertilizer (b)

การใส่ปุ๋ยเหล็กในอัตราที่แตกต่างกันทำให้ข้าวดูดใช้ธาตุอาหารหลักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยกเว้นการดูดใช้ฟอสฟอรัสของข้าวในชุดดินร้อยเอ็ด เหล็กจะส่งเสริมให้ข้าวดูดใช้ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นโดยข้าวในชุดดินท่าตุม ชุดดินร้อยเอ็ด และชุดดินอุบลดูดใช้ไนโตรเจนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 110, 137 และ 115 มก./กระถาง ตามลำดับเมื่อทำการใส่เหล็กในอัตรา 8, 16 และ 4 มก./กก.ตามลำดับ ขณะที่การใส่เหล็กในอัตรา 2 และ 4 มก./กก. ให้การดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวในชุดดินท่าตุมและชุดดินร้อยเอ็ดมีค่าต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามลำดับ อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยเหล็กกลับทำให้ข้าวที่ปลูกในชุดดินท่าตุมและชุดดินอุบล

ดูใช้ฟอสฟอรัส (35.8-61.1 และ 61.4-105 มก./กระถาง) และโพแทสเซียม (300-532 และ 148-336 มก./กระถาง) ต่ำกว่าหรือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กลับทำให้ข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดดูดใช้โพแทสเซียมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอยู่ในพีสัย 460-555 มก./กระถาง (Table 5)

การใส่ปุ๋ยแมงกานีสในทุกอัตราไม่มีผลต่อความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในเมล็ดข้าว แต่เพิ่มความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในตอซึ่งข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยการใส่ปุ๋ยแมงกานีสในอัตรา 1 มก./กก. ให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในตอซึ่งข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดและชุดดินอุบลสูงสุดเท่ากับ 2.71 และ 1.98 ก./กก. ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างจากการใส่ในอัตรา 4 มก./กก.ในชุดดินอุบล แต่เมื่อใส่แมงกานีสลดลงเป็น 0.5 มก./กก. กลับเป็นตำรับที่ทำให้ข้าวในชุดดินทั้งสองสะสมไนโตรเจนต่ำที่สุด แต่ส่งเสริมให้ข้าวที่ปลูกในทั้งสองชุดดินสะสมฟอสฟอรัสสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 5.02 และ 3.57 ก./กก. ส่วนความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซึ่งข้าวในชุดดินท่าตุมจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.39 ก./กก. เมื่อใส่ปุ๋ยแมงกานีสในอัตรา 1 มก./กก. นอกจากนี้ข้าวที่ปลูกจะสะสมฟอสฟอรัสในตอซึ่งข้าวต่ำที่สุดในตำรับควบคุม (1.96 และ 2.33 ก./กก.) ยกเว้นในชุดดินท่าตุมที่มีค่าต่ำที่สุด (1.39 ก./กก.) เมื่อใส่แมงกานีสอัตรา 0.5 มก./กก. การใส่ปุ๋ยแมงกานีสในทุกอัตราทำให้ข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดและท่าตุมสะสมโพแทสเซียมในตอซึ่งต่ำไม่แตกต่างจากตำรับควบคุมอยู่ในพีสัย 13.816.6 และ 10.1-12.6 ก./กก. ยกเว้นการใส่แมงกานีสในอัตรา 1 และ 2 มก./กก. ที่ให้ค่าสูงสุดตามลำดับเท่ากับ 21 และ 18.63 ก./กก. (Figure 1b)

Table 5 Effect of Fe and Mn fertilizer rates on major plant nutrient uptake by KDML 105 rice grown on Tha tum (Tt), Roi Et (Re) and Ubon (Ub) soil series

Element	Rate (mg/kg)	N uptake (mg/pot)			P uptake (mg/pot)			K uptake (mg/pot)		
		Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub	Tt	Re	Ub
Fe	0	95.3b	107b	62.8c	72.4a	60.6	95.7a	448a	302b	338a
	2	59.4d	90.3bc	97.0ab	35.8c	62.7	105a	532a	505a	148b
	4	75.9c	79.1c	115a	39.2bc	306	81.4b	300b	555a	228ab
	8	110a	89.7bc	113a	55.8abc	60.8	101a	313b	506a	336a
	16	89.8b	137a	81.1bc	61.1ab	64.2	61.4c	307b	460a	312a
	F-test	**	**	**	*	ns	**	**	**	*
% CV	6.0	12.6	12.4	21.9	9.8	6.8	17.0	11.4	21.8	
Mn	0	61.2	72.6b	40.4b	76.1ab	80.7c	76.3c	517	567b	443
	0.5	77.8	27.4d	32.7b	56.0c	171a	107a	361	578b	333
	1.0	60.5	94.5a	59.1a	97.6a	70.4c	91.6b	477	774a	320
	2.0	62.1	54.4c	38.6b	78.0b	94.9bc	103a	349	445c	482
	4.0	37.1	75.0b	52.0a	63.2ab	124b	99.6ab	385	422c	546
	F-test	ns	**	**	**	**	**	**	ns	**
% CV	28.7	10.7	10.0	13.9	18.1	5.6	22.8	11.1	22.7	

ns=non-significant; **, * significant at $p \leq 0.05$ and 0.01 respectively, different lowercase letters within the same column are significant difference according to DMRT at $p \leq 0.05$

เมื่อพิจารณาการดูดใช้ธาตุอาหารหลักของข้าวพบว่า การใส่ปุ๋ยแมงกานีสส่งเสริมให้ข้าวดูดใช้ธาตุอาหารเพิ่มขึ้น ยกเว้นการดูดใช้ไนโตรเจนและโพแทสเซียมของข้าวในชุดดินท่าตุม และการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวในชุดดินอุบลที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยแมงกานีสในอัตรา 1 มก./กก ทำให้ข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดและชุดดินอุบลดูดใช้ไนโตรเจนสูงสุดเท่ากับ 94.5 และ 59.1 มก./กระถางตามลำดับ รวมทั้งเป็นอัตราที่ทำให้ข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดดูดใช้โพแทสเซียมและข้าวในชุดดินท่าตุมดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 772 และ 97.6 มก./กระถางตามลำดับ แต่เมื่อใส่แมงกานีสลดลงเป็น 0.5 มก./กก. กลับทำให้ข้าวในชุดดิน

ร้อยเอ็ดและชุดดินอุบลคู่ดูใช้ฟอสฟอรัสสูงที่สุดเท่ากับ 171 และ 107 มก./กระถางตามลำดับ นอกจากนี้ข้าวที่ปลูกในชุดดินอุบลจะดูดูใช้ในโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทำการใส่แมงกานีสในอัตรา 4 และ 2 มก./กก.ตามลำดับ (Table 5)

โดยภาพรวมพบว่าการใส่แมงกานีสในอัตรา 0.5 ถึง 1 มก./กก. จะส่งเสริมให้ข้าวขาวดอกมะลิ 105 สะสมและดูดูใช้ธาตุอาหารหลักเพิ่มขึ้น ขณะที่ในกรณีของเหล็กกลับทำให้ข้าวที่ปลูกในบางชุดดินดูดูใช้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมลดลง เช่นเดียวกับอัตราที่ส่งเสริมให้ข้าวสะสมและดูดูใช้ธาตุอาหารหลักแปรปรวนไปในแต่ละดินอยู่ในพิสัย 4-16 มก.เหล็ก/กก. เนื่องจากการละลายของเหล็กในดินสภาพน้ำซึ่งจะมีความแปรปรวนมากกว่าแมงกานีส (ทัศนีย์, 2550) จึงส่งผลต่อความเป็นประโยชน์ที่มีต่อข้าว อย่างไรก็ตามความเข้มข้นธาตุอาหารหลักของข้าวจะลดลงเมื่อทำการใส่เหล็กหรือแมงกานีสในอัตราที่เพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวลดลงตามอัตราของเหล็กหรือแมงกานีสเนื่องจากรากพืชอาจไม่สามารถดูดูใช้ธาตุอาหารได้เพียงพอกับความต้องการของข้าว (Dobermann and Fairhurst, 2000; Fageria, 2014; Xiaoyun et al., 2010)

3. โภชนาการของข้าวของข้าวขาวดอกมะลิ 105

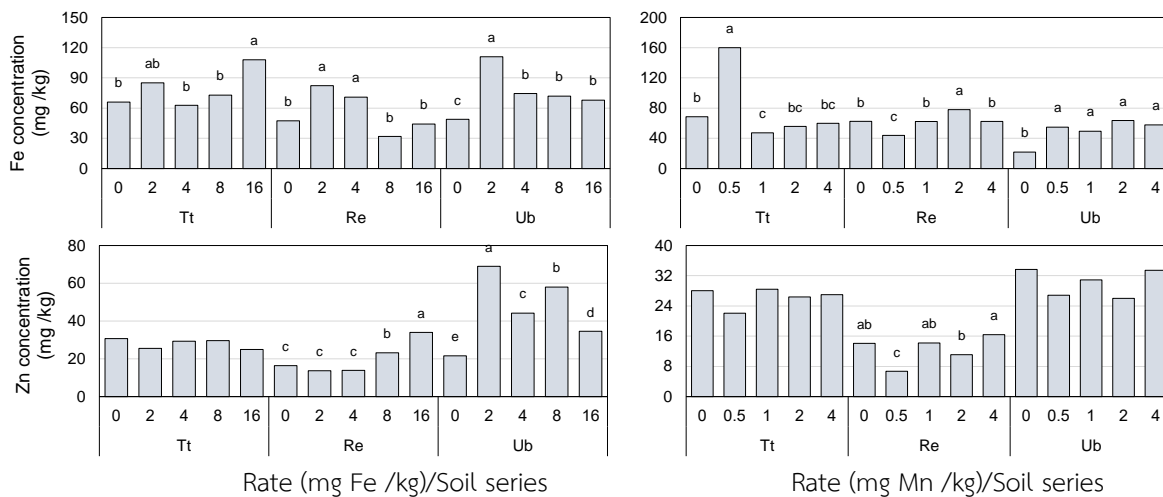
คุณภาพเชิงโภชนาการของข้าวขาวดอกมะลิ 105 พิจารณาจากปริมาณเหล็กและสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องเนื่องจากเหล็กและสังกะสีมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของมนุษย์โดยส่วนใหญ่มนุษย์ได้รับมาจากการบริโภคธัญพืชรวมถึงข้าว การใส่ปุ๋ยเหล็กส่งเสริมโภชนาการของข้าวอย่างชัดเจนโดยเฉพาะในชุดดินอุบลเนื่องจากการใส่เหล็กในทุกอัตราให้ความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดข้าวกล้อง (67.9-74.5 มก./กก.) สูงกว่าค่ารับควบคุมทางสถิติ (48.9 มก./กก.) โดยใส่เหล็กอัตรา 2 มก./กก.ให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 82.3 มก./กก. และยังเป็นอัตราที่ทำให้ความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องในชุดดินร้อยเอ็ดสูงสุดไม่แตกต่างจากใส่เหล็กในอัตรา 4 มก./กก.อยู่ในพิสัย 70.9-82.3 มก./กก. ส่วนความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องในชุดดินท่าตุมสูงที่สุด (108 มก./กก.) เมื่อใส่เหล็ก 16 มก./กก. ขณะที่ค่ารับควบคุมที่ปล่อยให้ผลไม่แตกต่างจากค่ารับควบคุมโดยให้ค่าอยู่ในพิสัย 31.9-47.4 และ 62.80-66.00 มก./กก. สำหรับชุดดินร้อยเอ็ดและท่าตุมตามลำดับ (Figure 2a)

แมงกานีสส่งเสริมโภชนาการของข้าวในชุดดินอุบลอย่างชัดเจนโดยการใส่แมงกานีสในทุกอัตราให้ความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องสูงสุดไม่แตกต่างกัน (49.4-63.6 เปรียบเทียบกับ 21.8 มก./กก.) แต่ในชุดดินท่าตุมกลับพบว่าการใส่แมงกานีสในทุกอัตราให้ความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดข้าวกล้อง (47.3-59.9 มก./กก.) ต่ำกว่าค่ารับควบคุมทางสถิติ (68.8 มก./กก.) ยกเว้นการใส่แมงกานีสอัตรา 0.5 มก./กก. ที่ให้ความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 160 มก./กก. แต่กลับทำให้ความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องในชุดดินร้อยเอ็ดต่ำที่สุดเท่ากับ 43.90 มก./กก. ส่วนการใส่แมงกานีสในอัตราที่เหลือในชุดดินร้อยเอ็ดให้ความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องไม่แตกต่างจากควบคุมอยู่ในพิสัย 62.3-62.40 มก./กก. ยกเว้นการใส่แมงกานีสในอัตรา 2 มก./กก. ที่ให้ค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 78 มก./กก. (Figure 2b) การใส่ปุ๋ยเหล็กส่งเสริมให้เมล็ดข้าวสะสมสังกะสีเพิ่มขึ้นยกเว้นในชุดดินท่าตุมที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (24.96-30.72 มก./กก.) โดยจะเห็นผลอย่างชัดเจนในชุดดินอุบลเนื่องจากการใส่เหล็กในทุกอัตราให้ความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้อง (34.6-69.0 มก./กก.) สูงกว่าค่ารับควบคุมทางสถิติ (21.6 มก./กก.) โดยการใส่ในอัตรา 2 มก. เหล็ก/กก. จะให้ค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่การใส่เหล็กในอัตรา 2-4 มก./กก. ให้ความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องในชุดดินร้อยเอ็ดต่ำที่สุดไม่แตกต่างจากค่ารับควบคุม (13.7-16.4 มก./กก.) แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้น (23.2 มก./กก.) เมื่อทำการใส่เหล็กในอัตราที่เพิ่มขึ้นซึ่งในอัตรา 16 มก./กก. จะให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 34.0 มก./กก. (Figure 2a) ส่วนในกรณีของการใส่แมงกานีสไม่ส่งเสริมโภชนาการของข้าวกล้องทางด้านเพิ่มสังกะสีเนื่องจากการใส่แมงกานีสในทุกอัตราในชุดดินร้อยเอ็ดให้ความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องไม่แตกต่างจากค่ารับควบคุม (11.1-16.4 มก./กก.) ยกเว้นการใส่แมงกานีสในอัตรา 0.5 มก./กก. ที่ให้ค่าต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 6.71 มก./กก. นอกจากนี้ปุ๋ยแมงกานีสไม่มีผลต่อความเข้มข้นของสังกะสีในเมล็ดข้าวกล้องในชุดดินท่าตุม (22.1-28.0 มก./กก.) และชุดดินอุบล (26.0-33.7 มก./กก.) (Figure 2b)

จากรายงานปริมาณความต้องการเหล็กและสังกะสีต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของคนไทยเท่ากับ 10 และ 15 มก./วัน สำหรับเพศชาย และ 15 และ 12 มก./วัน สำหรับเพศหญิง (FAO and WHO, 2000) จึงควรบริโภคข้าวมากกว่า 100 และ 200 ก. จึงจะทำให้ได้เหล็กและสังกะสีเพียงพอต่อความต้องการ

4. สหสัมพันธ์ระหว่างเหล็กและแมงกานีสในเนื้อเยื่อพืชและองค์ประกอบผลผลิตของข้าว

ความเข้มข้นของเหล็กในเมล็ดและในตอซึ่งข้าวไม่มีสหสัมพันธ์เชิงเส้นทางสถิติกับองค์ประกอบผลผลิตของข้าว ขณะที่ความเข้มข้นของแมงกานีสในเมล็ดข้าวมีสหสัมพันธ์กับความสูงของข้าว ($r = 0.73^*$) เช่นเดียวกับความเข้มข้นของแมงกานีสในตอซึ่งข้าว สหสัมพันธ์กับความสูงของข้าว ($r = 0.88^*$) และจำนวนรวงของข้าว ($r = 0.73^*$) (Table 6) เนื่องจากแมงกานีสจะเกี่ยวข้องในการถ่ายเทออสเฟตโดยเป็นตัวเชื่อมระหว่าง ATP กับเอนไซม์ รวมถึงการสร้างวิตามินหลายชนิดซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว (Mousavi et al., 2011)



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

(a)

(b)

Figure 2 Effect of fertilizer rates on Fe and Zn concentration in brown rice of KDML 105 rice grown on Tha tum (Tt), Roi-et (Re) and Ubon soil series; Fe fertilizer (a) and Mn fertilizer (b)

Table 6 Correlation coefficients (r) for linear relationships between Fe and Mn concentrations in different plant parts and yield components of KDML 105 rice

Nutrient concentration	Plant part	Correlation coefficients (r)					
		Relative		Plant height	Panicle No.	Panicle day	Filled grain
		Grain yield	Dry stover wt.				
Fe	Grain	0.59	0.35	0.23	0.21	0.19	0.36
	Strover	-0.39	-0.24	0.05	-0.64	-0.19	-0.22
Mn	Grain	0.17	0.34	0.73*	0.59	-0.34	0.53
	Strover	0.51	0.64	0.88**	0.73*	-0.44	0.64

*,** = correlation are significant at ≤ 0.05 and 0.01 , respectively

สรุปผลการทดลอง

ดินนาตัวแทนที่ทำการศึกษาคือได้แก่ ชุดดินท่าตุม ชุดดินร้อยเอ็ด และชุดดินอุบลเป็นดินเนื้อปานกลางที่มีปริมาณเหล็กและแมงกานีสสูงกว่าระดับวิกฤติแต่อาจยังคงไม่เพียงพอสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งข้าวแสดงการตอบสนองเชิงบวกต่อเหล็กและแมงกานีสในระดับหนึ่งและเห็นผลอย่างชัดเจนในชุดดินอุบลโดยการใส่เหล็กจะเพิ่มน้ำหนักเมล็ดข้าวและจำนวนรวงของข้าว รวมทั้งโภชนาการของข้าวกล้องให้มีเหล็กและสังกะสีเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการใส่แมงกานีสที่เพิ่มโภชนาการให้มีเหล็กในเมล็ดข้าวกล้องเพิ่มขึ้น

อีกทั้งยังส่งเสริมให้ข้าวสะสมและดูดใช้ธาตุอาหารหลักเพิ่มขึ้นด้วย แต่การใส่เหล็กในอัตรา 4 มก./กก. หรือ แมงกานีสในอัตรา 2 มก./กก. จะส่งผลเชิงลบต่อการเจริญเติบโตข้าวโดยทำให้ความสูงของข้าวลดลง อีกทั้งการใส่เหล็กยังทำให้ข้าวดูดใช้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมลดลง แสดงให้เห็นว่าอัตรานี้อาจสูงมากจนมีแนวโน้มทำให้เกิดความเป็นพิษต่อข้าว องค์ประกอบผลผลิตข้าวไม่มีสหสัมพันธ์กับเหล็กแต่มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับแมงกานีสในตอซังและเมล็ดข้าว การศึกษารั้วนี้เป็นการทดสอบในสภาพโรงเรือนทดลองซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างจากสภาพไร่ นา ดังนั้นจึงควรมีการทดสอบเพิ่มเติมในสนามให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำมากขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราเหล็กและแมงกานีสที่ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ตอบสนองค่อนข้างต่ำ การให้ทางใบจึงน่าเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพกว่าการให้ทางดินรวมทั้งระยะการเจริญเติบโตที่เหมาะสมต่อการให้ปุ๋ยทางใบจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติม

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตรจาก สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2563 และได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยบางส่วนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) และสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- ตลาดสินค้าเกษตรล่วงหน้าแห่งประเทศไทย. 2554. ข้าวหอมมะลิชนิดใหม่สู่การลงทุนในตลาดสินค้าเกษตรล่วงหน้า.
<http://www.afet.or.th/v081/thai/learning/publication.php>.
- แสงนวล ทองเพ็ชร และ อัมรา เวียงวีระ. 2548. ลักษณะพิเศษของข้าวหอมมะลิ. น.ส.พ. กสิกร. 78: 6-11.
- Abid, M., N. Ahmad, M. Jahangir, and I. Ahmad. 2002. Effect of zinc, iron and manganese on growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). Pakistan Journal of Agricultural Sciences. 39: 177-180.
- Dobermann, A., and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. Potash and Phosphate Institute. Canada.
- Duraisamy, V.P., and A.K. Mani. 2001. Effects of zinc and iron on yield, content, uptake and soil fertility under samai in a red loamy sandy soil. Mysore Journal of Agricultural Sciences. 35: 297-301.
- Fageria, N.K. 2014. Mineral Nutrition of Rice. CRC Press.
- Fan, X., M.D. Rezaul Karim, C. Xinping, Z. Yueqiang, G. Xiaopeng, and Z. Fusuo. 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.
- 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.
- FAO/WHO. 2000. Preliminary report on recommended nutrient intakes. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation on Human Vitamin and Mineral Requirements. Sep 21-30, 1980, Bangkok, Thailand.
- Gomaa, M.A., F.I. Radwan, E.E. Kandil, and M.A.M. Shower. 2015. Impact of micronutrients and bio-fertilization on yield and quality of rice (*Oryza sativa*, L.). Middle East Journal of Agriculture Research. 4: 919-924.
- Kabata-Pendias, A., and H. Pendias. 2001. Trace Elements in Soils and Plants, 3th edition. CRC Press LLC.
- Kulandaivel, S., M.B. Gangaiah and P.K. Mishra. 2004. Effect of levels of zinc and iron and their chelation on yield and soil micronutrient status in hybrid rice (*Oryza sativa* L.)-wheat (*Triticum aestivum* L.) cropping system. Indian Journal of Agronomy. 49: 80-83.

- 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 a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42: 421-428.
- Mousavi, S.R., M. Shahsavari, and M. Rezaei. 2011. A general overview on manganese (Mn) importance for crops production. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 5: 1799-1803.
- Rakesh, D., P. Raghuramireddy, and P.M.D. Latheef. 2012. Response of aerobic rice to varying fertility levels in relation to iron application. *Journal of Research Angraui*. 40: 94-97.
- Rout, G.R., and S. Sahoo. 2015. Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science*. 3: 1-24.
- Sanchez, P.A. 2019. *Properties and Management of Soils in the Tropics*. Cambridge University Press.
- 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*. 43:1811-182