KHON KAEN AGR. J. 48 (6): 1304-1315 (2020)./doi:10.14456/kaj.2020.115.

การตอบสนองของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่อแมกนีเซียมในดินนาต่างชนิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

Response of Khao Dawk Mali 105 rice to magnesium in different paddy soils in Northeast of Thailand

ธนาภรณ์ ประเสริฐพร[1] , ศุภิฌา ธนะจิตต์[1]*และ สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม[1]

Tanaporn Prasertporn[1] , Suphicha Thanachit[1*] and Somchai Anusontpornperm[1]

บทคัดย่อ: ทำการศึกษาการตอบสนองของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในดินนาต่างชนิดได้แก่ ชุดดินพิมาย ชุดดินร้อยเอ็ด และชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มที่ได้รับแมกนีเซียมในอัตราที่แตกต่างกันได้แก่ 0, 1.5, 3, 6 และ 12 กก./ไร่ และทำการเปรียบเทียบวิธีการประเมินความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมในดินสำหรับข้าว พบว่า การใส่แมกนีเซียมไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตทางสถิติแต่มีแนวโน้มเพิ่มผลผลิตเมล็ดและตอซังข้าวยกเว้นในชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม การใส่แมกนีเซียมในทุกอัตราทำให้จำนวนเมล็ดดีในชุดดินร้อยเอ็ด 1 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ร้อยละ 86.6-88.6) ยกเว้นการในอัตรา 6 กก.Mg/ไร่ (ร้อยละ 80.3) นอกจากนี้การใส่แมกนีเซียมทำให้ข้าวดูดใช้ธาตุอาหารลดลงทางสถิติยกเว้นฟอสฟอรัสและแมกนีเซียม แมกนีเซียมในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปทั้งหมดซึ่งเป็นองค์ประกอบของแร่ (260-333 มก./กก.) และมีแมกนีเซียมที่สกัดได้แตกต่างกันตามชนิดน้ำยาสกัดดินโดย NH_4OAC > $CaCl_2$ > Mehlich III > น้ำกลั่น การขังน้ำเป็นระยะเวลา 1 เดือนทำให้แมกนีเซียมที่สกัดได้ลดลงแต่แมกนีเซียมทั้งหมดในดินมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นแหล่งสำรองของแมกนีเซียมต่อพืช แมกนีเซียมในดินไม่พบสหสัมพันธ์เชิงเส้นกับผลผลิตข้าว แต่แมกนีเซียมที่สกัดด้วย $CaCl_2$ ในดิน ($r=0.776^{**}$) และในดินสภาพน้ำขัง ($r=0.748^{**}$) ต่างพบสหสัมพันธ์ทางสถิติกับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในแกลบและรำ เช่นเดียวกับแมกนีเซียมในดินสภาพน้ำขังที่สกัดด้วยน้ำกลั่น ($r=0.742^{**}$) และ $CaCl_2$ ($r=0.827^{**}$) ที่ต่างมีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเมล็ดข้าว สารสกัดทั้งสองจึงใช้ประเมินแมกนีเซียมสำหรับข้าวในดินเหล่านี้ได้ในระดับหนึ่ง

คำสำคัญ: ธาตุอาหารรอง, น้ำยาสกัดเดียว, ข้าวหอมมะลิ, ดินเขตร้อน

ABSTRACT: A study was carried out on the response of Khao Dawk Mali 105 rice (KDML 105 rice) in different paddy soils consisting of Phimail soil series, Roi Et soil series and Roi Et soil series, saline variant (Re-Sa) to varying rates of Mg applied at 0, 1.5, 3, 6 and 12 kg/rai. Besides, soil extractant methods for the assessment of Mg content available to rice were compared. Results revealed that applications of Mg had no statistically effect on rice growth and yield components, but they had a tendency to increase rice grain and stover yields except in the case of Re-Sa soil. Magnesium applied at all rates significantly increased filled grain number of rice grown in Re1 soil

---

Received April 3, 2020

Accepted June 5, 2020

[1] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ 10900

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

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

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 6: 1304-1315 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.115.

(86.6-88.6%) with the exception at the rate of 6 kg Mg/rai. Moreover, Mg application significantly decreased plant nutrient concentration and uptake in rice, except for P and Mg that the result showed the opposite trend. Soil Mg was in a residual form in mineral composition (260-333 mg/kg), while the extracted Mg varied among the extractants as follows, NH_4OAC > $CaCl_2$ > Mehlich III > distilled water. Flooding the soils for 1 month clearly decreased the contents of extracted Mg but increased the total Mg as the Mg reservoir. Soil Mg showed no positive statistical correlation with relative rice yield components. The $CaCl_2$ extractant gave Mg content in soils (r=0.776**) and in flooded soils (r=0.748**) identical correlated with Mg concentration in rice husk and bran. In addition, the extracted Mg in flooded soils by distilled water (r=0.742**) and $CaCl_2$ (r=0.827**) similarly had a significant correlation with Mg concentration in rice grain. Both extractants can therefore be used to estimate Mg availability for rice in these soils.
Keywords: secondary plant nutrient, single extraction, jasmine rice, tropical soils

บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจของโลกและเป็นอาหารหลักโดยเฉพาะในทวีปเอเชีย พื้นที่ปลูกข้าวทั่วโลกประมาณ 1,025 ล้านไร่ ผลผลิตข้าวรวม 722 ล้านตัน การผลิตข้าวในประเทศไทยนอกจากผลิตเพื่อเลี้ยงประชากรในประเทศแล้วยังผลิตเพื่อการส่งออกทำรายได้ถึงปีละประมาณ 170,000-200,000 ล้านบาท ประเทศไทยผลิตข้าวมากเป็นอันดับ 6 ของโลกประมาณ 18.7 ล้านตันแต่เป็นผู้ส่งออกเป็นอันดับ 1 โดยเฉพาะข้าวหอมมะลิไทยพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ซึ่งเป็นข้าวที่มีคุณภาพดีเมื่อหุงสุกจะมีกลิ่นหอมคล้ายดอกมะลิ เนื้อสัมผัสของข้าวจะเหนียวนุ่ม จึงเป็นที่นิยมของตลาดโลก (กฤษณา, 2552; แสงนวล และอัมรา, 2548)

แมกนีเซียมเป็นกลุ่มธาตุอาหารรองที่พืชต้องการในปริมาณมากและมักมีเพียงพอต่อความต้องการของพืช แต่ในดินที่มีพัฒนาการสูง เช่น ดินในเขตร้อน หรือดินที่เป็นกรด และดินทรายซึ่งเป็นดินที่ใช้ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (จุลมณี และจุรี, 2552) มักมีธาตุนี้ไม่เพียงพอเนื่องจากถูกชะลายออกไปจากดิน สูญเสียไปกับการกร่อนดินรวมถึงติดไปกับผลผลิตพืช (Brady and Weil, 2016) ทำให้ธาตุเหล่านี้ในดินมีปริมาณลดลงจนอาจส่งผลกระทบต่อพืชต่อไป แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบหลักของคลอโรฟิลล์ที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงและสร้างอาหารให้แก่พืช (Cakmak and Marschner, 1992) ค่าวิกฤตความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบข้าว (Y leaf) ที่ระยะแตกกอมีค่าน้อยกว่า 1.2 ก./กก. ซึ่งต้นข้าวที่ขาดแมกนีเซียมจะพบใบแก่ที่มีสีเหลืองซีดแต่เส้นใบยังเป็นสีเขียว ในกรณีที่ขาดรุนแรงจะส่งผลให้จำนวนช่อดอกข้าว และน้ำหนักเมล็ด รวมทั้งคุณภาพของเมล็ดข้าวลดลง (Doberman and Fairhurst, 2000) ข้าวจะตอบสนองต่อปุ๋ยแมกนีเซียมเมื่อดินมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดด้วยสารละลาย NH_4OAc มีค่าต่ำกว่า 1 เซนติโมล/กก.(Basu, 2011) โดย Suswanto et al. (2007) ได้ทำการทดลองปลูกข้าวในดินกรด พบว่า การใส่หินปูนแมกนีเซียม หินปูนแมกนีเซียมร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ และหินปูนแมกนีเซียมร่วมกับแมกนีเซียมฟอสเฟตให้ผลผลิตเมล็ด (3.1-4.4 ตัน/เฮกตาร์) ต่ำกว่าตำรับควบคุมทางสถิติ (4.5 ตัน/เฮกตาร์) ยกเว้นการใส่หินปูนแมกนีเซียมอัตรา 2 ตัน/เฮกตาร์ที่ให้ผลผลิตข้าวสูงสุดเท่ากับ 5 ตัน/เฮกตาร์ แต่เมื่อใส่ต่อเนื่องเป็นปีที่ 2 ในทุกตำรับการทดลองกลับให้ผลผลิตเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นการใส่หินปูนแมกนีเซียมอัตรา 2 ตัน/เฮกตาร์ที่ในปีนี้ให้ผลผลิตเมล็ดต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการใส่หินปูนแมกนีเซียมอัตรา 4 ตัน/เฮกตาร์ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ หรือการใส่หินปูนที่อัตรา 8 ตัน/เฮกตาร์ให้ผลผลิตเมล็ดสูงสุดไม่แตกต่างกันเท่ากับ 7.2 และ 7.5 ตัน/เฮกตาร์ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าตำรับควบคุมทางสถิติที่ได้ผลผลิต 4.5 ตัน/เฮกตาร์ ขณะที่กนกพรและคณะ (2560) พบว่า ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในชุดดินร้อยเอ็ดและชุดดินกุลาร้องไห้ไม่ตอบสนองทางด้านผลผลิตต่อการใส่แมกนีเซียมในอัตรา 2-8 กก./ไร่ นอกจากนี้สารละลาย NH_4OAc ซึ่งเป็นสารสกัดที่ใช้ในการ

ประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมในดินในประเทศไทยไม่สามารถใช้ประเมินความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมสำหรับข้าวที่ปลูกในดินทั้งสองได้เนื่องจากไม่พบสหสัมพันธ์ทางสถิติกับผลผลิตและการดูดใช้แมกนีเซียมของข้าว งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแมกนีเซียมที่มีต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ผ่านมายังมีน้อย ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาผลของแมกนีเซียมต่อการตอบสนองของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาต่างชนิดกันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ธาตุอาหารพืชและผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ 3) เพื่อเปรียบเทียบวิธีการประเมินความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมในดินสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาต่างชนิด ซึ่งจะทำให้ได้องค์ความรู้ที่มีความชัดเจนเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมในดินสำหรับข้าว และอัตราแมกนีเซียมที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตข้าว เพื่อใช้ในการถ่ายทอดสู่เกษตรกรผู้ปลูกข้าวหอมมะลิในภาคตะวันออกเฉียงเหนือต่อไป

วิธีการศึกษา

ทำการทดลองในแปลงนาเกษตรกร ประกอบด้วยชุดดินร้อยเอ็ด (Roi et soil series; Re) ในเขตอำเภอเมือง (Re1) และอำเภอศรีขรภูมิ (Re2) จังหวัดสุรินทร์ และชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม (Re-sa) ในเขตอำเภอโนนไทย และชุดดินพิมาย (Phimai soil series; Pm) ในเขตอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งชุดดินเหล่านี้เป็นชุดดินหลักที่มักใช้ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยมีเนื้อดินครอบคลุมตั้งแต่ดินทรายร่วนถึงดินเหนียว ดินเป็นกรดจัดมากถึงด่างอ่อน (pH 4.65-7.54) และไม่เค็ม (0.12-3.25 เดซิซีเมนส์/ม.) ยกเว้นดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มที่มีความเค็มมาก (11.55 เดซิซีเมนส์/ม.) และดินส่วนใหญ่มีธาตุอาหารพืชอยู่ในระดับต่ำ ยกเว้นชุดดินพิมาย (Table 1)

ในแต่ละบริเวณจัดทำแปลงทดลองปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่ออัตราปุ๋ยแมกนีเซียมที่แตกต่างกันจำนวน 5 อัตรา ได้แก่ 0, 1.5, 3, 6 และ12 กก./ไร่ในรูปของแมกนีเซียมคลอไรด์ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์จำนวน 3 ซ้ำ ซึ่งอัตราที่เลือกมาใช้ทดสอบในครั้งนี้ได้มาจากการศึกษาเบื้องต้นในโรงเรือนที่ทำการทดสอบในทรายล้างที่พบว่าข้าวตอบสนองต่อแมกนีเซียมในอัตรา 10 มก./กก. ซึ่งเทียบเท่ากับการใส่แมกนีเซียมอัตรา 6 กก./ไร่ ทำการปลูกข้าวระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม 2561 โดยทำการปรับพื้นที่ให้มีความสม่ำเสมอก่อนที่จะทำคันดิน จากนั้นแบ่งแปลงทดลองย่อยให้มีขนาด 4x4 ม. ยกคันนากว้าง 0.5 ม. สูง 0.3 ม. โดยทำคันดินกั้นแต่ละแปลงย่อย ทำการปรับพื้นที่และย่อยดินในกระทงนาโดยการใช้จอบ ปล่อยน้ำเข้ากระทงนาแล้วทำการขังน้ำทิ้งไว้ 5 วัน ปักดำต้นกล้าข้าวอายุ 35 วัน จำนวน 3 ต้น/กอ โดยใช้ระยะปลูก 25x25 ซม. การใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลัก ใส่ในอัตราแนะนำสำหรับค่าวิเคราะห์ ได้แก่ อัตรา 3.6-3-6 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ สำหรับชุดดินร้อยเอ็ด และ 3.6-3-3 กก. N-P_2O_5-K_2O/ไร่ สำหรับชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มและชุดดินพิมาย โดยทำการใส่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักหลังปักดำข้าวไปแล้ว 7 วัน พร้อมปุ๋ยแมกนีเซียมตามตำรับการทดลองที่กำหนดไว้ และจากนั้นในทุกแปลงทดลองทำการแต่งหน้าด้วยไนโตรเจนอัตรา 5.4 กก./ไร่ ที่ระยะแตกกอ

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 6: 1304-1315 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.115.

Table 1 Property of topsoil (0-30 cm) prior to conducting the experiment.

Property	Re-Sa	Re1	Re2	Pm
Soil texture	Sandy loam	Sandy loam	Loamy sand	Clay
Soil pH (1:1 H_2O)	7.92	4.46	4.48	7.34
ECe (dS/m)	11.55	0.22	0.12	3.25
SAR	69.8	9.5	3.2	44.5
CEC ($cmol_c\ kg^{-1}$)	2.15	3.12	3.58	30.4
Organic matter ($g\ kg^{-1}$)	4.80	5.14	13.0	8.23
Total N ($g\ kg^{-1}$)	0.24	0.49	0.17	0.42
Available P ($mg\ kg^{-1}$)	6.62	32.7	37.1	11.2
Extractable Ca ($mg\ kg^{-1}$)	1701	444	21	3335
Extractable K ($mg\ kg^{-1}$)	57.7	48.0	64.2	82.8

การเก็บข้อมูล ประกอบด้วย 1) การประเมินความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมในดินโดยใช้ตัวอย่างดินก่อนการปลูกข้าว ได้แก่ ตัวอย่างดินบนและตัวอย่างดินบนที่ผ่านการขังน้ำเป็นระยะเวลา 1 เดือนในห้องปฏิบัติการ มาวิเคราะห์แมกนีเซียมทั้งหมดโดยการย่อยด้วยกรด HNO_3-H_2SO_4-$HClO_4$ (Blair and Choguill, 1950) และวิเคราะห์แมกนีเซียมที่สกัดได้โดยใช้น้ำยาสกัดที่แตกต่างกัน ได้แก่ น้ำกลั่นซึ่งใช้ดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 เขย่านาน 60 นาที (Staugaitis and Rutkauskiene, 2010), Mehlich III ซึ่งใช้ดินต่อสารละลายเท่ากับ 1:10 เขย่านาน 5 นาที (Mehlich, 1984), 1N NH_4OAc ซึ่งใช้ดินต่อสารละลายเท่ากับ 1:5 เขย่านาน 30 นาที (Brown and Warncke, 1988) และ 0.01N $CaCl_2$ ซึ่งใช้ดินต่อสารละลายในสัดส่วน 1:5 เขย่านาน 60 นาที (Schachtschabel, 1954) จากนั้นวัดปริมาณแมกนีเซียมด้วยเครื่อง atomic adsorption spectrophotometer 2) ข้อมูลการเจริญเติบโตและองค์ประกอบผลผลิตที่อายุ 100 วันโดยมีพื้นที่เก็บเกี่ยว 9 $ม^2$ ทำการบันทึกความสูงและจำนวนรวงของข้าว จากนั้นตัดต้นข้าวให้ห่างจากผิวดินประมาณ 5 ซม. นำตัวอย่างที่ตัดใส่ในกระสอบตาข่าย นำไปผึ่งให้แห้งในร่ม และทำการนวดเพื่อแยกเมล็ดข้าวและตอซัง ทำการบันทึกน้ำหนักแห้งตอซัง ผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 14 และจำนวนเมล็ดดี 3) ตัวอย่างพืชที่อายุเก็บเกี่ยวแบบแยกส่วน ได้แก่ เมล็ดข้าวขาว แกลบและรำ และตอซังข้าวเพื่อนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักและแมกนีเซียม และ 4) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมในดิน ผลผลิต ความเข้มข้นและการดูดใช้แมกนีเซียมของข้าวโดยใช้ partial correlation analysis

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ปริมาณแมกนีเซียมในดิน

แมกนีเซียมในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปทั้งหมดซึ่งเป็นองค์ประกอบของแร่ (260-333 มก./กก.) (**Table 2**) เนื่องจากแมกนีเซียมที่พบในดินส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบในแร่ประกอบหิน ซึ่งแร่เหล่านี้มักเป็นแหล่งสำรองที่ให้แมกนีเซียมแก่พืช ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดนี้จึงอาจใช้เป็นตัวชี้วัดถึงแหล่งที่จะให้แมกนีเซียมแก่พืชในระยะยาว (Christenson

and Doll, 1973; Mokwunye and Melstead, 1972) ขณะที่แมกนีเซียมในส่วนที่สกัดได้จะมีค่าแตกต่างกันตามน้ำยาสกัดดิน (**Table 2**) โดยน้ำกลั่นจะสกัดแมกนีเซียมออกมาในสัดส่วนที่น้อยที่สุดอยู่ในพิสัย 6.19-17.5 มก./กก. เนื่องจากน้ำกลั่นจะสกัดเฉพาะแมกนีเซียมที่อยู่ในสารละลายดิน (Mokwunye and Melstead ,1972) ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกชะละลายออกไปจากดินได้ง่าย (Senbayram et al., 2015; Brady and Weil, 2016) โดยเฉพาะในดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างหยาบอย่างเช่นดินที่ทำการศึกษาครั้งนี้ ส่วนสารสกัด $CaCl_2$ และ Mehlich III ให้แมกนีเซียมอยู่พิสัยใกล้เคียงกันเท่ากับ 43.1-167 และ 51.0-143 มก./กก. ตามลำดับ ขณะที่การสกัดดินด้วยสารละลาย NH_4OAc ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ในประเทศไทยในการประเมินระดับของแมกนีเซียมในดินจะให้ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ออกมาในสัดส่วนมากที่สุดอยู่ในพิสัย 165-202 มก./กก. ซึ่งจัดอยู่ในระดับปานกลางและมีสัดส่วนใกล้เคียงกับปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในดิน (**Table 2**) ซึ่งผลการศึกษาที่ได้ให้ผลไม่สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้โดย Sawyer and Mallarino (1999) ที่พบว่าการใช้ Mehlich III จะให้ผลไม่แตกต่างจากการใช้ NH_4OAc ในดินที่เป็นกรดและเป็นกลางแต่จะให้ปริมาณแมกนีเซียมสูงกว่าความเป็นจริงในกรณีของดินด่าง เช่นเดียวกับ Staugaitis and Rutkauskiene (2010) ที่พบว่า สารละลาย $CaCl_2$, KCl, NH_4OAc และ Mehlich III มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากันในการสกัดแมกนีเซียมออกมา

เมื่อขังดินในน้ำไปแล้ว 1 เดือนจะทำให้แมกนีเซียมทั้งหมดในดินมีสัดส่วนเพิ่มขึ้น ขณะที่แมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินรวมทั้งในส่วนที่อยู่ในสารละลายดินที่สกัดด้วยน้ำกลั่นจะมีปริมาณลดลงอย่างชัดเจน ยกเว้นแมกนีเซียมที่สกัดด้วย Mehlich III ในชุดดินร้อยเอ็ดและแมกนีเซียมในสารละลายดินในชุดดินพิมายที่มีค่าเพิ่มขึ้น (**Table 2**) แสดงให้เห็นว่าการขังน้ำจะส่งผลให้แมกนีเซียมในดินส่วนใหญ่ถูกกักเก็บในแหล่งสำรองเพื่อเข้าสู่สมดุล ทั้งนี้เป็นการรักษาสมดุลในตัวเองของแมกนีเซียมระหว่างส่วนที่แลกเปลี่ยนได้กับส่วนที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ จึงทำให้แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทั้งในส่วนที่แลกเปลี่ยนได้และส่วนที่ละลายน้ำมีปริมาณลดลง (Maguire and Cowan, 2002; Gransee and Führs, 2013) อย่างไรก็ตามแมกนีเซียมในแหล่งสำรองเหล่านี้สามารถปลดปล่อยออกมาอีกครั้งผ่านกระบวนการผุพังเมื่อมีสภาพที่เหมาะสม (Mayland and Wilkinson, 1989)

Table 2 Total and extractable Mg contents of the studied soils.

Soil series	Non-flooded soils					1-month-flooded soils				
	Extractable Mg (mg/kg)				Total Mg (mg/kg)	Extractable Mg (mg/kg)				Total Mg (mg/kg)
	NH_4OAc[1]	Mehlich III	$CaCl_2$	H_2O		NH_4O-Ac	Mehlich III	$CaCl_2$	H_2O	
Re1	165	51.0	125	6.19	260	92.7	59.9	20.1	0.17	257
Re2	185	143	124	17.5	265	134	291	102	11.4	428
Re-Sa	185	90.6	167	7.25	333	128	52.8	93.1	2.31	332
Pm	202	85.6	43.1	10.2	326	111	64.2	11.27	27.2	996

[1]Scoring is used for the assessment of Mg rating according to Land Classification and FAO Project (1973): Extractable Mg (mg/kg): very low= <36, low = 36-121, medium = 121-363, high = 363-968, very high = >968.

การตอบสนองของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ต่อปุ๋ยแมกนีเซียม

ดินที่ทำการศึกษาทั้ง 4 บริเวณมีแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง (Table 2) แต่มีเพียงข้าวที่ปลูกในชุดดินร้อยเอ็ด 1 ที่ตอบสนองต่อปุ๋ยแมกนีเซียมโดยการใส่แมกนีเซียมในทุกอัตราทำให้จำนวนเมล็ดดี (ร้อยละ 86.3-88.6) เพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุม (ร้อยละ 84.0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติยกเว้นการใส่ในอัตรา 6 กก./ไร่ (ร้อยละ 80.3) และร้อยละเมล็ดดีจะมีค่าสูงสุดใกล้เคียงกันเมื่อใส่แมกนีเซียมในอัตรา 1.5 และ 12 กก./ไร่ (Figure 1) ขณะที่ผลผลิตเมล็ด (161-393 กก./ไร่) น้ำหนักตอซังแห้ง (109-485 กก./ไร่) ความสูง (106-134 ซม) และจำนวนรวง (7.17-11.6 รวง/กอ) ที่ระยะเก็บเกี่ยวของข้าวที่ปลูกในดินที่ทำการศึกษาทั้ง 4 ชุดดินไม่พบความแตกต่างทางสถิติเมื่อใส่แมกนีเซียมในอัตราที่แตกต่างกัน (Figure 1) ทั้งนี้อาจมีความเป็นไปได้ว่าการขังน้ำในช่วงระยะเวลา 1 เดือนแรกทำให้แมกนีเซียมในดินส่วนใหญ่ไปอยู่ในแหล่งสำรองเพิ่มขึ้น (Table 2) ซึ่งแมกนีเซียมเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยและเป็นประโยชน์ต่อข้าวในระยะเวลาต่อมา จึงทำให้การตอบสนองของข้าวต่อปุ๋ยแมกนีเซียมที่ใส่ไม่ค่อยชัดเจน อย่างไรก็ตามการใส่แมกนีเซียมส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในชุดดินพิมาย และชุดดินร้อยเอ็ด 2 ในระดับหนึ่งเนื่องจากผลผลิตข้าวและตอซังข้าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราแมกนีเซียมโดยผลผลิตเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.9-13.0 และ 28.7-35.6 ส่วนตอซังข้าวจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 22.6-63.3 และ 31.9-41.9 ตามลำดับ และที่อัตรา 6 และ 12 กก.Mg/ไร่ จะให้ผลผลิตข้าวในดินทั้งสองชุดสูงสุดตามลำดับเท่ากับ 208 และ 255 กก./ไร่ เนื่องจากแมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงจึงส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว (Cakmak and Marschner, 1992; Doberman and Fairhurst, 2000) แต่ในกรณีชุดดินร้อยเอ็ด 1 และชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มกลับพบว่าการใส่แมกนีเซียมในทุกอัตรามีแนวโน้มให้ผลผลิตและตอซังของข้าวลดลง นอกจากนี้ผลผลิตเมล็ดและตอซังข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มมีค่าต่ำกว่าในดินอื่น ๆ อย่างชัดเจน (Figure 1) ทั้งนี้เนื่องจากระดับความเค็มและอัตราส่วนการดูดซับโซเดียมของดินนี้ที่มีค่าสูงกว่าในดินอื่น ๆ อย่างชัดเจน (Table 1) จึงส่งผลกระทบเชิงลบต่อข้าว

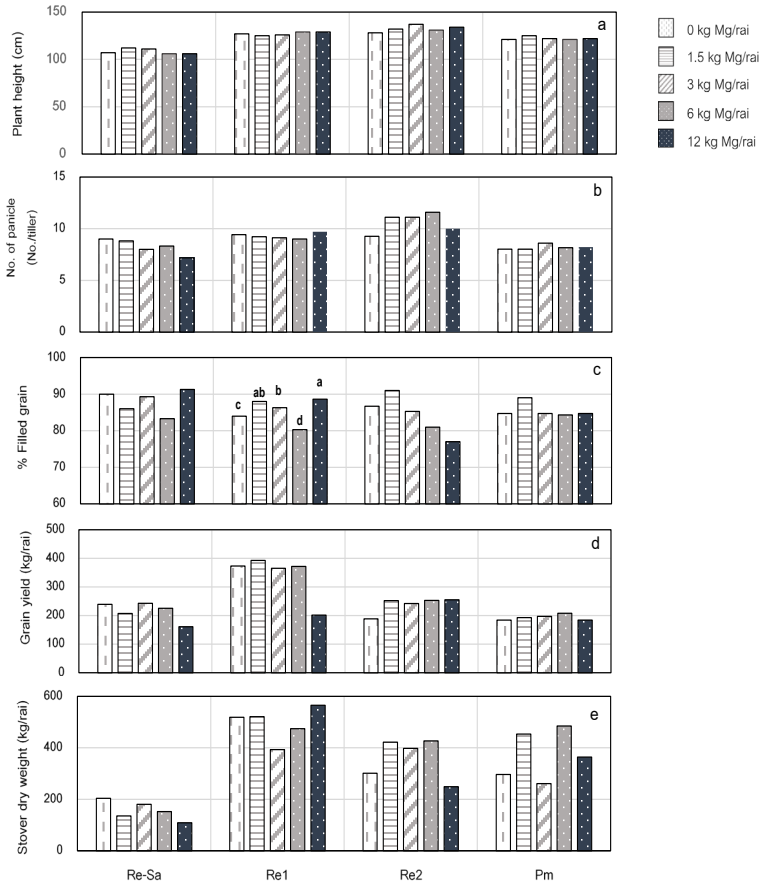

Figure 1 Response of KDML 105 rice grown on different paddy soils to Mg fertilizer rates: plant height (a), number of panicle (b), %filled grain (c), grain yield at 14% moisture (d), and stover dry weight (e)

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

การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตราที่แตกต่างกันในภาพรวมทำให้ข้าวดูดใช้และสะสมไนโตรเจนและโพแทสเซียมลดลง แต่จะสะสมและดูดใช้ฟอสฟอรัสและแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น แต่ส่วนใหญ่ไม่มีผลทางสถิติต่อการสะสมและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวขาวดอกมะลิ 105 (**Figure 2**) ยกเว้นในชุดดินร้อยเอ็ด 1 ที่การใส่แมกนีเซียมในทุกอัตราทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในตอซังข้าว รวมทั้งทำให้ตอซังข้าวและเมล็ดข้าวดูดใช้ไนโตรเจนไม่แตกต่างหรือต่ำกว่าตำรับควบคุมทางสถิติ (**Figure 2**) ขณะที่มีเพียงการใส่แมกนีเซียมในอัตรา 6 กก./ไร่ ที่ให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในตอซังข้าวในชุดดินพิมายสูงที่สุด (**Figure 2**) นอกจากนี้การใส่แมกนีเซียมไม่ส่งเสริมการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโดยการใส่แมกนีเซียมในทุกอัตราทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในตอซังข้าวในชุดดินพิมายไม่แตกต่างหรือต่ำกว่าตำรับควบคุมทางสถิติ (**Figure 2**) เช่นเดียวกับการใส่แมกนีเซียมในอัตรา 3 ถึง 12 กก./ไร่ ให้ตอซังข้าวสะสมและดูดใช้โพแทสเซียมในชุดดินร้อยเอ็ด 2 ต่ำที่สุดไม่แตกต่างกัน (**Figure 2**) เนื่องจากแมกนีเซียมมีภาวะปฏิปักษ์กับโพแทสเซียม (Christenson et al., 1973; Senbayram et al., 2015) จึงทำให้

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 6: 1304-1315 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.115.

ข้าวดูดใช้โพแทสเซียมลดลงเมื่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมในดินเพิ่มขึ้น จึงอาจเป็นสาเหตุให้พืชไวต่อการขาดโพแทสเซียม (Spear et al. 1978) ยกเว้นในชุดดินร้อยเอ็ด 1 ที่แกลบและรำและเมล็ดข้าวดูดใช้โพแทสเซียมเพิ่มขึ้นตามอัตราของแมกนีเซียมและมีค่าสูงสุดเมื่อใส่แมกนีเซียมในอัตรา 12 และ 6 กก./ไร่ ตามลำดับ (Figure 2)

การใส่แมกนีเซียมจะส่งเสริมให้ข้าวดูดใช้ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นโดยเมล็ดข้าวในชุดดินร้อยเอ็ด 2 ดูดใช้ฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นตามอัตราของแมกนีเซียมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยให้ค่าสูงสุดเมื่อใส่ในอัตรา 12 กก./ไร่ เช่นเดียวกับการใส่แมกนีเซียมอัตรา 3 กก./ไร่ ที่ทำให้ตอซังของข้าวในชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็มสะสมและดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าตำรับควบคุมซึ่งมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากแมกนีเซียมและฟอสฟอรัสมีภาวะส่งเสริมการดูดใช้ซึ่งกันและกัน (Bergmann, 1992) การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมจึงทำให้ข้าวสะสมฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้น (Dobermann and Fairhurst, 2000; Fageria, 2007) การดูดใช้แมกนีเซียมของข้าวในชุดดินร้อยเอ็ด 1 พบว่า การใส่แมกนีเซียมส่วนใหญ่ทำให้แกลบและรำสะสมและดูดใช้แมกนีเซียมไม่แตกต่างหรือต่ำกว่าตำรับควบคุมทางสถิติ ขณะที่การดูดใช้แมกนีเซียมของแกลบและรำของข้าวในชุดดินร้อยเอ็ด 2 เพิ่มขึ้นตามอัตราของแมกนีเซียมที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยให้ค่าสูงสุดเมื่อใส่ในอัตรา 12 กก./ไร่ เช่นเดียวกับในชุดดินพิมายที่การใส่แมกนีเซียมในอัตรา 3 ถึง 12 กก./ไร่ ทำให้แกลบและรำของข้าวสะสมแมกนีเซียมสูงสุดไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ความเข้มข้นแมกนีเซียมในตอซังข้าวมีค่าสูงกว่าระดับที่เพียงพอ (2-3 ก./กก.) ที่รายงานโดย Reuter et al. (1997) โดยเฉพาะในชุดดินร้อยเอ็ด 1 จึงอาจเป็นสาเหตุให้ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ตอบสนองทางด้านผลผลิตต่อปุ๋ยแมกนีเซียมไม่ชัดเจน (Figure 1)

การเปรียบเทียบวิธีการประเมินความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมในดินสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105

การเปรียบเทียบวิธีการประเมินความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมในดินสำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ (r) ที่ได้มาจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมในดินก่อนทำการปลูกข้าวกับผลผลิตเมล็ดและตอซังข้าวในตำรับที่ไม่มีการใส่แมกนีเซียม โดยคิดเป็นผลผลิตสัมพัทธ์ของเมล็ดและตอซัง ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อข้าวส่วนต่าง ๆ และ การดูดใช้แมกนีเซียมของข้าว พบว่า แมกนีเซียมในดินไม่พบสหสัมพันธ์เชิงเส้นกับผลผลิตพืช ขณะที่ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อข้าวมีสหสัมพันธ์กับแมกนีเซียมในดินในสภาพน้ำขังมากกว่าในดินปกติ โดยเฉพาะความเข้มข้นในส่วนเมล็ดข้าว (Table 3)

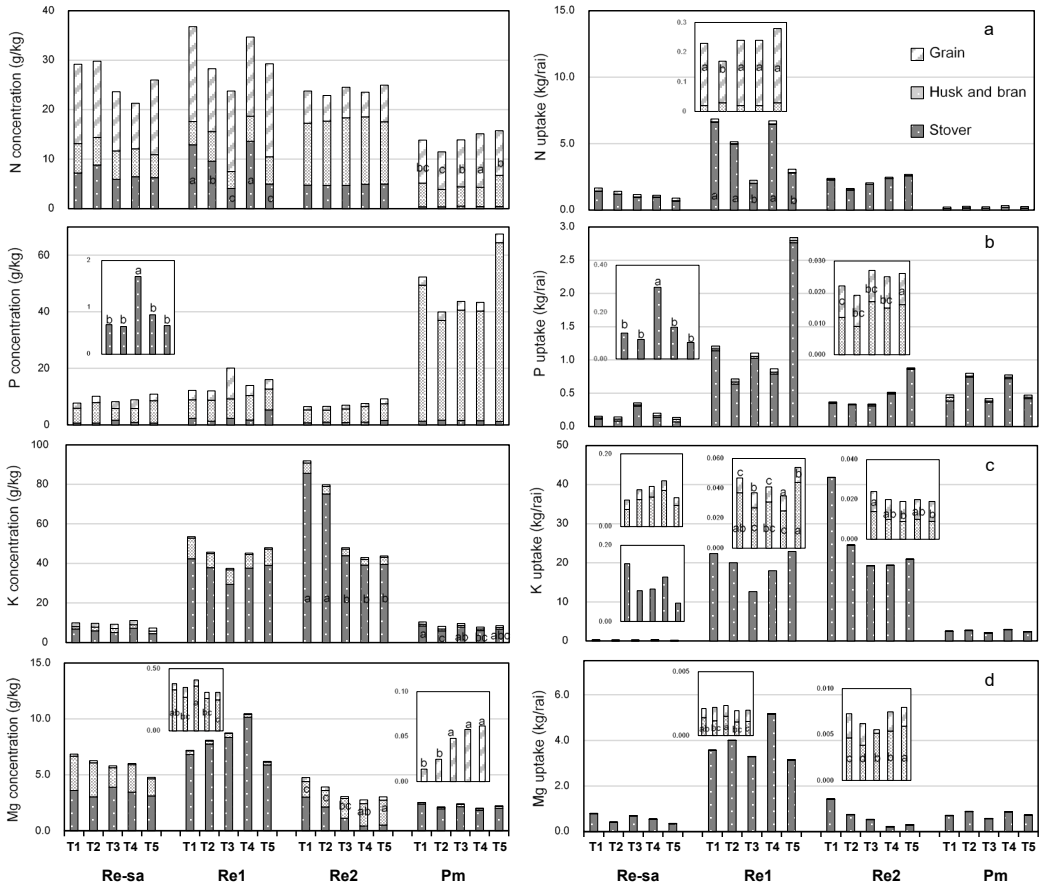

Figure 2 Effect of Mg fertilizer rates on plant nutrient concentration and uptake in different plant parts of KDML105 rice grown on different paddy soils; nitrogen (a), phosphorus (b), potassium (c) and magnesium (d)

T1: 0 kg Mg/rai, T2: 1.5 kg Mg/rai, T3: 3 kg Mg/rai, T4: 6 kg Mg/rai, T5: 12 kg Mg/rai; different lowercase letters on bars grouped within the same soil are significant difference according to DMRT at $p \leq 0.05$

ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดในดินและในดินสภาพน้ำขังไม่สามารถประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมสำหรับข้าวได้เนื่องจากพบสหสัมพันธ์เชิงเส้นแบบผกผันกับน้ำหนักตอซังแห้งสัมพัทธ์ (r=-0.808**) และผลผลิตข้าวสัมพัทธ์ (r=-0.750**) (**Table 3**) ซึ่งให้ผลไม่สอดคล้องกับกนกพรและคณะ (2560) ที่พบว่าแมกนีเซียมทั้งหมดในดินมีสหสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในตอซังข้าวจึงใช้ประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมในดินสำหรับข้าวได้ในระดับหนึ่ง

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 6: 1304-1315 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.115.

Table 3 Correlation coefficients (r) for linear relationships between Mg in soils and Mg accumulated in KDML 105 rice and relative yield and stover of KDML 105 rice

Mg in soils	Correlation coefficients (r)[1]					
	Relative grain yield	Relative dry stover weight	Mg in grain	Mg in stover	Mg in husk and bran	Mg uptake by rice
			Non-flooded soils			
Total Mg	-0.288	-0.808**	-0.312	-0.530	0.386	-0.718**
Extractable Mg						
NH_4OAc	-0.240	-0.812**	-0.323	-0.483	0.407	-0.609*
Mehlich III	-0.197	-0.787**	-0.337	-0.453	0.437	-0.665*
$CaCl_2$	0.218	-0.031	0.486	0.332	0.776**	0.173
H_2O	-0.655*	0.198	0.552	-0.609*	-0.186	-0.389
1-month-flooded soils						
Total Mg	-0.750**	-0.072	0.650*	-0.749**	0.141	-0.624*
Extractable Mg						
NH_4OAc	-0.679*	-0.615*	0.392	-0.792**	0.557	-0.883**
Mehlich III	-0.293	0.320	-0.186	-0.173	-0.862**	0.035
$CaCl_2$	-0.542	-0.237	0.827**	-0.521	0.748**	-0.554
H_2O	-0.644**	0.198	0.742**	-0.566	0.034	-0.376

[1] *,** significant at the 0.05 and 0.01 level respectively

เมื่อพิจารณาถึงแมกนีเซียมที่สกัดได้ พบว่าวิธีมาตรฐานที่ใช้ในประเทศไทยได้แก่สารละลาย NH_4OAc รวมทั้งสารละลาย Mehlich III ไม่สามารถใช้ประเมินระดับความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมสำหรับข้าวที่ปลูกในดินเหล่านี้ได้เนื่องจากไม่พบสหสัมพันธ์ทางสถิติกับองค์ประกอบผลผลิต ความเข้มข้นและการดูดใช้แมกนีเซียมของข้าว (**Table 3**) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ กนกพร และคณะ (2560) ที่พบว่า NH_4OAc และ Mehlich III ไม่สามารถประเมินความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมสำหรับข้าว ส่วนการใช้สารละลาย $CaCl_2$ ในการสกัดดินให้แมกนีเซียมในดินมีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในแกลบและรำ (r=0.776**) และเมื่อสกัดดินในสภาพน้ำขังก็ยังให้แมกนีเซียมในดินมีสหสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในแกลบและรำ (r=0.748**) และในเมล็ดข้าว (r=0.827**) ทางสถิติ เช่นเดียวกับแมกนีเซียมในดินสภาพน้ำขังที่สกัดด้วยน้ำกลั่นที่พบสหสัมพันธ์ทางสถิติกับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเมล็ดข้าว (r=0.742**) (**Table 3**) แสดงให้เห็นว่าน้ำกลั่นและสารละลาย $CaCl_2$ สามารถใช้ประเมินความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินที่ทำการศึกษาเหล่านี้ได้ โดยสารละลาย $CaCl_2$ จะมีความเหมาะสมมากกว่าน้ำกลั่น รวมทั้งการสกัดดินในสภาพขังน้ำเป็นระยะเวลา 1 เดือนจะมีความเหมาะสมมากกว่าการวิเคราะห์ในสภาพดินแห้ง

สรุป

แมกนีเซียมในชุดดินร้อยเอ็ด ชุดดินร้อยเอ็ดที่เป็นดินเค็ม และชุดดินพิมายส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่เป็นองค์ประกอบของแร่ การขังน้ำเป็นระยะเวลา 1 เดือน ทำให้แมกนีเซียมในดินถูกกักเก็บในแหล่งสำรองเพิ่มขึ้น จึงทำให้ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกตอบสนองต่อปุ๋ยแมกนีเซียมทางด้านการเจริญเติบโต ผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารในระดับหนึ่งโดยส่งเสริมการสร้างเมล็ดดีของข้าวในชุดดินร้อยเอ็ด 1 โดยเฉพาะการใส่ในอัตรา 1.5 กก.Mg/ไร่ อีกทั้งส่งเสริมให้ข้าวดูดใช้และสะสมฟอสฟอรัสและแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น

แมกนีเซียมทั้งหมดและแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินและในดินสภาพน้ำขังไม่มีสหสัมพันธ์กับผลผลิตสัมพัทธ์ของเมล็ดและตอซัง ความเข้มข้นแมกนีเซียมในตอซังข้าว และการดูดใช้แมกนีเซียมของข้าว มีเพียงน้ำกลั่นและสารละลาย $CaCl_2$ ที่ใช้เป็นน้ำยาสกัดดินในการประเมินความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมในดิน สำหรับข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยสารละลาย $CaCl_2$ จะมีความเหมาะสมมากกว่าเนื่องจากให้สหสัมพันธ์ทางสถิติกับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อพืชสูงกว่า และการสกัดดินในสภาพน้ำขังจะประเมินความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมต่อข้าวได้เพิ่มขึ้น

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยบัณฑิตศึกษาด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร จาก สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ 2563 และได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยบางส่วนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) และสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

กนกพร มานันตพงศ์, ศุภิฌา ธนะจิตต์, สมชัย อนุสนธิ์พรเพิม และ เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2560. ผลของแคลเซียมและแมกนีเซียมต่อข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในดินนาและดินที่ได้รับอิทธิพลจากเกลือ. วารสารแก่นเกษตร 45: 101-112.

กฤษณา สุดทะสาร. 2552. มาตรฐานข้าวไทย. ใน : การประชุมวิชาการข้าวและธัญพืชเมืองหนาวกลุ่มศูนย์วิจัยข้าวภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประจำปี 2553 วันที่ 26-28 เมษายน 2554 ณ โรงแรมอาราญาน่า ภูพิมานรีสอร์ท อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

จุลมณี ไพฑูรย์เจริญลาภ และจุรี ภัทรกุลนิษฐ์. 2552. ข้าวหอมมะลิ: การผลิตให้มีคุณภาพดีและผลผลิตสูง. พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักส่งเสริมการผลิตข้าว กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปี 2561. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

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

Basu, P.K. 2011. Methods Manual Soil Testing in India. Department of Agriculture & Cooperation Ministry of Agriculture Government of India.

Bergman, W. 1992. Nutritional Disorders of Plants. Jena, Germany: Gustav Fisher Verlag.

Blair, B.O. and H.S. Choguill. 1950. Comparison of methods for determination of soil calcium. Transansas Academic of Science 53: 23-27.

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

Brown, J.R. and D.D. Warncke. 1988. Recommended cation tests and measures of cation exchange capacity, pp.15–16. In: W.C. Dahnke, ed. Recommended Chemical Soil Test Procedures for the North Central Region. NCR Publ. No. 221 (Revised). Columbia, MO: Missouri Agricultural Experiment Station.

Cakmak, I. and H. Marschner. 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide

dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. Plant Physiol. 98: 1222-1227.

Christenson, D.R. and E.C. Doll. 1973. Release of magnesium from soil clay and silt fractions during cropping. Soil Sci. 116: 59-63.

Christenson, D.R., R.P. White and E.C. Doll. 1973 Yields and magnesium uptake by plants as affected by soil pH and calcium levels. Agron. J. 65:205-206.

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

Fageria, N.K. 2007. Yield physiology of rice. Journal of Plant Nutrition 30: 843-879.

Gransee, A. and H. Führs. 2013. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. Plant and Soil 368: 5–21.

Land Classification Division and FAO Project Staff. 1978. Soil Interpretation Handbook for Thailand. Dept. of Land Development, Min. of Agri. And Coop., Bangkok.

Maguire, M. E. and J. A. Cowan. 2002. Magnesium chemistry and biochemistry. Bio Metals 15: 203-210.

Mayland, H. F. and S.R. Wilkinson. 1989. Soil Factors Affecting Magnesium Availability in Plant-Animal Systems: A Review. J. Animal Science 67: 3437-3444.

Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 15: 1407-1416.

Mokwunye, A. and S.W. Melsted. 1972. Magnesium forms on selected temperate and tropical soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36: 762-4.

Mokwunye, A.U. and S.W. Melstead.1972. Magnesium forms in selected temperate and tropical soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36: 762–764.

Reuter, D.J., D.G. Edwards and N.S. Wilhelm.1997.Temperate and tropical crops. In: D.J. Reuter and J.B. Robinson, eds. Plant Analysis: an Interpretation Manual. CSIRO Publishing, Australia.

Sawyer, J.E., and A. Mallarino. 1999. Differentiating and understanding the Mehlich 3, Bray and Olsen soil phosphorus tests, p. 22-23. In: Proceedings of the University of Minnesota Crop Pest Management Short Course Program St. Paul, MN.

Schachtschabel, P. 1954. Das pflanzenverfügbare magnesiumdes bodens und seine bestimmung. J. Plant Nutr. Soil Sci. 67: 9-23.

Senbayram, M., A. Gransee, V. Wahle and H. Thiel. 2015. Role of magnesium fertilisers in agriculture: Plant-soil continuum. Crop Pasture Sci. 66: 1219-1229.

Spear. S.N., C.J. Asher and D.G. Edwards. 1978. Response of cassava, sunflower, and maize to potassium comcentration in solution. I. Growth and potassium concentration. Field Crops Res. 1: 347-361.

Staugaitis, G. and R. Rutkauskiene. 2010. Comparison of magnesium determination methods as influenced by soil properties. Zemdirbyste Agric. 97: 105-116.

Suswanto, T., J. Shamshuddin, S.R. Syed Omar, Peli Mat and C.B.S. Teh. 2007. Alleviating an acid sulfate soil cultivated to rice (*Oryza sativa*) using ground magnesium limestone and organic fertilizer. Jurnal Tanah Dan Lingkungan 9: 1-9.