

การตอบสนองปุ๋ยแมกนีเซียมของข้าวโพดที่ปลูกในวัสดุปลูก Magnesium Fertilizer Response of Maize Grown in Growing Media

จักรกฤษณ์ พูนภักดี* และจำเป็น อ่อนทอง

Chakkrit Poonpakdee* and Jumpen Onthong

สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University

Songkhla, Thailand 90110

*Corresponding author: chakkrit.p@psu.ac.th

Received: August 13, 2020

Revised: January 20, 2021

Accepted: February 23, 2021

Abstract

Magnesium (Mg) is a macronutrient element that is not generally added in plant growing media and results in the concentration of Mg is inadequate for plant growth. This research was conducted to study the Mg fertilizer effect on maize growth grown in the coconut coir dust (low Extr. Mg) used for growing media. Completely Randomized Block Design (CRD) with 4 replicates was used. Four dosages of Mg in the form of kieserite ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) at the rate of 0 (control), 20, 40 and 60 mg Mg kg^{-1} were applied. The results showed that Mg application promoted plant height, stem diameter, leaf number, and chlorophyll content. Magnesium uptake by maize increased with the rates of Mg application and showed K:Mg ratios range between 4.80-7.65. Moreover, the coefficient of determination between Mg application rates and fresh weight, dry weight, and Mg uptake were detected ($r^2=0.90-0.99$). Agronomic efficiency (3.14 g/mg), physiological efficiency (0.83 g/mg) and apparent recovery efficiency (45.80%) values were high in Mg application at the rate of 40 mg/kg. Therefore, growing media low in extractable Mg must be applied Mg fertilizer for promoting of plant growth and high productivity.

Keywords: growing media, magnesium fertilizer, Mg uptake, Mg responsibility, maize

บทคัดย่อ

แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการมากและมักจะไม่มีเพิ่มเติมลงในวัสดุปลูกพืช ทำให้วัสดุปลูกมีแมกนีเซียมไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงได้ศึกษาการตอบสนองปุ๋ยแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ปลูกในวัสดุปลูกที่เป็นขุยมะพร้าวที่มี

แมกนีเซียมต่ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง คือ ควบคุม (ไม่ใส่แมกนีเซียม) และใส่แมกนีเซียมในรูปคีเลอไรต์อัตรา 20, 40 และ 60 มก. แมกนีเซียม/กก. ผลการทดลองพบว่า การใส่แมกนีเซียมส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตทางด้าน ความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ และ ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไม่เติม

แมกนีเซียม การใส่แมกนีเซียมในอัตราที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ข้าวโพดมีการดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มสูงขึ้นและมีสัดส่วนโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมตั้งแต่ 4.80-7.65 นอกจากนั้นพบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของปริมาณแมกนีเซียมที่เติมกับผลผลิตน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณแมกนีเซียมที่ข้าวโพดดูดใช้ ($r^2=0.90-0.99$) ประสิทธิภาพการผลิตพืช (3.48 กรัม/มก.) ประสิทธิภาพทางสรีระ (0.83 กรัม/มก.) และประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียมจากปุ๋ย (45.80%) มีค่าสูงเมื่อใส่แมกนีเซียมในอัตรา 40 มก./กก. ดังนั้น วัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมต่ำควรมีการเติมปุ๋ยแมกนีเซียมเพื่อให้พืชเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูง

คำสำคัญ: วัสดุปลูก ปุ๋ยแมกนีเซียม การดูดใช้แมกนีเซียม การตอบสนองแมกนีเซียม ข้าวโพด

คำนำ

แมกนีเซียม (Mg) เป็นธาตุอาหารรองที่จำเป็นและสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช พืชโดยทั่วไปมีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 0.1-0.4 ของน้ำหนักแห้ง (Bennett, 1993) แมกนีเซียมเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่สำคัญที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง (Merhaut, 2007) นอกจากนั้นแมกนีเซียมยังเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน รวมถึงช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์และถ่ายโอนพลังงาน (Merhaut, 2007) มีรายงานว่าเมื่อเติมแมกนีเซียมซัลเฟตในดินที่มีแมกนีเซียมต่ำส่งผลให้พืชมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอและคลอโรฟิลล์บีเพิ่มสูงขึ้น (Abou Seeda *et al.*, 2018) สอดคล้องกับการศึกษาการให้แมกนีเซียมทางใบและทางรากในข้าวโพดและถั่วเหลืองที่พบว่า เมื่อพืชได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้คลอโรฟิลล์เพิ่มสูงขึ้น (Jezek *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2017) หากพืชได้รับแมกนีเซียมไม่เพียงพอ พืชโดยทั่วไปจะแสดงอาการใบล่างมีอาการใบเหลืองแต่เส้นใบยังเขียว (Merhaut, 2007)

ส่วนในข้าวโพดซึ่งนิยมใช้เป็นพืชทดสอบ หากขาดแมกนีเซียมเริ่มแรกใบล่างแสดงอาการเป็นริ้วสีเหลืองถึงขาวบริเวณระหว่างเส้นใบ นอกจากนั้น อาจมีจุดวงกลมที่มีการแห้งตายบริเวณใบร่วมด้วย หากขาดแมกนีเซียมรุนแรงใบล่างจะมีสีม่วงแดง ปลายและขอบใบเหี่ยวเนื่องจากแมกนีเซียมถูกเคลื่อนย้ายไปใช้ยังส่วนเนื้อเยื่อพืชที่เกิดขึ้นใหม่ (Bennett, 1993)

ขุยมะพร้าวเป็นวัสดุปลูกพืชที่นิยมใช้ในปัจจุบันเนื่องจากราคาถูก น้ำหนักเบา ดูดซับน้ำได้ดี หาได้ง่าย และรากพืชสามารถกระจายตัวได้ทั่ว มีรายงานการเปรียบเทียบใช้ขุยมะพร้าวกับพีทมอสเป็นวัสดุปลูกเมล็ดอ่อน พบว่าเมล็ดอ่อนที่ปลูกในขุยมะพร้าวมีการเจริญเติบโต น้ำหนักผล และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไม่แตกต่างกับที่ปลูกในพีทมอส แต่การใช้ขุยมะพร้าวทำให้อัตราต้นทุนการผลิต ส่งผลให้ได้กำไรหลังหักค่าใช้จ่ายสูงกว่าการใช้พีทมอสซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ (Jitsatta and Watcharawit, 2019) โดยทั่วไปในขุยมะพร้าวซึ่งใช้เป็นวัสดุปลูกมีธาตุอาหารต่ำ ดังนั้น จึงมักมีการเติมปุ๋ยผสมที่ให้เฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในขณะที่ไม่มีการเติมแมกนีเซียมลงไปเพิ่มเติม ปริมาณแมกนีเซียมในขุยมะพร้าวจึงไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช และส่งผลให้พืชเจริญเติบโตไม่ดี ดังนั้นจึงสนใจศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยแมกนีเซียมของพืชที่ปลูกในวัสดุปลูก

การประเมินผลการตอบสนองของธาตุอาหารในวัสดุที่ใช้ปลูกพืชมีหลายวิธี เช่น การประเมินประสิทธิภาพการผลิตพืช (Agronomic efficiency) ประสิทธิภาพเชิงสรีระ (Physiological efficiency) ประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหารจากปุ๋ย (Apparent recovery efficiency) และสัดส่วนมูลค่าต้นทุน (Value cost ratio) (Fageria, 1992; Pervaiz *et al.*, 2004) ทั้งนี้แต่ละวิธีการประเมินมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน การประเมินประสิทธิภาพต่างๆ ดังที่ได้กล่าวข้างต้นมาพิจารณาควบคู่กับอัตราการใช้ปุ๋ย และเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชจึงเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจ

และประมาณปริมาณการใช้ปุ๋ย เพื่อใช้ปุ๋ยให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในยุคที่ปุ๋ยมีราคาแพง แม้หลายๆ การศึกษาได้รายงานผลของแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และการตอบสนองของพืชบ้างแล้ว อย่างไรก็ตาม การทดสอบการตอบสนองของพืชต่อแมกนีเซียมควบคู่กับการประเมินประสิทธิภาพต่างๆ ของการเจริญเติบโตของพืชในวัสดุปลูกยังมีรายงานน้อย ดังนั้น จึงสนใจเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในวัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมต่ำ โดยไม่เติมและเติมแมกนีเซียมควบคู่กับการประเมินประสิทธิภาพการผลิตพืช ประสิทธิภาพเชิงสรีระ และประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียมจากปุ๋ย

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมวัสดุปลูกและเพาะข้าวโพด

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) แบ่งออกเป็น 4 สิ่งทดลองๆ ละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น โดยมีดำรับการทดลอง คือ ใส่แมกนีเซียมในรูปคีเลอไรต์ ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) ในอัตรา 0, 20, 40 และ 60 มก. แมกนีเซียม/กก. ใช้ข้าวโพด (*Zea mays* Linn.) เป็นพืชทดสอบเพื่อศึกษาการตอบสนองต่อแมกนีเซียม

ต่อการเจริญเติบโตในวัสดุปลูกที่เป็นขุยมะพร้าวที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 2 คืน และล้างน้ำออกเพื่อลดความเค็ม โดยหลังจากล้างด้วยน้ำสะอาด 4 ครั้ง พบว่าขุยมะพร้าวมีพีเอชเท่ากับ 5.20 (ขุยมะพร้าว:น้ำ = 1:10 w/v) ค่าการนำไฟฟ้า 1.02 dS/m (ขุยมะพร้าว:น้ำ = 1:10 w/v) และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (1 M NH_4OAc pH 7.0) 8 มก./กก. หลังจากนั้น นำขุยมะพร้าวมาเติมแมกนีเซียมตามสิ่งทดลองแล้วบรรจุในกระถางขนาดประมาณ 3 ลิตร รดด้วยสารละลายเจือจางปุ๋ยไฮโดรโปนิคส์ A และ B ที่ปราศจากแมกนีเซียม (เตรียมจากสารเคมีเกรดวิเคราะห์) ตามที่ได้แสดงใน Table 1 โดยปี๋เปิดสารละลายเข้มข้นปุ๋ยไฮโดรโปนิคส์ซึ่งดัดแปลงสูตรจากสารละลาย Hoagland and Arnon (1938) มาอย่างละ 10 มล. ผสมลงในน้ำปริมาตร 1 ลิตร เพื่อใช้เป็นแหล่งให้ธาตุอาหารและป้องกันปัจจัยการขาดธาตุอาหารอื่นๆ อันจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช รดสารละลายปุ๋ยเจือจางปริมาตร 100 มล. ลงในกระถางปลูก หลังจากนั้นทิ้งไว้ 1 คืน ก่อนหยอดเมล็ดข้าวโพด 3 เมล็ด/กระถาง เมื่อข้าวโพดงอกได้ 1 สัปดาห์ ถอนให้เหลือกระถางละ 1 ต้น ดูแลรดน้ำ และให้สารละลายปุ๋ยอาทิตย์ละ 2 ครั้ง ครั้งละ 100 มล. สังเกตการเจริญเติบโตของข้าวโพดจนกระทั่งครบ 50 วัน

Table 1 Composition of fertilizer solution A and B

Fertilizer solution	Substance	Substance content (g L ⁻¹)
A	Calcium nitrate	1.797
	Fe-EDTA (13% Fe ³⁺)	0.04
	Fe-EDDHA (6% Fe ²⁺)	0.04

Table 1 (Continued)

Fertilizer solution	Substance	Substance content (g L ⁻¹)
B	Potassium nitrate	1.012
	Monopotassium phosphate	0.105
	Monoammonium phosphate	0.190
	Manganese sulfate	0.0075
	Copper sulfate	0.00051
	Ammonium molybdate	0.00017
	Zinc sulphate	0.00238
	Boric acid	0.00623

การวัดการเจริญเติบโตของข้าวโพด

วัดการเจริญเติบโตของข้าวโพด ได้แก่ ความสูง โดยวัดจากผิวดินถึงข้อล่างสุดที่มีการแตกใบของข้าวโพด วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (เหนือผิวดิน 5 ซม.) โดยใช้เวอร์เนีย และจำนวนใบโดยการนับใบที่แก่แล้ว

การเก็บเกี่ยว วิเคราะห์คลอโรฟิลล์ และธาตุอาหารในข้าวโพด

เมื่อครบกำหนด 50 วัน ใช้จุกคอร์กเจาะบริเวณกลางความยาวของใบบนสุดของข้าวโพด แล้วนำไปแช่ใน Dimethylformamide (C₃H₇NO) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ตามวิธีการของ Sangsing and Chaipanit (2009) ตัดแยกส่วนเหนือดินและใต้ดิน แบ่งออกเป็น ใบ ลำต้น และราก ทำความสะอาดและกำจัดสิ่งปนเปื้อน ซึ่งน้ำหนักสดส่วนต่างๆ นำตัวอย่างพืชสดไปอบที่อุณหภูมิ 75°C. เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้น ชั่งและบันทึกน้ำหนักแห้งส่วนต่างๆ ของข้าวโพด บดตัวอย่างพืชผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช ย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) เพื่อวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl method) และกรดผสมไนตริกเปอร์คลอริก (HNO₃:HClO₄ 3:1 v/v) เพื่อวิเคราะห์ฟอสฟอรัส (Vanadomobedate method) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด (Atomic

absorption spectrophotometer) ตามคู่มือวิเคราะห์ดินและพืช (Onthong and Poonpakdee, 2020)

ประสิทธิภาพการใช้แมกนีเซียม

คำนวณปริมาณธาตุอาหารที่ข้าวโพดดูดไปใช้ ซึ่งประเมินจากน้ำหนักแห้งและความเข้มข้นของธาตุอาหารในข้าวโพด นอกจากนั้นประเมินประสิทธิภาพการผลิตพืช (Agronomic efficiency) ประสิทธิภาพเชิงสรีระ (Physiological efficiency) และร้อยละประสิทธิภาพการดูดธาตุแมกนีเซียมจากปุ๋ย (Apparent recovery efficiency) จากสมการของ Fageria (1992) โดยประสิทธิภาพทั้ง 3 ประเมินได้จาก

ประสิทธิภาพการผลิตพืช (ก./มก.) = ผลต่างน้ำหนักมวลชีวภาพสดข้าวโพดที่ได้ (ใส่ปุ๋ย-ไม่ใส่ปุ๋ย)/อัตราแมกนีเซียมที่ใส่

ประสิทธิภาพเชิงสรีระ (ก./มก.) = ผลต่างน้ำหนักมวลชีวภาพแห้งข้าวโพดที่ได้ (ใส่ปุ๋ย-ไม่ใส่ปุ๋ย)/ผลต่างแมกนีเซียมที่พืชดูดนำไปใช้ (ใส่ปุ๋ย-ไม่ใส่ปุ๋ย)

ประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียมจากปุ๋ย (%) = 100 × ผลต่างแมกนีเซียมที่พืชดูดนำไปใช้ (ใส่ปุ๋ย-ไม่ใส่ปุ๋ย)/อัตราแมกนีเซียมที่ใส่

การวิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบสถิติ

หาค่าเฉลี่ยของข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณธาตุอาหารที่ข้าวโพดดูดไปใช้ จากนั้นนำมาหาค่าความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS พร้อมทั้งเปรียบเทียบสัดส่วนของความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งระหว่างใส่แมกนีเซียมอัตราต่างๆ และไม่ใส่แมกนีเซียมเพิ่มเติมในวัสดุปลูก

ผลการวิจัย

ผลของแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด

การเติมแมกนีเซียมในวัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำส่งผลให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตด้านความสูง

เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และจำนวนใบเพิ่มขึ้น (Figure 1) การไม่ใส่แมกนีเซียมส่งผลให้ข้าวโพดมีความสูง 34.90 ซม. ในขณะที่เมื่อข้าวโพดได้รับแมกนีเซียม 20, 40 และ 60 มก./กก. ส่งผลให้ความสูงข้าวโพดเพิ่มขึ้นเป็น 44.05, 56.00 และ 58.88 ซม. ตามลำดับ (Table 2) สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของขนาดลำต้นที่พบว่า เมื่อข้าวโพดได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้นเป็น 17.64, 20.89 และ 21.77 มม. นอกจากนั้นจำนวนใบต่อดัน น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเพิ่มสูงขึ้นเมื่อข้าวโพดได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น (Tables 2 และ 3) ทั้งนี้แนวโน้มดังกล่าวพบในทุกส่วนของข้าวโพดทั้งลำต้น ใบ และราก ข้าวโพดที่ได้รับแมกนีเซียมในอัตรา 40 มก./กก. มีน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งในส่วนต่างๆ และน้ำหนักรวมสูงสุด โดยมีน้ำหนักสดในส่วนของลำต้น ใบ และรากเท่ากับ 104.97, 98.28, และ 58.35 กรัม ในขณะที่การไม่ได้รับแมกนีเซียมข้าวโพดมีน้ำหนักสดในส่วนของลำต้น ใบ และราก เพียง 47.66, 53.63 และ 21.15 กรัม ตามลำดับ

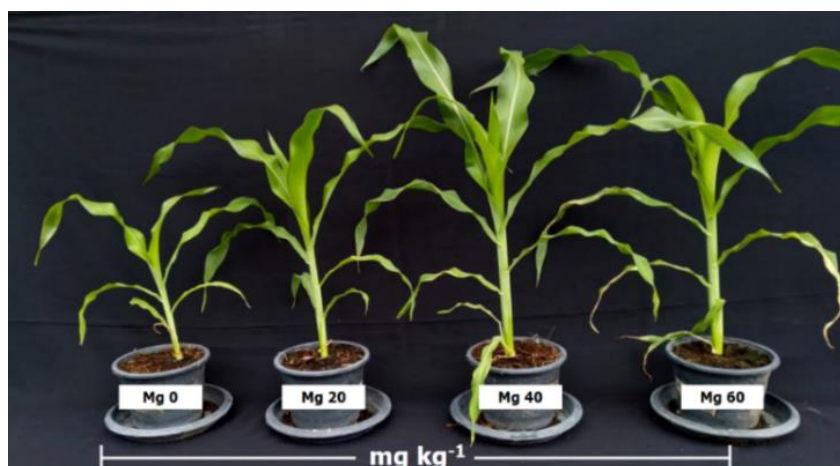


Figure 1 Effect of magnesium application on the maize growth at 50 days after planting

Table 2 Effect of Mg fertilizer application on maize growth at 50 days after planting

Treatment	Parameter		
	Height (cm)	Stem diameter (mm)	Number of leaf (leaf/plant)
Control	34.90 c	16.25 b	10.50
Mg 20 mg kg ⁻¹	44.05 b	17.64 b	10.50
Mg 40 mg kg ⁻¹	56.00 a	20.89 a	11.75
Mg 60 mg kg ⁻¹	58.88 a	21.77 a	11.75
F-test	*	*	NS
C.V. (%)	10.03	7.97	8.79

* = significantly different at $P \leq 0.05$; NS = not significantly different at $P > 0.05$

Different letters in the same column indicate significant differences by DMRT at $P \leq 0.05$.

Table 3 Effect of Mg fertilizer application on fresh and dry weight of maize grown in growing media

Treatment	Fresh weight (g)				Dry weight (g)			
	Stalk	Leaf	Root	Whole plant	Stalk	Leaf	Root	Whole plant
Control	47.66c	53.63c	21.15b	122.43b	3.09b	6.88b	2.20b	12.16b
Mg 20 mg kg ⁻¹	72.11b	74.25bc	26.49b	172.86b	7.27a	12.81a	4.68ab	24.75a
Mg 40 mg kg ⁻¹	104.97a	98.28a	58.35a	261.60a	9.55a	13.20a	4.57ab	27.31a
Mg 60 mg kg ⁻¹	96.09ab	91.49ab	48.75a	236.33a	7.65a	12.64a	5.13a	25.41a
F-test	*	*	*	*	*	*	*	*
C.V. (%)	19.49	18.13	25.30	18.83	24.04	19.60	39.94	19.67

* = significantly different at $P \leq 0.05$; Different letters in the same column indicate significant differences by DMRT.

ผลของแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ธาตุอาหาร และปริมาณคลอโรฟิลล์ในข้าวโพด

ข้าวโพดที่ได้รับแมกนีเซียมมีปริมาณแมกนีเซียมที่ดูดนำไปใช้เพิ่มสูงขึ้น (Table 4) โดยพบว่า แมกนีเซียมที่ข้าวโพดดูดนำไปใช้ส่วนใหญ่มีการสะสมบริเวณ ใบ ลำต้น และราก ตามลำดับ โดยปริมาณแมกนีเซียมที่มีการสะสมในบริเวณดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 50-57, 35-42 และ 8-9 ของแมกนีเซียมทั้งหมดที่พืชดูดนำไปใช้ การใส่ปุ๋ย

แมกนีเซียมในอัตราที่แตกต่างกัน (0, 20, 40 และ 60 มก. แมกนีเซียม/กก.) ส่งผลให้ข้าวโพดดูดใช้ปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น โดยมีค่า 14.07, 25.74, 32.36 และ 36.38 มก./ต้น ตามลำดับ (Table 4) นอกจากนั้นพบสัดส่วนของโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมที่ข้าวโพดดูดนำไปใช้เมื่อไม่เติมแมกนีเซียมและเติมใน อัตรา 20 และ 40 มก. แมกนีเซียม/กก. อยู่ที 7.15-7.65 ในขณะที่ข้าวโพดที่ได้รับแมกนีเซียม 60 มก./กก. พบสัดส่วน

ดังกล่าวที่ 4.80 เมื่อประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่า ข้าวโพดมีปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแมกนีเซียมสูงขึ้น โดยใบข้าวโพดมีคลอโรฟิลล์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.16-0.29 กรัม/ตร.ม. (Table 5) เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมที่เติมลงในวัสดุปลูกกับผลผลิตน้ำหนัสด

น้ำหนักแห้ง และปริมาณแมกนีเซียมที่ข้าวโพดดูดใช้ พบว่า พบความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ดังกล่าวค่อนข้างสูง โดยมีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; r^2) อยู่ในช่วง 0.90-0.99 (Figure 2)

Table 4 Magnesium uptake (mg tree^{-1}) and K:Mg uptake ratio in maize grown in growing media

Treatment	Mg uptake (mg tree^{-1})				K:Mg ratio in plant
	Root	Stem	Leaf	Whole plant	
Control	1.18b	4.87c	8.02b	14.07b	7.21
20 mg Mg kg^{-1}	2.19ab	9.07bc	14.48a	25.74ab	7.65
40 mg Mg kg^{-1}	2.68ab	13.45ab	16.24a	32.36a	7.15
60 mg Mg kg^{-1}	3.31a	14.31a	18.76a	36.38a	4.80
F-test	*	*	*	*	-
C.V. (%)	53.90	30.38	25.14	66.86	-

* = significantly different at $P \leq 0.05$; Different letters in the same column indicate significant differences by DMRT.

Table 5 Effect of Mg fertilizer application on chlorophyll content

Treatment	Chlorophyll content (g/m^2)		
	Chlorophyll A	Chlorophyll B	Total chlorophyll
Control	0.13b	0.03b	0.16b
Mg 20 mg kg^{-1}	0.21a	0.06a	0.27a
Mg 40 mg kg^{-1}	0.22a	0.06a	0.28a
Mg 60 mg kg^{-1}	0.23a	0.06a	0.29a
F-test	*	*	*
C.V. (%)	14.88	15.62	16.64

* = significantly different at $P \leq 0.05$; Different letters in the same column indicate significant differences by DMRT.

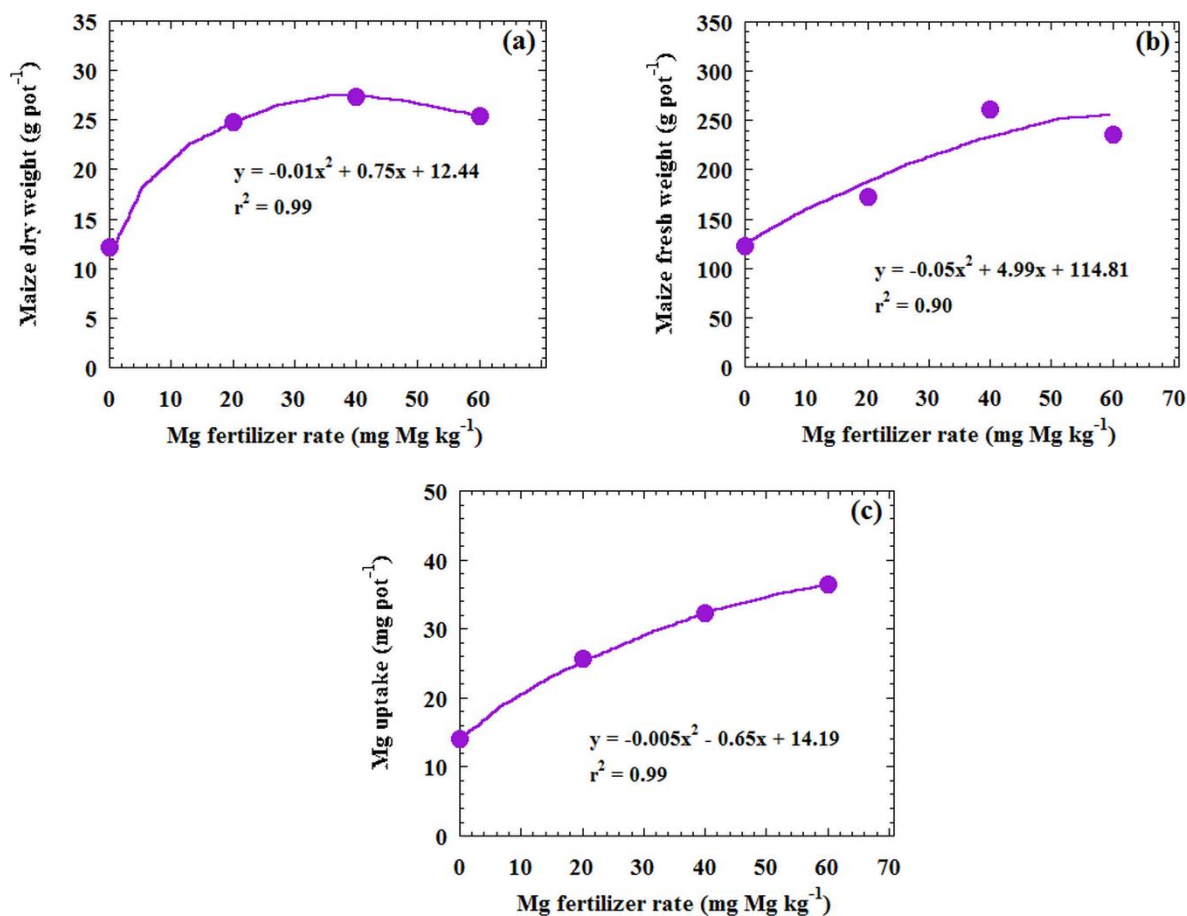


Figure 2 The coefficient of determination (r^2) between maize dry weight (a), maize fresh weight (b) and Mg uptake (c) with Mg fertilizer rate

การประเมินประสิทธิภาพ

การเติมแมกนีเซียม 40 มก./กก. ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตพืชมีค่าสูงสุด โดยมีค่า 3.48 กรัม/กก. ในขณะที่การเติมแมกนีเซียม 20 และ 60 มก./กก. มีค่าประสิทธิภาพการผลิตพืชเพียง 2.52 และ 1.90 กรัม/กก. ตามลำดับ (Table 6) การเติมแมกนีเซียม 40 มก./กก. มีค่าประสิทธิภาพทางสรีระ 0.83 กรัม/กก. ในขณะที่

ที่การเติมแมกนีเซียม 20 และ 60 มก./กก. ให้ค่าประสิทธิภาพทางสรีระ 1.08 และ 0.59 กรัม/กก. ตามลำดับ เมื่อประเมินประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียมจากปุ๋ย พบว่าการเติมแมกนีเซียม 20, 40 และ 60 มก.แมกนีเซียม/กก. มีร้อยละประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียม 58.50, 45.80 และ 37.18 ตามลำดับ (Table 6)

Table 6 The assessment of agronomic efficiency, physiological efficiency, and apparent recovery efficiency in maize grown in applied Mg fertilizer

Treatment	Agronomic efficiency (g/mg)	Physiological efficiency (g/mg)	Apparent recovery efficiency (%)
20 mg Mg kg ⁻¹	2.52	1.08	58.50
40 mg Mg kg ⁻¹	3.48	0.83	45.80
60 mg Mg kg ⁻¹	1.90	0.59	37.18

วิจารณ์ผลการวิจัย

ผลของแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด

การเติมปุ๋ยแมกนีเซียมในวัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมต่ำส่งผลให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตทางด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และจำนวนใบสูงกว่าไม่เติมปุ๋ยแมกนีเซียม (Table 2) การเติมปุ๋ยแมกนีเซียมในวัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมต่ำส่งผลให้ความสูงข้าวโพดเพิ่มขึ้น 1.26-1.69 เท่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้น 1.09-1.34 เท่า และจำนวนใบเพิ่มขึ้น 1.12 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่เติมปุ๋ยแมกนีเซียม (Table 7) ขุยมะพร้าวที่นำมาใช้เป็นวัสดุปลูกมีแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำ (8 มก./กก.) ไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพด ดังนั้น การเติมปุ๋ยแมกนีเซียมในวัสดุปลูกที่มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำจึงส่งเสริมให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโต (Table 2) รวมทั้งน้ำหนักสดและแห้งเพิ่มขึ้น (Table 3) สอดคล้องกับที่มีรายงานว่า เมื่อพืชได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (Gerendás and Führes, 2013) ทั้งนี้เมื่อข้าวโพดเจริญเติบโตดีขึ้นส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนต่างๆ เพิ่มขึ้น (Table 3) เช่นเดียวกับที่มีรายงานก่อนหน้านี้ว่า ข้าวโพด (Noor *et al.*, 2015) และพืชอื่นๆ เมื่อได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นทำให้การเจริญเติบโตดีขึ้น (Bueraheng *et al.*, 2018; Pongthai, 2016)

การปลูกพืชให้เจริญเติบโตได้ดีในวัสดุที่ใช้ปลูกจำเป็นต้องมีแมกนีเซียมอยู่ในระดับที่เพียงพอ แม้ในวัสดุปลูกพืชยังไม่มีรายงานถึงระดับของแมกนีเซียมที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ดินซึ่งใช้ปลูกพืชทั่วไปควรมีระดับแมกนีเซียมที่สกัดได้ (1 M NH₄OAc pH 7.0) 122-365 มก./กก. (Department of Land Development, 2005) ดินปลูกยางพาราควรสูงกว่า 36 มก./กก. (Kungpisan, 2011) ดินปลูกปาล์มน้ำมัน 30.40 มก./กก. (Jantaraniyom, 2019) พืชมีความต้องการแมกนีเซียมที่แตกต่างกัน พืชที่นิยมปลูกในวัสดุปลูก เช่น มะเขือเทศ ต้องการแมกนีเซียมร้อยละ 0.30-2.50 (Merhaut, 2007) ข้าวฟ่างต้องการ 0.2-0.8 (Bennett, 1993) แตงกวาหรือแตงโมต้องการ 0.3-0.6 (Bennett, 1993) และในข้าวโพดต้องการแมกนีเซียมร้อยละ 0.13-1.00 โดยน้ำหนักแห้ง (Merhaut, 2007) ดังนั้น ในวัสดุปลูกพืชที่มีแมกนีเซียมต่ำต้องมีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม เช่น คีโซไรต์ (MgSO₄·7H₂O) หรือโดโลไมต์ (CaMg(CO₃)₂) เพื่อเพิ่มระดับแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ อย่างไรก็ตาม การใส่แมกนีเซียมในรูปคีโซไรต์ พบว่ามีประสิทธิภาพส่งผลให้พืชเจริญเติบโตและดูดใช้แมกนีเซียมดีกว่าการใส่ในรูปโดโลไมต์ (Pongthai, 2016) เนื่องจากคีโซไรต์ละลายได้ง่าย และไม่ทำให้วัสดุปลูกมีฟิเอซสูงจนลดความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุ

Table 7 Ratio of height, stem diameter, leaf number, and whole fresh weight of maize grown in various of Mg application rate/without Mg application

Treatment	Height	Stem diameter	Leaf No.	Whole fresh weight
Control	-	-	-	-
20 mg Mg kg ⁻¹	1.26	1.09	1.00	1.41
40 mg Mg kg ⁻¹	1.60	1.29	1.12	2.14
60 mg Mg kg ⁻¹	1.69	1.34	1.12	1.93

ผลของแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ธาตุอาหาร คลอโรฟิลล์ และสัดส่วนโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมในใบข้าวโพด

ข้าวโพดมีการดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นตามอัตราแมกนีเซียมที่ใส่ โดยพบว่าแมกนีเซียมที่ข้าวโพดดูดไปใช้เท่ากับ 14.07, 25.74, 32.36 และ 36.38 มก./ต้น เมื่อมีการเติมแมกนีเซียม 0, 20, 40 และ 60 มก./กก. ตามลำดับ (Table 4) พืชดูดใช้แมกนีเซียมโดยกลไก Mass flow ซึ่งเป็นกลไกที่ธาตุอาหารเคลื่อนย้ายเข้าสู่รากพืชไปพร้อมกับการดูดใช้น้ำ และมากกว่าร้อยละ 80 ของแมกนีเซียมถูกพืชดูดใช้โดยกลไกดังกล่าว (Gransee and Führs, 2012) โดยทั่วไปในน้ำหนักรากของข้าวโพดมีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบร้อยละ 0.13-1.00 (Merhaut, 2007) เมื่อพืชดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งเสริมให้พืชดูดใช้น้ำโตรเจน (Senbayram *et al.*, 2015) และฟอสฟอรัส (Grzebisz *et al.*, 2010) เพิ่มขึ้น เมื่อข้าวโพดได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (Table 5) สอดคล้องกับข้าวโพดและถั่วเหลืองที่ได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นแล้วพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มสูงขึ้น (Chen *et al.*, 2017) เช่นเดียวกับที่มีรายงานในส้มที่พบว่า ส้มที่ปลูกในดินที่มีแมกนีเซียมสูงมีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบสูงกว่าต้นที่ปลูกในดินที่มีแมกนีเซียมต่ำ (Xin *et al.*, 2019) นอกจากนี้ ยังมีรายงานถึงการเพิ่มขึ้นของคลอโรฟิลล์ รวมทั้งปริมาณสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นของหัวไชเท้าเมื่อได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น (Abou Seeda *et al.*, 2018)

ข้าวโพดที่ไม่ได้รับและได้รับแมกนีเซียม 20 และ 40 มก./กก. พบว่ามีสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมอยู่ในช่วง 7.15-7.65 ในขณะที่ได้รับแมกนีเซียม 60 มก./กก. มีสัดส่วนโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมน้อยลงเหลือ 4.80 (Table 4) เช่นเดียวกับที่พบว่าเมื่อข้าวโพดได้รับแมกนีเซียมในอัตรา 60 มก./กก. พบว่าข้าวโพดมีน้ำหนักรากและน้ำหนักรากแห้งลดลง (Figure 2) ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าแมกนีเซียมในอัตรา 60 มก./กก. อาจเป็นอัตราที่สูงสำหรับข้าวโพด หากพืชได้รับแมกนีเซียมสูงเกินไปอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพของผลผลิตได้ นอกจากนั้น ยังส่งผลให้พืชดูดใช้โพแทสเซียมลดลง (Tandon, 1992) ดังที่พบในพืชหลายชนิด เช่น ส้ม (Xiao *et al.*, 2014; Zheng *et al.*, 2015) ข้าว (Ding *et al.*, 2006) และลองกอง (Praprutdee *et al.*, 2007) เป็นต้น ทั้งนี้สัดส่วนโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมที่เหมาะสมในพืชชนิดต่างๆ มีระดับแตกต่างกัน เช่น ในใบยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มและที่ดอนมีสัดส่วน K:Mg อยู่ที่ 3.87:1 และ 3.25:1 ตามลำดับ (Kongmak *et al.*, 2017) ระดับ K:Mg ที่เหมาะสมในใบข้าวมีค่า 22-25 (Ding *et al.*, 2006) และอ้อยอยู่ที่ 5.38-6.13 (Bennett, 1993) ดังนั้น จึงต้องคำนึงถึงระดับสัดส่วนที่เหมาะสม เพราะหากแมกนีเซียมและโพแทสเซียมในดินไม่สมดุลกัน ทำให้การดูดธาตุอาหารของพืชธาตุใดธาตุหนึ่งลดลง (Tandon, 1992)

ประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยแมกนีเซียมของข้าวโพด

การใส่แมกนีเซียมในวัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตดี การใส่แมกนีเซียมอัตรา 40 มก./กก. มีค่าประสิทธิภาพการผลิตพืชสูงสุด โดยมีค่า 3.48 กรัม/กก. นั่นคือ เมื่อข้าวโพดได้รับปัจจัยอื่นๆ ที่เหมาะสม การใส่แมกนีเซียม 1 มก. ส่งผลให้ข้าวโพดมีมวลชีวภาพน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น 3.48 กรัม หรือเมื่อข้าวโพดดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น 1 มก. ส่งผลให้มวลชีวภาพน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น 0.83 กรัม (Table 6) แม้การเติมแมกนีเซียมในอัตรา 20 และ 60 มก./กก. ส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่าการไม่เติมแมกนีเซียม อย่างไรก็ตาม พบว่าการเติมแมกนีเซียม 1 มก. ส่งผลให้ข้าวโพดมีมวลชีวภาพน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเพียง 2.52 และ 1.90 กรัม ตามลำดับ หรือเมื่อข้าวโพดดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น 1 มก. ส่งผลให้มวลชีวภาพน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น 1.08 และ 0.59 กรัม ตามลำดับ ประสิทธิภาพการผลิตพืชเป็นการคำนวณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มธาตุอาหาร 1 หน่วย ดังนั้น จึงอาจเรียกว่าประสิทธิภาพผลผลิต และประสิทธิภาพเชิงสรีระจะมีค่าสูงเมื่อใช้ปุ๋ยในอัตราที่เหมาะสม ดังนั้น พืชที่ขาดแคลนธาตุอาหารสามารถเพิ่มความเข้มข้นของธาตุอาหารจนทำให้พืชมีการเจริญเติบโตร้อยละ 90 ของการเจริญเติบโตสูงสุดได้ ในทางตรงกันข้ามประสิทธิภาพเชิงสรีระจะมีค่าต่ำหากใช้ปุ๋ยอัตราสูงจนพืชสะสมธาตุอาหารในพืชเพียงพอ บริโภคปุ๋ยเพื่อ หรือมากจนเป็นพิษ ส่วนประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียมจากปุ๋ยเป็นการประเมินร้อยละของธาตุน้ำหนัธาตุอาหารที่พืชดูดได้จากปุ๋ย (Osotsapar *et al.*, 2008) ผลการทดลองมีข้อสังเกตว่า ประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียมจากปุ๋ยจะมีค่าสูงเมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตราต่ำ แต่เมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยสูงขึ้น ประสิทธิภาพการดูดใช้แมกนีเซียมจากปุ๋ยมีค่าลดลง (Table 6) สอดคล้องกับคำแนะนำการใช้ปุ๋ยที่ให้ใส่ปุ๋ยในปริมาณน้อยๆ แต่แบ่งใส่หลายๆ ครั้ง มีรายงานการประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้ปุ๋ยกับไม้ยืนต้น (Boonmanee *et al.*, 2013) เช่นเดียวกับการ

ประเมินประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารในข้าวโพด (Samrit *et al.*, 2016) ข้าวสาลี (Pervaiz *et al.*, 2004; Xin *et al.*, 2017) ข้าวสาลีและถั่ว (Sandaña and Pinochet, 2014) ที่พบว่าสามารถนำประสิทธิภาพดังกล่าวมาใช่วางแผนในการจัดการผลผลิตได้เป็นอย่างดี ดังนั้น การประยุกต์ใช้การประเมินประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยจึงเป็นดัชนีที่ช่วยการตัดสินใจวางแผนในการจัดการปุ๋ย โดยเฉพาะในวัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำ เพื่อจัดการธาตุอาหารรวมทั้งการใช้ปุ๋ยในสภาวะที่ปุ๋ยมีราคาแพงเพื่อให้ได้ผลผลิตสูง ลดต้นทุนการผลิต และได้รับผลตอบแทนสูงสุด

สรุปผลการวิจัย

การเติมแมกนีเซียมลงในวัสดุปลูกที่เป็นขุยมะพร้าวที่มีแมกนีเซียมต่ำ พบว่าข้าวโพดมีความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ น้ำหนักสดและแห้ง รวมทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ และปริมาณแมกนีเซียมที่ดูดใช้เพิ่มสูงขึ้น พบสัมพันธ์การตัดสินใจระหว่างอัตราแมกนีเซียมที่เติมลงในวัสดุปลูกกับผลผลิตน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณแมกนีเซียมที่ข้าวโพดดูดใช้ มีค่าค่อนข้างสูง ($r^2=0.90-0.99$) การเติมแมกนีเซียมในอัตรา 40 มก. แมกนีเซียม/กก. พบว่าข้าวโพดมีประสิทธิภาพการผลิตพืช (3.48 ก./กก.) ประสิทธิภาพเชิงสรีระ (0.83 ก./กก.) และประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ย (45.80%) สูง ดังนั้นในวัสดุปลูกที่มีแมกนีเซียมต่ำควรมีการเติมแมกนีเซียมเพื่อส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตดีขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้สนับสนุนสถานที่เครื่องมือ และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Abou Seeda, M.A., M. Abdallah, M.S. Abou ELNour and A.A. Yassen. 2018. Optimization of magnesium fertilizer for radish plant to obtain best yield, in terms of its both quality and quantity, and nutrient uptake. **Bioscience Research** 15(4): 3872-3880.
- Bennett, W.F. 1993. **Nutrient Deficiencies & Toxicities in Crop Plant**. Minnesota: APS Press. 202 p.
- Boonmanee, B., J. Onthong and K. Khawmee. 2013. Comparison of fertilizer application based on soil testing and 20-8-20 mixed fertilizer in immature rubber trees. **King Mongkut's Agricultural Journal** 31(1): 53-62.
- Bueraheng, H., J. Onthong and K. Khawmee. 2018. Effect of magnesium on manganese uptake and growth of rubber trees. **Journal of Agri. Research & Extension** 35(1): 12-22.
- Chen, J., Y. Li, S. Wen, A. Rosanoff, G. Yang and X. Sun. 2017. Magnesium Fertilizer-induced increase of symbiotic microorganisms improves forage growth and quality. **J. Agric. Food Chem** 65(16): 3253-3258.
- Department of Land Development. 2005. **Handbook for Analyzing Soil Samples, Water, Fertilizer, Soil Improvement Materials Book 1**. Bangkok: Office of Science for Land Development. 184 p. [in Thai]
- Ding, Y., W. Luo and G. Xu. 2006. Characterisation of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice. **Annals of Applied Biology** 149(2): 111-123.
- Fageria, N.K. 1992. **Maximizing Crop Yields**. New York: Marcel Dekker Inc. 274 p.
- Gerendás, J. and H. Führs. 2013. The significance of magnesium for crop quality. **Plant Soil** 368(1-2): 101-128.
- Gransee, A. and H. Führs. 2012. 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(1-2): 5-21.
- Grzebisz, W., K. Przygocka-Cyna, W. Szczepaniak, J.B. Diatta and J. Potarzycki. 2010. Magnesium as a nutritional tool of nitrogen efficient management-plant production and environment. **J. Elementology** 15(4): 771-788.
- Hoagland, D.R. and D.I. Arnon. 1938. **The Water-culture Method for Growing Plants without Soil**. Circ. 347 Berkeley: University of California Agricultural Experiment Station. 40 p.
- Jantaraniyom, T. 2019. **Agriculturist Guide: Palm Oil Production Efficiently**. Songkhla: Oil Palm Research and Development Center, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University. 124 p. [in Thai]

- Jezek, M., C.M. Geilfus, A. Bayer and K.H. Mühling. 2015. Photosynthesis capacity, nutrient status and growth of maize (*Zea mays* L.) upon MgSO₄ leaf-application. **Frontiers in Plant Science** 5(1): 1-10.
- Jitsatta, N. and R. Watcharawit. 2019. Effect of substrates on growth and yield of muskmelon (*Cucumis melo* L.). **Rajabhat Rambhai Barni Research Journal** 13(2): 17-24.
- Kongmak, P., K. Khawmee and J. Onthong. 2017. Status and K/Mg ratio in soil and leaves of rubber trees grown in lowland and upland areas. **Songklanakarin Journal of Plant Science** 4(4): 66-72. [in Thai]
- Kungpisdan, N. 2011. **Recommend of Rubber Fertilizer Application in A.D. 2011**. Bangkok: Rubber Research Institute Department of Agriculture. 41 p. [in Thai]
- Merhaut, D.J. 2007. Magnesium. pp. 145-172. In Barker, A.V. and D.J. Pillblameds (eds.). **Handbook of Plant Nutrition**. New York: CRC Press Taylor and Francis Group.
- Noor, S., S. Akhter, M. Islamc, N.C. Shilb and A. Kawochar. 2015. Effect of magnesium on crop yields within Maize-green manure-*T. amman* rice cropping pattern on acid soil. **Archives of Agronomy and Soil Science** 61(10): 1381-1392.
- Onthong, J. and C. Poonpakdee. 2020. **Guideline for Soil and Plant Analysis**. Songkhla: Faculty of Natural resources, Prince of Songkla University. 181 p. [in Thai]
- Osotsapar, Y., A. Wongmaneeroj and C. Hongproyoon. 2008. **Fertilization for Sustainable Agriculture**. Bangkok: Kasetsart University Press. 519 p. [in Thai]
- Pervaiz, Z., K. Hussain, S.S.H. Kazmi and K.H. Gill. 2004. Agronomic efficiency of different N:P ratios in rain fed wheat. **International Journal of Agriculture & Biology** 3(6): 455-457.
- Pongthai, T. 2016. **Effects of Dolomite and Kieserite on Growth of Rubber Tree Sapling**. Master Thesis. Prince of Songkla University. 80 p. [in Thai]
- Praprutdee, O., J. Onthong and C. Nilnold. 2007. Using potash fertilizer to improve fruit development and fruit quality of longkong (*Aglaia dookkoo* Griff.). **Songklanakarin Journal of Science and Technology** 29(4): 1003-1016. [in Thai]
- Samrit, B., R. Suebkam, C. Kueanoon, S. Klongchang, N. Prakongkep and N. Phosuk. 2016. A Study on suitable irrigation and fertilizer application for sweet corn production in clay soil: Thap Khwang soil series. **Songklanakarin Journal of Plant Science** 3(1): 18-29.

- Sandaña, P. and D. Pinochet. 2014. Grain yield and phosphorus use efficiency of wheat and pea in a high yielding environment. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition** 14(4): 973-986.
- Sangsing, K., and P. Chaipanit. 2009. Chemical properties and chlorophyll content on growing of immature rubber tree in new rubber tree plantation area. **Para Rubber Bulletin** 30: 35-60. [in Thai]
- Senbayram, M., A. Gransee, V. Wahle and H. Thiel. 2015. Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum. **Crop & Pasture Science** 66(12): 1219-1229.
- Tandon, H.L.S. 1992. **Management of Nutrient Interactions in Agriculture**. New Delhi: Fertilizer Development and Consultation Organization. 142 p.
- Xiao, J.X., C.Y. Hu, T.Y. Chen, B. Yang and J. Hua. 2014. Effects of low magnesium and an arbuscular mycorrhizal fungus on the growth, magnesium distribution and photosynthesis of two citrus cultivars. **Scientia Horticulturae** 177(2): 14-20.
- Xin, X., S.Q.J. Zhang, A. Zhu, W. Yang and X. Zhang. 2017. Yield, phosphorus use efficiency and balance response to substituting long term chemical fertilizer use with organic manure in a wheat-maize system. **Field Crops Research** 208(1): 27-33.
- Xin, Y., C. Xu-Feng, D. Chong-Ling, Y. Lin-Tong, L. Ning-Wei, G. Jiu-Xin and C. Li-Song. 2019. Magnesium-deficiency effects on pigments, photosynthesis and photosynthetic electron transport of leaves, and nutrients of leaf blades and veins in *Citrus sinensis* seedlings. **Plants** 8(10): 1-20.
- Zheng, C.S., X. Lan, Q.L. Tan, Y. Zhang, H.P. Gui and C.X. Hu. 2015. Soil application of calcium and magnesium fertilizer influences the fruit pulp mastication characteristics of Nanfeng tangerine (*Citrus reticulata* Blanco cv. Kinokuni). **Scientia Horticulturae** 191(6): 121-126.