

ผลของความเป็นกรด-ด่างของดินและปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อประสิทธิภาพ
ของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus intraradices*
ในดินที่มีการตรึงฟอสฟอรัสสูง
Effects of Soil pH and Phosphorus Fertilizer on Efficiency
of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, *Glomus intraradices*,
in Soil with High Phosphorus Fixing Capacity

สุภาพร สัมโย*, พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์, อรประภา เทพศิลปวิสุทธิ์

และสมชาย ชคตระการ

สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

จุฑามาศ ร่มแก้ว

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

Supaporn Sammayo*, Phakpen Poomipan, Ornprapa Thepsilvisul
and Somchai Chakhatrakan

Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,

Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Jutamas Romkaew

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University,

Kamphaeng Saen campus, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140

บทคัดย่อ

ผลของความเป็นกรด-ด่างของดินและปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus intraradices* สำหรับข้าวโพดไร่ปลูกผสมที่ปลูกในดินที่มีการตรึงฟอสฟอรัสสูง (ชุดดินปากช่อง) โดยวางแผนการทดลองแบบ 4x3x2 factorial in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ (1) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (ไม่ปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH 4.37) และปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดินให้เป็น 5.0,

6.0 และ 7.0) (2) อัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (ไม่ใส่ปุ๋ย, ใส่ปุ๋ยครึ่งเท่าของคำแนะนำ และใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของค่าวิเคราะห์ดิน) และ (3) ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (ไม่ใส่และใส่) ผลการทดลองพบว่าระดับความเป็นกรด-ด่างของดินและอัตราการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลต่อประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา กล่าวคือ เมื่อไม่ใส่ปุ๋ยและใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งเท่าของคำแนะนำ พบว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณฟอสฟอรัสในข้าวโพดได้ในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน แต่เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามคำแนะนำ พบว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต แต่สามารถเพิ่มผลผลิตและปริมาณฟอสฟอรัสในข้าวโพดได้เฉพาะระดับความเป็นกรด-ด่าง 5.0 นอกจากนี้การใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับการไม่ใส่ปุ๋ยและใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งเท่าของคำแนะนำ มีผลทำให้ข้าวโพดเจริญเติบโตและให้ผลผลิตไม่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามคำแนะนำเพียงอย่างเดียว ดังนั้นผลการทดลองนี้จึงชี้ให้เห็นว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* มีประสิทธิภาพดีเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสหรือใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งเท่าของคำแนะนำ และสามารถใส่ให้กับข้าวโพดได้ในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดินที่มีการตรึงฟอสฟอรัสสูง โดยให้ผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามคำแนะนำเพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ : ความเป็นกรด-ด่างของดิน; ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา; ดินที่มีการตรึงฟอสฟอรัสสูง; ปุ๋ยฟอสฟอรัส

Abstract

The effects of soil pH and phosphorus (P) fertilizer on efficiency of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi, *Glomus intraradices*, for hybrid field corn growing on soil with high phosphorus fixing capacity (Pak Chong soil series) was conducted in 4x3x2 factorial in CRD with 4 replications. The study consisted of 3 factors. The factor 1 was soil pH (no soil pH adjustment (pH 4.37) and soil pH adjustment to 5.0, 6.0 and 7.0). The factor 2 was P fertilizer rate (0, 50 and 100 % of P fertilizer recommendation rate). The factor 3 was AM fungi (without and with AM inoculation). The results revealed that soil pH and P fertilizer had effected on the efficiency of AM fungi. At 0 and 50 % of P fertilizer recommendation rates were applied to corn, it was found that the AM inoculation increased the growth, yield and P content of corn at all levels of soil pH. By contrast, at 100 % of P fertilizer recommendation rate, the AM inoculation did not effect on growth but increased yield and P content of corn at soil pH 5.0. In addition, the growth and yield of corn that was applied AM inoculation with 0 and 50 % of P fertilizer recommendation rate at all level of soil pH did not have the difference when compared to the corn that was applied 100 % of P fertilizer recommendation rates alone. Therefore, these results indicated that AM fungi, *G. intraradices*, can be applied to corn at all pH levels of high phosphorus fixing capacity soil with nil P or 50 % of P fertilizer recommendation rate. These were not difference in term of growth and yield when compared to 100 % of P fertilizer recommendation rate.

Keywords: arbuscular mycorrhizal fungi; high phosphorus fixing capacity soil; phosphorus fertilizer; soil pH

1. บทนำ

ข้าวโพดไร่เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้คาดคะเนความต้องการใช้ข้าวโพดของไทย ประจำปี 2559/60 มีปริมาณ 5.85 ล้านตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2558/59 (5.72 ล้านตัน) ร้อยละ 2.27 ทั้งนี้ เนื่องจากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ จึงทำให้ความต้องการใช้ข้าวโพดเพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น [1] อย่างไรก็ตาม ข้าวโพดจะให้ผลผลิตสูงก็ต่อเมื่อได้รับธาตุอาหารเพียงพอและสมดุล แต่ในดินทั่วไปมักพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีปัญหาการตรึงในดิน โดยเฉพาะในดินเหนียวสีแดง เช่น ชุดดินปากช่อง ซึ่งมีสารประกอบเหล็กออกไซด์ปริมาณมาก จึงเกิดปฏิกิริยาการตรึงฟอสฟอรัสได้มาก ทำให้ฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช เป็นผลให้ในดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ [2] อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยสามารถเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ แต่มักพบข้อจำกัด เช่น ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัส มักถูกตรึงในดินได้ง่าย ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ มักเป็นประโยชน์ต่อพืชช้า เนื่องจากต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดิน ดังนั้นการใช้ปุ๋ยชีวภาพราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถทำให้พืชได้รับฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นได้ ทั้งนี้เนื่องจากราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นราที่มีการดำรงชีวิตอยู่ร่วมกับรากพืชแบบพึ่งพาอาศัย (symbiosis) ทำให้ได้รับประโยชน์ร่วมกัน คือ ราได้รับสารอาหารจากพืช และพืชได้รับธาตุอาหารในดินเพิ่มขึ้นจากกลไกของรา โดยเฉพาะฟอสฟอรัส [3] ดังนั้นพืชที่มีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอยู่อาศัยในรากจะได้รับฟอสฟอรัสมากขึ้นด้วยการดูดซับธาตุอาหารของเส้นใยรานอกรากพืช [4] งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus intraradices* มีประสิทธิภาพในการเพิ่มการ

ดูดซับฟอสฟอรัสให้กับข้าวโพดได้เป็นอย่างดี เมื่อนำราชนิดนี้มาทดสอบเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสในการปลูกข้าวโพด พบว่าสามารถใช้แทนปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสได้ 100 เปอร์เซ็นต์ จึงมีความเป็นไปได้ว่ารา *G. intraradices* มีศักยภาพในการผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสำหรับข้าวโพด [5] อย่างไรก็ตาม เนื่องจากราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มีความสัมพันธ์กับทั้งดินและพืช จึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลในการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ได้แก่ สภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน และอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดไร่ทุกผสมที่ปลูกในดินที่มีการตรึงฟอสฟอรัสสูงภายใต้ความเป็นกรด-ด่างของดินและอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 แผนการทดลอง

โดยวางแผนการทดลองแบบ $4 \times 3 \times 2$ factorial in completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ (1) ความเป็นกรด-ด่างของดิน ได้แก่ ไม่ปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน (NL) และปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดินให้เป็น 5.0 (L5.0), 6.0 (L6.0) และ 7.0 (L7.0) (2) อัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส ได้แก่ ไม่ใส่ปุ๋ย (NP) ใส่ปุ๋ยครึ่งเท่าของคำแนะนำ (P50) และใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำ (P100) และ (3) ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* ได้แก่ ไม่ใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (NM) และใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM)

2.2 การเตรียมวัสดุการทดลอง

เก็บตัวอย่างชุดดินปากช่อง (Pak Chong

soil series: very fine, kaolinitic, isohyperthermic, Rhodic Kandistox) ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร เตรียมดินให้มีขนาดสม่ำเสมอ ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ดินดังแสดงในตารางที่ 1 แล้วจึงนำตัวอย่างดินมาอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน จากนั้นปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดินให้เป็น 5.0, 6.0 และ 7.0 โดยการใส่ปูนแคลเซียมคาร์บอเนตตามความต้องการปูนของดินโดยวิธีการ Woodruff's buffer solution ปุ๋ยฟอสฟอรัสใช้ในรูปของปุ๋ย triple superphosphate (0-46-0) ซึ่ง P50 ใช้ปุ๋ยในอัตรา 4.35 กิโลกรัม/ไร่ และ P100 ใช้ปุ๋ยในอัตรา 8.70 กิโลกรัม/ไร่ ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* ได้มาจากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ปลูกข้าวโพดที่มีการปลูกข้าวโพดมาเป็นเวลานานกว่า 10 ปี จากนั้นนำมาแยกสปอร์ออกจากดิน ตามวิธีการ wet sieving and decanting method และ sucrose centrifugation method แล้วจึงเลือกสปอร์ของ *G. intraradices* มาเพิ่มปริมาณโดยใช้ข้าวฟ่างเป็นพืชอาศัย เพื่อนำดินที่ใช้ปลูกข้าวฟ่างมาใช้เป็น soil inoculum

2.3 การเตรียมหน่วยทดลอง

นำดินมาบรรจุลงในกระถาง ใส่ soil inoculum 500 กรัม/กระถาง ลงในหน่วยทดลอง AM และใส่ดินอบฆ่าเชื้อซึ่งเป็นดินเดียวกันกับที่ใช้ในการเตรียม soil inoculum 500 กรัม/กระถาง ลงในหน่วยทดลอง NM ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารระหว่างหน่วยการทดลอง ปลูกข้าวโพดไร่ลูกผสมพันธุ์สุวรรณ 4452 จำนวน 1 ต้น/กระถาง ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 16.5 กิโลกรัม/ไร่ ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 6 กิโลกรัม/ไร่ และใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 5 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนปุ๋ยฟอสฟอรัสจะใส่ตามแผนการทดลอง จัดเรียงกระถางในโรงเรือนทดลองโดย

การสุ่มสมบูรณ์ ให้น้ำในระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต กำจัดแมลงและวัชพืชโดยวิธีกล

ตารางที่ 1 สมบัติของชุดดินปากช่อง

สมบัติของดิน	ผลวิเคราะห์
เนื้อดิน ¹	ดินเหนียว
ค่าความเป็นกรด-ด่าง ²	4.37
ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ³ (เปอร์เซ็นต์)	1.95
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน ⁴ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	228
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ⁵ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	18
ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ ⁶ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	42
ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ ⁶ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	1,423
ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ ⁶ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	140
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ⁷ (เซนติโมล/กิโลกรัม)	20.13

¹pipette method; ²1 : 1, soil : H₂O; ³Walkley and Black method; ⁴vanadate-molybdate method; ⁵Bray II, ascorbic method; ⁶KH₄OAc, pH 7.0; ⁷1 M NH₄OAc pH 7.0 method

2.4 การเก็บผลการทดลอง

เก็บบันทึกผลการทดลอง ได้แก่ (1) การเจริญเติบโต (น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน) (2) ผลผลิตต่อไร่ โดยคำนวณจากกระยะปลูก 75x20 เซนติเมตร และ (3) ปริมาณฟอสฟอรัสที่ดูดซับได้ (ส่วนเหนือดิน) โดยวิธี vanadate-molybdate method จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความ

แตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรม SPSS

3. ผลการวิจัย

3.1 การเจริญเติบโต

อิทธิพลร่วมระหว่างความเป็นกรด-ต่างของดิน ปุ๋ยฟอสฟอรัส และการใส่ราอาร์บัสคูลารีไมคอร์ไรซา มีผลต่อน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) กล่าวคือ เมื่อไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (NP) พบว่าการใส่ราอาร์บัสคูลารีไมคอร์ไรซา (AM) มีผลทำให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่ราอาร์บัสคูลารีไมคอร์ไรซา (NM) ในทุกระดับของความเป็นกรด-ต่างของดิน เช่นเดียวกับ

เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งเท่าของคำแนะนำ (P50) พบว่าการใส่ราอาร์บัสคูลารีไมคอร์ไรซา (AM) มีผลทำให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่ราอาร์บัสคูลารีไมคอร์ไรซา (NM) ในทุกระดับของความเป็นกรด-ต่างของดิน อย่างไรก็ตาม เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามคำแนะนำ (P100) พบว่าการใส่ราอาร์บัสคูลารีไมคอร์ไรซา (AM) ไม่มีผลต่อน้ำหนักแห้งในทุกระดับของความเป็นกรด-ต่างของดิน นอกจากนี้การใส่ราอาร์บัสคูลารีไมคอร์ไรซา ร่วมกับ การไม่ใส่ปุ๋ยและใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งเท่าของคำแนะนำในทุกระดับของความเป็นกรด-ต่างของดิน มีผลทำให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินไม่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามคำแนะนำเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลของระดับความเป็นกรด-ต่างของดิน ปุ๋ยฟอสฟอรัส และราอาร์บัสคูลารีไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด

การเจริญเติบโตของข้าวโพด (น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน, กรัมต่อต้น)			
ระดับความเป็นกรด-ต่างของดิน	ปุ๋ยฟอสฟอรัส	ราอาร์บัสคูลารีไมคอร์ไรซา	
		NM	AM
NL	NP	14.99±0.04 ^{k 1/}	53.74±8.93 ^a
	P50	23.34±10.98 ^j	56.29±1.03 ^a
	P100	30.79±1.99 ^{ghi}	36.77±2.16 ^{cdefg}
L5.0	NP	24.44±0.74 ^j	45.75±3.02 ^b
	P50	33.57±1.59 ^{efgh}	41.74±2.60 ^{bcd}
	P100	35.02±2.83 ^{cdefgh}	42.71±1.07 ^{bc}
L6.0	NP	21.95±3.91 ^{jk}	32.95±5.80 ^{fgh}
	P50	28.14±10.51 ^{hij}	39.53±2.96 ^{bcdef}
	P100	34.37±6.47 ^{defgh}	40.79±1.76 ^{bcdef}
L7.0	NP	21.60±6.59 ^{jk}	33.78±2.36 ^{defg}
	P50	23.19±8.78 ^j	40.68±2.80 ^{bcdef}
	P100	35.26±10.17 ^{cdefg}	41.27±1.88 ^{bcde}

^{1/}ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ตามด้วยอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ โดยวิธี DMRT

3.2 ผลผลิต

อิทธิพลร่วมระหว่างความเป็นกรด-ด่างของดิน ปุ๋ยฟอสฟอรัส และการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีผลต่อน้ำหนักผลผลิตของข้าวโพดต่อไร่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) กล่าวคือ เมื่อไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (NP) พบว่าการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM) มีผลทำให้ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (NM) ในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน เช่นเดียวกับเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งเท่าของคำแนะนำ (P50) พบว่าการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM) มีผลทำให้ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (NM) ในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน อย่างไรก็ตาม เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามคำแนะนำ

(P100) พบว่าการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM) ไม่มีผลต่อผลผลิตต่อไร่เมื่อไม่ปรับระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน (NL) และเมื่อปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดินให้เป็น 7.0 (L7.0) แต่เมื่อปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดินให้เป็น 5.0 (L5.0) และ 6.0 (L6.0) พบว่าการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM) มีผลทำให้ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (NM) นอกจากนี้การใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ร่วมกับ การไม่ใส่ปุ๋ยและใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งเท่าของคำแนะนำในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน มีผลทำให้ผลผลิตต่อไร่ไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามคำแนะนำเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลของระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน ปุ๋ยฟอสฟอรัส และราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อผลผลิตของข้าวโพด

ผลผลิตของข้าวโพด (น้ำหนักผลผลิตต่อไร่, กิโลกรัมต่อไร่)			
ระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน	ปุ๋ยฟอสฟอรัส	ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	
		NM	AM
NL	NP	0.0±0.0 ^l	291.8±18.3 ^{ab}
	P50	102.9±4.0 ^k	300.5±10.3 ^a
	P100	180.2±11.7 ^g	168.0±22.9 ^{gh}
L5.0	NP	212.2±21.0 ^f	273.0±21.8 ^{bc}
	P50	222.0±33.1 ^{ef}	274.3±5.7 ^{bc}
	P100	226.9±31.6 ^{ef}	253.4±11.2 ^{cd}
L6.0	NP	131.8±8.7 ^{ij}	230.9±27.6 ^{def}
	P50	123.2±6.9 ^{ik}	310.5±8.8 ^a
	P100	100.0±9.1 ^k	242.7±9.6 ^{de}
L7.0	NP	0.0±0.0 ^l	269.1±17.8 ^{bc}
	P50	153.1±7.4 ^{hi}	291.4±8.4 ^{ab}
	P100	241.8±24.2 ^{de}	256.9±17.9 ^{cd}

¹ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ตามด้วยอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ โดยวิธี DMRT

3.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ดูดซับได้

อิทธิพลร่วมระหว่างความเป็นกรด-ด่างของดิน ปุ๋ยฟอสฟอรัส และการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ดูดซับได้ในส่วนเนื้อดินของข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) กล่าวคือ เมื่อไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (NP) พบว่าการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM) มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่ดูดซับได้ในส่วนเนื้อดินเพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (NM) ในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน เช่นเดียวกับเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งเท่าของคำแนะนำ (P50) พบว่าการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM) มีผลทำให้ปริมาณ

ฟอสฟอรัสที่ดูดซับได้ในส่วนเนื้อดินเพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (NM) ในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน อย่างไรก็ตาม เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามคำแนะนำ (P100) พบว่าการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM) ไม่มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ดูดซับได้ในส่วนเนื้อดินเมื่อไม่ปรับระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน (NL) และเมื่อปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดินให้เป็น 6.0 (L6.0) แต่เมื่อปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดินให้เป็น 5.0 (L5.0) และ 6.0 (L7.0) พบว่าการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM) มีผลทำให้ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (NM) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลของระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน ปุ๋ยฟอสฟอรัส และราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ดูดซับได้ของข้าวโพด

ปริมาณฟอสฟอรัสที่ดูดซับได้ของข้าวโพด (ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนเนื้อดิน, กรัมต่อต้น)			
ระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน	ปุ๋ยฟอสฟอรัส	ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	
		NM	AM
NL	NP	0.013±0.002 ^{hij 1/}	0.031±0.006 ^b
	P50	0.017±0.006 ^{defgh}	0.056±0.001 ^a
	P100	0.019±0.002 ^{defgh}	0.020±0.002 ^{def}
L5.0	NP	0.007±0.002 ^k	0.015±0.002 ^{fghi}
	P50	0.014±0.001 ^{ghi}	0.025±0.001 ^c
	P100	0.015±0.003 ^{fghi}	0.025±0.002 ^c
L6.0	NP	0.009±0.002 ^{jk}	0.017±0.004 ^{defgh}
	P50	0.015±0.004 ^{efghi}	0.022±0.003 ^{cd}
	P100	0.017±0.008 ^{defgh}	0.019±0.004 ^{defg}
L7.0	NP	0.012±0.002 ^{ij}	0.017±0.002 ^{defgh}
	P50	0.014±0.004 ^{ghi}	0.020±0.001 ^{def}
	P100	0.013±0.002 ^{hij}	0.020±0.005 ^{cde}

^{1/}ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ตามด้วยอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

โดยวิธี DMRT

4. วิจารณ์ผลการวิจัย

เมื่อไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสหรือใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งเท่าของคำแนะนำ ซึ่งเป็นอัตราที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของข้าวโพดและไม่สามารถยกระดับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินให้เพิ่มขึ้นได้ เป็นผลทำให้ข้าวโพดที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสหรือใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งเท่าของคำแนะนำ มีการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณฟอสฟอรัสที่ดูดซับได้ต่ำ ถึงแม้ว่าจะมีการปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน แต่ก็ยังพบว่าข้าวโพดที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสหรือใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งเท่าของคำแนะนำในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน มีการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณฟอสฟอรัสที่ดูดซับได้ต่ำเช่นเดิม อย่างไรก็ตาม การใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาราช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณฟอสฟอรัสได้ในทุกระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน แม้ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสหรือใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งเท่าของคำแนะนำ ทั้งนี้เนื่องจากราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีกลไกการดูดซับฟอสฟอรัสจากดิน จึงทำให้พืชที่มีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอยู่อาศัยในรากได้รับฟอสฟอรัสมากกว่าพืชที่ไม่มีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอยู่อาศัยในราก โดยได้รับฟอสฟอรัสจาก 2 ระบบ คือระบบรากพืชและระบบของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากผลการทดลองข้างต้น จะเห็นได้ว่าเมื่อดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ (เช่น ในกรณีที่ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งเท่าของคำแนะนำ) ระบบรากพืชจะมีข้อจำกัดในการดูดซับฟอสฟอรัสจากดิน ทำให้พืชได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ แต่ระบบการดูดซับฟอสฟอรัสของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะช่วยทำให้พืชได้รับฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากเส้นใยรามีขนาดเล็กและมีการแตกแขนงของเส้นใยอย่างหนาแน่นในดิน จึงมีโอกาสดูดซับฟอสฟอรัสในดินได้มากกว่าระบบรากพืช [7] สอดคล้องกับงาน

วิจัยของ Abdel-Fattah และคณะ [8] พบว่า เมื่อดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ จะเห็นได้ว่าพืชที่มีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอยู่อาศัยในรากมีการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน น้ำหนักแห้งราก ความสูง และพื้นที่ใบมากกว่าพืชที่ไม่มีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอยู่อาศัยในราก ทั้งนี้เนื่องจากได้รับฟอสฟอรัสผ่านทางระบบการดูดซับฟอสฟอรัสของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ดังนั้นราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีประสิทธิภาพสูง โดยสามารถเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดซับฟอสฟอรัสได้ดี เมื่อดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ [9-11]

อย่างไรก็ตาม เมื่อดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูง (ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามคำแนะนำ) พบว่าประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากขึ้น พืชจะสามารถใช้ระบบรากพืชในการดูดซับฟอสฟอรัสได้อย่างเพียงพอ จึงมีการพึ่งพาราอาอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในการดูดซับฟอสฟอรัสน้อยลง [12] ตัวอย่าง เช่น งานวิจัยของ Ryan และคณะ [13] พบว่าในกรณีที่ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูง พืชจะไม่ตอบสนองต่อการเข้าอยู่อาศัยของราอาอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก ซึ่งหมายความว่า การเข้าอยู่อาศัยของราอาอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไม่ช่วยเพิ่มการดูดซับฟอสฟอรัสและการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราสูง ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน จะมีผลทำให้การเข้าอยู่อาศัยของราอาอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากพืชและความหนาแน่นของสปอร์ราอาอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินลดลงด้วย [14] ดังนั้นราอาอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีประสิทธิภาพต่ำ เมื่อดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูง

นอกจากนี้ ผลการทดลองพบว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะเพิ่มการเจริญเติบโต และผลผลิตได้ดีที่ระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน 5.0 เนื่องจากราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละสปีชีส์มีความเฉพาะเจาะจงกับระดับความเป็นกรด-ด่างของดินแตกต่างกัน [15] ตัวอย่าง เช่น งานวิจัยของ Clark และคณะ [16] ศึกษาการอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* ต่อการเจริญเติบโตและการเข้าอยู่อาศัยในรากของหญ้า switchgrass (*Panicum virgatum*) ในดินที่มีระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน 2 ระดับ คือ 4.0 และ 5.0 พบว่ารา *G. intraradices* เพิ่มการเจริญเติบโต อัตราส่วนของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินและราก รวมทั้งการเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้ดีที่ระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน 5.0

5. สรุป

ระดับความเป็นกรด-ด่างของดินและการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลต่อประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา กล่าวคือ ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณฟอสฟอรัสในข้าวโพดได้ในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดินเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยและใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งเท่าของคำแนะนำ แต่เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามคำแนะนำ พบว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต แต่เพิ่มผลผลิตและปริมาณฟอสฟอรัสในข้าวโพดได้ในระดับความเป็นกรด-ด่าง 5.0 ดังนั้นผลการทดลองนี้จึงชี้ให้เห็นว่าสามารถใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* ให้กับข้าวโพดได้ในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดินโดยไม่ต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสหรือใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสครึ่งเท่าของคำแนะนำ ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามคำแนะนำเพียงอย่างเดียว

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2560 ภายใต้ “ทุนวิจัยทั่วไป” ตามสัญญาเลขที่ ทน 62/2560

7. รายการอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560, ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร, แหล่งที่มา : <http://www.oae.go.th/download/prcai/DryCrop/amphoe/maize-amphoe56.pdf>, 29 กันยายน 2560.
- [2] ยงยุทธ โอสดสภ, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร, 2554, ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 519 น.
- [3] Smith, S.E., Harley, J.L. and Read, D.J., 1997, Mycorrhizal Symbiosis, 2nd Ed., Academic Press, San Diego, California, 605 p.
- [4] Marschner, H. and Dell, B., 1994, Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis, Plant Soil 159: 89-102.
- [5] พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์, 2557, การทดแทนปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่มีการตรึงฟอสฟอรัส, Thai J. Sci. Technol. 3: 173-181.
- [6] Phillips, J.M. and Hayman, D.S., 1970, Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection, Trans. Br. Mycol. Soc. 55: 158-161.
- [7] Smith, S.E. and Smith, F.A., 2011, Roles of

- AM in plant nutrition and growth: New paradigms from cellular to ecosystems scales, *Ann. Rev. Plant Biol.* 63: 227-250.
- [8] Abdel-Fattah, G. M. , Asrar, A. A. , Al-Amri, S. M. and Abdel- Salam, E. M. , 2014, Influence of arbuscular mycorrhiza and phosphorus fertilization on the gas exchange, growth and phosphatase activity of soybean (*Glycine max* L.) plants, *Photosynthetica* 52: 581-588.
- [9] Liu, J.Y., Blay, L.A., Endre, G., Cho, J., Town, C.D., VandenBosch, K.A. and Harrison, M.J., 2003, Transcript profiling coupled with spatial expression analyses reveals genes involved in distinct developmental stages of an arbuscular mycorrhizal symbiosis, *Plant Cell* 15: 2106-2123.
- [10] Smith, S.E., Jakobsen, I., Gronlund, M. and Smith, F. A. , 2011, Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: Interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition, *Plant Physiol.* 156: 1050-1057.
- [11] Sheng, M. , Lalande, R. , Hamel, C. and Ziadi, N. , 2013, Effect of long-term tillage and mineral phosphorus fertilization on arbuscular mycorrhizal fungi in a humid continental zone of eastern Canada, *Plant Soil* 369: 599-613.
- [12] Poomipan, P., Suwanarit, A., Suwanarit, P., Nopamornbodi, O. and Dell, B., 2011, Reintroduction of a native *Glomus* to a tropical Ultisol promoted grain yield in maize after fallow and restored the density of arbuscular mycorrhizal fungal spores, *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174: 257-268.
- [13] Ryan, M.H., Norton, R.M., Kirkegaard, J.A., McCormick, K.M., Knights, S.E. and Angus, J.F. , 2002, Increasing mycorrhizal colonisation does not improve growth and nutrition of wheat on Vertosols in south-eastern Australia, *Aust. J. Agric. Res.* 53: 1173-1181.
- [14] Kahiluoto, H., ketoja, E., Vestberg, M. and Saarela, I. , 2001, Promotion of AM ultization through reduced P fertilization, II: Field studies, *Plant Soil* 231: 65-79.
- [15] Clark, R.B. , 1997, Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH, *Plant Soil* 192: 15-35.
- [16] Clark, R.B. , Zeto, S.K. and Zobel, R.W. , 1999, Arbuscular mycorrhizal fungal isolate effectiveness on growth and root colonization of *Panicum virgatum* in acidic soil, *Soil. Biol. Biochem.* 31: 1757-1763.