

การทดแทนปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ในดินที่มีการตรึงฟอสฟอรัส

Replacement of Phosphorus Fertilizer by Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Phosphorus Fixation Soil

พัชกรเพ็ญ ภูมิพันธ์*

ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Phakpen Poomipan*

Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University, Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

การศึกษาการทดแทนปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่มีการตรึงฟอสฟอรัส (ชุดดินปากช่อง) มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทดแทนปุ๋ยฟอสฟอรัสของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus* sp. โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 5 ตำรับการทดลอง ได้แก่ (1) 100 % ของอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด (2-4) 75, 50 และ 25 % ของอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดรวมกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และ (5) การใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียว โดยอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด คือ 20 กก. P_2O_5 ต่อไร่ ปลูกข้าวโพดในชุดดินปากช่องที่กำจัดราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาตามธรรมชาติแล้ว และใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและสังกะสีในอัตราที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด ผลการทดลองพบว่าการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียว และการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 75, 50 และ 25 % ของอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดรวมกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มีผลทำให้ความสูง น้ำหนักแห้ง และปริมาณฟอสฟอรัสของข้าวโพดไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด ดังนั้นผลการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus* sp. สามารถทดแทนปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินที่มีการตรึงฟอสฟอรัสได้ทั้งหมด

คำสำคัญ : ปุ๋ยฟอสฟอรัส; ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา; ดินที่มีการตรึงฟอสฟอรัส

Abstract

A study of replacement of phosphorus (P) fertilizer by arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in phosphorus fixation soil (Pak Chong soil series) was aimed to evaluate efficiency on replacement of

P fertilizer of AM fungi, *Glomus* sp. An experimental design was undertaken in complete randomized design with 4 replications, including 5 treatments; (1) 100 % of P fertilizer rate that giving maximum corn growth, (2-4) 75, 50 and 25 % of P fertilizer rate that giving maximum corn growth with AM inoculation and (5) AM inoculation alone. The P fertilizer rate that giving maximum corn growth was 20 kg P₂O₅/rai. The corn was planted on sterilized Pak Chong soil series and nitrogen and zinc fertilizer were applied at adequate rate for maintaining an optimum corn growth. The results showed that height, dry weight and P content of corn which was applied with AM inoculation alone and 75, 50 and 25 % of P fertilizer rate with AM inoculation did not significantly differ when compared to those of corn which was applied at 100 % of P fertilizer rate. Therefore, these results were concluded that AM fungi, *Glomus* sp., can be totally replaced for P fertilizer in phosphorus fixation soil.

Keywords: arbuscular mycorrhizal fungi; phosphorus fertilizer; phosphorus fixation soil

1. คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการทำเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากสภาพภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืช แต่การใช้ที่ดินเป็นเวลานานโดยไม่มีการเขตรกรรมและการจัดการที่ดี ทำให้ดินเสื่อมโทรมลงและมีปริมาณธาตุอาหารในดินน้อยลงส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตพืช ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลผลิตปริมาณมากขึ้นตามความต้องการของตลาดเกษตรกรจึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน ซึ่งเกษตรกรโดยส่วนใหญ่จะเลือกใช้ปุ๋ยเคมี เพราะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วและให้ผลผลิตสูงขึ้นในระยะเวลานั้น แม้ว่าปุ๋ยเคมีจะมีราคาแพงก็ตาม จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2557) พบว่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ กล่าวคือ การนำเข้าปุ๋ยเคมีในปี พ.ศ. 2551 มีปริมาณการนำเข้าประมาณ 3.8 ล้านตัน และมีการนำเข้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนปี พ.ศ. 2555 มีปริมาณการนำเข้าประมาณ 5.6 ล้านตัน เห็นได้ว่าตลอดระยะเวลาห้าปีที่ผ่านมา ปริมาณการนำเข้า

ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้นถึง 47 % และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อพิจารณาถึงสูตรปุ๋ยเคมีที่มีการนำเข้ามาพบว่าสูตรปุ๋ยที่มีธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบมีการนำเข้าไปในปริมาณมาก ยกตัวอย่าง เช่น ปุ๋ยสูตร 18-46-0 มีปริมาณการนำเข้าเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2551-2555 คิดเป็นโดยประมาณ 110 % ซึ่งในปี พ.ศ. 2555 มีมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสดังกล่าวมากถึง 10,000 ล้านบาท จากตัวเลขดังกล่าว แสดงให้เห็นได้ว่าประเทศไทยต้องสูญเสียเงินจำนวนมากในการนำเข้าปุ๋ยเคมี ดังนั้นการหาวิธีการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในดิน เพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมีลง จึงเป็นประเด็นที่มีความน่าสนใจเป็นอย่างยิ่งสำหรับการเกษตรกรรมในปัจจุบัน

ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นราที่มีการดำรงชีวิตอยู่ร่วมกันกับรากพืชแบบพึ่งพาอาศัยและเอื้อประโยชน์ซึ่งกันและกัน (Smith และ Read, 1997) โดยที่ราได้รับสารอาหารจากพืช และพืชได้รับน้ำและธาตุอาหารจากรา โดยเส้นใยราที่อยู่นอกรากจะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการดูดธาตุอาหารในดินแก่พืช ทำให้พืชได้รับธาตุอาหารมากขึ้น โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการ

เจริญเติบโตของพืช แต่มักอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์พืช เพราะเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบต่างๆ ในดินได้ง่าย ดังนั้นพืชที่มีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอยู่อาศัยในรากจะได้รับธาตุอาหารฟอสฟอรัสมากขึ้นด้วยการดูดซับธาตุอาหารของเส้นใยรานอกรากพืช (Marschner and Dell, 1994) จากประโยชน์ของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในแง่การเพิ่มการดูดซับธาตุฟอสฟอรัสให้กับพืชดังกล่าวมาแล้วนั้น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ในการปลูกพืช เพื่อลดอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัส ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทดแทนปุ๋ยฟอสฟอรัสของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus* sp. ในดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ อันเนื่องมาจากการตรึงฟอสฟอรัสในดิน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นชุดดินปากช่อง (very fine, kaolinitic, isohyperthermic Rhodic Kandistox) ซึ่งเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20 ซม. จากสถานีวิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ (ไร่สุวรรณ) อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา โดยมีสมบัติของดิน คือ เป็นดินเหนียวสีแดง pH 7.1 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินปานกลาง 2.6 % ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ 11 มก. ต่อ กก. (Bray II) และปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ 3.2 มก. ต่อ กก. ซึ่งตัวอย่างดินดังกล่าวนี้ได้มีการกำจัดราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินตามธรรมชาติ โดยใช้ autoclave จากนั้นบรรจุดินลงในกระถาง จำนวน 10 กก. ต่อกระถาง เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus* sp. (KUSOIL5) ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้มาจากการจัดจำแนกราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่พบในชุดดิน

ปากช่อง แล้วนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินปากช่อง พบว่ามีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวโพดได้เป็นอย่างดี (Na Bhudalung, 2005; Poomipan *et al.*, 2011) โดยสปอร์ของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus* sp. (KUSOIL5) ซึ่งรวบรวมไว้โดยภาค วิชา ปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Na Bhudalung, 2005) ได้นำมาเพิ่มปริมาณในข้าวฟ่างเป็นเวลา 90 วัน จากนั้นนำดินที่ใช้ปลูกข้าวฟ่างมาใช้เป็น soil inoculums ในการทดลองนี้ต่อไป โดย soil inoculums มีจำนวนสปอร์ประมาณ 50 สปอร์ต่อกรัม (ประเมินจำนวนสปอร์โดยวิธีการของ Gerdeman และ Nicolson (1963) (Daniels and Skipper, 1982)

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินปากช่อง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 11 ตำรับการทดลอง ได้แก่ การไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (P0) และการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 5 (P1), 10 (P2), 15 (P3), 20 (P4), 25 (P5), 30 (P6), 35 (P7), 40 (P8), 45 (P9) และ 50 (P10) กก. P_2O_5 ต่อไร่ ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452 จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง เมื่อข้าวโพดอายุ 14 วัน ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูป triple superphosphate (TSP, 0-46-0) ตามแผนการทดลอง (เช่น P1 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 0.35 กรัม-TSP ต่อกระถาง P2 ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 0.70 กรัม-TSP ต่อกระถาง เป็นต้น) และใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปยูเรีย (46-0-0) อัตรา 35 กก./N ต่อไร่ (2.40 กรัม-ยูเรียต่อกระถาง) และปุ๋ยสังกะสีในรูป 80 % $ZnSO_4$ อัตรา 5.6 กก. Zn ต่อไร่ (0.60 กรัม-80 % $ZnSO_4$ ต่อกระถาง) ในทุกกระถาง เนื่องจากชุดดินปากช่องมีปริมาณธาตุไนโตรเจนและสังกะสีไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต

ของข้าวโพด จึงต้องใส่ธาตุไนโตรเจนและสังกะสีในอัตราดังกล่าว เพื่อไม่ให้เป็นปัจจัยจำกัดการเจริญเติบโตของข้าวโพด (Suwanarit *et al.*, 1992; Suwanarit *et al.*, 2000) เมื่อข้าวโพดเข้าสู่ระยะสุกแก่ทางสรีระ (120 วัน) จึงบันทึกผลการทดลองน้ำหนักแห้งของข้าวโพด

การทดลองที่ 2 ประเมินประสิทธิภาพในการทดแทนปุ๋ยฟอสฟอรัสของราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus* sp. (KUSOIL5) สำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินปากช่อง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 5 ตำรับการทดลอง ได้แก่ 100 % ของอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสต่ำที่สุดที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด (100 % P) 75, 50 และ 25 % ของอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสต่ำที่สุดที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดรวมกับการใส่ราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (75 % P + AM, 50 % P + AM และ 25 % P + AM ตามลำดับ) และการใส่ราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียว (0 % P + AM) ซึ่งอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสต่ำที่สุดที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดทราบได้จากผลการทดลองที่ 1 และทำการทดลองโดยปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์สุวรรณ 4452 จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง พร้อมกับใส่ราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรูป soil inoculums จำนวน 500 กรัมต่อกระถาง ตามแผนการทดลองเมื่อข้าวโพดอายุ 14 วัน ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูป triple superphosphate ตามแผนการทดลองเช่นกัน และใส่ปุ๋ยไนโตรเจน อัตรา 35 กก. -N/ไร่ และปุ๋ยสังกะสี อัตรา 5.6 กก. -Zn/ไร่ ในทุกกระถาง ดูแลให้น้ำและกำจัดวัชพืชโดยวิธีกล เมื่อข้าวโพดมีอายุ 60 วัน ทำการบันทึกความสูงของข้าวโพด และเมื่อข้าวโพดเข้าสู่ระยะสุกแก่ทางสรีระ (120 วัน) ทำการบันทึกน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของข้าวโพดวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินของข้าวโพดโดยวิธี Vanado-molybdate yellow color

(ทัศนีย์ และจรงค์, 2542) และประเมินการเข้าอยู่อาศัยของราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดโดยวิธีของ McGonigle และคณะ (1990) และคำนวณเปอร์เซ็นต์การอยู่อาศัยของราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากตามวิธีการของ Trouvet และคณะ (1985)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติใช้โปรแกรม SPSS โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละตำรับการทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3. ผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่อง พบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (P0) มีผลทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งต่ำที่สุด และแสดงอาการขาดฟอสฟอรัส คือ ใบล่างเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง แต่เมื่อมีการเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสให้เป็น 5 (P1), 10 (P2), 15 (P3) กก. P₂O₅ ต่อไร่ พบว่าน้ำหนักแห้งของข้าวโพดเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งเพิ่มอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสเป็น 20 (P4) กก. P₂O₅ ต่อไร่ พบว่ามีผลทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งทั้งหมดสูงที่สุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราที่สูงกว่า 20 กก. P₂O₅ ต่อไร่ (Figure 1) ดังนั้นปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 20 กก. P₂O₅ ต่อไร่ จึงเป็นอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสต่ำที่สุดที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด (100 % P) และการลดอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสลงเป็น 75, 50 และ 25 % ของอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสต่ำที่สุดที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด จึงเท่ากับ 15, 10 และ 5 กก. P₂O₅ ต่อไร่ ตามลำดับ

จากการประเมินประสิทธิภาพการทดแทนปุ๋ยฟอสฟอรัสของราอราบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

Glomus sp. (KUSOIL5) สำหรับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในชุดดินปากช่อง พบว่าอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ลดลงเป็น 75, 50 และ 25 % ของอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด ร่วมกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (75 % P + AM, 50 % P + AM และ 25 % P + AM) และการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียว (0 % P + AM) มีผลทำให้ความสูงของข้าวโพดที่อายุ 60 วัน น้ำหนักแห้งและปริมาณฟอสฟอรัสของข้าวโพดไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด (100 % P) กล่าวคือ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 100 % P ทำให้ข้าวโพดมีความสูง 132 ± 11 ซม. ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราที่ลดลงต่าง ๆ ร่วมกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (75 % P + AM, 50 % P + AM และ 25 % P + AM) ที่มีความสูงเท่ากับ 121 ± 13 , 123 ± 4 และ 127 ± 7 ซม. ตามลำดับ และไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียว (0 % P + AM) ที่มีความสูงเท่ากับ 125 ± 8 ซม. (Figure 2, p value = 0.53, c.v. = 4.54 %)

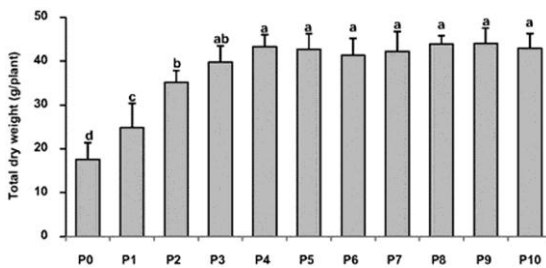


Figure 1 Total dry weight of corn which was applied at different P fertilizer rate. (P0 = nil P fertilizer and P1, P2, ..., P10 = 5, 10, ..., 50 kg P_2O_5 /rai, respectively)

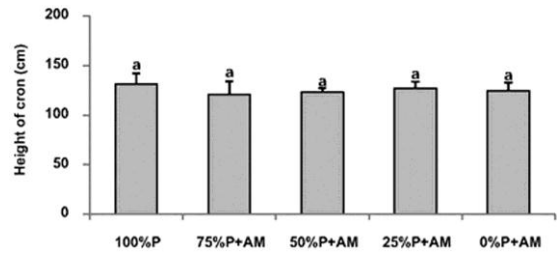


Figure 2 Height of corn which was applied at different P fertilizer rate with and without AM inoculation.

นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 100 % P ยังทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้ง 35.57 ± 1.89 กรัมต่อต้น ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราที่ลดลงต่าง ๆ ร่วมกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (75 % P + AM, 50 % P + AM และ 25 % P + AM) ที่มีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 39.12 ± 3.00 , 40.52 ± 3.77 และ 37.42 ± 2.21 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียว (0 % P + AM) ที่มีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 39.36 ± 2.36 กรัมต่อต้น (Figure 3, p value = 0.063, c.v. = 1.37 %) เช่นเดียวกับปริมาณฟอสฟอรัสในข้าวโพด พบว่าอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ลดลงเป็น 75, 50 และ 25 % ของอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตมากที่สุด ร่วมกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (75 % P + AM, 50 % P + AM และ 25 % P + AM) และการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียว (0 % P + AM) มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในข้าวโพดเท่ากับ 0.047 ± 0.004 , 0.046 ± 0.003 , 0.044 ± 0.003 และ 0.046 ± 0.002 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตราที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด (Figure 4, p value = 0.57, c.v. = 2.02 %)

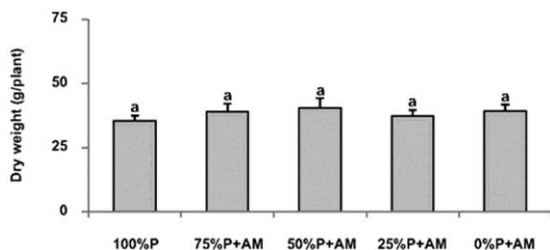


Figure 3 Dry weight of corn which was applied at different P fertilizer rate with and without AM inoculation.

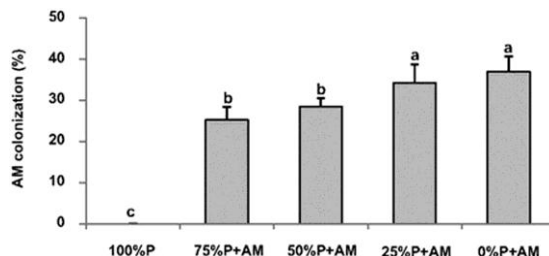


Figure 5 The AM colonization (D) of corn which was applied at different P fertilizer rate with and without AM inoculation.

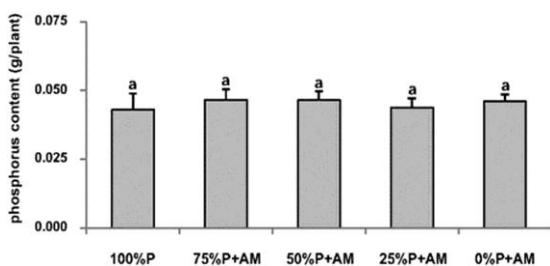


Figure 4 P content in corn which was applied at different P fertilizer rate with and without AM inoculation.

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเฉพาะตัวรับการทดลองที่ใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา พบว่าการเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดที่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสรวมกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 75 % P + AM (25±3 %) และ 50 % P + AM (29±2 %) มีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดที่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสรวมกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา 25 % P + AM (34±4 %) และการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียว 0 % P + AM (37±4 %) (Figure 5, p value < 0.001, c.v. = 11.53 %)

4. วิจารณ์

จากการศึกษาผลของอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่อง แสดงให้เห็นว่าชุดดินปากช่องมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด โดยผลการทดลองพบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (P0) มีผลทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักแห้งต่ำที่สุด และแสดงอาการขาดฟอสฟอรัสโดยใบแก่จะมีสีม่วงคล้ำ (ยงยุทธ, 2546) ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินปากช่องมีเนื้อดินเป็นดินเหนียวจัดและมีปริมาณของแคตไอออน ไตแก อลูมิเนียม และเหล็ก ในดินสูง (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973) ซึ่งมีผลต่อความจุในการตรึงฟอสฟอรัสของดิน และเป็นปัจจัยควบคุมความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินดังกล่าว (Brady and Weil, 2002) ดังนั้นจึงทำให้ชุดดินปากช่องมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำและไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสพบว่าข้าวโพดมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่องมีการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ใส่ แต่เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 20 กก. P₂O₅ ต่อไร่ เป็นต้นไป พบว่าข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดและคงที่

ทั้งนี้เนื่องจากการใส่ปุ๋ยในอัตราที่สูงเกินกว่าความต้องการของพืช จะทำให้เกิดฟอสฟอรัสส่วนเกิน ซึ่งพืชจะเก็บฟอสฟอรัสส่วนนี้ไว้ในแควคิวโอ (non-metabolic pool) เพื่อนำมาใช้ในกรณีที่พืชได้รับฟอสฟอรัสไม่เพียงพอ โดยฟอสฟอรัสที่เก็บไว้ในแควคิวโอจะไม่มีการเจริญเติบโตของพืช จึงทำให้การเจริญเติบโตของข้าวโพดคงที่ ถึงแม้จะได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นก็ตาม (Mengel and Kirkby, 2001)

ผลการประเมินประสิทธิภาพการทดแทนปุ๋ยฟอสฟอรัสของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus* sp. (KUSOIL5) สำหรับข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่อง พบว่าการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียว มีผลทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตและการดูดซับฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงสุด (20 กก. P_2O_5 ต่อไร่) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเพิ่มการดูดซับฟอสฟอรัสให้กับข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่องได้ ทั้งนี้เนื่องจากราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีเส้นใยนอกรากพืชที่ทำหน้าที่ในการดูดซับฟอสฟอรัสในดิน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้พืชได้รับฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น เพราะเส้นใยนอกรากพืชมีขนาดเล็กและแพร่กระจายอย่างหนาแน่นในบริเวณเขตรากพืช ทำให้เส้นใยนอกรากพืชมีพื้นที่ผิวในการดูดซับฟอสฟอรัสจากดินได้มากกว่ารากพืช จึงสามารถดูดซับธาตุฟอสฟอรัสในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Avio *et al.*, 2006; Drew *et al.*, 2003; Jakobsen, 2004; Mikkelsen *et al.*, 2008) ส่งผลทำให้พืชที่มีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอยู่อาศัยในรากได้รับฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น (Schnepf *et al.*, 2011)

อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสในอัตราสูงมีผลทำให้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ใส่ให้กับข้าวโพดมีการเข้าอยู่อาศัยในรากพืชน้อยลง (De Clerck *et al.*, 2003; Kogelmann *et al.*, 2004)

โดยผลการทดลองพบว่า เมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 75 และ 50 % ของอัตราที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงสุด จะมีผลทำให้การเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ การเข้าอยู่อาศัยของราในรากข้าวโพดที่ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัส 25 และ 0 % ของอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kahiluoto และคณะ (2001) พบว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราสูงให้กับพืชที่ปลูกในดินที่มีระดับของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ปานกลางและต่ำ มีผลทำให้การเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากพืชลดลง และงานวิจัยของ Martensson และ Carlgren (1994) พบว่าอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสระดับปานกลาง (45 กก. $P\ ha^{-1}\ year^{-1}$) มีผลทำให้จำนวนสปอร์ในดินลดลงกว่า 50 % จึงเป็นผลทำให้การเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาลดลงไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราสูงจะมีผลทำให้รากพืชมีการเจริญเติบโตมากขึ้น ส่งผลให้สัดส่วนของรากที่มีการเข้าอยู่อาศัยของราต่อรากทั้งหมดลดลง ดังนั้นจึงทำให้เปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากลดลงไปด้วย (Smith and Read, 2008)

5. สรุป

การใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียวมีผลทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตและการดูดซับฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่ทำให้ข้าวโพดมีการเจริญเติบโตสูงสุด 20 กก. P_2O_5 ต่อไร่) ดังนั้นการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (*Glomus* sp.) จึงสามารถทดแทนปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินที่มีการตรึงฟอสฟอรัสได้ทั้งหมด

6. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2556 และขอขอบคุณ รศ. ดร. บุญหงษ์ จงคิด ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาในการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และจรงค์ จันท์เจริญสุข, 2542, การวิเคราะห์ดินและพืช, ภาควิชาปฐพีวิทยา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสกา, 2546, ธาตุอาหารพืช, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557, ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมี, แหล่งที่มา : http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/Fertilizer_value49-54.html, 30 พฤษภาคม 2557.

Avio, L., Pellegrino, E., Bonari, E. and Giovannetti, M., 2006, Functional diversity of AM fungal isolates in relation to extraradical mycelia networks, *New Phytol.* 172: 347-357.

Balzerque, C., Puech-Pagès, V., Bècard, G. and Rochange, S.F., 2001, The regulation of arbuscular mycorrhizal symbiosis by phosphate in pea involves early and systemic signaling events, *J. Exp. Bot.* 62: 1049-1060.

Brady, N.C. and Weil, R.R., 2002, *The Nature and Properties of Soils*, 13th Ed., The Macmillan Co., New York.

Daniels, B.A. and Skipper, H.D., 1982, *Methods for the Recovery and Quantitative Estima-*

tion of Propagules from Soil, pp. 29-35. In Schenck, N.C. (Ed.), *Method and Principles of Mycorrhizal Research*, American Phytopathological Society, Minnesota.

De Clerck, F., Singer, M.J. and Lindert, P., 2003, A 60-year history of California soil quality using paired samples, *Geoderma* 114: 215-230.

Drew, E.A., Murray, R.S., Smith, S.E. and Jakobsen, I., 2003, Beyond the rhizosphere: Growth and function of arbuscular mycorrhizal external hyphae in sands of varying pore sizes, *Plant Soil* 251: 105-114.

Gerdeman, J.W. and Nicolson, T.H., 1963, Spores of mycorrhizal endogone extractable from soil by wet sieving and decanting, *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46: 235-244.

Jakobsen, I. 2004. Hyphal fusion to plant species connections-giant mycelia and community nutrient flow, *New Phytol.* 164: 4-7.

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.

Kogelmann, W.J., Lin, H.S., Bryant, R.B., Beege, D.B., Wolf, A.M. and Petersen, G.W., 2004, A statewide assessment of the impacts of phosphorus-index implementation in Pennsylvania, *J. Soil Water Conserv.* 59: 9-18.

Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973, *Soil Interpretation Handbook for Thailand*, Department of Land Development, Bangkok.

- Li, H.Y., Smith, S.E., Ophel-Keller, K., Holloway, R.E. and Smith, F.A., 2008, Naturally occurring arbuscular mycorrhizal fungi can replace direct P uptake by wheat when roots cannot access added P fertilizer, *Funct. Plant Biol.* 35: 125-134.
- Marschner, H. and Dell, B., 1994, Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis, *Plant Soil.* 159: 89-102.
- Martensson, A.M. and Carlgren, K., 1994, Impact of phosphorus fertilization on VAM diaspores in 2 Swedish long-term field experiment, *Agric. Ecosyst. Environ.* 47: 327-334.
- McGonigle, T.P., Miller, M.H., Evans, D.G., Fairchild, G.L., and Swan, J.A., 1990, A new method which gives an objective measure of colonization by VAM fungi, *New Phytol.* 115: 495-501.
- Mengel, K. and Kirkby, E.A., 2001, *Principles of Plant Nutrition*, 5th Ed., Kluwer Academic, Dordrecht.
- Mikkelsen, B.L., Rosendahl, S. and Jakobsen, I., 2008, Underground resource allocation between individual networks of mycorrhizal fungi, *New Phytol.* 180: 890-898.
- Miller, R.L. and Jackson, L.E., 1998, Survey of vesicular-arbuscular mycorrhizae in lettuce production in relation to management and soil factors, *J. Agric. Sci.* 130: 173-182.
- Na Bhadalung, N., 2005, Effects of Long-term Fertilization on Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi under a Maize Cropping System in Thailand, Doctoral Dissertation, Kasetsart University, Bangkok.
- Poomipan, P., Suwanarit, A., Suwanarit, P., Nopamornbodi, O. and Dell, B., 2011, Reintroduction of a native *Glomus* to a tropical Ultisoi promoted grain yield in maize after fallow and restored the density of arbuscular mycorrhizal fungal spores, *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174: 257-268.
- Schnepf, A., Leitner, D., Klepsch, S., Pellerin, S. and Mollier, A., 2011, Modelling Phosphorus Dynamics in the Soil-plant System, pp. 113-133, In Bünemann, E.K., Oberson, A. and Frossard, E. (Eds.), *Phosphorus in Action: Biological Processes in Soil Phosphorus Cycling*, Springer, Heidelberg.
- Smith, S.E. and Read, D.J., 1997, *Mycorrhizal Symbiosis*, 2nd Ed., Academic press, London.
- Smith, S.E. and Read, D.J., 2008, *Mycorrhizal Symbiosis*, 3rd Ed., Academic Press, London.
- Suwanarit, A., Suwanchatri, I., Rungchuang, J. and Verasan, V., 2000, Residual effects of 20 annual applications of ammonium sulfate and triple superphosphate for corn on properties and productivity of Oxic Paleustults, *Kasetsart J.* 34: 40-51.
- Suwanarit, A., Vanichkul, C. and Parkpian, P., 1992, Zinc critical level and supplying powers of Takhli, Loei and Khorat soil series for corn production, *Kasetsart J.* 26: 432-440.
- Trouvelet, A., Kough, J.L. and Gianinazzi, V.P., 1985, Measure du Taux de Mycorrhization VA d' un Systeme Rediculaire, pp. 217-221, In Gianninazzi, V.P. and Giannazzi, S. (Eds.), *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhiza*, LNRA, Paris.