

ผลของความเป็นกรด-ด่างของดินและปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อประสิทธิภาพ
ของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus intraradices*
ที่มีต่อข้าวโพดที่ปลูกในดินอุดมสมบูรณ์ต่ำ
Effects of Soil pH and Phosphorus Fertilizer on Efficiency
of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, *Glomus intraradices*
on Maize Production in Infertile Soil

ประสพโชค รื่นสุข, พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์*,
อรประภา เทพศิลาปะวิสุทธิ และสมชาย ชคตระการ
สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

จุฑามาศ ร่มแก้ว

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

Prasopchok Reunsuk, Phakpen Poomipan*,

Orprapa 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, Nakhon Pathom, 73140

บทคัดย่อ

การศึกษามูลของความเป็นกรด-ด่างของดิน และปุ๋ยฟอสฟอรัส ต่อประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus intraradices* สำหรับข้าวโพดไร่ลูกผสมที่ปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (ชุดดินโคราช) โดยวางแผนการทดลองแบบ $4 \times 2 \times 2$ factorial in CRD จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ (1) ความเป็นกรด-ด่างของดิน (ไม่ปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH 4.37) และปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดินเป็น 5.0, 6.0 และ 7.0) (2) ปุ๋ยฟอสฟอรัส (ไม่ใส่ปุ๋ยและใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของโปรแกรมปุ๋ยสั่งตัด) และ (3) ราอาร์บัสคูลาร์

*ผู้รับผิดชอบบทความ : Phakpen@tu.ac.th

ไมคอร์ไรซา (ไมโซและไسرائาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา) ปลูกข้าวโพดจนถึงระยะเก็บเกี่ยวในดินที่กำจัดราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาตามธรรมชาติแล้ว ผลการทดลองพบว่าการไسرائาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิตและการดูดซับฟอสฟอรัสในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน โดยการไسرائาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียวมีผลทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดซับฟอสฟอรัสมากกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส และไม่แตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการไسرائาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ร่วมกับ การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส โดยประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะลดลงเมื่อใส่ร่วมกับปุ๋ยฟอสฟอรัสในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน ดังนั้น ผลการทดลองจึงชี้ให้เห็นว่าระดับความเป็นกรด-ด่างของดินไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา แต่การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลทำให้ประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาลดลง อย่างไรก็ตาม สามารถไسرائาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาให้กับข้าวโพดที่ปลูกในดินอุดมสมบูรณ์ต่ำในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่าง โดยไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

คำสำคัญ : ความเป็นกรด-ด่างของดิน; ดินอุดมสมบูรณ์ต่ำ; ปุ๋ยฟอสฟอรัส; ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

Abstract

A study on effects of soil pH and phosphorus fertilizer on efficiency of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi, *Glomus intraradices*, for hybrid field corn growing in infertile soil (Korat soil series) was conducted in 4 x 2 x 2 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 phosphorus (P) fertilizer (nil P and 100 % P fertilizer at recommendation rate by site specific nutrient program). The factor 3 was AM fungi (without and with AM inoculation). The corn was grown until harvesting period in sterilized soil. The results revealed that the AM inoculation can increase the growth, yield and P content of corn at all level of soil pH. Inoculation of AM fungi alone had resulted in higher growth, yield and P content of corn than 100 % P fertilizer. There was no significant difference between AM inoculation alone and AM inoculation with 100 % P fertilizer. However, the efficiency of AM fungi had decreased when applying P fertilizer at all level of soil pH. Therefore, these results indicated that soil pH did not have any effects on efficiency of AM fungi, but P fertilizer did. However, AM inoculation can be applied to corn that growing in infertile soil with all level of soil pH by without P fertilization.

Keywords: arbuscular mycorrhizal fungi; infertile soil; phosphorus fertilizer; soil pH

1. บทนำ

ธาตุอาหารเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการผลิตข้าวโพดไร่ โดยเฉพาะฟอสฟอรัส เนื่องจากเป็นธาตุหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่มัก

ไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช ทั้งนี้เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลในการควบคุมความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดิน เช่น ในดินเนื้อหยาบ จะมีการแพร่กระจายของฟอสฟอรัสในดินสูงกว่าดิน

เนื้อละเอียด เป็นเหตุให้เกิดการชะล้างฟอสฟอรัสได้มาก จึงทำให้ในดินเนื้อหยาบมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ นอกจากนี้ความเป็นกรด-ด่างของดินก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลควบคุมความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสในดิน เนื่องจากความเป็นกรด-ด่างของดินจะมีผลทำให้ธาตุบางชนิดละลายออกมาได้มาก ซึ่งธาตุฟอสฟอรัสก็สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบต่าง ๆ ในดินได้ง่ายเช่นกัน จึงมักเกิดปฏิกิริยาการตรึงฟอสฟอรัสในดิน ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินต่ำ เช่น เมื่อดินเป็นกรดจะทำให้ฟอสฟอรัสถูกตรึงด้วยเหล็กและอลูมิเนียม เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเหล็กฟอสเฟตและอลูมิเนียมฟอสเฟตที่ละลายน้ำยาก ซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช และเมื่อดินเป็นด่างจะทำให้ฟอสฟอรัสถูกตรึงด้วยแคลเซียมและแมกนีเซียม เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนแคลเซียมฟอสเฟตหรือแมกนีเซียมฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ยาก ซึ่งอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่นเดียวกัน หรือพื้นที่ที่มีแร่ดินเหนียวซิลิเกต ได้แก่ kaolinite, montmorillonite และ illite เป็นต้น ฟอสฟอรัสจะเกิดปฏิกิริยา surface reaction คือ ไอออนฟอสเฟตเข้าแทนที่ hydroxyl group ที่อยู่รอบผิวผลึกของแร่ดินเหนียวซิลิเกต จากนั้นไอออนฟอสเฟตนี้จะทำปฏิกิริยากับอะตอมของอลูมิเนียมหรืออะตอมของเหล็กที่อยู่ในโครงสร้างของแร่ซิลิเกต ไอออนฟอสเฟตจึงกลายเป็นองค์ประกอบของแร่ดินเหนียว [1,2] ดังนั้นจะเห็นได้ว่าฟอสฟอรัสในดินมีข้อจำกัดในด้านความเป็นประโยชน์ต่อพืชเป็นอย่างมาก

การใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการจัดการฟอสฟอรัสในดิน ทั้งนี้เมื่อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอาศัยในรากพืชจะส่งผลให้พืชได้รับธาตุฟอสฟอรัสได้มากขึ้นผ่านทางกลไกการดำรงชีวิตแบบพึ่งพาคาศัย โดยเส้นใยราที่กระจายอย่าง

หนาแน่นในดินจะทำหน้าที่ดูดซับและลำเลียงธาตุฟอสฟอรัสจากดินมาให้แก่พืช ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าการดูดซับของระบบรากพืชหลายเท่า [3] ตัวอย่าง เช่น การศึกษาของ Miransari และคณะ [4] พบว่าข้าวโพดที่มีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอยู่อาศัยในรากได้รับธาตุฟอสฟอรัสมากขึ้นถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาให้กับพืชจะเป็นการลดข้อจำกัดในด้านความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินได้

อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่มีผลในการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน เช่น สภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน และอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัส มักมีผลต่อประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา [5] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างของดินและอัตราปุ๋ยฟอสฟอรัสต่อประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ในการเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดไร่ที่ปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ $4 \times 2 \times 2$ factorial in completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 ระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน ได้แก่ ไม่ปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน (NL) และใส่ปูนเพื่อปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดินให้เป็น 5.0 (L5.0), 6.0 (L6.0) และ 7.0 (L7.0) ปัจจัยที่ 2 ปุ๋ยฟอสฟอรัส ได้แก่ ไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (NP) และใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสตามโปรแกรมปุ๋ยสั่งตัด (P100) และปัจจัยที่ 3 ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ได้แก่ ไม่ใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (NM) และใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM)

2.2 การเตรียมหน่วยทดลอง

เก็บตัวอย่างชุดดินโคราช (สมบัติของดินแสดงในตารางที่ 1) ที่ระดับความลึก 0- 20 เซนติเมตร ผึ่งให้แห้งในที่ร่ม แยกเศษพืชออก ย่อยดินให้มีขนาดสม่ำเสมอ คลุกเคล้าให้เข้ากัน อบดินที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาตามธรรมชาติ

การปรับระดับความเป็นกรด-ด่างของดินให้เป็น 5.0, 6.0 และ 7.0 โดยการใส่ปูนแคลเซียมคาร์บอเนตอัตรา 1,333 1,464 และ 1,521 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งเป็นอัตราที่ได้จากการวิเคราะห์ความต้องการปูนของดินตามวิธีการ Woodruff's buffer solution นำปูนมาผสมในตัวอย่างดิน เติมน้ำที่ระดับความชื้นความจุความชื้นสนาม แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยหลังจากการบ่มปูนแล้ว ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน 5.1, 6.2, 7.3 (soil : H₂O, 1 : 1) ตามลำดับ การเตรียมปุ๋ยฟอสฟอรัส คำนวณโดยใช้โปรแกรมปุ๋ยสั่งตัด พบว่าต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส 8 กิโลกรัม (P₂O₅) ต่อไร่ ดังนั้นหน่วยทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจึงใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปของปุ๋ย triple superphosphate

(0-46-0) อัตรา 17.4 กิโลกรัมต่อไร่

ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus intraradices* คัดเลือกมาจากดินที่ปลูกข้าวโพดในสถาบันวิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอบางช่อง จังหวัดนครราชสีมา จากนั้นนำมาเพิ่มปริมาณในข้าวฟ่างเป็นเวลา 20 สัปดาห์ จนกระทั่งได้ soil inocula ที่มีจำนวนสปอร์ 30 สปอร์ต่อดินหนึ่งกรัม

การจัดหน่วยทดลองตามแผนการทดลองและการปฏิบัติดูแลหน่วยทดลอง โดยนำ soil inocula 500 กรัม ใส่ลงในกระถางสำหรับหน่วยทดลอง AM และใส่ดินที่ใช้เตรียม soil inocula 500 กรัม ใส่ลงในกระถางสำหรับหน่วยทดลอง NM จากนั้นปลูกข้าวโพดไร่ลูกผสมพันธุ์สุวรรณ 4452 จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตรา 25 กิโลกรัม/ไร่ และปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ 10 กิโลกรัม/ไร่ (ตามการคำนวณโดยใช้โปรแกรมปุ๋ยสั่งตัด) ให้น้ำในระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต กำจัดแมลง-วัชพืชโดยวิธีกล

2.3 การบันทึกผลการทดลอง

2.3.1 การเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงเมื่อข้าวโพดมีอายุ 90 วันหลังปลูก และน้ำหนักแห้งทั้งหมด

ตารางที่ 1 สมบัติของชุดดินโคราช

สมบัติดิน	ผลวิเคราะห์
เนื้อดิน (Pipette method)	Sandy loam
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (1 : 1, soil : H ₂ O)	4.37
ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (เปอร์เซ็นต์) (Walkley and Black method)	0.34
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (Vanadate-Molybdate method)	69.50
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (Bray II, Ascorbic method)	5
ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (KH ₄ OAc, pH 7.0 method)	10
ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (KH ₄ OAc, pH 7.0 method)	130
ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (KH ₄ OAc, pH 7.0 method)	21
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (เซนติโมลต่อกิโลกรัม) (1 M NH ₄ OAc pH 7.0 method)	4.63

2.3.2 ผลผลิต ได้แก่ ผลผลิตต่อไร่ (คำนวณน้ำหนักแห้งฝักต่อต้น ที่ระยะปลูก 75x20 เซนติเมตร หรือ 10,666 ต้น/ไร่)

2.3.3 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวโพด วิเคราะห์โดยวิธี vanadate-molybdate yellow color [6]

2.3.4 การคำนวณเปอร์เซ็นต์การพึ่งพารอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM dependency) หรือประสิทธิภาพของราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยวิธีการคำนวณของ Plenchette และคณะ [7]

2.3.5 การประเมินการเข้าอยู่อาศัยของราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก โดยวิธีของ Philips และ Hayman [8] และ McGonigle และคณะ [9]

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3. ผลการวิจัย

การใส่ราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทำให้ความสูงและน้ำหนักแห้งทั้งหมดของข้าวโพดเพิ่มขึ้นในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน กล่าวคือ การใส่ราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียวมีผลทำให้ความสูงของข้าวโพด (NL=123.5, L5.0=110.8, L6.0=108.3, L7.0=115.3 เซนติเมตร) มากกว่าการไม่ใส่ราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (NL=93.8, L5.0=70.5, L6.0=84.8, L7.0=91.5 เซนติเมตร) และการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว (NL=95.8, L5.0=85.3, L6.0=89.6, L7.0=98.0 เซนติเมตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการใส่ราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียวมีผลทำให้ความสูงของข้าวโพดไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ราอาหารบัสคูลาร์

ไมคอร์ไรซาร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (NL=117.8, L5.0=116.3, L6.0=117.3, L7.0=122.8 เซนติเมตร) สอดคล้องกับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของข้าวโพด พบว่าการใส่ราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียวมีผลทำให้น้ำหนักแห้งทั้งหมดของข้าวโพด (NL=54.8, L5.0=52.9, L6.0=55.5, L7.0=58.4 กรัมต่อต้น) มากกว่าการไม่ใส่ราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (NL=26.2, L5.0=25.7, L6.0=26.5, L7.0=30.7 กรัมต่อต้น) และการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว (NL=35.1, L5.0=28.1, L6.0=31.5, L7.0=38.2 กรัมต่อต้น) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการใส่ราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียวมีผลทำให้น้ำหนักแห้งทั้งหมดของข้าวโพดไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (NL=54.2, L5.0=51.8, L6.0=55.4, L7.0=57.9 กรัมต่อต้น) เช่นเดียวกัน นอกจากนี้การใส่ราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสยังช่วยเพิ่มความสูงและน้ำหนักแห้งทั้งหมดของข้าวโพดมากกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 2)

การใส่ราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีผลทำให้ผลผลิตข้าวโพดเพิ่มขึ้นในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน กล่าวคือ การใส่ราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียวมีผลทำให้ผลผลิตข้าวโพด (NL=495, L5.0=453, L6.0=465, L7.0=478 กิโลกรัมต่อไร่) มากกว่าการไม่ใส่ราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (NL=315, L5.0=262, L6.0=281, L7.0=329 กิโลกรัมต่อไร่) และการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว (NL=416, L5.0=395, L6.0=333, L7.0=396 กิโลกรัมต่อไร่) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการใส่ราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียวมีผลทำให้ผลผลิตข้าวโพดไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ราอาหารบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (NL=528, L5.0=488, L6.0=451, L7.0=

511 กิโลกรัมต่อไร่) นอกจากนี้การใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสยังช่วยเพิ่มผลผลิตของข้าวโพดได้มากกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 2)

การใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวโพดเพิ่มขึ้นในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน กล่าวคือ การใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียวมีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวโพด (NL=0.64, L5.0=0.67, L6.0=0.74, L7.0=0.70 มิลลิกรัมต่อต้น)

มากกว่าการไม่ใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (NL=0.47, L5.0=0.45, L6.0=0.46, L7.0=0.47 มิลลิกรัมต่อต้น) และการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว (NL=0.56, L5.0=0.53, L6.0=0.52, L7.0=0.51 มิลลิกรัมต่อต้น) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียวมีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวโพดไม่แตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (NL=0.73, L5.0=0.69, L6.0=0.75, L7.0=0.69 มิลลิกรัมต่อต้น) นอกจาก

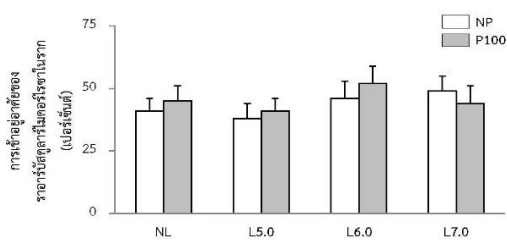
ตารางที่ 2 ผลของความเป็นกรด-ด่างของดิน ปุ๋ยฟอสฟอรัส และราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อความสูง น้ำหนักแห้งทั้งหมด ผลผลิตต่อไร่ และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวโพดไร่ลูกผสมพันธุ์สุวรรณ 4452

สิ่งทดลอง	ความสูง (เซนติเมตร)	น้ำหนักแห้งทั้งหมด (กรัมต่อต้น)	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัมต่อไร่)	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อต้น)
NL-NP-NM	93.8±3.6 ^{cd 1/}	26.2±3.5 ^c	315±29 ^{cd}	0.47±0.08 ^{de}
NL-NP-AM	123.5±3.9 ^a	54.8±1.6 ^{ab}	495±17 ^a	0.64±0.05 ^{abcd}
NL-P100-NM	95.8±7.1 ^{bcd}	35.1±2.7 ^c	416±27 ^b	0.56±0.12 ^{bcde}
NL-P100-AM	117.8±6.9 ^a	54.2±3.0 ^{ab}	528±27 ^a	0.73±0.04 ^a
L5.0-NP-NM	70.5±30.3 ^e	25.7±2.1 ^d	262±42 ^d	0.45±0.10 ^f
L5.0-NP-AM	110.8±1.5 ^{ab}	52.9±3.6 ^{ab}	453±25 ^{ab}	0.67±0.08 ^{ab}
L5.0-P100-NM	85.3±13.7 ^{de}	28.1±4.2 ^{cd}	395±21 ^b	0.53±0.03 ^{cde}
L5.0-P100-AM	116.3±6.2 ^a	51.8±3.4 ^{ab}	488±29 ^a	0.69±0.05 ^{ab}
L6.0-NP-NM	84.8±14.5 ^{de}	26.5±4.2 ^d	281±30 ^d	0.46±0.08 ^e
L6.0-NP-AM	108.3±4.6 ^{abc}	55.5±2.3 ^a	465±19 ^{ab}	0.74±0.13 ^a
L6.0-P100-NM	89.6±5.7 ^d	31.5±3.9 ^{cd}	333±17 ^c	0.52±0.07 ^{cde}
L6.0-P100-AM	117.3±2.2 ^a	55.4±1.5 ^a	451±22 ^{ab}	0.75±0.07 ^a
L7.0-NP-NM	91.5±7.3 ^{cd}	30.7±3.9 ^{cd}	329±18 ^c	0.47±0.04 ^{de}
L7.0-NP-AM	115.3±9.1 ^a	58.4±2.3 ^a	478±24 ^{ab}	0.70±0.09 ^{abc}
L7.0-P100-NM	98.0±7.6 ^{bcd}	38.2±2.1 ^c	396±29 ^b	0.51±0.10 ^{cd}
L7.0-P100-AM	122.8±9.5 ^a	57.9±3.0 ^a	511±24 ^a	0.69±0.03 ^a
p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

^{1/} ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่ตามด้วยอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p < 0.05 โดยวิธี DMRT

นี้การใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสยังช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในข้าวโพดได้มากกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสเพียงอย่างเดียว (ตารางที่ 2)

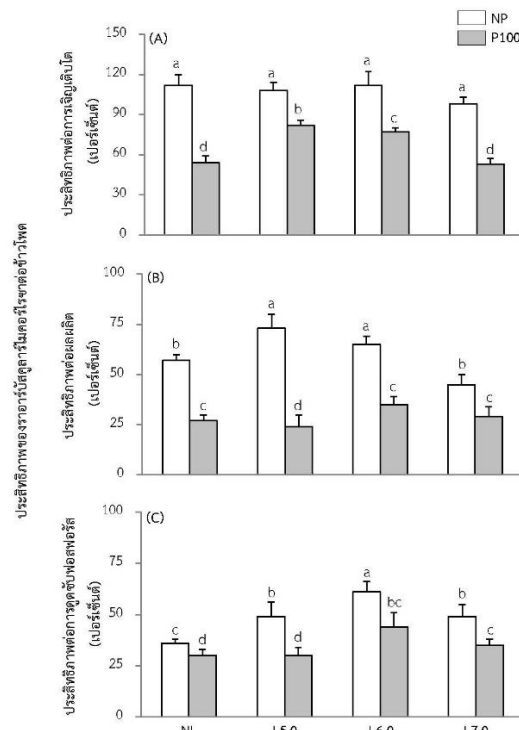
อิทธิพลร่วมของความเป็นกรด-ด่างของดินและปุ๋ยฟอสฟอรัสไม่มีผลต่อการเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากของข้าวโพด (p-value = 0.744) กล่าวคือ การเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในแต่ละระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน 41.0, 38.4, 45.6 และ 48.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในแต่ละระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน 45.0, 41.0, 52.0 และ 44.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 การเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากของข้าวโพดไร่ลูกผสมพันธุ์สุวรรณ 4452 ที่ปลูกโดยการไม่ใส่และใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินที่มีระดับความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน

ประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสสูงกว่าเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในทุกะดับความเป็นกรด-ด่างของดิน (p-value < 0.001) โดยพบว่าประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในแต่ละระดับของ

ความเป็นกรด-ด่างของดิน 112, 108, 112 และ 93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในแต่ละระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน (54, 82, 77 และ 53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (รูปที่ 2A)



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโต (A) ผลผลิต (B) และการดูดซับฟอสฟอรัส (C) ของข้าวโพดไร่ลูกผสมพันธุ์สุวรรณ 4452 ที่ปลูกโดยการไม่ใส่และใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในดินที่มีระดับความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน

ประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อผลผลิตข้าวโพดเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสสูงกว่าเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในทุกะดับความเป็นกรด-ด่างของดิน (p-value < 0.001) พบว่าประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อผลผลิตข้าวโพดเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในแต่ละระดับของความเป็นกรด-ด่างของ

ดิน 57, 73, 65 และ 45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในแต่ละระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน (27, 24, 35 และ 29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) โดยเฉพาะอย่างยิ่งประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อผลผลิตข้าวโพดสูงที่สุดเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 5.0 และ 6.0 (รูปที่ 2B)

ประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการดูดซับฟอสฟอรัสของข้าวโพดเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสสูงกว่าเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส (p -value < 0.001) พบว่าประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการดูดซับฟอสฟอรัสของข้าวโพดเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในแต่ละระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน 36, 49, 61 และ 49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในแต่ละระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน (30, 30, 44 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) โดยเฉพาะอย่างยิ่งประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการดูดซับฟอสฟอรัสของข้าวโพดของข้าวโพดสูงที่สุดเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 6.0 (รูปที่ 2C)

4. วิจารณ์

การใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาให้กับข้าวโพดสามารถเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดซับฟอสฟอรัสได้ในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน โดยไม่ต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ทั้งนี้เนื่องจากราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีการแตกเส้นใยออกไปในดิน จึงมีพื้นที่ผิวในการดูดซับธาตุอาหารได้มากกว่ารากพืช ดังนั้นพืชที่มีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอยู่อาศัยในรากจึงได้รับฟอสฟอรัสมากกว่าพืชที่ไม่มีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเข้าอยู่อาศัยในราก ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตและผลผลิตมากกว่าด้วย [10] สอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าการใส่ราอาร์บัส

คูลาร์ไมคอร์ไรซามีผลทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดซับฟอสฟอรัสมากกว่าการไม่ใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีผลทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดซับฟอสฟอรัสมากกว่าการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มีประสิทธิภาพในการดูดซับและลำเลียงฟอสฟอรัสให้แก่พืชได้ดีกว่าการดูดซับฟอสฟอรัสของรากพืช [5] สอดคล้องกับการศึกษาของ Sarabia และคณะ [11] ที่พบว่าการปลูกข้าวโพดในดินที่มีธาตุฟอสฟอรัสต่ำโดยใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ส่งผลให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของข้าวโพดเพิ่มขึ้นมากถึง 237 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อีกทั้งยังสอดคล้องกับการทดลองของ Liu และคณะ [12] ที่ทดลองปลูกข้าวโพดในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมร่วมกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* และ Biochar เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองควบคุมพบว่าการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต 24 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสทำให้ประสิทธิภาพต่อการดูดซับฟอสฟอรัสของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาลดลง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการดูดซับฟอสฟอรัสเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส เปอร์เซ็นต์ โดยประมาณ แต่เมื่อมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสพบว่าประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการดูดซับฟอสฟอรัสลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ โดยประมาณ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัสที่ใส่ให้กับข้าวโพดสามารถให้ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์กับพืช ดังนั้นรากของข้าวโพดจึงสามารถดูดซับฟอสฟอรัสในส่วนนี้ได้ จึงมีการพึ่งพาราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในการดูดซับฟอสฟอรัสน้อยลง ตัวอย่าง เช่น งานวิจัยของ Ryan และคณะ [13] ในกรณีที่ดินมีปริมาณ

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูง พืชจะไม่ตอบสนองต่อการเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในราก ซึ่งหมายความว่า การเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไม่ช่วยเพิ่มการดูดซับฟอสฟอรัสและการเจริญเติบโตของพืช รวมทั้งงานวิจัยของ Favez และ Mahmoud [14] ที่ศึกษารากอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *G. intraradices* ใน *Trifolium alexandrinum* พบว่าเมื่อใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตราที่สูง 30 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ร่วมกับการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทำให้ความยาวของราก น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน การเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และปริมาณฟอสฟอรัสส่วนเหนือดินของพืชน้อยกว่าการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ร่วมกับการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในอัตรา 10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

นอกจากนี้ ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีประสิทธิภาพในการเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดซับฟอสฟอรัสได้ในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 6.0 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากรา *G. intraradices* สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ในระดับความเป็นกรด-ด่างของดินหลายช่วง ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Abbott และ Robson [15] ที่พบว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา *Glomus* sp. มีการเข้าอาศัยในรากพืชได้มากและส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ดีในช่วงความเป็นกรด-ด่างของดินที่เป็นกรดจัดไปจนถึงต่างอ่อน (5.3-7.5) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Wang และคณะ [16] ที่พบว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในจีนีส *Glomus* หลายสปีชีส์ ได้แก่ *G. albidum*, *G. caledonium*, *G. etuncatum*, *G. fasciculatum*, *G. macrocarpum*, *Glomus* sp. (hyaline, reticulate) และ *Glomus* sp. (multiple-walled) มีการเข้าอาศัยในรากมะเขือเทศได้มากและส่งเสริมการเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเป็นกรด-ด่างของดินที่เป็น

กรดจัดไปจนถึงต่างอ่อน (5.5-7.5) เช่นเดียวกัน

5. สรุป

การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมีผลทำให้ประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาลดลง อย่างไรก็ตาม การใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดซับฟอสฟอรัสของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกในดินอุดมสมบูรณ์ต่ำได้โดยไม่ต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในทุกระดับของความเป็นกรด-ด่างของดิน ซึ่งมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง 6.0

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทนสนับสนุนการวิจัย จากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ภายใต้ “ทุนวิจัยทั่วไป” ตามสัญญาเลขที่ ทน. 65/2560 และทนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2559

7. รายการอ้างอิง

- [1] Brady, N.C. and Weil, R.R., 2002, The Nature and Properties of Soils, 13th Ed., The Macmillan Co., New York, 965 p.
- [2] คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548, ปฐพีวิทยาเบื้องต้น, พิมพ์ครั้งที่ 10, สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 547 น.
- [3] Drew, E.A., Murray, R.S., Smith, S.E. and Jakobsen, I., 2003, Beyond the rhizosphere: growth and function of AM external hyphae in sands, Plant Soil 251: 105-114.
- [4] Miransari, M., Bahrami, H.A., Rejali, F. and Malakouti, M.J., 2009, Effects of arbuscular mycorrhiza, soil sterilization, and soil

- compaction on wheat (*Triticum aestivum* L.) nutrients uptake, *Soil Till. Res.* 104: 48-55.
- [5] Smith, S.E. and Read, D.J., 1997, *Mycorrhizal Symbiosis*, 2nd Ed., Academic Press, London, 605 p.
- [6] Piper, C.S., 2010, *Soil and Plant Analysis*, Shree Publishers, New Delhi, 368 p.
- [7] Plenchette, C., Fortin, J.A. and Furlan, B., 1983, Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility, Part I: Mycorrhizal dependency under field conditions, *Plant Soil* 70: 199-209.
- [8] 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.
- [9] 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 of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, *New Phytol.* 115: 495-501.
- [10] Marschner, H. and Dell, B., 1994, Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis, *Plant Soil* 159: 89-102.
- [11] Sarabia, M., Jakobsen, I., Grønlund, M., Carreon-Abud, Y., and Larsen, J., 2018, Rhizosphere yeasts improve P uptake of a maize arbuscular mycorrhizal association, *Appl. Soil Ecol.* 125: 18-25.
- [12] Liu, L., Li, J., Yue, F., Yan, X., Wang, F., Bloszies, S., and Wang, Y., 2018, Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and biochar amendment on maize growth, cadmium uptake and soil cadmium speciation in Cd-contaminated soil, *Chemosphere* 194: 495-503.
- [13] Ryan, M.H., Norton, R.M., Kirkegaard, J.A., McCormick, K.M., Knights, S.E. and Angus, J.F., 2002, Increasing mycorrhizal colonization does not improve growth and nutrition of wheat on Vertisols in South-Eastern Australia, *Aust. J. Agric. Res.* 53: 1173-1181.
- [14] Fayez, R. and Mahmoud, G., 2006, Interactions between phosphorus availability and an AM fungus (*Glomus intraradices*) and their effects on soil microbial respiration, biomass and enzyme activities in a calcareous soil, *Pedobiologia* 50: 413-425.
- [15] Abbott, L.K. and Robson, A.D., 1985, Formation of external hyphae in soil by four species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, *New Phytol.* 97: 437-446.
- [16] Wang, G.M., Stribley, D.P., Tinker, P.B. and Walker, C., 1993, Effects of pH on arbuscular mycorrhiza, I. Field observations on the long-term liming experiments at Rothamsted and Woburn, *New Phytol.* 124: 465-472.