

ผลของค่ากรด-ด่างในดินต่อการปรากฏของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

EFFECT OF SOIL PH ON THE APPEARANCES OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI

อรทัย จุ่งใจ และ สุพัตรา เจริญภักดี บดีราษฎร์*

Orathai Jungjai and Supattra Charoenpakdee Bodeerat*

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

Biology Program, Faculty Science and Technology Pibulsongkram Rajabhat University

*corresponding author e-mail: supattra.c@psru.ac.th

(Received: 8 June 2021; Revised: 25 August 2021; Accepted: 27 August 2021)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่ากรด-ด่างในดินต่อการปรากฏของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ใช้วิธีการล่อเชื้อ โดยใช้ข้าวฟ่างเป็นพืชอาศัย เก็บตัวอย่างดิน จำนวน 30 จุดในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกและสุโขทัย นำดินทั้งหมดมาผสมกันและปรับค่ากรดด้วยมูลไก่และปรับค่าต่างด้วยปูนขาว แบ่งออกเป็น 3 กรรมวิธี ได้แก่ กรด (pH 4–5) กลาง (pH 6.5–7.5) และด่าง (pH 9–10) แต่ละกรรมวิธีมี 5 ซ้ำ แต่ละซ้ำปลูกต้นกล้าข้าวฟ่าง 5 ต้นต่อกระถาง รดด้วยน้ำบาดาลและปลูกในโรงเรือนนาน 12 สัปดาห์ บันทึกลักษณะการเติบโตของต้นข้าวฟ่าง ความสูง น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งส่วนยอดและส่วนราก จำนวนสปอร์ราโดยวิธีการร่อนเปียก และจำแนกชนิดตามลักษณะสัณฐานวิทยาของสปอร์ พบราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาทั้งหมดอยู่ในสกุล *Acaulospora* (7 morphotaxa) โดย *Acaulospora* sp.06 เป็นชนิดเด่นที่พบในทุกกรรมวิธี ในดินที่มีสภาพเป็นกลางเหมาะสมต่อการเติบโตของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและข้าวฟ่างมากที่สุด ทุกตัวบ่งชี้ ได้แก่ การรอดชีวิตหลังย้ายปลูก (ร้อยละ 100) การปรากฏของชนิดราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (4 morphotaxa) จำนวนสปอร์ที่เพิ่มขึ้น (39 เท่า) และการอยู่อาศัยของราในราก (ร้อยละ 53.3) อีกทั้งมีค่าดัชนีของ Shannon–Wiener ($H' = 1.32$) และ Simpson ($C = 0.72$) มากที่สุด ผลการวิจัยแสดงว่า ดินที่มีค่ากรด-ด่างเป็นกลางส่งผลต่อจำนวนสปอร์และการปรากฏของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา การปลูกล่อเชื้อด้วยข้าวฟ่างเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับแสดงชนิดของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสิ่งแวดล้อมที่อยู่อาศัย

คำสำคัญ: ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา การสร้างสปอร์ ค่ากรด-ด่างในดิน

Abstract

The objective of this research is to study the effect of soil pH on the appearances of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) using sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) as the host plant. Thirty soil samples were collected in Phitsanulok and Sukhothai Provinces. All soil samplings were mixed, lower soil pH using chicken dung and higher soil pH using limestone. Soil was divided into 3 treatments including acid soil (pH 4–5) neutral soil (pH 6.5–7.5) and basic soil (pH 9–10). Each treatment had 5 replications and each replication had 5 sorghum seedlings per pot. All sorghums were cultured in greenhouse and watering with groundwater for 12 weeks. Growth of sorghum, height, fresh and dry of shoot weight, fresh and dry of root weight, number of AMF spore by wet sieving and species identification by spore morphology were recorded. It was found that all AMF obtained belong to genus *Acaulospora* (7 morphotaxa). *Acaulospora* sp.06 is the dominant species in all treatments. Neutral soil is optimal condition for growth of AMF and sorghum in all indicators including survival after transplanting (100%), species appearance (4 morphotaxa), spore number increasing (39 times) and root colonization of AMF (53.3%). Then, species diversity index has highest both of Shannon–Wiener ($H' = 1.32$) and Simpson ($C = 0.72$). The results showed that neutral soil affects to species number and the appearance of AMF growth. Trap culture using sorghum is good method to show AMF species in their living environment.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungi, Sporulation, Soil pH

บทนำ

ความอุดมสมบูรณ์ของดินมีจุลินทรีย์เป็นกลไกสำคัญในการหมุนเวียนธาตุอาหาร น้ำและการระบายอากาศในดินบริเวณรอบรากพืช การทำเกษตรเชิงอนุรักษ์จึงนิยมใช้จุลินทรีย์เป็นปุ๋ยชีวภาพ พืชที่มีท่อลำเลียงส่วนใหญ่ร้อยละ 80 มีความสัมพันธ์กับไมคอร์ไรซา โดยร้อยละ 72 ของพืชมีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Arbuscular mycorrhizal fungi; AMF) (Sieverding, 1991) ที่ช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารและทำให้พืชดูดซับธาตุอาหารได้มากขึ้น โดยเฉพาะฟอสฟอรัสและไนโตรเจน อีกทั้งสามารถช่วยให้พืชอาศัยทนต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตได้ดี เช่น ทนแล้ง ทนโลหะหนักที่เป็นพิษ ทนโรคและแมลงรบกวน เป็นต้น พืชอาศัยที่มีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอยู่ร่วมในรากจึงสามารถมีชีวิตรอดและให้ผลผลิตได้ดีกว่าพืชที่ไม่มี

ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Brundrett et al., 1996; Charoenpakdee et al., 2012; Derrien et al., 2018; Sieverding, 1991)

ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเพิ่มจำนวนสปอร์ได้ดีในดินที่มีค่ากรด-ด่าง (pH) และพีชอาศัยที่เหมาะสม จากงานวิจัยของ Charoenpakdee et al. (2010b) พบว่า ข้าวฟ่างเป็นพืชอาศัยที่สามารถเพิ่มจำนวนสปอร์ของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้ดี โดยให้ปริมาณสปอร์ของ *Entrophospora Colombiana* และ *Scutellospora heterogama* จำนวนมากและลักษณะสปอร์ที่สมบูรณ์ในสภาพที่มี pH ของสารละลาย Modified Hoagland ที่ pH 6.5 และมีการรายงานของ Carrenho et al. (2001) พบว่า *Glomus macrocapum* สามารถผลิตจำนวนสปอร์ได้ดีที่ pH ต่ำกว่า 5.0 หากยังไม่พบงานวิจัยที่ระบุถึง pH ที่มีผลต่อการเพิ่มจำนวนสปอร์อย่างชัดเจน

ดินในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกและสุโขทัยบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำน่าน แม่น้ำยม และที่ราบหุบเขาชาติตระการ ตลอดจนที่ราบหุบเขานครไทยเป็นดินตะกอนน้ำจืดพัดมาทับถมมีทั้งตะกอนเก่าและตะกอนใหม่ นับเป็นแหล่งปลูกข้าว และพืชไร่อื่นๆ เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย (สุธี และคณะ, 2557) ซึ่งเกษตรกรผู้ปลูกข้าวหลายพื้นที่ในจังหวัดพิษณุโลกเริ่มหันมาทำการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์ เช่น บ้านห้วยน้ำไซ บ้านท่าเสา บ้านผารังหมี่ บ้านกร่าง เป็นต้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากแต่ละพื้นที่มีประวัติการทำเกษตรกรรมที่ต่างกันส่งผลให้ค่ากรด-ด่างในดินมีความแตกต่างกันส่งผลต่อธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์ในการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นการส่งเสริมให้เกษตรกรรู้จักและใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาชชนิดที่เหมาะสมกับพื้นที่จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการช่วยลดต้นทุนการผลิต พร้อมทั้งคำนึงถึงความปลอดภัยของเกษตรกรผู้ผลิตและสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีความสามารถเจริญเติบโตในดินที่มีค่ากรด-ด่างแตกต่างกันได้สำหรับใช้ส่งเสริมเป็นปุ๋ยชีวภาพในการปลูกพืชข้าวและพืชไร่ในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกและสุโขทัย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินบริเวณแปลงปลูกข้าวที่มีการใช้ปุ๋ยและสารเคมี จำนวน 17 แห่ง และดินที่มีวัชพืชปกคลุมที่ไม่มีการใช้ปุ๋ยและสารเคมี จำนวน 13 แห่ง ในพื้นที่อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก และอำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย รวมทั้งสิ้น 30 แห่ง แห่งละ 3 จุด จุดละ 2 กิโลกรัม เก็บลึกจากผิวดินตั้งแต่ 0–20 เซนติเมตร ในฤดูแล้ง (เดือนมกราคม) นำดินทุกแห่งมาผึ่งในที่ร่มให้แห้งด้วยอากาศนาน 24 ชั่วโมง ผสมดินรวมกันทุกแห่ง รวม 180 กิโลกรัม และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 เซนติเมตร ลงในกระเบะพลาสติก แล้ววัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความชื้นเริ่มต้นของดิน (ค่ากรด-ด่าง 7.9 ค่าการนำไฟฟ้า 84.6 dS/m

ค่าความชื้นร้อยละ 6.7) แบ่งดินเป็น 3 กรรมวิธีตามค่ากรด-ด่างในดิน คือ กรด (pH 4–5) กลาง (pH 6.5–7.5) และด่าง pH 9–10 โดยใช้มูลไก่ลดความเป็นด่างและปูนขาวลดความเป็นกรดของดิน

2. การปลูกหล่อเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาด้วยต้นกล้าข้าวฟ่าง

ทำการปลูกหล่อเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาด้วยต้นกล้าข้าวฟ่างที่มีขนาดและความสูงเท่ากัน 5 ต้นต่อกระถาง (ความสูงของต้นข้าวฟ่าง 5 เซนติเมตร) กรรมวิธีละ 5 กระถาง ใส่ดิน 2 กิโลกรัมต่อกระถาง รวมทั้งหมด 15 กระถาง วางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) รดน้ำทุกวันด้วยน้ำบาดาลที่ทิ้งไว้ในถังพลาสติกสะอาด 24 ชั่วโมง ก่อนใช้ ทดลองปลูกในโรงเรือนหลังคาพลาสติกนาน 12 สัปดาห์ สุ่มเก็บตัวอย่างดินทุกกระถาง (15 กระถาง) และบันทึกผลก่อนและหลังการทดลองเมื่อครบ 12 สัปดาห์ ดังนี้ ค่ากรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความชื้น จำนวนสปอร์และชนิดราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา การเข้าอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากข้าวฟ่าง ความสูง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวฟ่าง ตามวิธีการของ Charoenpakdee et al. (2010b)

3. การศึกษาความหลากหลายชนิดของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน

ทำการศึกษาความหลากหลายชนิดของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่มีค่ากรด-ด่างแตกต่างกันในแต่ละกรรมวิธีด้วยวิธีการร่อนเปือก ตัวอย่างดิน 100 กรัม จำนวน 3 ซ้ำต่อกระถาง นำข้อมูลการตรวจหาสปอร์ที่มีชีวิต ศึกษาสัณฐานวิทยาของสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์และการทำปฏิกิริยากับสารละลาย Melzer ของผนังสปอร์ ตามวิธีการของ Brundrett et al. (1996) จากนั้นวิเคราะห์ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ Shannon–Wiener index (H') และ Simpson index (C) ของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินทุกกรรมวิธีหลังการปลูกข้าวฟ่าง แล้วจึงวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พร้อมทั้งการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกรรมวิธีด้วยโปรแกรมสถิติสำเร็จรูป SPSS version 17.0

ผลการวิจัย

1. ผลของการกรด-ด่างในดินต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวฟ่าง

การปลูกหล่อเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่มีค่ากรด-ด่างแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ กรด (pH 4–5) กลาง (pH 6.5–7.5) และด่าง pH 9–10 ด้วยต้นกล้าข้าวฟ่าง พบว่าเมื่อครบสัปดาห์ที่ 4 ต้นข้าวฟ่างมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน และเริ่มเห็นความแตกต่างเมื่อต้นข้าวฟ่างเจริญเติบโตมากขึ้น โดยเมื่อระยะเวลาผ่านไป 12 สัปดาห์ ดังภาพที่ 1 ในกรรมวิธีที่ดินมีค่ากรด-ด่างเป็นกลาง (pH 6.5–7.5) เหลือจำนวนต้นข้าวฟ่างคงเดิมกับเมื่อแรกปลูก มีความสูงของลำต้น 58 ± 2.1 เซนติเมตร น้ำหนักสด (31.3 ± 4.5 กรัม) และน้ำหนักแห้ง (21.5 ± 7.5 กรัม) มากที่สุด มีขนาดของลำต้นใหญ่สมบูรณ์ ลักษณะของใบจะมีสีเขียวเข้ม ส่วนกรรมวิธีที่ดินเป็นด่าง

(pH 9–10) มีความสูงของลำต้น (44 ± 1.2 เซนติเมตร) น้ำหนักสด (19.5 ± 5.8 กรัม) และน้ำหนักแห้ง (13.8 ± 4.8 กรัม) รองลงมา ขนาดของลำต้นเล็ก ลักษณะของใบเล็กและเรียวยาว ส่วนในดินที่เป็นกรด (pH 4–5) มีต้นกล้าที่ยังมีชีวิตคงเหลือน้อยที่สุดเพียง 3 ± 1.5 ต้น มีความสูงของลำต้นน้อยที่สุด 41 ± 1.4 เซนติเมตร น้ำหนักสด (13.5 ± 2.7 กรัม) และน้ำหนักแห้ง (5.7 ± 4.3 กรัม) น้อยที่สุด ขนาดของลำต้นจะเรียวเล็ก ลักษณะของใบจะเหี่ยวและมีสีเหลืองเกือบเต็มใบ ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 แผนผังการวางกระถางของแต่ละกรรมวิธี (ซ้าย) และลักษณะต้นกล้าข้าวฟ่างที่ปลูกหล่อเชื้อในดินที่มีค่ากรด-ด่าง 3 กรรมวิธี คือ กรด (pH 4–5) กลาง (pH 6.5–7.5) และต่าง (pH 9–10) ตามแผนผังฯ นาน 12 สัปดาห์ (ขวา) ทิศทางการวางตามลูกศรสีแดง

ตารางที่ 1 ลักษณะของต้นข้าวฟ่างก่อนและหลังปลูกในดินแต่ละกรรมวิธี

กรรมวิธี	จำนวนข้าวฟ่าง (ต้น)		ความสูง (เซนติเมตร)		น้ำหนักสด (กรัม)		น้ำหนักแห้ง (กรัม)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
pH 4–5	5	3 ± 1.5^a	5	41 ± 1.4^a	2.5 ± 0.8	13.5 ± 2.7^a	–	5.7 ± 4.3^a
pH 6.5–7.5	5	5 ± 0.0^b	5	58 ± 2.1^b	2.5 ± 0.8	31.3 ± 4.5^c	–	21.5 ± 7.5^c
pH 9–10	5	4 ± 1.5^b	5	44 ± 1.2^a	2.5 ± 0.8	19.5 ± 5.8^b	–	13.8 ± 4.8^b

หมายเหตุ ค่าสังเกตที่ได้แสดงในรูป ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ลักษณะทางเคมีและกายภาพของดินภายหลังการปลูกหล่อเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาด้วยต้นกล้าข้าวฟ่าง

ผลการศึกษาลักษณะทางเคมีและกายภาพของดินทุกกรรมวิธีมีค่ากรด-ด่าง และค่าความชื้นภายหลังปลูกข้าวฟ่างเพิ่มขึ้น และค่าการนำไฟฟ้าของดินลดลง ส่วนลักษณะทางชีวภาพพบว่า ปริมาณสปอร์และการอยู่อาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในรากเพิ่มขึ้นทุกกรรมวิธี โดยพบมากที่สุดในการมวิธีที่ดินมีค่ากรด-ด่างเป็นกลาง (pH 6.5–7.5) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะทางเคมี กายภาพและชีวภาพของดินแต่ละกรรมวิธีภายหลังการปลูกหล่อเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AMF) ด้วยต้นกล้าข้าวฟ่าง

กรรมวิธี	ค่ากรด-ด่าง		ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)		ค่าความชื้น (ร้อยละ)		จำนวน AMF (สปอร์)		การอยู่อาศัย ของราในราก (ร้อยละ)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
pH 4–5	4.2	4.8	84.6	74.0	6.6	7.3	10.0	72.0	0	42.9
	±0.2 ^a	±0.1 ^a	± 0.4 ^c	± 0.9 ^c	± 1.4 ^a	± 0.3 ^a	±1.0	±3.0 ^a		± 1.7 ^a
pH 6.5–7.5	6.5	6.7	71.4	62.1	8.3	8.7	10.0	142.0	0	53.3
	±0.3 ^b	±0.5	± 0.7 ^b	± 1.7 ^b	±0.9 ^b	± 0.4 ^b	±1.0	±2.5 ^b		± 1.3 ^b
pH 9–10	9.3	9.6	68.0	54.8	5.8	6.9	10.0	67.0	0	45.5
	±1.2 ^c	±0.2 ^c	± 0.2 ^a	± 1.3 ^a	±2.1 ^a	± 0.4 ^a	±1.0	±2.5 ^a		± 0.8 ^a

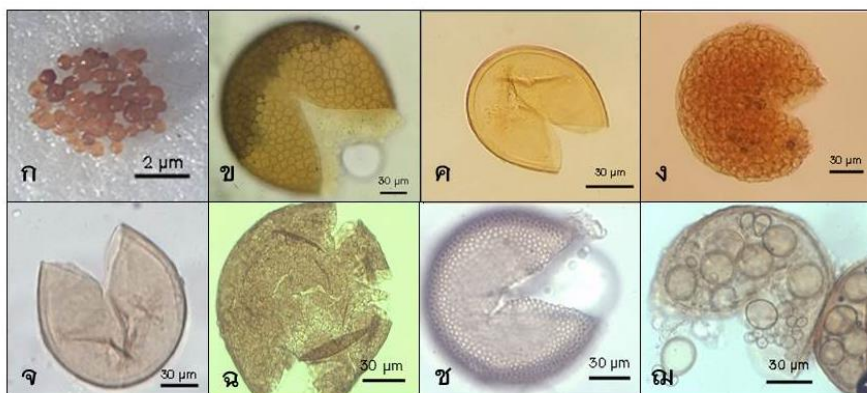
หมายเหตุ ค่าสังเกตที่ได้แสดงในรูป ค่าเฉลี่ย±SD

ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดิน

เมื่อนำดินบริเวณรอบรากข้าวฟ่างที่ทุกกรรมวิธีมาตรวจหาสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา พบสปอร์ทั้งหมด 281 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม เมื่อนำสปอร์มาตรวจลักษณะสัณฐานวิทยา ได้แก่ การรวมกลุ่ม ขนาด รูปร่าง ลักษณะของเหลวภายใน ผิว สีและการทำปฏิกิริยากับสารละลาย Melzer หลังการทดสอบหล่อเชื้อพบทั้งหมด 7 morphotaxa เท่ากับก่อนการทดลองทุกชนิดมีจำนวนสปอร์เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและทุกชนิดจัดอยู่ในสกุล *Acaulospora* เนื่องจากเป็นสปอร์เดี่ยว รูปร่างกลมถึงกลมรี พนักชั้นนอกมีรอยแผลที่ต่อกับ sporiferous sacculle 1 จุด ไม่มีก้านสปอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 80–200 ไมโครเมตร พบตั้งแต่สีน้ำตาลเหลือง เหลืองแดง และน้ำตาลแดง ดังภาพที่ 2 ดินที่เป็นกลาง (pH 6.5–7.5) พบราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามากที่สุด 4 ชนิด และมีจำนวนสปอร์มากที่สุด (142 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม) ดินที่เป็นกรด (pH 4–5) พบ 3 ชนิด

ส่วนดินที่เป็นด่าง (pH 9–10) พบ 2 ชนิด โดยรหัส 06 *Acaulospora* sp.06 พบในทุกกรรมวิธี จัดเป็นราชนิดเด่น ดังตารางที่ 3



ภาพที่ 2 ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่พบในดินรอบรากข้าวฟ่าง ก) กลุ่มสปอร์ได้กลัอง จุลทรรศน์สเตรียโอ ข-ณ) สปอร์ได้กลัองจุลทรรศน์เลนส์ประกอบของ *Acaulospora* sp. ทั้ง 7 morphotaxa หมายถึง: ข) รหัส 01 ค) รหัส 02 ง) รหัส 03 จ) รหัส 04 ฉ) รหัส 05 ช) รหัส 06 และ ณ) รหัส 07

ตารางที่ 3 จำนวนและชนิดของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินแต่ละกรรมวิธี

รหัส	ชนิดรา	จำนวนสปอร์ต่อดิน 100 กรัม (สปอร์)				
		ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง			
			pH 4–5	pH 6.5–7.5	pH 9–10	การเพิ่ม (เท่า)
01	<i>Acaulospora</i> sp.01	2±0.6	0	27±7.5	0	13.5
02	<i>Acaulospora</i> sp.02	1±0.6	27±4.5	0	0	27.0
03	<i>Acaulospora</i> sp.03	1±0.6	25±2.0	0	0	25.0
04	<i>Acaulospora</i> sp.04	1±0.6	0	22±0.5	0	22.0
05	<i>Acaulospora</i> sp.05	1±0.6	0	0	25±3.0	25.0
06	<i>Acaulospora</i> sp.06	3±3.0	20±7.0	55±12.0	42±9.0	39.0
07	<i>Acaulospora</i> sp.07	1±0.6	0	38±6.5	0	38.0
จำนวนรวมของสปอร์		10±1.0	72	142	67	28.1
จำนวนรวมของชนิด		7	3	4	2	1.0

หมายเหตุ ค่าสังเกตที่ได้แสดงในรูปค่าเฉลี่ย±SD

ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินที่มีค่ากรด-ด่างของแต่ละกรรมวิธีมีค่าต่างกัน โดยดินที่มี pH 6.5–7.5 มีค่าดัชนี Shannon–Wiener ($H' = 1.32$) และค่าดัชนี Simpson ($C = 0.72$) สูงกว่าทุกกรรมวิธี ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินแต่ละกรรมวิธี

กรรมวิธี	ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ	
	Shannon–Wiener (H')	Simpson (C)
pH 4–5	1.09 ^b	0.67 ^{bc}
pH 6.5–7.5	1.32 ^c	0.72 ^c
pH 9–10	0.66 ^a	0.47 ^a

หมายเหตุ ตัวเลขในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

อภิปรายผล

การศึกษาลักษณะทางเคมีและกายภาพในดินที่มีค่ากรด-ด่างแตกต่างกัน ทั้งก่อนและหลังปลูกข้าวฟ่างในดิน ในทุกกรรมวิธีพบว่าค่ากรด-ด่างในดินส่งผลต่อการปลดปล่อยหรือความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ค่ากรด-ด่างของดินที่เหมาะสมกับพืชจะช่วยให้พืชดูดซึมแร่ธาตุต่างๆ ในดิน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี เนื่องจากแร่ธาตุที่อยู่ในดินมีความสามารถละลายน้ำได้ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับค่ากรด-ด่างของดิน (สมศรี, 2544) ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างของดินบริเวณรอบรากข้าวฟ่างในกรรมวิธีที่มีค่ากรด-ด่างเป็นกลางมีความชื้นในดินมากกว่าในกรรมวิธีที่ดินเป็นกรดและเป็นด่าง อาจเนื่องจากต้นข้าวฟ่างเจริญเติบโตดีทั้งส่วนยอดและส่วนรากส่งผลให้ระบบรากในดินที่มีจำนวนรากสามารถช่วยอุ้มน้ำและเก็บรักษาความชื้นได้ดี สอดคล้องกับการศึกษาของภาควิชาปฐพีวิทยา (2526) ที่พบว่าความชื้นเป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีพของพืช และช่วยในการละลายธาตุอาหารในดินให้อยู่ในสภาพที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ ความชื้นจึงมีความสำคัญมากในพืชที่เจริญเติบโตทั้งในดิน ในน้ำ และในอากาศ

ค่าการนำไฟฟ้าในดินมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางผกผันหรือตรงกันข้ามกับค่าความชื้นและค่ากรด-ด่างในดิน เมื่อวัดค่ากรด-ด่างและค่าความชื้นในดินหลังการทดลองปลูกข้าวฟ่างมีค่าเพิ่มขึ้นทุกกรรมวิธี ส่วนค่าการนำไฟฟ้าในดินหลังการทดลองมีค่าลดลงทุกกรรมวิธี แสดงว่าการปลูกข้าวฟ่างมีผลต่อการนำธาตุอาหารในดินไปใช้ในการเติบโตของข้าวฟ่างส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าในดินลดลง (Manandhar & Odeh, 2014) อีกทั้งมีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ (Root exudate) และธาตุอาหารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบจากกระบวนการเมแทบอลิซึมต่างๆ ของ

ต้นข้าวฟ่างลงสู่ดินทำให้ค่ากรด-ด่างในดินลดลงด้วย (Charoenpakdee et al., 2012) การทดลองนี้พบว่าในดินที่มีค่ากรด-ด่างเป็นกลาง (pH 6.5–7.5) ต้นข้าวฟ่างมีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ พรณิ และประสิทธิ์ (2544) กล่าวว่าเมื่อทดลองปลูกข้าวในแปลงนาที่มีดินเค็ม สามารถลดการเค็มของดินได้จากการเพิ่มอินทรีย์วัตถุด้วยการใช้แกลบผสมกับดินในแปลงนา ทำให้ดินร่วนซุย การระบายน้ำดีขึ้น นอกจากนี้แกลบยังปลดปล่อยซิลิกาให้แก่ข้าว ทำให้ต้นข้าวแข็งแรงสามารถปลดปล่อยสารอาหารลงสู่ดินได้ดี จึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าในดินลดลง และช่วยเพิ่มผลผลิตให้ข้าวได้

การตรวจหาสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในบริเวณรอบรากข้าวฟ่างพบทั้งหมด 281 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม จากเดิมก่อนการทดลองพบเพียง 10 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม การเพิ่มขึ้นของสปอร์คิดเป็น 28.1 เท่า สันฐานวิทยาของสปอร์มีลักษณะแตกต่างกันชัดเจน 7 morphotaxa จำนวนเท่ากับก่อนทดลอง หลังการทดลองจำนวนสปอร์เพิ่มขึ้นทุกชนิด ทั้งหมดอยู่ในสกุล *Acaulospora* อาจเนื่องจากสปอร์มีขนาดและเส้นใยขนาดเล็กสามารถเข้าสู่รากพืชอาศัยได้รวดเร็วกว่าสกุล *Gigaspora* และ *Scutellospora* โดยรหัส 06 มีจำนวนสปอร์มากที่สุด 117 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม จำนวนสปอร์ที่เพิ่มขึ้นคิดเป็น 39 เท่า (จากเดิมพบเพียง 3 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม) อาจเนื่องจากมีความสามารถในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่ากรด-ด่างได้ดีกว่าชนิดอื่น ซึ่งพบว่าบางชนิดพบได้เฉพาะในดินที่มีค่ากรด-ด่างจำเพาะเท่านั้น ดังในการทดลองนี้ รหัส 02 และ 03 พบเฉพาะในดินที่เป็นกรด รหัส 04 และ 07 พบเฉพาะในดินที่เป็นกลางเท่านั้น ส่วนรหัส 05 พบเฉพาะในดินที่เป็นด่างเท่านั้น Charoenpakdee et al. (2010b) กล่าวว่าชนิดของพืชอาศัยมีผลต่อการสร้างสปอร์ของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ตามชนิดของ Root exudate หรือสารอินทรีย์ที่พืชปลดปล่อยจากรากสู่ดิน การที่จำนวนและปริมาณสปอร์ของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีความแตกต่างกัน อาจมีสาเหตุมาจากสภาพแวดล้อมของดินในแต่ละแหล่งมีความแตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิ ความเข้มของแสง ความชื้น เป็นต้น Cardoso & Kuyper (2003) แสดงให้เห็นว่าแม้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจะมีความจำเพาะเจาะจงต่อพืชอาศัย (Host specific) น้อย หรือมีพืชอาศัยได้หลากหลายชนิด (Wide host range) แต่สภาวะแวดล้อมในดินเป็นปัจจัยจำกัดในการเข้าอยู่อาศัยร่วมกับพืช

ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพทั้ง Shannon–Wiener และ Simpson สัมพันธ์กับจำนวนสปอร์และจำนวนชนิดของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่พบ โดยกรรมวิธีที่ดินมีค่ากรด-ด่างเป็นกลาง (pH 6.5–7.5) พบค่าดัชนีของ Shannon–Wiener (1.32) สูงที่สุด แสดงว่ามีความหลากหลายชนิดของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามากที่สุด อีกทั้งมีความสม่ำเสมอในการกระจายของจำนวนสปอร์ในแต่ละชนิด ในทางปฏิบัติค่าได้ไม่เกิน 5 และ Simpson index (0.72) มีค่ามากกว่ากรรมวิธีอื่น แสดงว่ามีโครงสร้างทางสังคมที่ซับซ้อนคือมีความเด่นของชนิดมาก

(Simpson, 1949; Washington, 1984) สภาพแวดล้อมบริเวณรอบราก เช่น ความชื้น แสง อุณหภูมิ การระบายอากาศ และค่ากรด-ด่าง ทำให้ธาตุอาหารอยู่ในรูปที่ข้าวฟ่างสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีส่งผลให้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีอยู่ในดินในรูปสปอร์ และเส้นใยสามารถเจริญเติบโตสร้างอวัยวะสืบพันธุ์ที่เรียกว่าสปอร์สำหรับการกระจายพันธุ์และเพิ่มจำนวนต่อไปได้ (Charoenpakdee et al., 2012) นอกจากนี้ยังพบว่า การลดจำนวนชนิดของพืชอาศัยส่งผลต่อการลดจำนวนชนิดของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา แสดงว่าในพื้นที่หนึ่งหากมีความหลากหลายของพืชมากชนิดส่งผลให้มีจำนวนชนิดของรากลุ่มนี้มากขึ้นไปด้วย และการบ่งชี้ชนิดของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่แม่นยำต้องอาศัยพื้นฐานความรู้ด้านสัณฐานวิทยาของสปอร์เพื่อรูปร่างลักษณะต่างๆ ของสปอร์ได้กล้องจุลทรรศน์ การปลูกหล่อเชื้อเพื่อเพิ่มจำนวนสปอร์ และวิธีการทางอนุชีวโมเลกุลเพื่อคุณลักษณะทางพันธุกรรม (Bidando et al., 2018)

ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม หากมีการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีกำจัดวัชพืชมากจะพบสปอร์ในปริมาณน้อย ดังนั้นรากลุ่มนี้สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์หรือลักษณะของดินได้ (Bernactchez et al., 2008; Kahiluoto et al., 2009; Gupta, 2020; Mirzaei et al., 2020) ซึ่งดินตัวอย่างบางแห่งที่นำมาอาจมีการปนเปื้อนสารเคมีทางการเกษตร โดยเฉพาะปุ๋ยเคมี เมื่อนำมาทดลองตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์ ใช้เพียงน้ำบาดาลเป็นแหล่งให้ความชื้น สารเคมีอาจมีการเจือจางและปริมาณลดน้อยลงตามลำดับเวลาจากปริมาณน้ำที่ใช้อย่างต่อเนื่อง โดย *Acaulospora* sp.06 เป็นชนิดเด่น เนื่องจากมีจำนวนสปอร์มากที่สุดและพบในทุกกรรมวิธี แสดงว่าราชนิดนี้มีความสามารถในการปรับตัวและมีชีวิตรอดได้ดีกว่าชนิดอื่น สามารถนำไปพัฒนาเป็นหัวเชื้อชีวภาพในการผลิตพืชอินทรีย์ได้ พบงานวิจัยจำนวนมากที่รายงานเกี่ยวกับการนำราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาใช้ในการเกษตร เพื่อกระตุ้นการเติบโต เพิ่มความแข็งแรง และเพิ่มผลผลิต ตั้งแต่ปี พ.ศ.2559 รากลุ่มนี้ได้รับความนิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายทางการเกษตรมากขึ้น (พรรณลดา และหนึ่ง, 2559) และมีงานวิจัยรองรับประสิทธิภาพของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ให้ผลดีต่อพืชอาศัยทั้งพืชไร่และพืชสวนตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันอย่างต่อเนื่อง เช่น มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Jamolkowska et al., 2020) ผักสลัด (*Lactuca sativa* L.) (วรรณธิรา และธีรดา, 2554; Aroca et al., 2008) ต้นสบู่ดำ (*Jatropha curcas* L.) (Charoenpakdee et al., 2012) กล้วยน้ำว้า (*Musa sapientum* L.) (นิศารัตน์ และคณะ, 2559) ส้มโอพันธุ์หอมหาดใหญ่ (*Citrus maxima* Burm. Merrill. cv. Hom Hat Yai) (ชญาหนู และคณะ, 2559) และมันฝรั่ง (*Solanum tuberosum* L.) (ศิริลักษณ์ โสพิศ และสิทธิโชค, 2562) เป็นต้น

การเติบโตของข้าวฟ่างและการปรากฏของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีผลจากค่ากรด-ด่างในดินที่เปลี่ยนแปลงไปตามกรรมวิธีที่กำหนด พืชที่เจริญเติบโตในดินกรดจะมีลักษณะแคะแกร็นและมีสีเขียวไม่สม่ำเสมอ (Chlorosis) หากพืชมีความสัมพันธ์กับราอาร์บัสคูลาร์

ไมคอร์ไรซาในดินที่มีสภาวะกรดจะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตดีกว่าพืชที่ไม่มีราอาร์บัสคูลาร์ ไมคอร์ไรซาอาศัยร่วมกับราก อีกทั้งยังมีการสะสมสารทุติยภูมิได้มากขึ้น เช่น ในต้นเซียร์ (*Salvia hispanica* L.) ที่ใส่ *Glomus mosseae* Nicol. & Gerd. ที่ปลูกในดินกรด (pH 5.1) มีปริมาณไขมันทั้งหมดและสารกลุ่มฟีนอลิกส์เพิ่มมากขึ้นกว่าต้นที่ไม่มีราชนิดนี้ ส่วนในดินที่มีสภาวะเป็นด่าง (pH 8.2) ที่ใส่ *G. Mosseae* ทำให้มีการสะสมสารกลุ่มฟีนอลิกส์ลดลง อีกทั้งมีปริมาณโปรตีนคาร์โบไฮเดรต และไขมันทั้งหมดได้เช่นเดียวกับพืชที่ปลูกในดินที่มีสภาวะเป็นกลาง (pH 7.1) (Ouzounidou et al., 2015)

สำหรับการปรับดินให้มีความเป็นกรดอาจใช้สแฟลกันัม มอสส์ (*Sphagnum* peat) สารประกอบที่มีซัลเฟอร์ (Elemental sulfur) อะลูมิเนียมซัลเฟต (Aluminum sulfate) เฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous sulfate) สารประกอบกรดไนโตรเจน (Acidifying nitrogen) และอินทรีย์วัตถุ (Everhart, 1994) ซึ่งการทดลองนี้ใช้มูลไก่ เนื่องจากมีการทดลองเปรียบเทียบการใช้มูลสัตว์ต่างๆ ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดในระบบไฮโดรโปนิคส์ พบว่า มูลของสัตว์ปีก เช่น ค้างคาว ทำให้สารละลายมีความเป็นกรดและมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสังกะสีในระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดได้ ซึ่งอาจมาจากลักษณะอาหารที่จำเพาะและขบวนการเมแทบอลิซึมของสัตว์ปีก (Charoenpakdee, 2014) มูลค้างคาวมีราคาแพงและหายาก ส่วนมูลไก่นั้นหาง่าย ปลอดภัยและราคาถูก นอกจากนี้มีงานวิจัยยืนยันว่าการให้มูลไก่เพิ่มขึ้นช่วยให้สมบัติทางเคมีของดินหลังปลูกพืชดีขึ้น โดยเฉพาะค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณอินทรีย์วัตถุ (สุทธรธรรม และคณะ, 2561) ในดินที่มีสภาวะกรดจะมีปริมาณธาตุบางชนิดน้อย เช่น ฟอสฟอรัสเพราะถูกตรึงอยู่ในรูปเฟอร์รัสฟอสเฟต โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมถูกชะล้างออกไปได้ง่าย ซึ่งการใช้มูลไก่อาจช่วยให้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเจริญเติบโตได้และมีสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเติบโตของข้าวฟ่าง ส่วนการปรับดินให้มีความเป็นด่างมากขึ้นนิยมใช้ปูนขาวเนื่องจากใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อย หาง่าย สะดวก ช่วยลดปริมาณธาตุโลหะหนัก เช่น เหล็ก อะลูมิเนียม เป็นต้น (ศิริณี, 2557) และมีความเป็นพิษน้อยต่อข้าวฟ่าง ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และผู้ใช้

สำหรับการปรับดินให้มีความเป็นด่างนิยมใช้ปูนขาว ซึ่งเกิดจากการนำหินปูน (Calcium carbonate) มาเผาที่ความร้อนสูงถึง 600–900 องศาเซลเซียส ขึ้นไป เพื่อไล่คาร์บอนไดออกไซด์ออกไปกลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ เพื่อให้ผู้ใช้นำไปผสมเองหรืออาจผสมสำเร็จ โดยเมื่อได้แล้วก็จะมีการพรมน้ำลงไปตามส่วนเพื่อให้เกิดเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ขึ้นมานำไปใช้ได้ (ศิริณี และบัญชา, 2557) ข้อดีของการใช้ปูนขาวคือเมื่อดินเป็นด่างมากขึ้นโครงสร้างของดินจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเกาะตัวกันเป็นเม็ดดินแบบก้อนกลมและมีความพรุนสูงส่งผลให้สมบัติในการอุ้มน้ำของดินดีขึ้น อีกทั้งยังให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินเพิ่มขึ้นจากการเจริญ

ของจุลินทรีย์ที่จะย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การปลดปล่อยธาตุอาหารต่างๆ ออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน นอกจากนี้ยังลดความเป็นพิษของโลหะหนัก เช่น แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว นิเกิล และสังกะสีที่ปนเปื้อนในดินจากของเหลือในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะละลายได้ดีในดินที่เป็นกรด ถ้า pH สูงกว่า 6.5 ทำให้ความเป็นพิษของโลหะหนักลดลง การใส่ปูนมากเกินไปในดินจะส่งผลเสียต่อพืชคือ ทำให้ปริมาณเหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ที่เป็นประโยชน์กับพืชในดินลดต่ำลง ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินลดลงเพราะจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟตซึ่งจะละลายน้ำได้ยาก และแคลเซียมที่มีอยู่สูงเกินไปจะขัดขวางการดูดซึมโบรอนของพืช (ศิราณี และบัญชา, 2557) ดังนั้นการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ก่อนและหลังทำการทดลอง เป็นต้น จะช่วยให้ทราบอัตราการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในดินที่อาจส่งผลจากการปรากฏของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาได้

สรุปผลการวิจัย

ค่ากรด-ด่างในดินมีผลต่อการปรากฏและมีชีวิตรอดของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยในดินที่มีค่ากรด-ด่างในสภาวะที่เป็นกลาง (pH 6.5–7.5) เหมาะสมต่อการเจริญของทั้งข้าวฟ่างและราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา การปลูกส่อเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาด้วยข้าวฟ่างในดินที่มีค่ากรด-ด่าง 3 ระดับ คือ กรด (pH 4–5) กลาง (pH 6.5–7.5) และด่าง (pH 9–10) เป็นวิธีที่เหมาะสมในการค้นหาราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่อาศัยร่วมกับข้าวฟ่างได้ พบราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาบางชนิดเท่านั้นที่มีความสามารถในการปรับตัวและอยู่อาศัยในสภาวะดินที่มีค่ากรด-ด่างที่หลากหลายได้ โดย *Acaulospora* sp.06 สามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นปุ๋ยชีวภาพในการเพาะปลูกพืชใบเลี้ยงเดี่ยวแบบเกษตรอินทรีย์ได้ เช่น ข้าวฟ่าง ข้าว ข้าวโพด อ้อย เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนงบประมาณภายใต้โครงการการศึกษาความหลากหลายชนิดและการกระจายพันธุ์ของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่สัมพันธ์กับข้าวไร่ในจังหวัดพิษณุโลก ขอขอบคุณบุคลากรคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่ช่วยสนับสนุนเครื่องมือและสถานที่งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ชญานุช ตรีพันธ์, บุญชนะ วงศ์ชนะ, ศุภลักษณ์ อริยัญชัย, และสุมาลี ศรีแก้ว. (2559). ผลของปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของส้มโอหอมขนาดใหญ่. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์, 3 ฉบับพิเศษ (I)**, 24–29.
- นิศารัตน์ ทวีนุต, ศิริลักษณ์ แก้วสุริยขิต, ประไพ ทองระอา, กานดา ฉัตรไชยศิริ, กัลยาณี สุวิหวัธ, และภาสันต์ ศารทูลทัต. (2559). การใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตของรากต้นกล้วยเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์, 3 ฉบับพิเศษ (I)**, 49–52.
- พรณลดา ติตตะบุตร, และหนึ่ง เตียอำรุง. (2559). การปรับปรุงการผลิตปุ๋ยชีวภาพไมคอร์ไรซาและการตรวจสอบกลไกการเพิ่มผลผลิตของสปอร์ไมคอร์ไรซาที่เป็นผลมาจากการใช้ปุ๋ยชีวภาพ PGPR (รายงานการวิจัย). นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- พรณี หงศ์น้อย, และประสิทธิ์ ต้นประภาส. (2544). **คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง ดินเค็ม การเพิ่มผลผลิตข้าวในพื้นที่ดินเค็ม**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2526). **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรรณธิรา วัฒนบุตร, และธีรดา หวังสมบุญดี. (2545). ผลของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเติบโตและอัตราผลผลิตของผักสลัด. **วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร, 42(2)**, 21–24.
- ศิริณี วงศ์กระจำ, และบัญชา รัตน์ทุ. (2557). การจัดการดินกรดโดยใช้ปูนและอินทรีย์วัตถุ. **วารสารราชนครินทร์. มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์, 6(1)**, 103–112.
- ศิริณี วงศ์กระจำ. (2557). ผลของปูนและปุ๋ยหมักต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดที่ปลูกในดินกรด (ชุดดินคอหงส์). **วารสารแก่นเกษตร, 42(ฉบับพิเศษ 2)**, 309–313.
- ศิริลักษณ์ อินทวงค์, โสพิศ อินชิต, และลลิตา ปรารมย์อง. (2562). ผลของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตมันฝรั่งหัวพันธุ์หลัก (GO) พันธุ์แอตแลนติก. **วารสารผลิตภัณฑ์การเกษตร, 1(3)**, 41–48.
- สมศรี อรุณินท์. (2544). **คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่องดินเค็ม การปรับปรุงดินเค็มและดินโซดิก**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สุทธวรรณ วชิรบุตร, อรประภา เทพศิลป์วิสุทธิ, พกตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์, และสมชาย ชดตระกูล. (2561). ผลของปุ๋ยมูลไก่และถ่านชีวภาพต่อสมบัติทางเคมีของดินและการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนไฮด์ที่ปลูกในสภาพดินกรด. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 28(2)**, 343–355.
- สุธี จงอัจฉริยกุล, วรชมน พวงมาลัย, ธนกฤต เตชะ, หัสยา ชัยญาติ, สุรางคนา ทาเหล็ก, และมารุจน์ ภูจันพันธ์. (2557). **รายงานวิชาการการสำรวจและประเมินแหล่งธรณีวิทยา จังหวัดพิษณุโลก**. ลำปาง: พิพิธภัณฑธรณีวิทยา ซากดึกดำบรรพ์ และธรรมชาติวิทยา สำนักงานทรัพยากรธรณี เขต 1. กรมทรัพยากรธรณี.
- Aroca, R., Vernieri, P., & Ruiz-Lozano, J.M. (2008). Mycorrhizal and non-mycorrhizal *Lactuca sativa* plants exhibit contrasting responses to exogenous ABA during drought stress and recovery. **Journal of Experimental Botany, 59(8)**, 2029–2041.

- Bernatchez, F., R. Jeannotte, C.B.M. Begg, C. Hamel, & Whalen, J.K. (2008). Soil fertility and arbuscular mycorrhizal fungi related to trees growing on smallholder farms in Senegal. **Journal of Arid Environments**, **72**, 1247–1256.
- Bidondo, L.F., Colombo, R.P., Recchi, M., Silvani, V.A., Pérgola, M.A., Martínez, A., & Godeas, M. (2018). Detection of arbuscular mycorrhizal fungi associated with pecan (*Carya illinoensis*) trees by molecular and morphological approaches. **Mycological Keys**, **42**, 73–88.
- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T. & Malajczuk, N. (1996). **Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture**. Canberra, Australia, ACIAR Monograph 32.
- Brundrett, M.C., & Tedersoo, L. (2017). Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. **New Phytologist**, **220**, 1108–1115.
- Cardoso, I.M., & Kuyper, T.W. (2006). Mycorrhizas and tropical soil fertility. Agriculture. **Ecosystems and Environment**, **116**, 72–84.
- Carrenho, R., Silva, E.S., Trufem, S.F.B., & Bononi, V.L.R. (2001). Successive cultivation of maize and agricultural practices on root colonization, number of spores and species of arbuscular mycorrhizal fungi. **Brazilian Journal of Microbiology**, **32**, 262–270.
- Charoenpakdee, S. (2014). Using animal manure to grow lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a homemade hydroponics system. **Khonkean University Research Journal, Supplement Issue**, 266–271.
- Charoenpakdee, S., Dell, B., & Lumyong, S. (2012). **Arbuscular mycorrhizal fungi for Jatropha production**. In Carels, N., Sujatha, M., & Bahadur, B. *Jatropha, Challenges for a New Energy Crop – Volume 1: Genetic, Improvement and Agriculture*, p. 263–279. England: Springer-Verlag Publisher.
- Charoenpakdee, S., Phosri, C., Dell, B., & Lumyong, S. (2010a). The mycorrhizal status of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi of physic nut (*Jatropha curcas* L.) in Thailand. **Mycosphere**, **1**(2), 167–181.
- Charoenpakdee, S., Phosri, C., Dell, B., Choonluechanon, S., & Lumyong, S. (2010b). Compatible arbuscular mycorrhizal fungi of *Jatropha curcas* and spore multiplication using cereal crops. **Mycosphere**, **1**(3), 195–204.
- Derrien, C.S., Selosse, M.A., Kenrick, P., & Martin, F.M. (2018). The origin and evolution of mycorrhizal symbioses: from palaeomycology to phylogenomics. **New Phytologist**, **220**, 1012–1030.
- Everhart, E. (1994). How To Change Your Soil's pH. Pp. 42–43. In Iowa State University. <https://hortnews.extension.iastate.edu/1994/4-6-1994/ph.html>
- Gupta, M.M. (2020). Arbuscular Mycorrhizal Fungi: The Potential Soil Health Indicators. In Giri, B. & Varma, A. *Soil Health*. **Springer, Cham**, **59**, 183–195.
- Jamiolkowska, A., Thanon, A.H., Skwarylo, B., Patkowska, E., & Mielniczuk, E. (2020). Mycorrhizal inoculation as an alternative for the ecological production of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **International Agrophysics**, **34**(2), 253–264.

- Kahiluoto, H., Ketoja, E., & Vestberg, M. (2009). Contribution of arbuscular mycorrhiza to soil quality in contrasting cropping systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, **134**, 36–45.
- Krebs, C.J. (1989). **Ecological Methodology**. New York: Harper Collins Publishers.
- Manandhar, R. & Odeh, I.O.A. (2014). Interrelationships of land use/cover change and topography with soil acidity and salinity as indicators of land degradation. **Land**, **3**, 282–299.
- Mirzaei, J., Heydari, M., Moradi, M. & Daniel, C.D. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi as a bio-indicator for monitoring soil attributes in Zagros semi-arid woodlands. **Ecopersia**, **8**(1), 23–31.
- Ouzounidou, G., Skiada, V., Papadopoulou, K.K., Stamatis, N., Kavadias, V., Eleftheriadis, E., & Fragiskos, G. (2015). Effects of soil pH and arbuscular mycorrhiza (AM) inoculation on growth and chemical composition of chia (*Savia hispanica* L.) leaves. **Brazilian Journal of Botany**, **38**, 487–495.
- Sieverding, E. (1991). **Vesicular–Arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn: Technical Cooperation Federal Republic of Germany (GTZ).
- Simpson, E.H. (1949). Measurement of diversity. **Nature**, **163**, 688.
- Washington, H.G. (1984). Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems. **Water Research**, **18**, 653–694.