

ผลของการจัดการปุ๋ยชีวภาพต่อการผลิตข้าวโพดหวานในระบบอินทรีย์

Effect of bio-fertilizer management on sweet corn production in an organic system

ฉัตรปวีณ์ เดชจิริรัตนสิริ¹, ศรัณย์ จันทรวงศ์² และ จีราภรณ์ อินทसार^{2*}

Chatprawee Dechjirattanasiri¹, Sarun Junwong² and Jiraporn Inthasan^{2*}

Received: 13 September 2024 ; Revised 22 October 2024 ; Accepted: 20 November 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้ปุ๋ยชีวภาพชนิดต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวานในระบบอินทรีย์ โดยทำการศึกษาในสภาพไร่นา วางแผนการทดลองแบบสุ่มลงในบล็อกแบบสมบูรณ์ ประกอบด้วย 5 กรรมวิธี 4 ซ้ำ คือกรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ) กรรมวิธีที่ 2 ปุ๋ยชีวภาพ Azotobacter (A) กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยชีวภาพ Mycorrhiza (M) กรรมวิธีที่ 4 ปุ๋ยชีวภาพย่อยสลายโพแทสเซียม (Potassium solubilizing bacteria: KSB) และกรรมวิธีที่ 5 ปุ๋ยชีวภาพ M + A + KSB ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยวพบว่าในดินระดับบน (0-15 ซม.) การใส่ปุ๋ยชีวภาพ A+M+KSB ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงที่สุด คือ 70 และ 153 มก/กก. ตามลำดับ ($P<0.05$) ปริมาณไนโตรเจนในใบข้าวโพดหวานระยะฝักติดไหม และ ในเมล็ดข้าวโพดสูงที่สุดพบในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ Azotobacter (2.47 และ 2.45%N ตามลำดับ($P<0.05$)) ขณะที่ปริมาณฟอสฟอรัสใบข้าวโพดหวานระยะฝักติดไหมและในเมล็ดข้าวโพดสูงที่สุดจากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ Mycorrhiza คือ 0.57และ0.51 %Pตามลำดับ ($P<0.05$) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในเมล็ดข้าวโพดหวานสูงที่สุดในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ (16.33 °Brix) แต่ไม่มีความแตกต่างกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ A+M+KSB (16.05 °Brix) ผลผลิตของข้าวโพดหวานสูงที่สุดจากการใส่ปุ๋ยชีวภาพ A+M+KSB คือ 1,540 กิโลกรัมต่อไร่ ($P<0.05$)

คำสำคัญ: ปุ๋ยชีวภาพ, เกษตรอินทรีย์, ข้าวโพดหวาน

Abstract

The sweet corn production in the organic system research objective is to compare the different biofertilizer management on growth and yield by Randomized Complete Block Design (RCBD). The experiment was conducted in 5 treatments with 4 replications as follows: 1) the control (without biofertilizer), 2) azotobacter (A), 3) mycorrhiza (M), 4) potassium solubilizing bacteria (KSB), and 5) azotobacter + mycorrhiza + potassium solubilizing bacteria (A + M + KSB). The soil analysis in top soil (0-15 cm) after harvesting showed that A+M+KSB caused the highest available phosphorus and potassium content (70 and 153 mg kg⁻¹, respectively) ($P<0.05$). The nutrient content in sweet corn leaves at the tasseling stage and seed content, azotobacter (A), resulted in the highest nitrogen content at 2.47 and 2.45%N, respectively($P<0.05$). Meanwhile, mycorrhiza (M) provided the highest phosphorus content in leaves (0.57%P) and seeds (0.51%P) ($P<0.05$). The total soluble solids (TSS) content was detected at the highest level in mycorrhiza, but no difference was observed with A + M + KSB (16.33 and 16.05 °Brix, respectively). Interestingly, A+M+KSB could gain the highest sweet corn yield at 1,540 kg rai⁻¹($P<0.05$).

Keywords: Bio-fertilizer, organic farming, sweet corn

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

² สาขาวิชาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹ Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

² Program in Soil Science, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

* Corresponding author: inthasan@mju.ac.th

บทนำ

ข้าวโพดหวาน *Zea mays* L. Var *Saccharata*. เป็นพืชชนิดหนึ่งที่ปลูกเพื่อบริโภคและใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม สามารถแปรรูปได้หลายรูปแบบ เช่น ข้าวโพดแช่แข็ง ข้าวโพดบรรจุกระป๋อง นิยมปลูกเนื่องจากเป็นพืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นและสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี จึงกลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่ปลูกมากทั่วทั้งประเทศไทยให้ผลผลิตรวมทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2563 อยู่ที่ 498,699 ตัน ซึ่งแหล่งเพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่บริเวณภาคเหนือ มีผลผลิต 297,261 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) การผลิตเพื่อให้ได้ผลผลิตที่คุณภาพดี ต้องพึ่งพาสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชและปุ๋ยเคมีเป็นจำนวนมาก อาจส่งผลกระทบต่อผู้ผลิตและผู้บริโภคที่จะได้รับการตกค้างของสารเคมีในพืชที่บริโภคเข้าไป ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมาภาคการเกษตรของประเทศไทยประสบปัญหาปุ๋ยเคมีมีราคาเพิ่มสูงขึ้นจึงทำให้เกษตรกรต้องรับภาระต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นซึ่งในระบบนิเวศมีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารในดินจากรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ เช่น จุลินทรีย์ที่ช่วยตรึงไนโตรเจนให้กับพืชโดยเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนในบรรยากาศเป็นแอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-) ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที เช่น *Rhizobium* sp. มีลักษณะอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยในรากพืชตระกูลถั่ว และ *Azotobacter*, *Azospirillum* ที่สามารถอาศัยอยู่ในดินและน้ำได้อย่างอิสระ (อรุณ ชาญชัยชาวีวัฒน์ และคณะ, 2559) เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ช่วยในการควบคุมโรคพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม (ดุสิต อธิวัฒน์, 2556) และจุลินทรีย์ละลายโพแทสเซียมที่ช่วยทำให้สารประกอบอินทรีย์โพแทสเซียมที่อยู่ในแร่ที่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบแตกตัวเพิ่มขึ้น เช่น *Aspergillus niger*, *Bacillus extroquens* และ *Clostridium pasteurianum* (Archana et al., 2013) การใช้จุลินทรีย์ร่วมด้วยในการผลิตพืชจะช่วยให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่อยู่ในดินเพิ่มมากขึ้นนอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์ที่สามารถควบคุมโรคพืช เช่น เชื้อรา *Trichoderma* spp. และเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus* spp. ที่สามารถทำลายหรือยับยั้งการเกิดโรครากเน่า (ประภาส กาวีชา และอภิเดช แสงดี, 2556) และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันปุ๋ยเคมีที่เป็นปัจจัยหลักในการเพาะปลูกมีราคาที่เพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตของเกษตรกรเพิ่มขึ้น งานวิจัยในครั้งนี้จึงได้มีแนวคิดในการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมาทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตข้าวโพดหวานในระบบอินทรีย์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการจัดการปุ๋ยชีวภาพชนิดต่าง ๆ ต่อการผลิตข้าวโพดหวานในระบบอินทรีย์

การทดลอง

1. พื้นที่การศึกษาและแผนการทดลอง

ศึกษาการใช้ปุ๋ยชีวภาพต่อการผลิตข้าวโพดหวานในระบบอินทรีย์ ดำเนินการในแปลงทดลองเกษตรอินทรีย์ของโครงการพัฒนานำร่องในเนื่องมาจากพระราชดำริ บ้านโป่ง อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ระหว่างเดือน เมษายน-มิถุนายน พ.ศ. 2562 การเตรียมแปลงปลูกขนาด 1×4 เมตร ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดรองก้นหลุมอัตรา 400 กิโลกรัม/ไร่ หยอดเมล็ด 3 เมล็ด/หลุม เมื่ออายุได้ 2 สัปดาห์ ถอนให้เหลือ 1 ต้น โดยมีระยะปลูก 25×75 ซม.ให้น้ำด้วยระบบน้ำหยดวันละ 1 ครั้ง นาน 30 นาที และกำจัดวัชพืชด้วยมือสัปดาห์ละ 1 ครั้ง วางแผนการทดลองแบบสุ่มลงในบล็อกแบบสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design; RCBD) ประกอบด้วย 5 กรรมวิธี 4 ซ้ำ กรรมวิธีที่ 1 ควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ) กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยชีวภาพ *Azotobacter* (A) กรรมวิธีที่ 3 ปุ๋ยชีวภาพ *Mycorrhiza* (M) จำนวน 300 สปอร์/ดิน 10 กรัม รองก้นหลุมทุกหลุมในกรรมวิธีที่มีการใส่ *mucorrhiza* กรรมวิธีที่ 4 ปุ๋ยชีวภาพย่อยสลายโพแทสเซียม (Potassium solubilizing bacteria: KSB) กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยชีวภาพ A + M + KSB กรรมวิธีที่ 2 และ 5 จะนำเมล็ดข้าวโพดมาคลุกกับปุ๋ยชีวภาพที่ทำการเตรียมในรูปแบบผงก่อนปลูก

โดยเชื้อ *Azotobacter* และ จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายโพแทสเซียม แยกได้จากดินในแปลงทดลองเกษตรอินทรีย์ของโครงการพัฒนานำร่องในเนื่องมาจากพระราชดำริ บ้านโป่ง อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ นำมาทำให้บริสุทธิ์ในอาหารแข็ง จากนั้นขยายหัวเชื้อด้วยอาหารเหลว Nutrient Broth; NB (Atlas, 2005) โดยเชื้อแต่ละชนิดจะนำมาคลุกกับฟิทมอสเพื่อใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพก่อนนำไปคลุกกับเมล็ดข้าวโพดหวานก่อนทำการปลูก โดยปุ๋ยชีวภาพ *Azotobacter* และ ปุ๋ยชีวภาพย่อยสลายโพแทสเซียม มีปริมาณจุลินทรีย์ 1×10^8 cfu/1 g

2. การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ดินและพืช

เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกและหลังการเก็บเกี่ยวแบบรวม (composite sample) ที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 ซม. ตากไว้ในที่ร่ม (air-dried) บดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 และ 2.0 มม. วิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างของดินด้วย pH meter ในอัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:1 (Wayne, 1980) ปริมาณอินทรีย์วัตถุวิเคราะห์โดยใช้วิธี Walkley and Black (FAO, 2008) วิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II (Watanabe & Olsen, 1962) การวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินด้วยน้ำยาสกัดแอมโมเนียม

มอะซีเทต (NH_4OAc pH 7) (FAO, 2008) ปริมาณหลักแมงกานีส สังกะสีและทองแดงที่สกัดได้ในดินสกัดด้วยน้ำยาสกัด DTPA (Diethylene Triamine Penta Acetic acid) แล้วนำไปอ่านด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (Wayne, 1980)

เก็บตัวอย่างใบข้าวโพดในระยะฝักติดใหม่ โดยเลือกเก็บใบที่ 2 นับจากฝักและเก็บตัวอย่างข้าวโพดหวานที่ระยะเก็บเกี่ยวคือ 60-65 วัน หลังปลูก ล้างด้วยน้ำสะอาดและชะด้วยน้ำกลั่น นำมาอบในที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) นาน 48 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน (Kjeldahl method) ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมหลัก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง โดยวิธีการย่อยด้วยการดไนตริก: เปอร์คลอริก กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (whatman) เก็บสารละลายไว้วิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ (Wayne, 1980) การเก็บเกี่ยวผลผลิต เก็บผลผลิตข้าวโพดที่มีอายุ 60-65 วัน และวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในเมล็ดข้าวโพด (total soluble solid: TSS ($^{\circ}\text{Brix}$)) หลังเก็บทันที โดยใช้เครื่องวัดแบบ Hand refractometer ยี่ห้อ Atago รุ่น N-10X จากนั้นนำเมล็ดข้าวโพดมาอบที่อุณหภูมิ 70 $^{\circ}\text{C}$ เมื่อแห้งแล้วนำไปบดเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเช่นเดียวกันกับตัวอย่างใบข้าวโพด

วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least significant difference (LSD) กำหนดความเชื่อมั่นทางสถิติที่ระดับที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรม Statistix 10

ผลการทดลองและอภิปรายผล

1. สมบัติทางเคมีดินบางประการของดินก่อนการทดลอง

สมบัติทางเคมีดินก่อนการทดลองที่ระดับความลึกที่ 0-15 และ 15-30 ซม. มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) คือ 5.18 และ 5.55 ปริมาณอินทรีย์วัตถุคือ 2.12 และ 1.43% มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน 77 และ 62 มก/กก. ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินคือ 206, 1,792 และ 215 มก/กก. ในดินระดับบน และ 100, 1,210 และ 98 มก/กก. ในดินระดับล่างตามลำดับ ปริมาณหลัก แมงกานีส ทองแดงและสังกะสีที่สกัดได้ในดินคือ 63, 37.4, 2.46 และ 2.36 มก/กก. ในดินระดับบน และ 45, 22.4, 1.56 และ 1.72 มก/กก. ในดินระดับบนตามลำดับ (Table 1)

2. สมบัติทางเคมีดินหลังการเก็บเกี่ยว

สมบัติทางเคมีดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานในระบบอินทรีย์ของดินพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินทั้งสองระดับความลึกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างดำรับทดลอง ซึ่งกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพทุกชนิดส่งผลให้ปริมาณความเป็นกรด-ด่างของดินมีค่าเพิ่มขึ้น จาก 5.18 เป็น 5.70-5.84 ในดินระดับบน ซึ่งอาจเป็นผลจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินจากกรรมวิธีทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Iwuagwu *et al.* (2013) ที่ศึกษาผลของการใช้จุลินทรีย์ *Azotobacter*, *Azospirillum* และ *Phosphate solubilizing micro-organism* ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 5.04 และปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยอยู่ที่ 2.12% ในดินระดับบนโดยมีค่าลดลงจากดินก่อนการทดลองเล็กน้อย ซึ่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่างานทดลองของ Hu *et al.* (2014) ที่ศึกษาผลของการใช้อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในการเจริญเติบโตของข้าวโพดและข้าวสาลีมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.57% ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน พบว่าที่ระดับความลึก 0-15 ซม. กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมากกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ A+M+KSB ส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินคือ 70 มก/กก. ($P<0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัย Dhawi *et al.* (2015) พบว่าการใส่ปุ๋ยชีวภาพ Mycorrhiza และ Plant growth promoting bacteria (PGPB) ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีค่ามากกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ที่เติมลงในดินจะมีการผลิตและปลดปล่อยกรดอินทรีย์ซึ่งสามารถส่งเสริมการละลายธาตุอาหารพืชที่อยู่ในดิน (กนกกร สันมา, 2558) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพทุกกรรมวิธีส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีค่าสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ สอดคล้องกับงานทดลองของ วรวิทย์ วิเชียรเขต และจิราภรณ์ อินทสาร (2560) ที่ศึกษาการใช้เชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรียย่อยสลายฟอสเฟตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีดินบางประการของ ข้าวโพดหวานพันธุ์หวานแม่โจ้ 80 พบว่าปริมาณ โพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินในกรรมวิธีที่ใส่แบคทีเรียสลายฟอสเฟตมีค่าสูงกว่าดำรับควบคุมคือ (119 มก/กก. และ 112 มก/กก. ตามลำดับ) จากผลการทดลองโดยภาพรวมจะพบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ A+M+KSB มีผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในดินสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมและกรรมวิธีที่มีการใส่จุลินทรีย์ชนิดเดียว ซึ่งอาจเกิดจากข้อดีของกลไกการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์

ทั้งกลุ่มของเชื้อราไมคอร์ไรซาและแบคทีเรีย (Oliveira *et al.*, 2015) ส่วนปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินระดับทั้งสองระดับไม่มีความแตกต่างในทางสถิติระหว่าง

ดำรับกรรมวิธีทดลอง สำหรับปริมาณธาตุอาหารเสริมที่สกัดได้ในดินทั้งสองระดับความลึกทุกกรรมวิธีการทดลองไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ (Table 2)

Table 1 Soil chemical properties before starting experiment.

Soil Depth	pH	OM (%)	P (-----mg kg ⁻¹ -----)	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
0-15	5.18	2.12	77	206	1,792	215	63	37.4	2.46	2.36
15-30	5.55	1.43	82	100	1,210	98	45	22.4	1.56	1.72

Table 2 Soil chemical properties at 0-15 and 15-30 cm soil depth after harvesting.

Treatment	pH	OM (%)	P (-----mg kg ⁻¹ -----)	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Top Soil 0-15 cm										
C	5.54	2.07	37 C	143 B	1,576	218	61	26	1.83	2.05
A	5.79	2.00	48 BC	148 AB	1,534	244	84	25	1.70	2.11
M	5.84	2.17	62 AB	145 B	1,533	220	75	27	1.90	2.51
KSB	5.74	2.28	56 AB	149 AB	1,556	238	85	26	2.00	2.46
A+M+KSB	5.70	2.15	70 A	153 A	1,571	245	85	27	1.90	2.37
Grand Mean	5.72	2.12	54	147	1,554	233	78	26	1.87	2.30
%CV	2.87	13.09	21.84	9.73	6.61	12.51	24	7.12	16.13	18.82
F-test	NS	NS	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Sub Soil 15-30 cm										
C	5.77	1.38	25	139	1,532	207	54	23	0.83	1.67
A	5.83	1.66	38	159	1,522	226	69	25	0.95	1.89
M	5.81	1.50	42	143	1,543	230	50	22	0.90	1.66
KSB	5.76	1.48	36	151	1,409	198	59	21	0.90	1.91
A+M+KSB	5.69	1.55	42	162	1,436	206	72	28	0.90	1.73
Grand mean	5.77	1.51	37	151	1,488	213	61	24	0.90	1.77
%CV	2.09	16.78	39.60	11.50	8.61	16.18	30.88	35.58	24.73	30.75
F-test	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Note: C: control, A: azotobacter, M: mycorrhiza, KSB: potassium solubilizing bacteria, M+A+KSB: mycorrhiza + azotobacter + potassium solubilizing bacteria. Means in the same column followed by different letters were significantly different by LSD *= 0.05 and NS = nonsignificant

3. ปริมาณธาตุอาหารของใบข้าวโพดหวานในระยะฝักติดใหม่

ปริมาณธาตุอาหารในใบข้าวโพดที่ระยะฝักติดใหม่ ปริมาณไนโตรเจนในใบข้าวโพด พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพทำให้ปริมาณไนโตรเจนในใบข้าวโพดมีค่าเพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีควบคุม โดยกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ azotobacter ส่งผลให้ในใบมีปริมาณไนโตรเจนสูงสุด คือ 2.47 %N ($P<0.05$) ซึ่งมีความแตกต่างในทางสถิติกับทุกตำรับทดลองยกเว้นการใส่ปุ๋ยชีวภาพ KSB สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ahmad *et al.* (2013) การใส่เชื้อจุลินทรีย์ที่ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนในใบของถั่วเขียวเพิ่มขึ้นจากกรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่เชื้อจุลินทรีย์)

ซึ่งจากการศึกษาของ Polcyn *et al.* (2019) พบว่าการใส่เชื้อรา arbuscular mycorrhiza นั้นทำให้ปริมาณไนโตรเจนในใบเพิ่มขึ้น และยังส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในใบข้าวโพดมีค่าเพิ่มขึ้นจากการดำรับควบคุม เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานทดลองนี้ที่พบว่า การใส่ปุ๋ยชีวภาพ mycorrhiza ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในใบข้าวโพดมีค่าสูงสุดคือ 0.57 %P ($P<0.05$) ส่วนปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสีและทองแดงในใบข้าวโพด ไม่มีทำให้การใส่ปุ๋ยชีวภาพมีความแตกต่างกันในทางสถิติระหว่างกรรมวิธีการทดลอง การทำงานของไมคอร์ไรซาไม่เพียงแต่จะเพิ่มความสามารถในการดูดฟอสฟอรัสแต่ยังสามารถเพิ่มประโยชน์ของธาตุอาหารตัวอื่น ๆ ได้อีกด้วย (Meng *et al.*, 2015) (Table 3)

Table 3 Effect of Bio-fertilizer on nutrient concentration of leaf sample at heading stage.

Treatment	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
	(-----%-----)					(-----mg kg ⁻¹ -----)			
C	1.93 B	0.29 C	2.31	0.38	0.17	75	35	14	4.7
A	2.47 A	0.42 BC	2.50	0.38	0.15	77	30	16	4.5
M	2.10 B	0.57 A	2.84	0.40	0.15	76	29	20	4.7
KSB	2.30 AB	0.45 AB	2.72	0.40	0.14	76	32	18	5.0
A+M+KSB	2.05 B	0.46 AB	2.80	0.41	0.14	77	30	17	4.8
Grand mean	2.20	0.44	2.63	0.39	0.15	76	31	17	4.7
CV	9.75	21.30	12.01	10.04	16.76	19.47	12.73	19.47	19.29
F-test	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Note: C: control, A: azotobacter, M: mycorrhiza, KSB: potassium solubilizing bacteria, M+A+KSB : azotobacter + mycorrhiza + potassium solubilizing bacteria. Means in the same column followed by different letters were significantly different by LSD *= 0.05 and NS = nonsignificant

4. ปริมาณธาตุอาหารในเมล็ดข้าวโพดหวาน

ปริมาณธาตุอาหารสะสมในเมล็ดข้าวโพดหวาน พบว่าปริมาณไนโตรเจนในเมล็ดข้าวโพดของกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ azotobacter ทำให้ปริมาณไนโตรเจนสูงสุด คือ 2.45 %N ($P<0.05$) ปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวโพด จากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ mycorrhiza และ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ A+M+KSB ส่งผลให้มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่ากรรมวิธีอื่นคือ 0.51 และ 0.50%P ($P<0.05$) ซึ่งมีค่าสูงกว่างานทดลองของ Sabia *et al.* (2015) ที่ทำการทดลองเชื้อ mycorrhiza ร่วมกับ

เมล็ดข้าวโพดก่อนปลูก ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสในใบอยู่ที่ 0.14% และในเมล็ดข้าวโพดอยู่ที่ 0.46% ในส่วนของปริมาณโพแทสเซียมในเมล็ดข้าวโพด พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพมีปริมาณโพแทสเซียมในเมล็ดข้าวโพดสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ) โดยการใส่ปุ๋ยชีวภาพ KSB มีค่าสูงสุด คือ 1.44 %K แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ ส่วนปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมในเมล็ด และปริมาณธาตุอาหารเสริมในเมล็ดข้าวโพด ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติระหว่างกรรมวิธีทดลอง (Table 4)

Table 4 Effect of Bio-fertilizer on nutrient concentration of seed sample at heading stage

Treatment	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
	(-----%-----)					(-----mg kg ⁻¹ -----)			
C	1.57 C	0.39 B	1.20	0.34	0.11	15	6.3	32	3.25
A	2.45 A	0.48 B	1.21	0.35	0.12	12	6.8	37	3.26
M	2.00 B	0.51 A	1.33	0.38	0.15	14	6.2	31	3.27
KSB	2.00 B	0.46 B	1.44	0.33	0.11	14	6.7	32	3.21
A+M+KSB	2.05 B	0.50 A	1.29	0.33	0.11	13	6.3	33	3.10
Grand mean	2.00	0.47	1.29	0.35	0.12	13	6.5	32	3.22
CV	17.21	9.93	13.63	19.02	19.51	14.43	14.43	13.65	14.24
F-test	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Note: C: control, A: azotobacter, M: mycorrhiza, KSB: potassium solubilizing bacteria, M+A+KSB: azotobacter + mycorrhiza + potassium solubilizing bacteria. Means in the same column followed by different letters were significantly different by LSD *= 0.05 and NS = nonsignificant

5. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเมล็ดข้าวโพด และผลผลิตของข้าวโพด

จากการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ mycorrhiza และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ A+M+KSB ส่งผลให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้สูงกว่ากรรมวิธีอื่นคือ 16.33 และ 16.06 °Brix

($P<0.05$) (Figure 1) และพบว่ากรรมวิธีควบคุมมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้อยกว่ากรรมวิธีอื่น ๆ ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้จากงานทดลองครั้งนี้มีค่าสูงกว่างานทดลองของ เสาวลักษณ์ บุญเย็น และจิราภรณ์ อินทสาร (2559) ที่ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในการผลิตข้าวโพดหวาน พันธุ์ไฮบริด 53 มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้เฉลี่ย

คือ 11.46 °Brix นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้จากงานทดลองครั้งนี้สูงกว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในข้าวโพดหวานที่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมที่ทำการทดสอบในพื้นที่จังหวัดลำปางที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้อยู่เพียง 13.89 °Brix (ประภัสสร เจริญไทย และชูชาติ สันทรทรัพย์, 2561) จากผลการทดลองจะพบว่ากรรมวิธีที่มีการใส่ไมคอร์ไรซามีการตอบสนองของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มากกว่ากรรมวิธีอื่น ซึ่งอาจเป็นผลจากปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมทั้งในส่วนของใบและเมล็ดที่มากกว่ากรรมวิธีอื่นไปช่วยในการลำเลียงซูโครสเข้าสู่โฟลเอ็ม ด้วยกระบวนการสังเคราะห์เอ็กโซส ซึ่งสามารถใช้พลังงานที่ได้มาลำเลียงซูโครสเข้าสู่โฟลเอ็มได้ (ยงยุทธ โอสดสกา, 2558)

สำหรับปริมาณผลผลิตของข้าวโพดหวาน กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตข้าวโพดหวานสูงกว่าตำรับควบคุม พบว่ากรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ A+M+KSB ทำให้มีปริมาณผลผลิตข้าวโพด 1,504 กก./ไร่ แต่ไม่แตกต่างกับ

กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ mycorrhiza และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ KSB เพียงอย่างเดียว ($P<0.05$) สอดคล้องกับ สิริพร สิริชัยเวชกุล และคณะ (2564) ได้ศึกษาชนิดของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ส่งผลต่อผลผลิตของข้าวโพดหวาน พบว่ากรรมวิธีที่มีการเติมเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีปริมาณผลผลิตสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี เฉลี่ย 1,156-1,547 กก./ไร่ ขณะที่ ยური ละโพธิ์ และคณะ (2564) พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับจุลินทรีย์ฟิซีฟิอาร์ ทำให้ปริมาณผลผลิตข้าวโพดหวาน มีค่าเฉลี่ย สูงกว่างานทดลองครั้งนี้คือ 2,251 กก./ไร่ ซึ่งอาจเป็นผลของความแตกต่างของจุลินทรีย์ที่ใช้และสายพันธุ์ของข้าวโพดหวานในการทำการทดสอบ จากข้อมูลดังกล่าวพบว่า การนำปุ๋ยชีวภาพมาปรับใช้ร่วมกับการผลิตข้าวโพดหวานในระบบอินทรีย์ สามารถทำให้ผลผลิตของข้าวโพดหวานสูงกว่าตำรับควบคุม ซึ่งไม่มีการใส่เชื้อจุลินทรีย์หรือปุ๋ยชีวภาพอย่างมีความแตกต่างในทางสถิติ

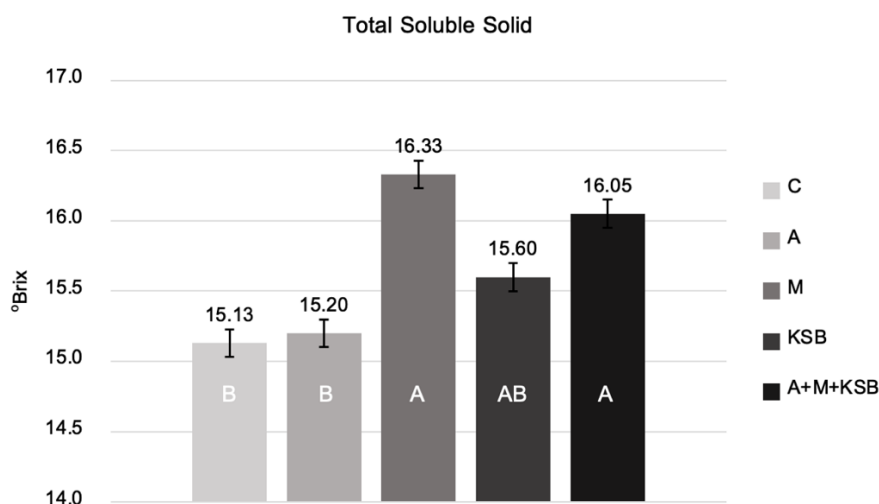


Figure 1 Effect of Bio-fertilizer on Total Soluble Solid: °Brix. C: control, A: azotobacter, M: mycorrhiza, KSB: potassium solubilizing bacteria, M+A+KSB: azotobacter + mycorrhiza + potassium solubilizing bacteria. Different letters indicate significant ($p<0.05$) differences between treatments.

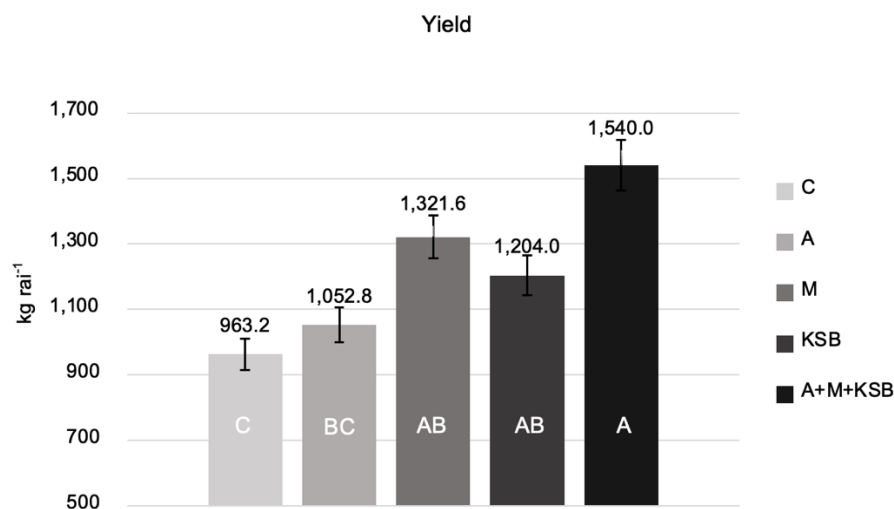


Figure 2 Effect of Bio-fertilizer on Sweet Corn Yield (kg rai⁻¹). C: control, A: azotobacter, M: mycorrhiza, KSB: potassium solubilizing bacteria, M+A+KSB: azotobacter + mycorrhiza + potassium solubilizing bacteria. Different letters indicate significant ($p<0.05$) differences between treatments.

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การใช้ปุ๋ยชีวภาพทั้ง 3 กรรมวิธีทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ปริมาณธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมเพิ่มสูงขึ้นจากกรรมวิธีควบคุม กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพ azotobacter ทำให้ปริมาณไนโตรเจนในใบข้าวโพดระยะฝักติดใหม่และเมล็ดข้าวโพดหวานมีค่าสูงที่สุด กรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยชีวภาพ mycorrhiza ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในใบข้าวโพดระยะฝักติดใหม่และเมล็ดข้าวโพดหวานมีค่าสูงที่สุด และยังทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในเมล็ดข้าวโพดสูงที่สุด กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยชีวภาพ A+M+KSB ทำให้ผลผลิตข้าวโพดหวานสูงกว่าทุกกรรมวิธี การผลิตข้าวโพดหวานระบบอินทรีย์ในพื้นที่ทดสอบนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่น โดยพบว่าปุ๋ยชีวภาพทั้งสามกลุ่มมีผลในทิศทางบวกกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวาน

เอกสารอ้างอิง

- กนกกร สันมา. (2558). จุลินทรีย์ในดินประโยชน์ที่ไม่อาจมองข้าม. *วารสารดินและปุ๋ย*, 37(1), 78-81.
- ดุสิต อธิวัฒน์. (2556). จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ด้านการเกษตร. *Thai Journal of Science and Technology*, 2(1), 18-35.
- ประภาส กาวีชา และอภิเดช แสงดี. (2556). การควบคุมโรคพืชโดยใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 32(2), 220-229.

ประภัสสร เจริญไทย และชูชาติ สันทรัพย์. (2561). ผลของปุ๋ยโพแทสเซียมต่อคุณภาพและผลผลิตข้าวโพดหวานที่ปลูกในพื้นที่อำเภองาว จังหวัดลำปาง. *วารสารเกษตร*, 34(1), 29-40.

ยงยุทธ โอสดสภา. (2558). *ธาตุอาหารพืช* (พิมพ์ครั้งที่ 4). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุวรี ละโพธิ์, จรรยา สิงห์คำ และ วณาลัย วิริยะสุธี. (2564). ผลของปุ๋ยชีวภาพพีจีพีอาร์-1 ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวาน ในอำเภอกุดรัง จังหวัดมหาสารคาม. ใน *การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 11* (น. 1823-1836).

วรวิทย์ วิเชียรเขต และจิราภรณ์ อินทสาร. (2560). ผลของเชื้อแบคทีเรียย่อยสลายฟอสเฟตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินบางประการและปริมาณธาตุอาหารในข้าวโพดหวาน พันธุ์หวานแม่โจ้ 80. *วารสารวิจัยและส่งเสริมการเกษตร*, 34(1), 13-24.

สิริพร สิริชัยเวชกุล, นิจุพร ณ พัทลุง, สำราญ มากมาย และ วรุต กรังไกร. (2564). ผลของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดหวาน ภายใต้สภาวะธรรมชาติ. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 39(2), 89-94.

เสาวลักษณ์ บุญเย็น และจิราภรณ์ อินทสาร. (2559). ผลของการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินและผลผลิตของข้าวโพดหวาน พันธุ์ไฮบริด 53 อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่. *วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการ*

- เกษตร, 32(1), 17-27.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2563). ข้าวโพดหวาน: เปรียบเทียบเนื้อหาที่เพาะปลูกเนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิตและผลผลิตต่อไร่ รายภาค และรายจังหวัด. <https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/sweet%20corn63.pdf>
- อรุณ ชาญชัยเชาว์วิวัฒน์, สุวินัย เกิดทับทิม และสมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. (2559). การนำจุลินทรีย์มาใช้ประโยชน์ในระบบเกษตรกรรมแบบยั่งยืน. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 7(2), 398-413.
- Ahmad, M., Zahir, Z. A., Khalid, M., Nazli, F., & Arshad, M. (2013). Efficacy of Rhizobium and Pseudomonas strains to improve physiology, ionic balance and quality of mung bean under salt-affected conditions on farmer's fields. *Plant Physiology and Biochemistry*, 63, 170-176.
- Archana, D., Nandish, M. S., Savalagi, V., & Alagawadi, A. R. (2013). Characterization of potassium solubilizing bacteria (KSB) from rhizosphere soil. *Bioinfolet*, 10(1), 248-257.
- Atlas, R. M. (2005). *Handbook of media for environmental microbiology* (2nd ed.). CRC Press.
- Dhawi, F., Datta, R., & Ramakrishna, W. (2015). Mycorrhiza and PGPB modulate maize biomass, nutrient uptake and metabolic pathways in maize grown in mining-impacted soil. *Plant Physiology and Biochemistry*, 97, 390-399.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2008). *FAO fertilizer and plant nutrition bulletin*.
- Hu, J., Cui, X., Dai, J., Wang, J., Chen, R., Yin, R., & Lin, X. (2014). Interactive effects of arbuscular mycorrhiza and maize (*Zea mays* L.) straws on wheat (*Triticum aestivum* L.) growth and organic carbon storage in a sandy loam soil. *Soil & Water Research*, 9(3), 119-126.
- Iwuagwu, M., Chukwuka, K. S., Uka, U. N., & Amandian-eze, M. C. (2013). Effects of biofertilizers on the growth of *Zea mays* L. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology & Environmental Sciences*, 15(2), 235-240.
- Meng, L., Zhang, A., Wang, F., Han, X., Wang, D., & Li, S. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium facilitate nitrogen uptake and transfer in soybean/maize intercropping system. *Frontiers in Plant Science*, 6, Article 369. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00369>
- Oliveira, F. L. N., Stamford, N. P., Neto, D. S., Oliveira, E. C. A., Oliveira, W. S., & Santos, C. E. R. S. (2015). Effects of biofertilizers produced from rocks and organic matter, enriched by diazotrophic bacteria inoculation on growth and yield of sugarcane. *Australian Journal of Crop Science*, 9(6), 504-508.
- Polcyn, W., Paluch-lubawa, E., Lehmann, T., & Mikula, R. (2019). Arbuscular mycorrhiza in highly fertilized maize cultures alleviates short-term drought effects but does not improve fodder yield and quality. *Frontiers in Plant Science*, 10, Article 496. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00496>
- Sabia, E., Claps, S., Morone, G., Bruno, A., Sepe, L., & Aleandri, R. (2015). Field inoculation of arbuscular mycorrhiza on maize (*Zea Mays* L.) under low inputs: Preliminary study on quantitative and qualitative aspects. *Italian Journal of Agronomy*, 10(1), 30-33.
- Watanabe, F. S., & Olsen, S. R. (1962). Colorimetric determination of phosphorus in water extracts of soil. *Soil Science*, 93(3), 183-188.
- Wayne, E. S. (1980). *Handbook on reference method for soil testing*. Council on Soil Testing and Plant Analysis, University of Georgia.