



ปัญหาพิเศษ

ผลของสังกะสีและไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวโพด
ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องทดลอง

Effect of Zinc and Mycorrhiza on the Growth of
In Vitro Maize Seedlings

นายภาณุพันธุ์ บุญสืบสกุล

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

DEPARTMENT OF AGRONOMY

FACULTY OF AGRICULTURE KASETSART UNIVERSITY



ใบรับรองปัญหาพิเศษ
คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์เกษตร)
ปริญญา

..... วิทยาศาสตร์เกษตร พืชไร่นา
สาขา ภาควิชา

เรื่อง ผลของสังกะสีและไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวโพด
ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องทดลอง

Effect of Zinc and Mycorrhiza on the Growth of *In Vitro* Maize Seedlings

نامผู้วิจัย นายภาณุพันธุ์ บุญสืบสกุล

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษหลัก
(..... รศ.ดร.สุดเขตต์ นาคะเสถียร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษร่วม
(..... ผศ.ดร. วรรณสิริ วรรณรัตน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษร่วม
(..... ดร.อรุณี วงษ์แก้ว, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา
(..... ผศ.ดร.ปรีชาติ พรหมโชติ, Ph.D.)
วันที่ เดือน พ.ศ. 2566

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ผลของสังกะสีและไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวโพดภายใต้
สภาวะควบคุมในห้องทดลอง

Effects of Zinc and Mycorrhiza on the Growth of *In Vitro* Maize Seedlings.

โดย

นายภาณุพันธุ์ บุญสืบสกุล

เสนอ

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

DEPARTMENT OF AGRONOMY

FACULTY OF AGRICULTURE KASETSART UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ
สำนักวิจัยปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน ที่ให้ความ
อนุเคราะห์สถานที่ทำวิจัย ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สุตเชตต์ นาคะเสถียร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปัญหาพิเศษ ที่ให้ความรู้สำหรับงานวิจัยในทุกด้าน คุณเลตรวตรวจสอบการดำเนินงานทุกขั้นตอน และ
อ่านแก้ไขการเขียนปัญหาพิเศษฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.วรรณศิริ
วรรณรัตน์ และ ดร.อรุณี วงษ์แก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมที่สนับสนุนการวิจัยอย่างเต็มที่ รวมไปถึง
คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นาทุกท่าน ที่ได้ให้การอบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์ใน
การทำงานและการประกอบอาชีพในอนาคต

และท้ายที่สุดข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ครอบครัวที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนใน
การศึกษามาตลอด เป็นกำลังใจให้ ทำให้ข้าพเจ้าสู้ อดทน และฝ่าฟันจนบรรลุผลไปได้ด้วยดี

จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้
นายภาณุพันธุ์ บุญสืบสกุล
กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ

นายภาณุพันธุ์ บุญสืบสกุล 2565 : ผลของสังกะสีและเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวโพดภายใต้สภาวะควบคุมในห้องทดลอง ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์เกษตร ภาควิชาพืชไร่นา อาจารย์ที่ปรึกษา: รศ.ดร. สุตเขตต์ นาคะเสถียร

สังกะสีเป็นจุลธาตุอาหารที่สำคัญของพืชที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้และจำเป็นสำหรับการพัฒนาที่เหมาะสมของต้นพืช การขาดสังกะสีทำให้พืชเจริญเติบโตลดลง พบว่าพืชที่มีเชื้อราไมคอร์ไรซาเจริญบริเวณรากอ่อน สามารถสร้างความสมดุลในการลำเลียงธาตุสังกะสีและลดความเป็นพิษของสังกะสีได้ วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้คือ เปรียบเทียบการเจริญของต้นอ่อนข้าวโพดที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Hoagland ดัดแปลง ที่เติมสังกะสีความเข้มข้น 4 ระดับคือ 0, 0.03, 0.22 และ 0.4 mg/l เพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับเชื้อราไมคอร์ไรซาในอาหารปลอดเชื้อเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ประเมินการเจริญของต้นข้าวโพดและการเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ผลการศึกษาพบว่า ต้นข้าวโพดที่เพาะเลี้ยงร่วมกับไมคอร์ไรซา ในอาหารที่เติมสังกะสีความเข้มข้น 0.22 mg/l มีค่าเฉลี่ยความยาวราก ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดราก ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดใบ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของรากและค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งใบ มากที่สุดและมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์สปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซาสูงสุดที่ 90.83%

ภาณุพันธุ์ บุญสืบสกุล
ลายมือชื่อนิติ


ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษหลัก

31 มี.ค. 2566

ABSTRACT

Panuphun Boonsuebsakoon. 2022: Effect of Zinc and Mycorrhiza on the Growth of *In Vitro* Maize Seedlings. Bachelor's special problem in Agricultural Science, Department of Agronomy. Advisor's Sutkhet Nakasathien, Ph.D.

Zinc, the essential immobile micronutrient, is required for the proper development in plants. Zinc deficiency decelerates plant growth. The presence of mycorrhizal fungi in young roots can balance zinc uptake and reduce zinc toxicity. This study aimed to determine the growth of maize seedlings cultured on the modified Hoagland medium added with zinc at four different concentration levels (0, 0.03, 0.22 and 0.4 mg/l). The young maize seedlings were cocultured with mycorrhiza on sterile medium for six weeks. The growth of maize and mycorrhization at the roots of seedlings from all treatments were evaluated in comparison with the control group. The results showed that those maize young plants incubating with mycorrhiza on medium with 0.22 mg/l zinc had the highest means in root length, root fresh weight and leaf fresh weight and root dry weight and leaf dry weight and showed the highest mycorrhiza spore frequency (90.83%).

๒๐๒๒
๓๑/๐๓/๒๓

Student's signature

Special Problem Advisor's signature

31 / 3 / 2023

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
คำนำ	3
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	10
สถานที่และระยะเวลาการทำวิจัย	16
ผลการทดลอง	17
สรุปผลและวิจารณ์	39
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	40
ภาคผนวก	42
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	44

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยจำนวนรากและค่าเฉลี่ยจำนวนใบของข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์	20
ตารางที่ 2 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยความยาวลำต้นและค่าเฉลี่ยความยาวใบของข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์	21
ตารางที่ 3 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดราก ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นและค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดใบของข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์	22
ตารางที่ 4 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งราก ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งใบของข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์	23
ตารางที่ 5 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติความเขียวใบของข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์	24
ตารางที่ 6 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยความยาวรากของข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์	25
ตารางที่ 7 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยจำนวนราก ค่าเฉลี่ยจำนวนใบและค่าเฉลี่ยความเขียวใบของข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์	26
ตารางที่ 8 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยความยาวราก ค่าเฉลี่ยความยาวใบและค่าเฉลี่ยความยาวลำต้นของข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์	27
ตารางที่ 9 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้น ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งใบของข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์	28
ตารางที่ 10 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์	29
ตารางที่ 11 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดใบของข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์	30
ตารางที่ 12 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากของข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์	31
ตารางที่ 13 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติการเจริญของไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์	32
ตารางที่ 14 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติการเจริญของไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์	33
ตารางที่ 15 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดในระบบปิด	39
ตารางที่ 16 ความเข้มข้นและปริมาณสังกะสีที่เติมลงในอาหารเพาะเลี้ยงข้าวโพด	40

ผลของสังกะสีและไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวโพด ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องทดลอง

Effect of Zinc and Mycorrhiza on the Growth of *In Vitro* Maize Seedlings.

คำนำ

ข้าวโพด (*Zea mays*) เป็นพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูงมีคุณค่าทางอาหารสูงและมีความสำคัญต่อมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากเมล็ดข้าวโพดมีโปรตีนสูงและประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต วิตามินเอ วิตามินบีสูงอีกด้วย (Saboor *et al.*, 2021) ในประเทศไทยการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังฤดูการเก็บเกี่ยวข้าวทำให้เกษตรกรเพิ่มรายได้โดยลดการใช้น้ำเมื่อเปรียบเทียบกับปลูกข้าว แต่อย่างไรก็ตามการขาดธาตุสังกะสีมักพบในดินนา (Wongkaew, 2023) สังกะสีเป็นจุลธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของพืช ดังนั้นพืชที่ขาดสังกะสีจะมีผลผลิตลดลง (Alloway, 2008) จากรายงานของ Kayama and Yamanaka (2014) พบว่าเชื้อราไมคอร์ไรซาบริเวณรากพืชช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมธาตุอาหารในดินของต้นพืช นอกจากนี้เชื้อราไมคอร์ไรซามีประโยชน์ต่อพืชอีกหลายประการ เช่น ส่งเสริมการเจริญของต้นพืชในสภาวะความเครียดต่างๆ (Begum *et al.*, 2019) และเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงและกระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊สของพืชอีกด้วย (Birhane *et al.*, 2012) ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาการเจริญของต้นอ่อนข้าวโพดเมื่อเพาะเลี้ยงร่วมกับเชื้อราไมคอร์ไรซาในอาหารเพาะเลี้ยงที่เติมธาตุสังกะสีในระบบปิด ผู้วิจัยคาดหวังว่างานนี้จะเป็นประโยชน์ในการแก้ปัญหาการขาดแคลนธาตุสังกะสีในดินที่มีการปลูกข้าวโพดหลังเก็บเกี่ยวข้าว และเป็นแนวทางการศึกษาการเพิ่มอัตราการเจริญของต้นอ่อนข้าวโพดด้วยธาตุสังกะสีเพิ่มเติมในอนาคต

วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบการเจริญของต้นอ่อนข้าวโพดที่เพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเลี้ยงสูตร Hoagland ดัดแปลง ที่เติมสังกะสีความเข้มข้น 4 ระดับคือ 0, 0.03, 0.22 และ 0.4 กรัมต่อลิตร และเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดในอาหารปลอดเชื้อร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาเป็นเวลา 4 และ 6 สัปดาห์หลังออก และศึกษาเปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาที่รากอ่อนของข้าวโพดในอาหารที่มีความเข้มข้นของสังกะสีที่ต่างกัน

การตรวจเอกสาร

ความสำคัญของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Maize หรือ Corn, *Zea mays* L.) เป็นธัญพืช (cereal crops) ชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยในปีเพาะปลูก 2563/64 มีพื้นที่เพาะปลูก 7.08 ล้านไร่ ปลูกมากในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์ นครราชสีมา น่าน ตาก เลย เชียงรายแพร่ ลพบุรี พิจิตร โขงหินดินทราย และลำปาง ผลผลิตรวมทั้งประเทศ 4.99 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ย 705 กิโลกรัมต่อไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) ใช้ประโยชน์เป็นอาหารของมนุษย์มาเป็นเวลานานในบรรดาพืชอาหารที่ใช้เมล็ดด้วยกัน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จัดว่าเป็นพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับ 3 ของโลกรองจากข้าวสาลีและข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีพื้นที่ปลูกคิดเป็นร้อยละ 18 และมีผลผลิตประมาณร้อยละ 25 ของการผลิตธัญพืชของโลก โดยมีปริมาณการผลิตในทวีปเอเชียและภาคพื้นแปซิฟิก ร้อยละ 15 ในปัจจุบันความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้มีความต้องการที่จะนำเข้าในปริมาณที่มากขึ้น โดยในปี 2565 ประเทศไทยมีปริมาณการนำเข้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากถึง 1,476 ล้านกิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์นั้นเป็นพืชไร่ชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพที่จะใช้ปลูกในฤดูหลังเก็บเกี่ยวข้าว เนื่องจากใช้น้ำน้อยกว่าการทำนา นอกจากนี้ยังช่วยลดวงจรการแพร่ระบาดของแมลงศัตรูข้าว คุณภาพและเมล็ดข้าวโพดดีปราศจากสารพิษ ผลผลิตและผลตอบแทนสูง (สมชาย, 2537; สมชาย, 2538; Granados *et al.*, 1994) ดังนั้นแนวทางที่จะเพิ่มปริมาณการผลิตข้าวโพดที่มีคุณภาพให้เพียงพอต่อความต้องการคือการขยายพื้นที่ปลูกข้าวโพดในพื้นที่ที่มีศักยภาพในการผลิต โดยเฉพาะพื้นที่นาหลังเก็บเกี่ยวข้าว (สมชาย, 2541)

ความสำคัญของสังกะสีในต้นพืช

ต้นพืชต้องการธาตุอาหารที่สำคัญทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองสำหรับกระบวนการทำงานและการเจริญเติบโตจนครบวงจรชีวิตอย่างเหมาะสม ในหมู่ธาตุอาหารทั้งหมดสังกะสีถูกจัดให้เป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญและจำเป็นอย่างมาก (Saboor *et al.*, 2021) ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงสร้างและกระบวนการทำงานของเอนไซม์มากถึง 300 ชนิด โดยเอนไซม์จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการแบ่งตัวของเซลล์ การสังเคราะห์โปรตีน กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง กระบวนการถอดรหัสพันธุกรรม และระบบการป้องกันการสารต้านอนุมูลอิสระ (Cakmak, 2000)

การขาดธาตุสังกะสีในต้นพืช

การขาดธาตุอาหารสังกะสีเป็นมักเป็นปัญหาที่พบเจอในพืชปลูกที่สำคัญ นำไปสู่ผลผลิตที่ลดลงและส่งผลกระทบต่อสังกะสีที่ลดลงในส่วนที่เรานำมารับประทาน ดังนั้นเป็นผลให้ผู้คนจำนวนมากในโลกประสบปัญหาเกี่ยวกับการบริโภคสังกะสีไม่เพียงพอ ซึ่งส่งผลให้สุขภาพของมนุษย์แย่ลง (Brown

and Wuehler 2000) สังกะสีจะทำหน้าที่กระตุ้นและเกี่ยวข้องกับเอนไซม์หลายชนิดในกระบวนการเมตาบอลิซึมของต้นพืช การขาดธาตุสังกะสีในใบพืชมีรายงานว่าจะลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ ดิสมิวเทส โดยอัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง เนื่องมาจากการทำงานที่ลดลงของเอนไซม์คาร์บอนิก แอนไฮเดรส ซึ่งสังกะสีเป็นตัวที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาร่วมกับเอนไซม์ชนิดนี้ซึ่งเกี่ยวข้องกับการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์และการขาดธาตุสังกะสียังยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีนอีกด้วย (Saboor *et al.*, 2021)

ความเป็นพิษของสังกะสี

เมื่อความเข้มข้นของสังกะสีที่เป็นพิษจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของยอดและรากในการงอกของเมล็ดข้าวโพด และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของปากใบ ไทลาคอยด์และโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ ขนาดของเนื้อเยื่อเจริญและการเจริญจะลดลงเนื่องเป็นผลมาจากการเป็นพิษของธาตุสังกะสี รวมถึงลดอัตราการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโต (Saboor *et al.*, 2021)

ปัจจัยในที่ส่งผลกระทบต่อธาตุสังกะสีภายในดิน

สังกะสีที่พืชดูดสามารถดูดซึมไปใช้ได้จะอยู่ในสารละลายในดินหรืออยู่ในรูปที่ไม่เสถียรสามารถถูกเปลี่ยนหรือสลายได้ง่าย ปัจจัยในดินที่ส่งผลกระทบต่อที่พืชนำสังกะสีไปใช้ซึ่งควบคุมปริมาณของสังกะสีในสารละลายดินและรูปแบบของสังกะสีที่อยู่ในสารละลายดิน ปัจจัยเหล่านี้ประกอบไปด้วย ปริมาณความเข้มข้นของสังกะสี ความเป็นกรดหรือด่างภายในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต กิจกรรมของจุลินทรีย์บริเวณพื้นที่ของราก ความชื้นภายในดิน ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักโดยเฉพาะฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม (Alloway, 2008)

ความต้องการธาตุสังกะสีในข้าวโพด

สังกะสีมีความสำคัญในการควบคุมการเจริญเติบโต ช่วยยืดอายุการทำงานของออกซิน เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ในพืช การสร้างคลอโรฟิลล์ การสังเคราะห์โปรตีน คาร์โบไฮเดรต การพัฒนาของไหม การสร้างเมล็ด และมีผลต่อน้ำหนักและคุณค่าทางอาหารของเมล็ด ในธรรมชาติสังกะสีมีอยู่ในรูปเดี่ยว คือ สังกะสีไอออน (Zn^{2+}) โดยพบอยู่ในพืชปริมาณ 15-50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยทั่วไปแล้วในดินมีสังกะสีอยู่เพียงพอ ลักษณะการขาดธาตุสังกะสีในพืชในระยะต้นอ่อนใบอ่อนที่ยอดจะมีสีขาว ใบแก่มีสีเหลืองหรือขาวเป็นทางสลับเขียว ขณะที่เส้นกลางใบและขอบใบยังคงมีสีเขียว และอาจจะมียางแดงที่เส้นใบ มักเกิดจากปลายใบเข้าสู่โคนใบ ใบที่ 1-2 นับจากยอด ต้นเตี้ย ปล้องสั้นและพบจุดสีเหลืองกระจายในใบแก่ จุดสีเหลืองเปลี่ยนเป็นจุดสีน้ำตาลได้ใบยอดแคระแกร็น มักเกิดในดินด่าง โดยเฉพาะดินทรายที่ถูกชะล้างและมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสสูง ดินที่มีอุณหภูมิต่ำ การแก้ไขอาการขาดธาตุสังกะสี สามารถทำได้โดย ฉีดพ่นซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในใบข้าวโพดอยู่ที่ 20-70 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2564)

สาเหตุที่ทำให้เกิดการขาดธาตุสังกะสีในพืชปลูก

ดินที่มีปริมาณสังกะสีต่ำ เช่น ดินทรายซึ่งถูกชะล้างได้ง่ายดังนั้นจึงส่งผลให้ในดินทรายมีปริมาณของสังกะสีที่ต่ำซึ่งจะมีแนวโน้มสูงที่จะทำให้พืชปลูกเกิดอาการขาดแคลนธาตุสังกะสี หรือดินที่จำกัดการเจริญของรากหมายถึง ดินที่มีการอัดแน่นเนื่องจากการทำงานของรถแทร็กเตอร์ (Alloway, 2008)

ดินแคลคาเรียส (Calcareous soil) ดินที่มี pH มากกว่า 7.4 ซึ่งส่งผลให้ความเข้มข้นของสังกะสีที่สามารถถูกนำไปใช้ได้ต่ำลงเพราะว่าความสามารถในการละลายของสังกะสีจะลดลงเมื่อดินมี pH ที่สูงขึ้น ถึงแม้ปริมาณของสังกะสีในดินแคลคาเรียส จะมีเท่ากันหรือมากกว่าในดินชนิดอื่น แต่สังกะสีที่อยู่ในรูปที่ใช้ประโยชน์ได้ก็จะยังคงต่ำกว่า เป็นผลมาจากการเคลือบคาร์บอนेटคูยิดกับสังกะสีไว้ (Alloway, 2008)

ดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ จะไม่สามารถรักษากปริมาณของธาตุสังกะสีไว้ได้และมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนธาตุสังกะสีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งบริเวณดินที่ถูกกำจัดหรือสูญเสียหน้าดิน ดินบริเวณดังกล่าวจะเป็นบริเวณที่ประสบปัญหาการขาดธาตุสังกะสีเนื่องจากในชั้นดินที่ลึกลงไปจะมีอินทรีย์วัตถุที่ต่ำกว่าบริเวณผิวน้ำดินและจะมีความเป็นด่างสูงมากขึ้น (Alloway, 2008)

ดินที่มีอุณหภูมิเย็นจะพบการขาดธาตุสังกะสี ปัญหาการขาดธาตุสังกะสีจะเกิดขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการพัฒนารากที่ช้าลงและการทำงานของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุทำงานได้ช้าลงเช่นเดียวกัน และในดินที่มีอุณหภูมิที่ต่ำฟอสฟอรัสจะชักนำให้เกิดการขาดธาตุอาหารสังกะสีในต้นพืชมากกว่าที่อุณหภูมิสูง (Alloway, 2008)

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่สูงนั้นสามารถส่งผลกระทบทั้งการดูดซึมสังกะสีผ่านรากและการลำเลียงสังกะสีภายในต้นพืช ปริมาณฟอสฟอรัสที่สูงมากเกินไปสามารถแทรกแซงกระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับธาตุสังกะสี รวมถึงนำไปสู่การเจริญที่ลดลงของเชื้อราไมคอร์ไรซาและลดพื้นที่ผิวบริเวณดูดซึมของราก และผลกระทบของไนโตรเจนจะส่งผลต่อการดูดซึมธาตุสังกะสีได้มากขึ้น จากการเพิ่มขึ้นของรูปแบบโปรตีนตามการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนแบบต่างๆ สังกะสีจะถูกรักษาอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีนในรากพืชหรือปุ๋ยไนโตรเจนที่เป็นกรดเช่นแอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมซัลเฟตนำไปสู่การลดลงของ pH ในดินและเพิ่มสังกะสีที่สามารถถูกนำไปใช้ได้ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Alloway, 2008)

ข้อมูลทั่วไปของไมคอร์ไรซา

เชื้อราอาร์บัสคูลาไมคอร์ไรซาช่วยให้พืชอาศัยเติบโตอย่างแข็งแรงภายใต้สภาวะที่ตึงเครียด โดยการเป็นตัวกลางในการสื่อสารที่ซับซ้อนระหว่างพืชและเชื้อราที่นำไปสู่การเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงและลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซอื่นๆ (Birhane *et al.*, 2012) รวมทั้งเพิ่มการดูดน้ำ รายงานจำนวนมากอธิบายถึงความต้านทานที่ดีขึ้นต่อความเครียดต่าง ๆ รวมถึงความแห้งแล้ง ความเค็ม สัตว์กินพืช อุณหภูมิ โลหะ และโรคที่เกิดจากการอยู่ร่วมกันของเชื้อรา (Begum *et al.*, 2019) เชื้อราไมคอร์ไรซาสามารถทั้งช่วยพืชในการทนทานต่อสภาวะเครียดและป้องกันการลดลงของกระบวนการเมตาบอลิซึม เชื้อราไมคอร์ไรซาอยู่ร่วมกับรากพืชแบบได้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน ให้สารอาหารอนินทรีย์ที่จำเป็นแก่พืช ซึ่งจะช่วยปรับปรุงการเจริญเติบโตและผลผลิตภายใต้ภาวะเครียดและไม่เครียด บทบาทของเชื้อราไมคอร์ไรซาในฐานะปุ๋ยชีวภาพสามารถเสริมสร้างความสามารถในการปรับตัวของพืชต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้ (Begum *et al.*, 2019)

ลักษณะการอยู่ร่วมกันกับรากพืชของไมคอร์ไรซา

การอยู่ร่วมกันของไมคอร์ไรซากับพืชมีรายงานมานานกว่า 400 ล้านปี (Begum *et al.*, 2019) ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวถูกสร้างขึ้นจัดเป็นการสืบทอดกระบวนการทางชีวภาพ นำไปสู่ความเป็นประโยชน์ที่หลากหลายต่อระบบนิเวศของธรรมชาติและจุลินทรีย์ทางการเกษตร (Begum *et al.*, 2019) ความสัมพันธ์ของการอยู่ร่วมกันของไมคอร์ไรซาถือตัวอย่างพื้นฐานของความสัมพันธ์แบบเป็นประโยชน์ร่วมกันในด้านการเจริญเติบโตและการพัฒนาของต้นพืช เส้นใยเครือข่ายของราจะขยายบริเวณรากของต้นพืชและกระตุ้นการดูดซึมธาตุอาหารเข้าสู่ต้นพืช (Smith and Read, 2008) ไมคอร์ไรซามีความสามารถในการพัฒนาคุณสมบัติของดินและเป็นผลให้กระตุ้นการพัฒนาของพืชเป็นไปตามปกติในสถานการณ์หรือสภาวะเครียด (Begum *et al.*, 2019) ไมคอร์ไรซาสามารถปล่อย Glomalin – related soil protein (GRSP) ซึ่งสามารถรักษาความชื้นภายในดินได้ที่มีสภาวะเครียดจากสิ่งไม่มีชีวิตได้ ซึ่ง Glomalin จะประกอบไปด้วยคาร์บอน 30 – 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการประกอบที่ช่วยปกป้องดินจากการแห้งแล้งโดยเพิ่มความสามารถการกักเก็บน้ำในดิน (Sharma *et al.*, 2017) และ Glomalin เป็นผลิตภัณฑ์ของไมคอร์ไรซาที่มีความเสถียรมากในดิน ซึ่งเป็นไกลโคโพรตีนที่สามารถจับกับสังกะสีในดินและเกี่ยวข้องกับการดูดซึมโดยต้นพืชเป็นลำดับต่อไป (Saboor *et al.*, 2021)

บทบาทของไมคอร์ไรซาต่อธาตุอาหารพืช

เชื้อราไมคอร์ไรซาเป็นที่รู้จักกันดีว่าสามารถปรับปรุงและพัฒนาความสามารถในการหาและสะสมธาตุอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือธาตุฟอสฟอรัส โดยดูดซึมผ่านผิวรากด้วยวิธีการแพร่ (Subramanian *et al.*, 2009) และยังมีรายงานว่าเชื้อราไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการดูดซึมของธาตุอาหารรองที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เช่นสังกะสีและทองแดง (Subramanian *et al.*, 2009) การพัฒนาการสะสมธาตุอาหารรองในพืชที่มีการเจริญของไมคอร์ไรซาจะเกี่ยวข้องกับการทำให้บริเวณรากเป็นกรด (Subramanian *et al.*, 2009) และเส้นใยของเชื้อราไมคอร์ไรซาที่อยู่ภายนอกรากมีปริมาณมากขึ้น (Subramanian *et al.*, 2009) เส้นใยของเชื้อราไมคอร์ไรซาภายนอกรากจะมีส่วนสำคัญในการปรับสมดุลของธาตุอาหารสังกะสีในสถานะที่ขาดธาตุสังกะสีได้ถึง 60 % รวมถึงภายใต้สภาวะแห้งแล้งและภาวะขาดสารอาหาร เชื้อราไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มธาตุสังกะสีรองจากธาตุฟอสฟอรัส (Subramanian *et al.*, 2009) ดังนั้นเชื้อราไมคอร์ไรซา มีประสิทธิภาพในการช่วยพืชดูดซึมธาตุอาหารในดินในสถานะที่ดินมีการขาดธาตุอาหารต่างๆ (Begum, 2019)

อุปกรณ์และวิธีการ

1. เมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ SW 5821 จากศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ จำนวน 64 เมล็ด
2. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการเพาะเลี้ยงเมล็ดข้าวโพดในระบบปิด

2.1 อุปกรณ์สำหรับการเพาะเลี้ยงเมล็ดข้าวโพดในระบบปิด

- ตู้ถ่ายเนื้อเยื่อปลอดเชื้อ (Laminar Flow)
- หม้อนึ่งฆ่าเชื้อไอน้ำความดันสูง
- กระบอกล้างอุปกรณ์
- ตะแกรงฆ่าเชื้อแล้ว
- ปากกิบ
- ค้อนมัด
- ตะเกียงแอลกอฮอล์
- เครื่องมือผ่าตัด
- ผ้าขนหนูแห้งฆ่าเชื้อ
- บีเกอร์แก้ว บีเกอร์พลาสติกและขวดแก้วทดลองขนาดต่างๆในระบบปิด

2.2 สารเคมีสำหรับการเพาะเลี้ยงเมล็ดข้าวโพดในระบบปิด

2.2.1 อาหารเพาะเลี้ยงสูตร Hoagland

- แคลเซียมไนเตรต ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)
- โพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3)
- แมกนีเซียมซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- แอมโมเนียมไนเตรต (NH_4NO_3)
- แมงกานีสคลอไรด์เตตระไฮเดรต ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- กรดบอริก (H_3BO_3)
- โซเดียมโมลิบเดตไดไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
- กรดเอทิลีนไดเอมีนเตตระแอสซิดิก ($\text{Na}_2\text{-EDTA}$)
- เฟอรัสซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- ซิงค์ซัลเฟตเตตระไฮเดรต ($\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- โซเดียมโมลิบเดต ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

2.2.2 อาหารเพาะเลี้ยงสูตร MS

- แอมโมเนียมไนเตรต (NH_4NO_3)
- โพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3)
- แคลเซียมคลอไรด์ไดไฮเดรต ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- แมกนีเซียมเฮปตะไฮเดรต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4)
- กรดบอริก (H_3BO_3)
- แมงกานีสซัลเฟตเตตระไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- ซิงค์ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)
- โซเดียมโมลิบเดต ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
- โคบอลต์คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- กรดเอทิลีนไดเอมีนเตตระแอสีติก ($\text{Na}_2\text{-EDTA}$)
- เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- ไกลซีน (Glycine)
- กรดนิโคติก (Nicotinic acid)
- ไพริดอกซิน ไฮโดรคลอไรด์ (Pyridoxine-HCl)
- ไทอามีน ไฮโดรคลอไรด์ (Thiamine-HCl)
- ไมโออินซิทอล (Myo-inositol)

2.2.3 สารเคมีอื่นๆ

- สารละลายเมอร์คิวริกคลอไรด์ (HgCl_2)
- น้ำกลั่น
- ผงวุ้น
- 95% เอทิลแอลกอฮอล์ ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$)
- 70% เอทิลแอลกอฮอล์ ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$)

3. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการทำความสะอาดสปอร์เชื้อราไมคอร์ไรซา

- ขวดแก้วทดลองขนาดต่างๆ
- เครื่องดูดสาร (Automatic pipette)
- หลอดดูดสาร microtube
- สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์เข้มข้น (NaOCl)
-

4. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดและไมคอร์ไรซา

4.1 อุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวโพด

- กรรไกร
- ไม้บรรทัด
- ตลับเมตร
- ถ้วยพลาสติกสำหรับชั่งตัวอย่าง
- เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง
- เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง

4.2 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของไมคอร์ไรซา

- กล้องเตอริโอไมโครสโคป
- เพลดทำความร้อน
- ปากกา
- สไลด์กระจก
- เทปกาว
- กระดาษแท็กขาว
- ปีกเกอร์
- ปากคีบแหลม
- ตะแกรงมีรูสำหรับล้างทำความสะอาด
- เพลดพลาสติก
- กระดาษซับแห้ง
- หนังสือพิมพ์
- สารละลายสีย้อม Typhan Blue
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

วิธีการ

1. การเตรียมต้นอ่อนข้าวโพดปลอดเชื้อ

นำเมล็ดข้าวโพดไร้สิ่งงัดตัวที่ไม่ผ่านการคลุกสารฆ่าเชื้อรามาแช่ในน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นแช่ในสารละลายเมอร์คิวริกคลอไรด์ความเข้มข้น 1% ประมาณ 2-4 นาที เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดแล้ว ล้างเมล็ดข้าวโพดในน้ำสะอาดที่นิ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง และย้ายเมล็ดไปเพาะในอาหารเพาะเลี้ยงปลอดเชื้อสำหรับการงอกต่อไป

2. การเตรียมอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงข้าวโพดในระบบปิด

2.1 อาหารเพาะเมล็ดข้าวโพดเพื่อให้ได้ต้นอ่อนข้าวโพดอายุ 1 สัปดาห์

นำสารละลายธาตุอาหาร วิตามินและกรดอะมิโน สูตร Murashige and Skoog (1962) (ตารางที่ 1) มาผสมในน้ำกรอง เติมน้ำตาลความเข้มข้น 3 กรัมต่อลิตร ปรับปริมาตรสารละลาย ปรับค่าเป็นกรดเป็นด่างให้อยู่ที่ 5.6 เติมน้ำแข็งจำนวน 11 กรัมต่อลิตร นึ่งฆ่าเชื้อไอน้ำความดันสูง (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 21 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที

2.2 อาหารเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่เติมสังกะสีที่ความเข้มข้นต่างๆ

นำสารละลายธาตุอาหารเข้มข้นสูตร Hoagland (ตารางที่ 2) ผสมในน้ำกรอง เติมน้ำเกลือโพแทสเซียม (ZnSO₄·4H₂O) ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 0 0.03 0.22 และ 0.4 กรัมต่อลิตร ปรับปริมาตรสารละลาย-ปรับค่าเป็นกรดเป็นด่างให้อยู่ที่ 5.6 เติมน้ำแข็ง จำนวน 11 กรัม ต่อลิตร นึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อไอน้ำความดันสูง (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 21 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที

3. การฟอกทำความสะอาดสปอร์เชื้อราไมคอร์ไรซา

ทำความสะอาดสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซาในสารละลาย Clorox 3% (V/V) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 นาที ทำความสะอาดสปอร์ด้วยน้ำที่นิ่งฆ่าเชื้อ 1 มิลลิลิตร จำนวน 3 ครั้ง

4. การเพาะเมล็ดข้าวโพดในอาหารปลอดเชื้อ

เพาะเลี้ยงเมล็ดข้าวโพดที่ฟอกฆ่าเชื้อบนอาหารปลอดเชื้อ สูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญ เป็นเวลาอย่างน้อย 5-7 วัน เมื่อ เมล็ดข้าวโพดงอกและพัฒนาลำเลียงอย่างน้อย 2-3 ใบแล้ว รวมถึงไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อรา ย้ายต้นอ่อนข้าวโพดไปทดลองในข้อที่ 5

5. การศึกษาการเจริญของต้นอ่อนข้าวโพดเมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารเติมความเข้มข้นของสังกะสีในระดับที่ต่างกันและเชื้อราไมคอร์ไรซา

แผนการทดลองเป็นแบบแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย แบบสุ่มสมบูรณ์ โดยปัจจัยแรก คือ เชื้อราไมคอร์ไรซา แบ่งเป็น การปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา และ ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา และปัจจัยที่สอง คือ ความเข้มข้นของสังกะสี แบ่งเป็น 4 ระดับความเข้มข้น คือ 0 0.03 0.22 และ 0.4 กรัมต่อลิตร การทดลองมีทั้งหมด 8 ทรีตเมนต์ ทรีตเมนต์ละ 4 ซ้ำ ย้ายต้นอ่อนข้าวโพดไปเพาะเลี้ยงในอาหารปลอดเชื้อที่เติมสังกะสีระดับต่างๆ เมื่อต้นข้าวโพดอายุครบ 2 สัปดาห์-ใส่สปอร์ไมคอร์ไรซา ลงไปบริเวณรากอ่อนของข้าวโพด เพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช จนข้าวโพดอายุครบ 4 และ 6 สัปดาห์

6. การเก็บผลการทดลอง

6.1 การเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวโพด

นำต้นข้าวโพดที่อายุ 4 และ 6 สัปดาห์ มาเก็บข้อมูล ได้แก่ จำนวนราก จำนวนใบ ความยาวราก ความยาวใบ ความยาวลำต้น ความเขียวใบ นำส่วนต่างๆ ของต้นข้าวโพดซึ่งน้ำหนักบันทึกน้ำหนักสดราก น้ำหนักสดลำต้น น้ำหนักสดใบ หลังจากนั้นอบแห้งชิ้นส่วนพืชในเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักแห้งคงที่ บันทึกน้ำหนักแห้งราก น้ำหนักแห้งลำต้น และน้ำหนักแห้งนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม STAR 2.0.1 (IRRI) โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยที่ค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ ของปัจจัยสังกะสีและไมคอร์ไรซาที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

6.2 การเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาที่รากอ่อนของต้นข้าวโพดในอาหารที่มีความเข้มข้นของสังกะสีที่ต่างกัน เมื่อเพาะเลี้ยงครบ 4 และ 6 สัปดาห์

6.2.1 การย้อมสีสปอร์เชื้อราไมคอร์ไรซา

นำรากข้าวโพดมาต้มในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 10 % (W/V) ที่ เป็นเวลา 3-4 นาทีหรือจนกว่ารากข้าวโพดจะนิ่ม จากนั้นล้างทำความสะอาดสารละลายกรดที่บริเวณรากข้าวโพดในน้ำไหล แช่วรากข้าวโพดที่ได้ในสีย้อม trypan blue ความเข้มข้น 0.05 M เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา ชับสีย้อมออกจากบริเวณรากตากรากข้าวโพดให้แห้ง สุ่มตัดรากข้าวโพดเป็นชิ้นส่วนย่อยและนำมาวางบนสไลด์ 10 แถว ความยาวเท่ากันแถวละ 10 เซนติเมตร ปิดชิ้นส่วนรากด้วยกระจกปิดสไลด์

6.2.2 การเก็บข้อมูล

นำรากข้าวโพดที่เตรียมในข้อ 6.2.1 มาตรวจการเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซา ภายใต้กล้องสเตรียอไมโครสโคป โดยบนสไลด์กระจกจะมีจำนวนช่องย่อยทั้งหมด 60 ช่องย่อย นับจำนวนช่องที่พบสปอร์ของเชื้อราไมคอร์ไรซา และคำนวณเปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซา ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซา} = \frac{\text{จำนวนช่องทั้งหมดที่พบไมคอร์ไรซา}}{\text{จำนวนช่องทั้งหมด (60)}}$$

สถานที่และระยะเวลาการทำวิจัย

1. สถานที่การทำวิจัย

ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อการปรับปรุงพันธุ์พืช ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรกลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน

2. ระยะเวลาการทำวิจัย

เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2565 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2566

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการทดลองเพื่อศึกษาความเข้มข้นของสังกะสีในระดับที่ต่างกันและเชื้อราไมคอร์ไรซาว่าส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดอย่างไรเป็นระยะเวลา 4 และ 6 สัปดาห์ ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลของความเข้มข้นของสังกะสีระดับต่าง ๆ ร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด

1.1 การเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวโพดที่ 4 สัปดาห์ หลังจากการรอก

จำนวนราก ปัจจัยที่ทำการศึกษทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยจำนวนราก แต่พบว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซามีผลให้ค่าเฉลี่ยจำนวนรากสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา และการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีค่าเฉลี่ยจำนวนราก เท่ากับ 8.62 และ 7.88 ราก ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

จำนวนใบ ปัจจัยที่ทำการศึกษทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยจำนวนใบ แต่พบว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีผลให้ค่าเฉลี่ยจำนวนใบสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา และการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบ เท่ากับ 6.06 และ 5.75 ตามลำดับ และการเติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0.22 มีผลให้ค่าเฉลี่ยจำนวนใบสูงกว่าการเติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0 และ 0.03 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0.22 0 และ 0.03 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยจำนวนใบเท่ากับ 6.12 5.62 และ 5.75 ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ความสูงลำต้น ปัจจัยที่ทำการศึกษทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยความสูงลำต้น แต่พบว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีผลให้ค่าเฉลี่ยความสูงลำต้นสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา และการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีค่าเฉลี่ยความสูงลำต้น เท่ากับ 11.11 และ

9.60 เซนติเมตร ตามลำดับ และการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในอาหารที่เติมสังกะสีระดับความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยความยาวรากสูงที่สุดคือ 11.75 เซนติเมตร (ตารางที่ 4)

ความยาวใบ ปัจจัยที่ทำการศึกษทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยความยาวใบ และการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซารวมถึงการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดในสูตรอาหารที่มีการเติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความยาวใบ (ตารางที่ 4)

น้ำหนักสดราก ปัจจัยที่ทำการศึกษทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดราก แต่พบว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา และการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดราก เท่ากับ 1.35 และ 1.20 กรัม ตามลำดับ และในอาหารที่มีการเติมความเข้มข้นสังกะสีที่ 0.22 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากสูงกว่าการเติมสังกะสีที่ความเข้มข้น 0 0.03 และ 0.4 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0.22 0 0.03 และ 0.4 กรัมต่อลิตรมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากเท่ากับ 1.50 1.12 1.32 และ 1.16 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

น้ำหนักสดลำต้น ปัจจัยที่ทำการศึกษทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยความน้ำหนักสดลำต้น การเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้น แต่ในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงที่เติมความเข้มข้นสังกะสีที่ 0.22 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นสูงกว่าในอาหารเพาะเลี้ยงที่มีการเติมสังกะสีความเข้มข้น 0 และ 0.03 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในอาหารเพาะเลี้ยงที่มีการเติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0.22 0 และ 0.03 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นเท่ากับ 0.9375 0.6312 และ 0.8387 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

น้ำหนักสดใบ ปัจจัยที่ทำการศึกษทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดใบ การเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดใบ แต่ในสูตรอาหารที่มีการเติมความเข้มข้นสังกะสีที่ 0.22 กรัมต่อลิตร มีผลต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งสูงกว่าในอาหารเพาะเลี้ยงที่มีการเติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0 และ 0.4 กรัมต่อลิตร อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ โดยในอาหารเพาะเลี้ยงที่มีการเติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0.22 0 และ 0.04 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดใบคือ 1.71 1.08 และ 1.38 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

น้ำหนักแห้งราก ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยความน้ำหนักแห้งราก แต่พบว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา และการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูก เชื้อราไมคอร์ไรซา มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งราก เท่ากับ 0.059 และ 0.044 กรัม ตามลำดับ และในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงที่มีการเติมสังกะสีความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงกว่าสูตรอาหารเพาะเลี้ยงที่มีการเติมสังกะสีความเข้มข้น 0 และ 0.03 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสูตรอาหารเพาะเลี้ยงที่มีการเติมสังกะสีความเข้มข้น 0.22 0 และ 0.03 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากเท่ากับ 0.0470 0.0479 และ 0.0583 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

น้ำหนักแห้งลำต้น ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้น การเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา รวมถึงการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงที่มีการเติมสังกะสีความเข้มข้นที่ระดับต่าง ๆ ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้น (ตารางที่ 6)

น้ำหนักแห้งใบ ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งใบ การเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งใบ สูตรอาหารเพาะเลี้ยงที่มีการเติมสังกะสีความเข้มข้น 0.03 0.22 และ 0.4 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งใบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งใบเท่ากับ 0.1575 0.1723 และ 0.1554 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

ความเขียวใบ ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยมีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยความเขียวใบ การเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในสูตรอาหารที่เติมความเข้มข้นสังกะสีที่ 0.22 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยความเขียวใบสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในสูตรอาหารที่เติมความเข้มข้นสังกะสีที่ 0.4 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในสูตร

อาหารที่เติมความเข้มข้นสังกะสีที่ 0.22 และ 0.4 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยความเขียวใบเท่ากับ 20.55 และ 16.73 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

ความยาวราก ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยมีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยความเขียวใบ การเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในสูตรอาหารที่เติมความเข้มข้นสังกะสีที่ 0.22 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยความยาวรากสูงสุดเท่ากับ 38.50 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในสูตรอาหารที่เติมความเข้มข้นสังกะสีที่ 0.22 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยความยาวรากเท่ากับ 30.00 เซนติเมตร (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 1 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยจำนวนรากและค่าเฉลี่ยจำนวนใบของข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์ หลังออก

Treatments	Number of roots	Number of leaves
Zn ⁰ (-AMF)	8.00	5.50
Zn ⁺ (-AMF)	7.50	5.25
Zn ⁺⁺ (-AMF)	8.00	6.00
Zn ⁺⁺⁺ (-AMF)	8.00	6.25
Zn ⁰ (+AMF)	8.00	6.00
Zn ⁺ (+AMF)	9.50	6.00
Zn ⁺⁺ (+AMF)	8.25	6.25
Zn ⁺⁺⁺ (+AMF)	8.25	6.00
Factor : AMF		
-AMF	7.88b	5.75b
+AMF	8.62a	6.06a
Factor : Zinc levels		
0.00 g/l	8.00	5.75ab
0.03 g/l	8.50	5.62b
0.22 g/l	8.13	6.12a
0.4 g/l	8.38	6.12a
AMF	**	**
Zinc levels	NS	**
AMF x Zinc levels	NS	NS
C.V. (%)	10.35	6.23

Zn⁰ : 0 กรัมต่อลิตร Zn⁺ : 0.03 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺ : 0.22 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺⁺ : 0.4 กรัมต่อลิตร

-AMF : ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา +AMF : มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา

NS = ไม่แตกต่างทางสถิติ; ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.01$ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยที่ค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ ของปัจจัยสังกะสีและไมคอร์ไรซาที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 2 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยความยาวลำต้นและค่าเฉลี่ยความยาวใบของข้าวโพด
อายุ 4 สัปดาห์ หลังออก

Treatments	Mean of root length (cm)	Mean of leaf length (cm)
Zn ⁰ (-AMF)	10.00	31.13
Zn ⁺ (-AMF)	9.55	32.70
Zn ⁺⁺ (-AMF)	9.72	32.10
Zn ⁺⁺⁺ (-AMF)	9.12	27.58
Zn ⁰ (+AMF)	10.38	31.75
Zn ⁺ (+AMF)	10.93	33.00
Zn ⁺⁺ (+AMF)	11.75	34.05
Zn ⁺⁺⁺ (+AMF)	11.38	31.83
Factor : AMF		
-AMF	9.60b	30.88
+AMF	11.11a	32.70
Factor : Zinc levels		
0.00 g/l	10.19	31.44
0.03 g/l	10.24	32.85
0.22 g/l	10.74	33.08
0.4 g/l	10.25	29.71
AMF	**	NS
Zinc levels	NS	NS
AMF x Zinc levels	NS	NS
C.V. (%)	10.77	8.79

Zn⁰ : 0 กรัมต่อลิตร Zn⁺ : 0.03 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺ : 0.22 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺⁺ : 0.4 กรัมต่อลิตร

-AMF : ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา +AMF : มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา

NS = ไม่แตกต่างทางสถิติ; ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.01$ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยที่ค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ ของปัจจัยสังกะสีและไมคอร์ไรซาที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 3 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดราก ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นและค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดใบของข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์ หลังออก

Treatments	Mean of root fresh weight (g)	Mean of stalk fresh weight (g)	Mean of leaves fresh weight (g)
Zn ⁰ (-AMF)	1.09	0.6325	0.92
Zn ⁺ (-AMF)	1.15	0.7200	1.52
Zn ⁺⁺ (-AMF)	1.41	0.9025	1.53
Zn ⁺⁺⁺ (-AMF)	1.14	0.8275	1.37
Zn ⁰ (+AMF)	1.15	0.6300	1.24
Zn ⁺ (+AMF)	1.50	0.7750	1.59
Zn ⁺⁺ (+AMF)	1.58	0.9725	1.89
Zn ⁺⁺⁺ (+AMF)	1.19	0.8500	1.39
Factor : AMF			
-AMF	1.20b	0.7706	1.335
+AMF	1.35a	0.8069	1.5275
Factor : Zinc levels			
0.00 g/l	1.12c	0.6312c	1.08c
0.03 g/l	1.32b	0.7475b	1.55ab
0.22 g/l	1.50a	0.9375a	1.71a
0.4 g/l	1.16c	0.8387ab	1.38bc
AMF	**	NS	NS
Zinc levels	**	**	**
AMF x Zinc levels	NS	NS	NS
C.V. (%)	10.83	12.57	21.56

Zn⁰ : 0 กรัมต่อลิตร Zn⁺ : 0.03 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺ : 0.22 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺⁺ : 0.4 กรัมต่อลิตร

-AMF : ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา +AMF : มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา

NS = ไม่แตกต่างทางสถิติ; ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.01$ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยที่ค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ ของปัจจัยสังกะสีและไมคอร์ไรซาที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 4 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งราก ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและ
ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งใบของข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์ หลังออก

Treatments	Mean of root dry weight (g)	Mean of stalk dry weight (g)	Mean of leaves dry weight (g)
Zn ⁰ (-AMF)	0.0438	0.0371	0.1383
Zn ⁺ (-AMF)	0.0387	0.0408	0.1529
Zn ⁺⁺ (-AMF)	0.0493	0.0432	0.1650
Zn ⁺⁺⁺ (-AMF)	0.0460	0.0387	0.1528
Zn ⁰ (+AMF)	0.0502	0.0394	0.1427
Zn ⁺ (+AMF)	0.0571	0.0450	0.1621
Zn ⁺⁺ (+AMF)	0.0673	0.0420	0.1796
Zn ⁺⁺⁺ (+AMF)	0.0616	0.0394	0.1581
Factor : AMF			
-AMF	0.0444b	0.0399	0.1523
+AMF	0.0590a	0.0414	0.1606
Factor : Zinc levels			
0.00 g/l	0.0470b	0.0383	0.1405b
0.03 g/l	0.0479b	0.0429	0.1575ab
0.22 g/l	0.0583a	0.0426	0.1723a
0.4 g/l	0.0538ab	0.0390	0.1554ab
AMF	**	NS	NS
Zinc levels	**	NS	**
AMF x Zinc levels	NS	NS	NS
C.V. (%)	15.61	17.56	12.68

Zn⁰ : 0 กรัมต่อลิตร Zn⁺ : 0.03 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺ : 0.22 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺⁺ : 0.4 กรัมต่อลิตร

-AMF : ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา +AMF : มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา

NS = ไม่แตกต่างทางสถิติ; ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.01$ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยที่ค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ ของปัจจัยสังกะสีและไมคอร์ไรซาที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 5 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งราก ค่าเฉลี่ยความเขียวใบของข้าวโพด อายุ 4 สัปดาห์ หลังออก

Treatments		SPAD
Zn ⁰ (-AMF)		16.68b
Zn ⁺ (-AMF)		19.42ab
Zn ⁺⁺ (-AMF)		20.10ab
Zn ⁺⁺⁺ (-AMF)		16.68b
Zn ⁰ (+AMF)		18.48ab
Zn ⁺ (+AMF)		19.75ab
Zn ⁺⁺ (+AMF)		20.55a
Zn ⁺⁺⁺ (+AMF)		16.73b
Factor : AMF		
Factor : Zinc levels	-AMF	+AMF
0.00 g/l	16.68b	18.48ab
0.03 g/l	19.42ab	19.75ab
0.22 g/l	20.10ab	20.55a
0.4 g/l	16.68b	16.73b
AMF		NS
Zinc levels		**
AMF x Zinc levels		**
C.V. (%)		8.22

Zn⁰ : 0 กรัมต่อลิตร Zn⁺ : 0.03 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺ : 0.22 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺⁺ : 0.4 กรัมต่อลิตร

-AMF : ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา +AMF : มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา

NS = ไม่แตกต่างทางสถิติ; ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.01$ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยที่ค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ ของปัจจัยสังกะสีและไมคอร์ไรซาที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 6 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยความยาวรากของข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์ หลังออก

Treatments		Mean of root length (cm)
Zn ⁰ (-AMF)		23.15b
Zn ⁺ (-AMF)		25.45b
Zn ⁺⁺ (-AMF)		30.00ab
Zn ⁺⁺⁺ (-AMF)		28.75ab
Zn ⁰ (+AMF)		29.00ab
Zn ⁺ (+AMF)		38.00a
Zn ⁺⁺ (+AMF)		38.50a
Zn ⁺⁺⁺ (+AMF)		28.75ab
Factor : AMF		
Factor : Zinc levels	-AMF	+AMF
0.00 g/l	23.15b	29.00ab
0.03 g/l	25.45b	38.00a
0.22 g/l	30.00ab	38.50a
0.4 g/l	28.75ab	28.75ab
AMF		**
Zinc levels		**
AMF x Zinc levels		**
C.V. (%)		14.42

Zn⁰ : 0 กรัมต่อลิตร Zn⁺ : 0.03 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺ : 0.22 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺⁺ : 0.4 กรัมต่อลิตร

-AMF : ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา +AMF : มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา

NS = ไม่แตกต่างทางสถิติ; ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.01$ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยที่ค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ ของปัจจัยสังกะสีและไมคอร์ไรซาที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

1.2 การเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวโพดที่ 6 สัปดาห์ หลังออก

จำนวนราก ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยจำนวนราก พบว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยจำนวนราก และการเติมสังกะสีความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยจำนวนรากสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในอาหารที่เติมสังกะสีความเข้มข้น 0 และ 0.03 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเติมสังกะสีความเข้มข้น 0.22 และ 0.03 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยจำนวนรากเท่ากับ 11.00, 9.25 และ 9.75 ราก ตามลำดับ ตารางที่ 9)

จำนวนใบ ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยจำนวนใบ การเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยจำนวนใบ ส่วนการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาที่เติมสังกะสีความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตร ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยจำนวนใบสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในสูตรอาหารที่เติมสังกะสีความเข้มข้น 0 และ 0.03 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนใบเท่ากับ 7.12 และ 7.50 ใบ ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ความเขียวใบ ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยความเขียวใบ แต่พบว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีผลให้ค่าเฉลี่ยความเขียวใบสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา และการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีค่าเฉลี่ยความเขียวใบ เท่ากับ 18.98 และ 17.45 ตามลำดับ และการเติมสังกะสีความเข้มข้นในอาหารที่ 0.22 กรัมต่อลิตร ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความเขียวใบสูงกว่าการเติมสังกะสีที่ความเข้มข้น 0 และ 0.03 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเติมสังกะสีความเข้มข้นในอาหารที่ 0.22 0 และ 0.03 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยความเขียวใบ เท่ากับ 19.61 16.64 และ 17.85 ตามลำดับ (ตารางที่ 9)

ความยาวราก ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยความยาวราก แต่พบว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีผลให้ค่าเฉลี่ยความยาวรากสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา และการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับ

การปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีค่าเฉลี่ยความยาวราก เท่ากับ 33.32 และ 27.59 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนการเติมสังกะสีที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ ไม่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความยาวราก (ตารางที่ 10)

ความยาวลำต้น ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยความยาวลำต้น แต่พบว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีผลให้ค่าเฉลี่ยความยาวลำต้นสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา และการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีค่าเฉลี่ยความยาวราก เท่ากับ 11.49 และ 10.31 เซนติเมตร ตามลำดับ และการเติมสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.03 0.22 และ 0.4 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยความยาวลำต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยความยาวลำต้นเท่ากับ 11.14 11.05 และ 11.46 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

ความยาวใบ ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยความยาวใบ การเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา รวมถึงการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงที่มีการเติมสังกะสีความเข้มข้นที่ระดับต่าง ๆ ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความยาวใบ (ตารางที่ 10) น้ำหนักสดลำต้น ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้น แต่พบว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา และการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นเท่ากับ 1.04 และ 0.92 กรัม ตามลำดับ และการเติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0.03 0.22 และ 0.4 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นเท่ากับ 0.97 1.06 และ 1.03 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้น ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้น แต่พบว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีผลต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดรวมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา และการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นเท่ากับ 0.0449 และ 0.0377 กรัม ตามลำดับ และการเติมสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตร มีผลต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นสูงกว่าการเติมสังกะสีที่ความเข้มข้น 0 และ 0.03 กรัมต่อลิตร อย่าง

มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเติมสังกะสีที่ความเข้มข้น 0.22 0 และ 0.03 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นเท่ากับ 0.0477, 0.0343 และ 0.0385 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

น้ำหนักแห้งใบ ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยไม่มีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งใบ แต่พบว่าเพาเลียงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งใบสูงกว่าการเพาเลียงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพาเลียงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา และการเพาเลียงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา มีค่าเฉลี่ยความยาวราก เท่ากับ 0.1939 และ 0.1748 กรัม และการเติมสังกะสีในอาหารเพาเลียงข้าวโพดที่ระดับความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้นสูงกว่าการเติมสังกะสีในอาหารเพาเลียงข้าวโพดที่ระดับความเข้มข้น 0 0.03 และ 0.4 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0.22 0 0.03 และ 0.4 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งใบเท่ากับ 0.2150 0.1571 0.1807 และ 0.1756 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 11)

น้ำหนักสดราก ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยมีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดราก พบว่าการเพาเลียงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในสูตรอาหารที่เติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากสูงกว่าการเพาเลียงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในอาหารที่เติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0 0.03 และ 0.4 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพาเลียงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในสูตรอาหารที่เติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0.22 0 0.03 และ 0.4 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากเท่ากับ 1.33 1.5 และ 1.6 กรัม ตามลำดับ และการเพาเลียงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในสูตรอาหารที่เติมสังกะสีความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากสูงกว่าการเพาเลียงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในอาหารที่เติมสังกะสีความเข้มข้น 0 และ 0.03 กรัมต่อลิตร โดยการเพาเลียงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในสูตรอาหารที่เติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0.22 0 และ 0.03 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากเท่ากับ 1.70 1.36 และ 1.53 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 12)

น้ำหนักสดใบ ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยมีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดใบ พบว่าการเพาเลียงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในสูตรอาหารที่เติมสังกะสีระดับความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดใบสูงกว่าการเพาเลียงต้นอ่อนข้าวโพดที่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในอาหารที่เติมสังกะสีความเข้มข้น 0 0.03 และ 0.4 กรัม

ต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในอาหารที่เติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0.22 0 0.03 และ 0.4 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากเท่ากับ 2.11 1.58 1.85 และ 1.81 กรัม ตามลำดับ และการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในสูตรอาหารที่เติมสังกะสีระดับความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดใบสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในสูตรอาหารที่เติมสังกะสีระดับความเข้มข้น 0 และ 0.03 กรัมต่อลิตร โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในสูตรอาหารที่เติมสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0.22 0 และ 0.03 มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากเท่ากับ 1.88 1.66 และ 1.59 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 13)

น้ำหนักแห้งราก ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งสองปัจจัยมีปฏิสัมพันธ์กันต่อค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งราก พบว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาที่เติมสังกะสีระดับความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในอาหารที่เติมสังกะสีความเข้มข้น 0 0.03 และ 0.4 กรัมต่อลิตร โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดร่วมกับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาที่เติมสังกะสีระดับความเข้มข้น 0.22 0 0.03 และ 0.4 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากเท่ากับ 0.1913 0.1128 0.1380 และ 0.1432 กรัม ตามลำดับ และการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในอาหารที่เติมสังกะสีระดับความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตร มีผลให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งสูงกว่าการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในอาหารที่เติมสังกะสีระดับความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร โดยการเพาะเลี้ยงต้นอ่อนข้าวโพดที่ไม่ได้รับการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซาในสูตรอาหารที่เติมสังกะสีระดับความเข้มข้น 0.22 และ 0.4 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากเท่ากับ 1.1268 และ 0.0941 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 7 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยจำนวนราก ค่าเฉลี่ยจำนวนใบและค่าเฉลี่ยความเขียว
ใบของข้าวโพด อายุ 6 สัปดาห์ หลังออก

Treatments	Number of roots	Number of leaves	SPAD
Zn ⁰ (-AMF)	9.75	7	15.35
Zn ⁺ (-AMF)	9.25	7.25	17.43
Zn ⁺⁺ (-AMF)	10.75	8.25	18.9
Zn ⁺⁺⁺ (-AMF)	11.5	7.5	18.12
Zn ⁰ (+AMF)	8.75	7.25	17.93
Zn ⁺ (+AMF)	10.25	7.75	18.27
Zn ⁺⁺ (+AMF)	11.25	8.25	20.32
Zn ⁺⁺⁺ (+AMF)	11.5	8.25	19.40
Factor : AMF			
-AMF	8.06	7.5	17.45b
+AMF	10.44	7.88	18.98a
Factor : Zinc levels			
0.00 g/l	9.25b	7.12c	16.64c
0.03 g/l	9.75b	7.50bc	17.85b
0.22 g/l	11.00a	8.25a	19.61a
0.4 g/l	11.00a	7.88ab	18.76ab
AMF	NS	NS	**
Zinc levels	**	**	**
AMF x Zinc levels	NS	NS	NS
C.V. (%)	10.13	7.69	5.20

Zn⁰ : 0 กรัมต่อลิตร Zn⁺ : 0.03 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺ : 0.22 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺⁺ : 0.4 กรัมต่อลิตร

-AMF : ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา +AMF : มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา

NS = ไม่แตกต่างทางสถิติ; ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.01$ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยที่ค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ ของปัจจัยสังกะสีและไมคอร์ไรซาที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 8 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยความยาวราก ค่าเฉลี่ยความยาวลำต้นและค่าเฉลี่ยความยาวใบของข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์ หลังออก

Treatments	Mean of root length (cm)	Mean of stalk length (cm)	Mean of leaf length (cm)
Zn ⁰ (-AMF)	29	9.4	26.45
Zn ⁺ (-AMF)	29.88	10.6	29.975
Zn ⁺⁺ (-AMF)	27.48	10.18	30.125
Zn ⁺⁺⁺ (-AMF)	24.02	11.05	27.975
Zn ⁰ (+AMF)	31.1	10.47	28.1
Zn ⁺ (+AMF)	33.8	11.68	30
Zn ⁺⁺ (+AMF)	34.7	11.93	32.175
Zn ⁺⁺⁺ (+AMF)	33.675	11.88	31.3
Factor : AMF			
-AMF	27.59b	10.31b	28.63
+AMF	33.32a	11.49a	30.39
Factor : Zinc levels			
0.00 g/l	30.05	9.94b	27.28
0.03 g/l	31.84	11.14a	29.98
0.22 g/l	31.09	11.05a	31.15
0.4 g/l	28.85	11.46a	29.6375
AMF	**	**	NS
Zinc levels	NS	**	NS
AMF x Zinc levels	NS	NS	NS
C.V. (%)	12.93	9.74	9.48

Zn⁰ : 0 กรัมต่อลิตร Zn⁺ : 0.03 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺ : 0.22 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺⁺ : 0.4 กรัมต่อลิตร

-AMF : ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา +AMF : มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา

NS = ไม่แตกต่างทางสถิติ; ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.01$ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยที่ค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ ของปัจจัยสังกะสีและไมคอร์ไรซาที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 9 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดลำต้น ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งลำต้นและ
ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งใบของข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์ หลังออก

Treatments	Mean of stalk fresh weight (g)	Mean of stalk dry weight (g)	Mean of leaf dry weight (g)
Zn ⁰ (-AMF)	0.76	0.0343	0.1420
Zn ⁺ (-AMF)	0.92	0.0377	0.1809
Zn ⁺⁺ (-AMF)	1.00	0.0396	0.2015
Zn ⁺⁺⁺ (-AMF)	0.97	0.0392	0.1748
Zn ⁰ (+AMF)	0.95	0.0344	0.1723
Zn ⁺ (+AMF)	1.03	0.0392	0.1985
Zn ⁺⁺ (+AMF)	1.11	0.0558	0.2285
Zn ⁺⁺⁺ (+AMF)	1.08	0.0501	0.1764
Factor : AMF			
-AMF	0.92b	0.0377b	0.1748b
+AMF	1.04a	0.0449a	0.1939a
Factor : Zinc levels			
0.00 g/l	0.85b	0.0343c	0.1571c
0.03 g/l	0.97ab	0.0385bc	0.1807b
0.22 g/l	1.06a	0.0477a	0.2150a
0.4 g/l	1.03a	0.0447ab	0.1756bc
AMF	**	**	**
Zinc levels	**	**	**
AMF x Zinc levels	NS	NS	NS
C.V. (%)	11.90	15.24	10.90

Zn⁰ : 0 กรัมต่อลิตร Zn⁺ : 0.03 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺ : 0.22 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺⁺ : 0.4 กรัมต่อลิตร

-AMF : ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา +AMF : มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา

NS = ไม่แตกต่างทางสถิติ; ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.01$ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยที่ค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ ของปัจจัยสังกะสีและไมคอร์ไรซาที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 10 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดรากของข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์ หลังออก

Treatments	Mean of root fresh weight (g)	
Zn ⁰ (-AMF)	1.36c	
Zn ⁺ (-AMF)	1.53b	
Zn ⁺⁺ (-AMF)	1.70a	
Zn ⁺⁺⁺ (-AMF)	1.58ab	
Zn ⁰ (+AMF)	1.33c	
Zn ⁺ (+AMF)	1.5b	
Zn ⁺⁺ (+AMF)	2.06a	
Zn ⁺⁺⁺ (+AMF)	1.6b	
Factor : AMF		
Factor : Zinc levels	-AMF	+AMF
0.00 g/l	1.36c	1.33c
0.03 g/l	1.53b	1.5b
0.22 g/l	1.70a	2.06a
0.4 g/l	1.58ab	1.6b
AMF	**	
Zinc levels	**	
AMF x Zinc levels	**	
C.V. (%)	6.20	

Zn⁰ : 0 กรัมต่อลิตร Zn⁺ : 0.03 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺ : 0.22 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺⁺ : 0.4 กรัมต่อลิตร

-AMF : ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา +AMF : มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา

NS = ไม่แตกต่างทางสถิติ; ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.01$ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยที่ค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ ของปัจจัยสังกะสีและไมคอร์ไรซาที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 11 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดใบของข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์ หลังออก

Treatments	Mean of leaf fresh weight (g)	
Zn ⁰ (-AMF)	1.66b	
Zn ⁺ (-AMF)	1.59b	
Zn ⁺⁺ (-AMF)	1.88a	
Zn ⁺⁺⁺ (-AMF)	1.67b	
Zn ⁰ (+AMF)	1.58c	
Zn ⁺ (+AMF)	1.85b	
Zn ⁺⁺ (+AMF)	2.11a	
Zn ⁺⁺⁺ (+AMF)	1.81b	
Factor : AMF		
Factor : Zinc levels	-AMF	+AMF
0.00 g/l	1.66b	1.58c
0.03 g/l	1.59b	1.85b
0.22 g/l	1.88a	2.11a
0.4 g/l	1.67b	1.81b
AMF	**	
Zinc levels	**	
AMF x Zinc levels	**	
C.V. (%)	5.40	

Zn⁰ : 0 กรัมต่อลิตร Zn⁺ : 0.03 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺ : 0.22 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺⁺ : 0.4 กรัมต่อลิตร

-AMF : ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา +AMF : มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา

NS = ไม่แตกต่างทางสถิติ; ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.01$ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยที่ค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ ของปัจจัยสังกะสีและไมคอร์ไรซาที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 12 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งรากของข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์ หลังออก

Treatments	Mean of root dry weight (g)	
Zn ⁰ (-AMF)	0.1076ab	
Zn ⁺ (-AMF)	0.1066ab	
Zn ⁺⁺ (-AMF)	0.1268a	
Zn ⁺⁺⁺ (-AMF)	0.0941b	
Zn ⁰ (+AMF)	0.1128c	
Zn ⁺ (+AMF)	0.1380b	
Zn ⁺⁺ (+AMF)	0.1913a	
Zn ⁺⁺⁺ (+AMF)	0.1432b	
Factor : AMF		
Factor : Zinc levels	-AMF	+AMF
0.00 g/l	0.1076ab	0.1128c
0.03 g/l	0.1066ab	0.1380b
0.22 g/l	0.1268a	0.1913a
0.4 g/l	0.0941b	0.1432b
AMF	**	
Zinc levels	**	
AMF x Zinc levels	**	
C.V. (%)	11.07	

Zn⁰ : 0 กรัมต่อลิตร Zn⁺ : 0.03 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺ : 0.22 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺⁺ : 0.4 กรัมต่อลิตร

-AMF : ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา +AMF : มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา

NS = ไม่แตกต่างทางสถิติ; ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.01$ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยที่ค่าเฉลี่ยลักษณะต่าง ๆ ของปัจจัยสังกะสีและไมคอร์ไรซาที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

2. ศึกษาเปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาที่รากอ่อนของข้าวโพดในอาหารที่มีความเข้มข้นของสังกะสีที่ต่างกัน

2.1 การเจริญของไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์ หลังออก

ความเข้มข้นของสังกะสีที่ระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร Hoagland ไม่มีผลให้เปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่พบว่าเปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Hoagland ที่เติมสังกะสีความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตร มีแนวโน้มให้ค่าเปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาสูงที่สุดเท่ากับ 87.08% (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 13 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติการเจริญของไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์ หลังออก

Treatment	% AMF
Zn ⁰ M	80.83
Zn ⁺ M	77.50
Zn ⁺⁺ M	87.08
Zn ⁺⁺⁺ M	84.58
C.V. (%)	6.89%
F-Test	NS

Zn⁰ : 0 กรัมต่อลิตร Zn⁺ : 0.03 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺ : 0.22 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺⁺ : 0.4 กรัมต่อลิตร

-AMF : ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา +AMF : มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา

เปรียบเทียบอิทธิพลของปัจจัยโดยใช้วิธี Factorial Designs

** แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 % **

NS : ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

2.2 แนวโน้มการเจริญของไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์ หลังออก

ความเข้มข้นของสังกะสีที่ระดับต่าง ๆ ในสูตรอาหาร Hoagland มีผลให้เปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าเปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Hoagland ที่เติมสังกะสีความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตร ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาสูงที่สุดเท่ากับ 90.83% ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Hoagland ที่ไม่เติมความเข้มข้นของสังกะสี (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 14 สรุปผลวิเคราะห์ทางสถิติการเจริญของไมคอร์ไรซาในรากข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์ หลังออก

Treatment	% AMF
Zn ⁰ M	76.67b
Zn ⁺ M	85.83a
Zn ⁺⁺ M	90.83a
Zn ⁺⁺⁺ M	86.25a
C.V. (%)	3.88%
F-Test	NS

Zn⁰ : 0 กรัมต่อลิตร Zn⁺ : 0.03 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺ : 0.22 กรัมต่อลิตร Zn⁺⁺⁺ : 0.4 กรัมต่อลิตร

-AMF : ไม่มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา +AMF : มีการปลูกเชื้อราไมคอร์ไรซา

เปรียบเทียบอิทธิพลของปัจจัยโดยใช้วิธี Factorial Designs

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 % **

NS : ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

วิจารณ์ผลการทดลอง

ค่าเฉลี่ยความยาวรากในต้นอ่อนข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์ที่มีการเจริญของไมคอร์ไรซาร่วมอยู่ด้วยในอาหารที่มีการเติมสังกะสีความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตรนั้นจะมีค่าเฉลี่ยความยาวรากสูงสุดเท่ากับ 38.50 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยความยาวรากในต้นอ่อนข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์ที่มีการเจริญของไมคอร์ไรซาร่วมอยู่ด้วยจะมีค่าเฉลี่ยความยาวรากเท่ากับ 33.32 เซนติเมตร สูงกว่าค่าเฉลี่ยความยาวรากในต้นอ่อนข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์ที่ไม่มีการเจริญของไมคอร์ไรซาร่วมอยู่ด้วย การเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาจะส่งผลที่ดีต่อการเจริญของราก ในดินที่มีธาตุฟอสฟอรัสต่ำซึ่งเป็นข้อจำกัดในการเจริญของราก ต้นพืชที่มีไมคอร์ไรซาจะพัฒนาการหาธาตุฟอสฟอรัสได้ดี ทำให้การเจริญของรากพืชดีขึ้น (Subramanian *et al.*, 2009) ปฏิสัมพันธ์ที่เสริมสร้างกันระหว่างธาตุสังกะสีและฟอสฟอรัสนั้นมีผลต่อการเจริญของราก (Subramanian *et al.*, 2009) จากการทดลองของ Subramanian *et al.*, (2009) พบว่าต้นข้าวโพดที่มีการเจริญของไมคอร์ไรซามีผลให้ค่าความยาวรากทั้งด้านลึกและด้านกว้างจะสูงกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากต้นข้าวโพดที่ไม่มีการเจริญของไมคอร์ไรซา ขณะที่เมื่อระดับความเข้มข้นของสังกะสีเพิ่มสูงขึ้นมีผลให้น้ำหนักรากเพิ่มมากขึ้นทั้งในต้นข้าวโพดที่มีการเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาและไม่มีการเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซา อย่างไรก็ตาม ที่ระดับความเข้มข้นของสังกะสีที่สูงมากเกินไปจะส่งผลกระทบอย่างเห็นได้ชัดเจนในต้นข้าวโพดที่ไม่มีการเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซา

ความเขียวใบในต้นอ่อนข้าวโพดอายุ 4 สัปดาห์ที่มีการเจริญร่วมกับเชื้อราไมคอร์ไรซาในอาหารที่เติมสังกะสีความเข้มข้น 0.22 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยความเขียวใบสูงที่สุดคือ 20.55 และค่าเฉลี่ยความเขียวใบในต้นอ่อนข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์ที่มีการเจริญของไมคอร์ไรซาร่วมอยู่ด้วยจะมีค่าเฉลี่ยความเขียวใบเท่ากับ 18.98 สูงกว่าค่าเฉลี่ยความยาวรากในต้นอ่อนข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์ที่ไม่มีการเจริญของไมคอร์ไรซาร่วมอยู่ด้วย Subramanian, KS, *et al.*, (2009) รายงานว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ของต้นข้าวโพดที่มีการเจริญของไมคอร์ไรซาจะมีค่าสูงกว่าต้นข้าวโพดที่ไม่มีใส่ไมคอร์ไรซาแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์ในต้นพืชที่มีการเจริญของไมคอร์ไรซา สามารถอธิบายได้จากสังกะสีถูกแจกจ่ายนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้นทำให้มีธาตุสังกะสีที่เป็นประโยชน์มากขึ้นในต้นพืช ซึ่งสังกะสีสามารถไปกระตุ้นการพัฒนาของรงควัตถุในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Subramanian *et al.*, 2009)

เปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาสูงที่สุดในสูตรอาหาร Hoagland ที่เติมสังกะสีความเข้มข้นที่ 0.22 กรัมต่อลิตร ในรากข้าวโพดอายุ 6 สัปดาห์ โดยมีเปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซาอยู่ที่ 90.83% แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสังกะสีที่ระดับความเข้มข้น 0 และ 0.03 กรัมต่อลิตร จากการทดลองในดินของ Saboor *et al.*, (2021) การเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์โคโลนีของเชื้อราไมคอร์ไรซาจะเพิ่มจนถึงระดับความเข้มข้นของสังกะสีที่ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการใช้ปริมาณสังกะสีที่มากขึ้นเกินไปจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์โคโลนีของเชื้อราไมคอร์ไรซานั้นลดลง ซึ่งการศึกษาครั้งนี้เปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราไมคอร์ไรซามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับที่รายงานโดย (Saboor *et al.*, 2021)

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2564. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับพืชไร่เศรษฐกิจ.
กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 100 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. ตารางแสดงรายละเอียดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
ปี 2563. (11 พฤศจิกายน 2565). <https://www.oae.go.th>
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565. ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. สถิติการนำเข้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ปี 2565.
(11 พฤศจิกายน 2565). <https://impexpth.oae.go.th/import>
- สมชาย บุญประดับ. 2537. ข้าวโพดไร่ในนาข้าว. กสิกร 67(4) : 350-353
- สมชาย บุญประดับ. 2538. การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้งเพื่อทดแทนนาปรัง. กสิกร.
68(4) : 172-176.
- Alloway, B.J. 2008. Causes of zinc deficiency in crops, pp. 44-46. *In*. **Zinc in soils and crop nutrition**. International Zinc Association and International Fertilizer Industry Association.
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan M.I., Ashraf M., Ahmed N., and Zhang L.
(2019) Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation : Implication in Abiotic Stress Tolerance. *Front. Plant sci.* 10:1068. doi: 10.3389/fpls.2019.01068
- Birhane, E., Sterck, F., Fetene, M., Bongers, F., and Kuyper, T. (2012). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance photosynthesis, water use efficiency, and growth of frankincense seedlings under pulsed water availability conditions. *Oecologia* 169, 895–904. doi: 10.1007/s00442-012-2258-3
- Brown, K.H., and Wuehler, S.E. (2000) Zinc and human health: results of recent trials and implications for program interventions and research. International Development Research Centre, Ottawa, Canada
- Cakmak, I., 2000. Tansley Review No. 111 Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytol.* 146, 185–205.

- Granados, G., C. Kitbamroong., C. Tavarasook., M. Chatasiri., P. Grudloyma., S. Chotichun., and S. Boonpradab. 1994. Winter maize in paddy fields research conducted in Thailand in 1992-1994. A progress Report. 26 p. manganese and iron nutrient concentrations in crops—a meta-analysis. *Soil Biol.*
- Saboore, A., Ali, M.A., Ahmed, N., Skalicky, M., Danish, S., Fahad, S., Hassan, F., Hassan, M.M., Brestic, M., EL Sabagh, A., et al. Biofertilizer-Based Zinc Application Enhances Maize Growth, Gas Exchange Attributes, and Yield in Zinc-Deficient Soil. *Agriculture* 2021, 11,310. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040310>
- Saboore, A., Ali, M.A., Hussain, S., El Enshasy, H.A., Ahmed, N., Gafur, A., Sayyed, R.Z., Fahad, S., Danish, S., Datta, R., 2021. Zinc nutrition and arbuscular mycorrhizal symbiosis effects on maize (*Zea mays* L.) growth and productivity. *J. Bio. Sci.* 28(2021) 6339-6351
- Smith, S.E., Read, D.J., 2008. *Mycorrhizal Symbiosis* Third Edition, Soil Science Society of America Journal.
- Subramaniam, K.S., Tenshia, V., Jayalakshmi, K., Ramachandran, V., 2009. Role of arbuscular mycorrhiza fungus (*Glomus intraradices*) – (fungus aided) in Zinc nutrition of maize. <http://www.academicjournals.org/JABSD>.

ภาคผนวก

1. การเตรียมเมอร์คิวริกคลอไรด์ความเข้มข้น 1% (w/v) เพื่อฟอกฆ่าเชื้อเมล็ดข้าวโพด

- สารเมอร์คิวริกคลอไรด์ (HgCl₂) จำนวน 1 กรัม
- น้ำกรองนิ่งฆ่าเชื้อปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

ผสมผงเมอร์คิวริกคลอไรด์ในน้ำกรองนิ่งฆ่าเชื้อจนเป็นเนื้อเดียวกัน เปิดใช้ในตู้ถ่ายเชื้อทุกครั้ง โดยแช่เมล็ดข้าวโพด จำนวน 5 เมล็ด ต่อ สารละลายเมอร์คิวริกคลอไรด์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. ตารางที่ 15 สูตรอาหาร MS (Murashige and Skoog, 1962)

MS 1962	ปริมาณสาร กรัมต่อลิตร
Stock 1	ความเข้มข้น 20 เท่า ปริมาตร 50 มิลลิลิตร/ลิตร
NH ₄ NO ₃	33 กรัม
KNO ₃	38 กรัม
CaCl ₂ ·2H ₂ O	8.8 กรัม
MgSO ₄ ·7H ₂ O	7.4 กรัม
KH ₂ PO ₄	3.4 กรัม
Stock 2	ความเข้มข้น 100 เท่า ปริมาตร 10 มิลลิลิตร/ลิตร
H ₃ BO ₃	0.62 กรัม
MnSO ₄ ·4H ₂ O	2.23 กรัม
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.86 กรัม
KI	0.083 กรัม
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.025 กรัม
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.0025 กรัม
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.0025 กรัม
Stock 3	ความเข้มข้น 100 เท่า ปริมาตร 10 มิลลิลิตร/ลิตร
Na ₂ -EDTA	3.725 กรัม
FeSO ₄ ·7H ₂ O	2.785 กรัม
Stock 4	ความเข้มข้น 100 เท่า ปริมาตร 10 มิลลิลิตร/ลิตร
Glycine	0.2 กรัม
Nicotinic acid	0.05 กรัม
Pyridoxine-HCl	0.05 กรัม
Thiamine-HCl	0.01 กรัม
Myo-inositol	1 กรัม

3. ตารางที่ 16 สูตรอาหาร Hoagland (Hoagland and Arnon, 1950)

สารละลาย	ปริมาณสาร กรัมต่อลิตร
Stock 1	ความเข้มข้น 20 เท่า ปริมาตร 50 มิลลิลิตร/ลิตร
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.66 กรัม
KNO_3	0.61 กรัม
Stock 2	ความเข้มข้น 100 เท่า ปริมาตร 10 มิลลิลิตร/ลิตร
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.24 กรัม
NH_4NO_3	0.12 กรัม
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.0018 กรัม
H_3BO_3	0.0029 กรัม
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.000016 กรัม
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.00008 กรัม
Stock 3	ความเข้มข้น 100 เท่า ปริมาตร 10 มิลลิลิตร/ลิตร
$\text{Na}_2\text{-EDTA}$	0.0134 กรัม
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.01 กรัม

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายภาณุพันธุ์ บุญสืบสกุล
วัน เดือน ปี เกิด	19 มกราคม 2544
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	ประถมศึกษาโรงเรียนอัสสัมชัญแผนกประถม มัธยมต้น โรงเรียนอัสสัมชัญ มัธยมปลาย โรงเรียนอัสสัมชัญ ปริญญาตรีมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-