ผลของชีวภัณฑ์ B-Veggie และ Fe - EDTA ที่มีต่อปริมาณสารเคอร์คิวมินในขมิ้นชัน

รัตนาพร คำแอด

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

ผลของชีวภัณฑ์ B-Veggie และ Fe - EDTA ที่มีต่อปริมาณสารเคอร์คิวมินในขมิ้นชัน

รัตนาพร คำแอด

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง " ผลของชีวภัณฑ์ B-Veggie และ Fe - EDTA ที่มีต่อปริมาณสารเคอร์คิวมินในขมิ้นชัน"

ของ รัตนาพร คำแอด

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

---------- ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู)

---------- ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภา หอมหวล)

---------- กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิกา อินต๊ะนนท์)

อนุมัติ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง ผลของชีวภัณฑ์ B-Veggie และ Fe - EDTA ที่มีต่อปริมาณสารเคอร์คิวมินในขมิ้นชัน

ผู้วิจัย รัตนาพร คำแอด

ประธานที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภา หอมหวล

ประเภทสารนิพนธ์ วิทยานิพนธ์ วท.ม. วิทยาศาสตร์การเกษตร, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2565

คำสำคัญ ปุ๋ย ขมิ้นชัน Fe-EDTA

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้สารชีวภัณฑ์ *Bacillus subtilis* (B-Veggie) ร่วมกับการจัดการปุ๋ยเคมี และ Fe-EDTA ต่อการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และปริมาณเคอร์คูมินในขมิ้นชัน โดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) จำนวน 16 ทรีตเมนต์ การทดลอง 4 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่า ขมิ้นชันที่แช่ท่อนพันธุ์ด้วย bio-product B-Veggie 1 เดือนหลังปลูก พบว่าความสูงของขมิ้นชันสูงสุดที่ 15.48 เซนติเมตร และความเขียวของขมิ้นชันสูงสุดที่ 23.87 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การใช้ B-Veggie ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี เมื่อขมิ้นชันอายุ 2 เดือนหลังปลูก พบว่าความสูงของขมิ้นชันที่ใส่ปุ๋ยเคมี (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) มีความสูงของขมิ้นชันสูงสุดที่ 45.39 เซนติเมตร ความยาวใบสูงสุดที่ 44.92 เซนติเมตร ความเขียวของขมิ้นชันสูงสุดที่ 33.59 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้น ขนาดลำต้น และจำนวนใบ ซึ่งต่างจากการใช้ B-Veggie ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี (ตามวิธีเกษตรกร) สำหรับการใช้ B-Veggie ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีและ Fe - EDTA เมื่อขมิ้นชันอายุ 5 เดือนหลังปลูก พบว่าการใช้ B-Veggie ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) พ่นด้วย Fe - EDTA ที่ความเข้มข้น 600 ppm พ่นทางใบแบ่งใส่ 3 ครั้งๆ ละ 200 ppm. ความสูงของขมิ้นชันสูงสุดที่ 55.75 เซนติเมตร ความยาวใบสูงสุดที่ 61.00 เซนติเมตร ขนาดลำต้นสูงสุดที่ 1.71 เซนติเมตร จำนวนใบสูงสุดที่ 5.25 ใบ/ต้น ความเขียวของขมิ้นชันสูงสุดที่ 39.27 และ ผลผลิตสูงสุดที่ 226.75 กรัมต่อกระถาง ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต่างจากการใช้ B-Veggie ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ตามวิธีเกษตรกร) พ่นด้วย Fe - EDTA ดังนั้นการใช้ชีวภัณฑ์ B-Veggie ร่วมกับปุ๋ยเคมี (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) พ่นด้วย Fe – EDTA ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิตสดขมิ้นชัน ปริมาณเคอร์คูมิน และการใส่ Fe - EDTA มีผลทำให้ปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะ โพแทสเซียม และ สังกะสี มีช่วยส่งเสริมให้ขมิ้นชันมีผลผลิตและมีปริมาณเคอร์คูมินที่เพิ่มมากขึ้น

Title EFFECT OF B-VEGGIE BIOPRODUCT AND FE-EDTA ON CURCUMIN CONTENT IN TURMERIC

Author Rattanaporn Khamard

Advisor Assistant Professor Wipa Homhaul, Ph.D.

Academic Paper M.S. Thesis in Agricultural Science, Naresuan University, 2022

Keywords fertilizers turmeric Fe-EDTA

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the effects of bio-product *Bacillus subtilis* (B-Veggie) in combination with chemical fertilizers and Fe-EDTA on growth, yield and curcumin content in turmeric. The randomized complete block design (RCBD) was arranged for 16 treatments with 4 replications. The results showed that at one month after planting, turmeric soaked with B-Veggie had the highest height at 15.48 cm and the highest leaf greenness at 23.87 which were statistically significantly different ($p \leq 0.05$) from control treatment (no B-Veggie). At two months after planting, the highest growth of turmeric was obtained in chemical fertilizer treatments (both with and without (hydroponics nutrient solution) with the shoot height and leaf length at 45.39 cm. and 44.92 cm.,The greenness of turmeric was the highest at 33.59. which were statistically significantly different ($p \leq 0.05$) except stem size and number of leaves. This was different from using B-Veggie in combination with chemical fertilizers (farmers method). For using B-Veggie together with chemical fertilizer and Fe - EDTA when turmeric was 5 months after planting, it was found that the use of B-Veggie in combination with the use of chemical fertilizers and Fe – EDTA at 600 ppm, sprayed on the leaves, divided into 3 times, 200 ppm each time. the highest height at 55.75 cm., the leaf length was 61.00 cm., the stem size was 1.71 cm., the most number of leaves was 5.25 leaves/plant, the highest leaf greenness at 39.27 and the yield was 226.75 g/pot which were statistically significantly different ($p \leq 0.05$) Different from using B-Veggie with chemical fertilizers (farmers' method) and Fe – EDTA There, fore application of bio-products B-Veggie in combination with

chemical fertilizers and Fe – EDTA Improved growth, yield and curcumin content. the Addition of Fe - EDTA resulted an increased in nutrient content, especially potassium and zinc, which promoted turmeric' yield and curcumin content.

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภา หอมหวล ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาเป็นที่ปรึกษา ให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้รับความอนุเคราะห์เชื้อแบคทีเรีย Bacillus subtilis (B-Veggie) ในงานวิจัยครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพรรณิกา อินต๊ะนนท์ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ตลอดจนคำแนะนำและการแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

ขอขอบพระคุณาจารย์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร และคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยอีกทั้งให้การสนับสนุนด้านวัสดุ-อุปกรณ์ ที่ใช้ในงานวิจัย และที่ช่วยเป็นที่ปรึกษา แบ่งปันข้อมูลข่าวสารงานวิจัย อำนวยความสะดวกให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณท่านอื่นๆ ที่มิได้เอ่ยนามทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัย เป็นอย่างดีในการทำงานวิจัยทุกขั้นตอน และขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ น้องสาว และครอบครัว ที่ช่วยสนับสนุนส่งเสริม และเป็นกำลังใจมาตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ประโยชน์และความรู้ที่ได้จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ทุกๆ ท่านที่เกี่ยวข้อง

รัตนาพร คำแอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

ประกาศคุณูปการ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

ความเป็นมาของปัญหา 1

จุดมุ่งหมายของการศึกษา 2

ขอบเขตของงานวิจัย 2

นิยามศัพท์เฉพาะ และ คำจำกัดความเบื้องต้น 3

สมมติฐานของการวิจัย 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 4

ขมิ้นชัน 4

ข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ 4

ฤดูกาลปลูกขมิ้นชัน 5

สภาพภูมิอากาศ 5

การคัดเลือกพันธุ์ 6
การขยายพันธุ์ 6
การเพาะปลูกขมิ้นชัน 6
องค์ประกอบทางเคมีของขมิ้นชัน 7
สารสำคัญในขมิ้นชัน (*Curcuma longa* Linn.) 8
บทบาทของธาตุอาหารพืช 9
ธาตุอาหารพืชในดิน (plant nutrient in soil) 9
บทบาทและความสำคัญของจุลธาตุ 10
บทบาทและความสำคัญของเหล็ก 10
ธาตุเหล็กในดินความเป็นประโยชน์ของเหล็ก และการดูดเหล็กของเข้าสู่รากพืช 11
ธาตุเหล็กในการสังเคราะห์ฮอร์โมนพืช 13
ผลกระทบของธาตุเหล็กด้านการสังเคราะห์แสง 15
กลไกการทำหน้าที่ของเหล็ก และคลอโรพลาสต์ 17
การใช้ประโยชน์เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* 19
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20
บทที่ 3 23
วิธีดำเนินงานวิจัย 23
อุปกรณ์การวิจัย 23
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 23
การเตรียมท่อนพันธุ์ขมิ้นชัน 23
วัสดุที่ใช้ในการเพาะปลูก 24
การวางแผนการทดลอง 24

การเก็บข้อมูล 25
การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดิน 25
การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่พบในขมิ้นชัน และปริมาณเคอร์คูมิน 26
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 26
สถานที่ทำการทดลอง.....26
บทที่ 4.....27
ผลการวิจัย 27
ผลการใช้ชีวภัณฑ์ (B-Veggie) ต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชัน 27
ผลการใช้ปุ๋ยเคมี และการใช้ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ ต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชัน 28
ผลการใช้ปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตขมิ้นชัน 30
ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกขมิ้นชัน 33
ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในขมิ้นชัน.....35
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาปริมาณความสัมพันธ์ของธาตุอาหารในขมิ้นชัน.....40
บทที่ 5.....46
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง 46
ผลการใช้ชีวภัณฑ์ *Bacillus subtilis* (B-Veggie) ต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชัน.....46
ผลการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชัน 46
ผลการใช้ Fe – EDTA ต่อปริมาณธาตุอาหารในผลผลิตขมิ้นชัน 47
สรุปผลการวิจัย.....48
ข้อเสนอแนะ 49
บรรณานุกรม.....50
ประวัติผู้วิจัย 56

ภาคผนวก..... **ผิดพลาด! ไม่ได้กำหนดบุ๊กมาร์ก**

วิธีวิเคราะห์ธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Bray II..... **ผิดพลาด! ไม่ได้กำหนดบุ๊กมาร์ก**

วิธีวิเคราะห์ธาตุโพแทสเซียมรูปที่แลกเปลี่ยนได้โดย NH_4OA_c **ผิดพลาด! ไม่ได้กำหนดบุ๊กมาร์ก**

วิธีวิเคราะห์อินทรียวัตถุโดยวิธี Walkley-Black..... **ผิดพลาด! ไม่ได้กำหนดบุ๊กมาร์ก**

วิธีวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน ด้วยวิธี pH meter... **ผิดพลาด! ไม่ได้กำหนดบุ๊กมาร์ก**

วิธีวิเคราะห์และทำกราฟมาตรฐานของเคอร์คูมิน..... **ผิดพลาด! ไม่ได้กำหนดบุ๊กมาร์ก**

วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของขมิ้นชัน..... **ผิดพลาด! ไม่ได้กำหนดบุ๊กมาร์ก**

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ผลของการใช้ B-Veggie ต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชัน 28

ตาราง 2 ผลของการใช้ B-Veggie ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชัน ...30

ตาราง 3 ผลของการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตขมิ้นชัน.....33

ตาราง 4 ปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนปลูกและหลังปลูก 34

ตาราง 5 ปริมาณธาตุอาหารที่พบในขมิ้นชัน และปริมาณเคอร์คูมินในขมิ้นชัน 38

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย.....7

ภาพที่ 2 ตัวอย่างของปฏิกิริยาระหว่าง Cu กับกรดอะมิโนไกลซีน (glycine).....12

ภาพที่ 3 วงจรของจุลธาตุในดิน.....13

ภาพที่ 4 รูปแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ผ่านเลนส์กล้องจุลทรรศน์.....19

ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณธาตุอาหารในขมิ้นชันโดยการแช่ชีวภัณฑ์ (B-Veggie) และไม่แช่ชีวภัณฑ์.....43

ภาพที่ 6 แสดงปริมาณธาตุอาหารในขมิ้นชันและปริมาณเคอร์คูมินเมื่อใส่ Fe-EDTA.....44

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้สมุนไพรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งความต้องการในการบริโภคเพื่อการสร้างเสริมและดูแลสุขภาพ รวมถึงความต้องการในการแปรรูปเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มของสมุนไพร ในการใช้ประโยชน์จากสมุนไพร ส่งผลให้สมุนไพรถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมเกษตรแปรรูป อุตสาหกรรมผลิตยาแผนไทย และอุตสาหกรรมผลิตยาที่พัฒนามาจากสมุนไพร จากการประเมินศักยภาพของอุตสาหกรรมสมุนไพร พบว่าอุตสาหกรรมสมุนไพรเป็นอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพและสามารถสร้างความยั่งยืน สร้างรายได้ให้กับประชากร และประเทศ ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงบริบทในด้านสังคม ได้แก่อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวกลุ่มรายได้ดีและการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ (Affluent, Medical and Wellness Tourism) อุตสาหกรรมการเกษตรและเทคโนโลยีชีวภาพ (Agricultural and Biotechnology) และอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหาร (Food for the Future) ประเทศไทยที่กำลังเปลี่ยนแปลงไปเข้าสู่สถานการณ์ สังคมผู้สูงอายุ (Ageing Society) เพื่อเป็นทางเลือกในการรักษาโรคและเสริมสร้างสุขภาพ ซึ่งช่วยสร้างความมั่นคงทางด้านสุขภาพ สำหรับประเทศไทยพืชสมุนไพรที่ชุมชนรู้จักสรรพคุณและนำมาใช้ประโยชน์มีประมาณ 1,800 ชนิด และมี 300 ชนิด ที่เป็นวัตถุดิบสมุนไพรที่หมุนเวียนในท้องตลาดซึ่งมีความต้องการแต่อย่างไรก็ตาม การบริหารจัดการสมุนไพรที่ไม่เป็นระบบที่ผ่านมาส่งผลให้เกิดการขาดแคลนวัตถุดิบหลายชนิดเนื่องจากคุณภาพวัตถุดิบไม่ผ่านมาตรฐาน และปัญหาด้านการกำหนดมาตรฐานคุณภาพวัตถุดิบทำให้สัดส่วนสถานประกอบการผลิตสมุนไพรที่ผ่านการรับรองมาตรฐานการผลิตต่อทั้งหมดนั้นน้อยมาก (ร้อยละ 4.47) การใช้วัตถุดิบสมุนไพรที่ดีจะส่งผลโดยตรงต่อการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ เกษตรกรที่ผลิตสมุนไพรตามมาตรฐานเกษตรที่ดี (Good Agricultural Practice, GAP) และได้รับการรับรองแปลงผลิตแล้วมีจำนวน 1,185 ราย แต่ยังมีเกษตรกรจำนวนมากที่ต้องปรับปรุงการผลิตวัตถุดิบสมุนไพรให้มีคุณภาพกล่าวคือ มีสารสำคัญออกฤทธิ์ที่น้อย

ขมิ้นชัน *Curcuma longa* L.เป็นหนึ่งในสมุนไพรที่มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพได้หลายชนิด ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ ผลิตภัณฑ์สำหรับสัตว์เลี้ยง และผลิตภัณฑ์ป้องกันกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น (สุนทรี, 2536) เนื่องจากขมิ้นชันมีสารสำคัญ คือ เคอร์คูมินเป็นสารสีเหลือง สารกลุ่มนี้ เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของขมิ้นชัน สารประกอบเคอร์คูมินมีคุณสมบัติ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารหลักคือ tumerone และ zingiberene นอกจากนี้ยังมีสารกลุ่ม sesquiterpene

และ monoterpene ซึ่งเป็นสารหอมระเหย ที่มีความสำคัญต่อลักษณะของกลิ่นและรสชาติของขมิ้นชัน (Zhang., 2003) อย่างไรก็ตามมาตรฐานเป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตพืชสมุนไพรให้มีคุณภาพ ได้แก่ ปริมาณสารสำคัญสูง โดยทั่วไปแล้ว การสร้างสารทุติภูมิในพืชจะถูกสร้างขึ้นเมื่อพืชอยู่ในสภาพเครียด ทั้งที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต และสิ่งไม่มีชีวิต (บุหรัน, 2556) และความต้องการของการบริโภคขมิ้นชันยังเพิ่มขึ้นแต่ผลผลิตของขมิ้นชันก็ยังมีไม่เพียงพอต่อความต้องการดังนั้นในการวิจัยจะทำการใช้เหล็กเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์และเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส เป็นส่วนประกอบของไซโตโครมซึ่งเป็นสารตัวกลางในการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ทั้งในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และการหายใจ เป็นส่วนประกอบของเฟอริดอกซินที่อยู่ในคลอโรพลาสต์ ซึ่งเป็นสารสำคัญในการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชโดยขมิ้นชันมีความต้องการเหล็กปริมาณ 50-150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) การใช้เหล็กในขมิ้นชันในปริมาณที่มากขึ้นจะสร้างความเครียดให้กับขมิ้นชันเพื่อเพิ่มสารเคอร์คูมินในขมิ้นชัน (Verma et al., 2019)

จากเหตุผลและแนวโน้มดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อการพัฒนาคุณภาพของผลผลิตขมิ้นชัน จึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญในการพัฒนาคุณภาพของขมิ้นชันโดยการใช้สารชีวภัณฑ์ *Bacillus subtilis* (B-Veggie) ร่วมกับการจัดการธาตุอาหารโดยการใช้ Fe-EDTA ในการสร้างความเครียดให้กับขมิ้นชันเพื่อเพิ่มปริมาณสารสำคัญโดยเฉพาะสารเคอร์คิวมินในขมิ้นชันต่อไป

จุดมุ่งหมายของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาผลของการใช้ชีวภัณฑ์ *Bacillus subtilis* (B-Veggie) ร่วมกับการจัดการปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารพืชในขมิ้นชัน
2. เพื่อศึกษาผลของการใส่ Fe-EDTA ต่อปริมาณสารเคอร์คิวมินในขมิ้นชัน

ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาโดยการทดลองแช่ท่อนพันธุ์เพื่อศึกษาการเจริญโตของขมิ้นชันโดยการแช่ท่อนพันธุ์ด้วย *Bacillus subtilis* (B-Veggie) และการปลูกขมิ้นชันในสภาพโรงเรือนโดยการแช่ท่อนขมิ้นชันด้วย (B-Veggie) มีการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกัน และการใส่ Fe-EDTA 600 ppm. ในปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อขมิ้นชัน มีอายุ 4 เดือน หรือ ระยะที่ขมิ้นชันเริ่มมีการสะสมอาหาร หรือในช่วงที่เริ่มสร้างหัว (เหง้า) โดยทำการแบ่งใส่ในระยะต่างๆ รวมถึงวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในขมิ้นชัน และปริมาณเคอร์คิวมินในส่วนเหง้าของขมิ้นชัน

นิยามศัพท์เฉพาะ และ คำจำกัดความเบื้องต้น

สารเคอร์คูมิน (Curcumin) หรือ diferuloyl methane มีชื่อเรียกตามโครงสร้างทางเคมี 1, 7–bis (4– hydroxyl–3–methoxyphenyl) 1, 6–heptadiene 3, 5 dione มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 368.28 กิโลกรัมต่อโมล และมีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{21}H_{20}O_6$ ซึ่งสารเคอร์คูมินนี้เป็นสารกลุ่ม โพลีฟินอล และเป็นองค์ประกอบหลักในสารกลุ่มเคอร์คูมินนอยด์ ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินโดยใช้เครื่อง ยูวี-วิสิเบิล สเปคโทรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 427 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดของสารสกัดเคอร์คูมินที่วัดได้จากขั้นตอนการทำกราฟมาตรฐาน

สมมติฐานของการวิจัย

การใช้ *Bacillus subtilis* (B-Veggie) ร่วมกับ Fe-EDTA น่าจะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต ปริมาณผลผลิต และปริมาณเคอร์คิวมินในขมิ้นชันได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ได้อัตราการใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมในการปลูกขมิ้นชัน และช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของขมิ้นชันได้

2.ได้แนวทางการใช้ Fe–EDTA ในการเพิ่มปริมาณสารสำคัญในขมิ้นชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขมิ้นชัน

ขมิ้น (turmeric) หรือ ขมิ้นชัน เป็นพืชวงศ์ขิงที่ใช้เพื่อเป็นทั้งเครื่องเทศ และพืชสมุนไพรที่คนไทยรู้จักกันมาแต่โบราณ ขมิ้นชันเป็นพืชที่ปลูกที่เกิดจากกระบวนการผสมพันธุ์ตามธรรมชาติและมีโครโมโซม 3 ชุด โดยมีการสืบทอดพันธุ์กันต่อมาโดยวิธีการคัดเลือกพันธุ์ และปลูกขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ปัจจุบันมีเขตการกระจายพันธุ์ปลูกทั่วไป ในประเทศที่มีอากาศร้อนชื้น ขมิ้นชันไม่เพียงพบและนิยมในประเทศไทยเท่านั้น ในต่างประเทศก็ยังเป็นที่นิยมมากโดยเฉพาะประเทศในตะวันออกเฉียงใต้ และแถบเอเชียใต้ เช่น บังคลาเทศ เนปาล อินเดีย อินโดนีเซีย และศรีลังกา โดยใช้เป็นยาพื้นบ้านรักษาโรคต่างๆรวมถึงใช้ผสมในอาหารมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เช่นเดียวกับในประเทศไทยและปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจกันมากในประเทศเขตร้อน (กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก , 2564)

ข้อมูลทางพฤกษศาสตร์

ขมิ้น (turmeric) หรือ ขมิ้นชัน ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Curcuma longa L.* (*Curcuma domestica Valeton*) เป็นพืชวงศ์ขิงที่ใช้เป็นทั้งเครื่องเทศ และพืชสมุนไพร จัดเป็นพืชล้มลุกที่อยู่ในวงศ์ขิงข่า มีอายุหลายปีลำต้นเหนือดินเป็นลำต้นที่เกิดจากการอัดตัวของกาบใบ ลำต้นจริงอยู่ใต้ดินเรียกว่า เหง้าขมิ้น ประกอบด้วย เหง้าหลักใต้ดินที่เรียกว่า หัวแม่ซึ่งมีรูปไข่ และแตกแขนงทรงกระบอกออกด้านข้างทั้ง 2 ด้าน เรียกว่า แง่ง เนื้อในเหง้ามีสีเหลืองมีกลิ่นเฉพาะใบเป็นใบเดี่ยวเจริญออกมาจากเหง้าเรียงซ้อนทับกันใบรูปหอก กว้าง 12-15 เซนติเมตรยาว 30-40 เซนติเมตร ช่อดอกเจริญออกจากเหง้าแทรกขึ้นระหว่างใบ รูปทรงกระบอก ประกอบด้วยใบประดับจำนวนมาก มีสีเขียวอ่อน ใบประดับตรงปลายช่อจำนวน 6-10 ใบ สีขาวหรือขาวแกมชมพูดอกสีเหลืองอ่อน เกิดในซอกใบประดับเว้นแต่ในซอกใบตรงปลายช่อ ผลทรงกลมมี 3 พู โคนใบประดับไม้ประกบติดกันเป็นกระเปาะ ดอกออกในซอกกระเปาะใบประดับ 3-5 ดอกต่อช่อดอกยาวประมาณ 5 เซนติเมตร กลีบเลี้ยงสีขาวใสติดกันเป็นหลอดสั้น ปลายหยักไม่เท่ากัน กลีบดอกมีสีขาว โคนติดกันเป็นหลอดยาวปลายผาย และแยกเป็น 3 กลีบเกสรตัวผู้ที่เป็นหมันเป็นกลีบขนาดใหญ่ 3 กลีบ กลีบกลางเป็นรูปไข่กลับ สีเหลืองอ่อนและมีเถบสีเหลืองเข้มบริเวณกลางกลีบสองกลีบข้างรูปวงรี แกมขอบขนานสีเหลืองอ่อน เกสรตัวผู้ที่สมบูรณ์มีก้านสั้นอับเรณูเล็กเรียวเละมีจะงอยโอบรอบก้านชูรอบเกสรตัวเมีย รังไข่ 3

ห้อง ผลกลมหรือรีแต่มักไม่ติดผล ขมิ้นชันอุดมไปด้วยวิตามิน และแร่ธาตุอยู่หลายชนิด ไม่ว่าจะเป็น วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 3 วิตามินซี วิตามินอี ธาตุแคลเซียม ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุเหล็ก เกลือแร่ต่างๆ รวมไปถึงเส้นใย คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน ในขณะเดียวกัน ขมิ้นชัน ก็มีสรรพคุณทางยาที่ช่วยรักษาอาการและบรรเทาโรคต่างๆ ได้หลายชนิด

ฤดูกาลปลูกขมิ้นชัน

ในประเทศไทย เริ่มปลูกขมิ้นชันในช่วงต้นฤดูฝนประมาณปลายเดือนเมษายน ถึงต้นเดือนพฤษภาคม และจะเก็บเกี่ยวหัวขมิ้นชันในช่วงฤดูหนาวหรือประมาณปลายเดือนธันวาคมถึงมกราคม ซึ่งช่วงนี้จะทำให้หัวขมิ้นชันแห้งสนิท และอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

สภาพภูมิอากาศ

อุณหภูมิที่เจริญเติบโตได้ดีคืออุณหภูมิระหว่างช่วง 20-35 องศาเซลเซียส ช่วงการงอกเป็นต้นอ่อนมีต้องการอุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส ช่วงการพัฒนาลำต้นเหนือดิน ต้องการอุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส ช่วงเริ่มพัฒนาลำต้นใต้ดิน ต้องการอุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส และช่วงการแตกแขนง ต้องการอุณหภูมิ 18-20 องศาเซลเซียส ต้องการอากาศร้อนชื้นความชื้นสัมพัทธ์ 60-80 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มของแสง เจริญเติบโตได้ในที่โล่งแจ้งและมีแสงแดดรำไรเนื่องจากขมิ้นชันที่ปลูกในที่โล่งแจ้ง และได้รับแสงแดดเต็มที่จะให้ผลผลิตสูงกว่าในที่ร่มรำไร การปลูกในที่ร่มจะส่งผลให้การพัฒนาเหง้าที่ไม่ดี

ขมิ้นชันชอบดินร่วนซุย pH ระหว่าง 5 – 7 มีการระบายน้ำดี พื้นที่ที่มีน้ำขังหรือมีความชื้นสูงเกินไปหรือมีการระบายน้ำไม่ดี จะทำให้เหง้าขมิ้นชันเน่าและเสียหายได้ ดังนั้นดินเหนียวหรือดินที่เป็นลูกรัง และพื้นที่ค่อนข้างแห้งแล้งจึงไม่เหมาะสมต่อการปลูกขมิ้นชัน และขมิ้นชันสามารถปลูกบนพื้นที่สูงตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนกระทั่งความสูงประมาณ 1,350 เมตร ปลูกกันมากที่ระดับความสูง 450 ถึง900 เมตร

ขมิ้นชันชอบบริเวณพื้นที่ที่มีความชื้นสูง ต้องการน้ำฝนเพื่อการเจริญเติบโตประมาณปีละ 1,000 – 2,000 มิลลิเมตร หรือที่มีปริมาณน้ำฝน 1,200 – 1,400 มิลลิเมตรต่อปี ในเวลา 100 – 120 วัน ฉะนั้นถ้าปลูกในที่ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยต้องมีระบบการให้น้ำ ความลาดเอียงของพื้นที่เป็นพื้นที่ราบหรือพื้นที่ลาดเอียงไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์และไม่มีน้ำท่วมขัง

การคัดเลือกพันธุ์

ควรเลือกพันธุ์ที่เหง้าสมบูรณ์ มีอายุเก็บเกี่ยวระหว่าง 7 – 9 เดือน หรือ ตั้งแต่ 7 เดือนขึ้นไปทั้งหัวหรือแง่งควรมีตามากกว่า 2 – 5 ตาขึ้นไป ปราศจากโรคและแมลงศัตรู

การขยายพันธุ์

ขมิ้นชันใช้วิธีการขยายพันธุ์แบบไม่ใช้เพศ โดยส่วนที่ใช้ขยายพันธุ์ คือ เหง้า

การเพาะปลูกขมิ้นชัน

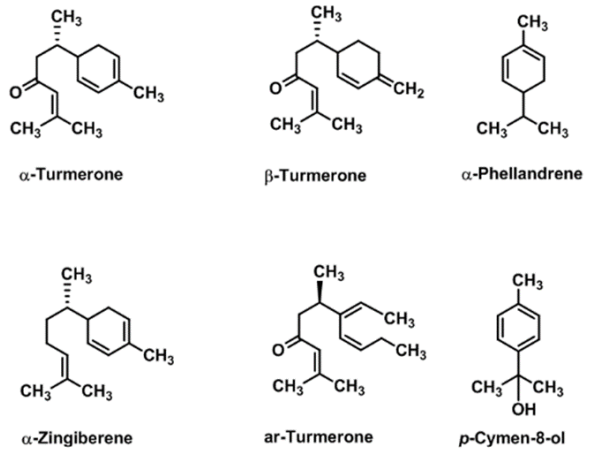
ฤดูเพาะปลูก ส่วนมากจะอยู่ในช่วงต้นฤดูฝน หรือก่อนฤดูฝนเล็กน้อยประมาณเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม การเพาะปลูกขมิ้นชันในเขตชลประทานจะใช้เวลางอกประมาณ 15 วัน แต่ถ้าปลูกในที่ราบอาศัยน้ำฝนจะใช้เวลาประมาณ 1 เดือนจากนั้นอีกประมาณ 5–6 เดือน จะเป็นช่วงเวลาของการเจริญเติบโตทางลำต้น และใบ การเจริญเติบโตทางลำต้น และใบนั้นจะสิ้นสุดลงในเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม การเจริญเติบโตของเหง้าและเริ่มออกดอกในช่วงเดือนพฤศจิกายน แต่ขมิ้นชันบางต้น และบางปีเท่านั้นที่จะมีการออกดอก ซึ่งการออกดอกของขมิ้นชันเป็นสิ่งที่ต้องการของเกษตรกรเพราะมีผลทำให้เหง้าขมิ้นชันเจริญเติบโตและมีขนาดเล็กลง ดังนั้น จึงควรตัดช่อดอกในระยะเริ่มแรก

การเตรียมดิน การเตรียมดินปลูกขมิ้นชันจำเป็นต้องขุดหรือไถพรวนเพื่อให้ดินร่วนซุยขึ้น ถ้าเป็นพื้นที่ที่มีวัชพืชมาก และหน้าดินแข็งควรไถพรวนไม่น้อยกว่า 2 ครั้ง คือไถดะ เพื่อกำจัดวัชพืช และเปิดหน้าดินให้ร่วนซุยแล้วตากดินไว้ 1–2 สัปดาห์เพื่อทำลายไข่แมลง เชื้อโรคในดิน และไถแปรเพื่อกลับหน้าดิน ทำให้ดินร่วนซุยและละเอียดขึ้น ถ้าเป็นดินเหนียวควรใส่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยคอก อัตรา 1 ตันต่อไร่ เพื่อปรับปรุงสภาพดิน การเตรียมดินควรไถพรวนก่อนต้นฤดูฝนให้มีสภาพพร้อมปลูกในต้นฤดูฝน

การเตรียมพันธุ์ ท่อนพันธุ์ที่ใช้ มี 2 ชนิด คือแง่งแม่หรือหัวที่มีลักษณะกลมหนา ส่วนอีกชนิดหนึ่ง คือแง่งนิ้วมือมีลักษณะเรียวยาว ท่อนพันธุ์ที่ใช้นี้อาจจะใช้ทั้งท่อนยาวๆ โดยไม่ต้องตัดหรือจะตัดเป็นท่อนๆ ให้มีตาติดอยู่ประมาณ 1-2 ตาท่อนพันธุ์ที่ได้จะนำไปปลูกในแปลงทันทีหรือนำไปเพาะในถุงเพาะชำ เมื่อปลูกท่อนพันธุ์ขมิ้นชันแล้วควรปลูกและกลบดินให้หนาประมาณ 5-10 เซนติเมตร

องค์ประกอบทางเคมีของขมิ้นชัน

สารสำคัญที่พบในขมิ้นชันมีสารประกอบทางเคมีสำคัญ 2 กลุ่ม ได้เก่ น้ำมันหอมระเหย โดยมีลักษณะสีเหลืออ่อนโดยส่วนมากจะพบที่ราก 4.3 เปอร์เซ็นต์ เหง้า 3.8 เปอร์เซ็นต์ ใบ1.3 เปอร์เซ็นต์ และดอก 0.3 เปอร์เซ็นต์ โดยส่วนมากสารที่พบมาให้เหง้าเละรากคือ ar-turmerone เหง้า 31 เปอร์เซ็นต์ และ ราก 46.8 เปอร์เซ็นต์ สารที่พบมากในใบคือ α-phellandrene 32.6 เปอร์เซ็นต์ และสารที่พบจากดอก คือ p-cymene-8-ol 26 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีน้ำมันหอมระเหยอีกหลายชนิด และยังพบว่า สารส่วนใหญ่ที่พบในดอกและใบขมิ้นชันเป็นสารกลุ่มโมโนเทอร์ปีน monoterpene; โครงสร้างมีจำนวนคาร์บอน 10 คาร์บอน และน้ำมันหอมระเหยที่พบจากรากและเหง้าส่วนมากจะเป็นสารกลุ่มเซสควิเทอร์ปีน sesquiterpene; โครงสร้างมีจำนวนคาร์บอน 15 คาร์บอน และนอกจากนี้ยังมีน้ำมันหอมระเหยชนิดอื่น เช่น α-pinene β-pinene myrcene, α-terpinene p-cymene 1,8-cineol linalool ar-curcumene α-zingiberene β-bisabolene α-turmerone β-turmerone curcuphenol ซึ่งในแต่ละพื้นที่ที่เพาะปลูกขมิ้นชันจะมีปริมาณของน้ำมันหอมระเหยที่แตกต่างกัน และยังพบว่าเหง้าสดจะมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยมากกว่าเหง้าแห้ง โดยในเหง้าสดจะมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยโดยประมาณ 7.87-16.14 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในเหง้าแห้งจะพบโดยประมาณ 4.70-8.66 เปอร์เซ็นต์ โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันหอมละเหย แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันหอมระเหย

สารเคมีที่พบในขมิ้นชัน คือน้ำมันหอมระเหย โดยทั่วไปแล้วขมิ้นชัน จะมีน้ำมันหอมระเหยตั้งแต่ 2 – 6 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันมีสีเหลือง และเรืองแสงได้เล็กน้อย สารเคมีที่พบมากที่สุดคือ เทอร์มีโรน (termeron) ประมาณ 58 – 59 เปอร์เซ็นต์ และนอกจากนี้ยังพบสารที่สำคัญอีกกลุ่มหนึ่งคือ เคอร์คูมินนอยด์ (curcuminoids) ซึ่งประกอบด้วยสารที่สำคัญ 3 ตัว คือ เคอร์คูมิน (curcumin; 75 – 81 เปอร์เซ็นต์) เดสเมธอกซีเคอร์คูมิน (desmethoxycurcumin; 15-19 เปอร์เซ็นต์) และบิสเดสเมธอกซีเคอร์คูมิน (bisdesmethoxycurcumin;2.2– 6.6 เปอร์เซ็นต์) ทั้งเดสเมธอกซีเคอร์คูมินและบิสเดสเมธอกซีเคอร์คูมิน เป็นอนุพันธ์ของเคอร์คูมิน (Jayaprakashaet al., 2005) เนื่องจากมีสารเคอร์คูมินในปริมาณมากที่สุด ดังนั้นในการเรียกชื่อจึงมักเรียกสารทั้งสามตัวนี้รวมกันว่า สารเคอร์คูมิน ซึ่งมีประมาณ 1.8–5.4 เปอร์เซ็นต์ เป็นสารสีเหลืองส้ม หรือสีเหลืองแดง ซึ่งเป็นสีของขมิ้นชัน สารนี้ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ และกรดแอซิตริก (บัญญัติ, 2543)

สารสำคัญในขมิ้นชัน (*Curcuma longa* Linn.)

ในเหง้าของขมิ้นชัน มีสารสำคัญในการออกฤทธิ์ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มน้ำมันหอมระเหย (Volatilc oil) และ กลุ่มสารสีเหลืองส้มที่เรียกว่า เคอร์คูมินอยด์ (Curcuminoids) สารทั้ง 2 กลุ่มจะออกฤทธิ์เสริมกันในการรักษาอาการแน่นจุกเสียด สารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ประกอบด้วยสารหลัก 3 ตัว คือ Curcumin, Demethoxycurcumin และ Bisdemethoxy curcumin ปริมาณเคอร์ คูมินอยด์ที่พบในเหง้าขมิ้นชันแตกต่างกันในแหล่งพื้นที่เพาะปลูก

สารเคอร์คูมิน (Curcumin) หรือ diferuloyl methane มีชื่อเรียกตามโครงสร้างทางเคมีว่า 1, 7–bis (4– hydroxyl–3–methoxyphenyl) 1, 6–heptadiene 3, 5 dione มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 368.28 กิโลกรัมต่อโมล และมีสูตรโมเลกุลเป็น $C_{21}H_{20}O_6$ ซึ่งสารเคอร์คูมินนี้เป็นสารกลุ่มโพลีฟินอล และเป็นองค์ประกอบหลักในสารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ มีลักษณะเป็นผงหรือผลึกขนาดเล็กสีเหลืองอมส้ม ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ อะซีโตน โพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) กรดน้ำส้มเข้มข้นและเบนซิน โดยจะมีสีน้ำตาลแดงในด่าง สีเหลืองในกรด และช่วงที่เปลี่ยนแปลงสี คือ ช่วงที่ค่า pH ประมาณ 8-9 มีจุดหลอมเหลวประมาณ 183 องศาเซลเซียส และสารเคอร์คูมินยังเป็นสารที่มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพอีกมาก สำหรับประเภทของเคอร์คูมินนั้นมีอยู่เพียงประเภทเดียว แต่เมื่อสารเคอร์คูมินนอยด์ ไปรวมกับสารอนุพันธ์อีก 2 ชนิดคือ Monodesmethoxycumin หรือ desmethoxy curcumin และ Didesmethoxy-curcumin หรือ bis–desmethoxy curcumin ก็จะได้สารกลุ่มเคอร์คูมินอยด์ (Curcuminoids) (จักรพงษ์, 2561)

บทบาทของธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารพืช เป็นธาตุอาหารที่พืชจำเป็นต้องใช้ เพื่อให้พืชมีชีวิตอยู่ได้หากพืชขาดธาตุนั้นอย่างรุนแรงมาก จะไม่สามารถเจริญเติบโตจนครบวัฏจักรชีวิต และถ้าขาดธาตุนั้นพอเพียงเล็กน้อย พืชจะมีอาการผิดปกติ ซึ่งเป็นลักษณะของพืชที่เปลี่ยนไป สามารถฟื้นฟูอาการดังกล่าว ได้โดยให้ธาตุอาหารของพืชอยู่ในรูปของปุ๋ยแต่การใส่ธาตุอาหารเพื่อให้พืชอาการปกตินั้นจะต้องขึ้นอยู่กับความต้องการธาตุนั้นๆ ซึ่งมีความจำเพาะเจาะจงมาก เนื่องจากแต่ละธาตุมีบทบาทสำคัญโดยตรงในเมแทบอลิซึมของพืช (ยงยุทธ โอสถสภา, 2552)

ธาตุอาหารพืชในดิน คือ ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยพืชได้รับธาตุเหล่านี้จากการดูดดึงจากดินขึ้นไปใช้ (uptake) ประกอบด้วยธาตุต่างๆ 13 ชนิด จากจำนวนธาตุที่จำเป็นต่อพืชทั้งหมด 17 ธาตุ โดยธาตุอาหารพืชสามชนิด คือ ธาตุคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจนเป็นธาตุที่พืชได้รับจากน้ำและอากาศ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2552)

ธาตุอาหารพืชในดิน (plant nutrient in soil)

เป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต การขยายพันธุ์และการสร้างผลิตของพืช พืชแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุในปริมาณที่แตกต่างกันไปตามปัจจัยด้านชนิดของธาตุ ชนิดของพืช และช่วงอายุการเจริญเติบโต มีทั้งธาตุอาหารที่พืชต้องการมากและธาตุอาหารที่พืชต้องการน้อยสามารถจัดแบ่งออกเป็นประเภทได้ ดังนี้

ธาตุอาหารหลัก (primary elements) เป็นธาตุที่พืชต้องการปริมาณมาก แต่ในดินส่วนมากมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชจึงจำเป็นต้องเพิ่มเติมลงไปในรูปปุ๋ย จึงเรียกกว่า ธาตุปุ๋ย (fertilizer elements) ประกอบด้วย ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ดินทั่วไปมีค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนทั้งหมดประมาณ ร้อยละ 0.14 และอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อการดูดดึงไปใช้โดยพืช คือ NH_4^+และ NO_3^- ส่วนฟอสฟอรัสพบในดินทั่วไปร้อยละ 0.6 ซึ่งจัดเป็นปริมาณที่ต่ำมากค่าเฉลี่ยของโพแทสเซียมในดินทั่วไป ร้อยละ 0.8 และอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ คือโพแทสเซียมไอออน

ธาตุอาหารรอง เป็นธาตุที่พืชต้องการปริมาณมากแต่ในประมาณ ที่รองลงมาจากธาตุในกลุ่มแรก และปริมาณในดินทั่วไปมักมีเพียงพอต่อความต้องการของพืช ประกอบด้วยแคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์

จุลธาตุ เป็นธาตุที่พืชต้องการปริมาณน้อยแต่ไม่สามารถขาดได้ ประกอบด้วย ธาตุเหล็ก แมงกานีส ทองแดง โมลิบดีนัม โบรอน สังกะสี และคลอรีน ธาตุอาหารพืชในแต่ละชนิดมีปริมาณที่จำเป็นต้องมีในพืชและรูปที่เป็นประโยชน์หรือรูปที่ดูดดึงไปใช้ได้

คือธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อย ความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้งในพืชเต็มวัยต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พืชบางชนิดอาจมีเหล็กและแมงกานีสสูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารใช้จุลธาตุแต่ละธาตุในความเข้มข้นต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตรก็เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดีนัม คลอรีน และนิกเกิล ใน 8 ธาตุนี้มี 6 ธาตุอยู่ในหมู่ group B ของตารางธาตุ ซึ่งเรียกว่าธาตุแทรนซิชัน ในกลุ่มนี้มี 5 ธาตุ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และนิกเกิล เป็นโลหะหนักความหนาแน่นสูงกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในส่วนประเภทของแคตไอออนจะจำแนกอยู่ในอนุกรมแทรนซิชัน 1 (first transition series) ของคาบ (period) ที่ 4 โดยเหล็ก แมงกานีส และทองแดงมีสถานะออกซิเดชั่น (oxidation state) มากกว่าหนึ่งจึงมีบทบาทเกี่ยวกับปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reactions) และการเคลื่อนย้ายของอิเล็กตรอน ธาตุในอนุกรมแทรนซิชันที่ 1 มีโคบอลต์ และนิกเกิลแทรกอยู่ระหว่างเหล็กกับทองแดง โคบอลและนิกเกิลซึ่ง ทำหน้าที่ในด้านชีวเคมีของพืชบางประการ ช่วยเติมช่องว่างทำให้อนุกรมทรานซิชัน 1 สมบูรณ์ ส่วนโมลิดินัมเป็นธาตุแทรนซิชันประเภทโลหะหนักเหมือนกัน แต่จัดอยู่ในอนุกรมแทรนซิชัน 2 ของคาบที่ 5 ธาตุแทรนซิชันทั้ง 6 ธาตุนี้ สามารถทำปฏิกิริยากับลิแกนด์ได้สารเชิงซ้อนที่มีเสถียรภาพมาก สำหรับในที่นี้ขอกล่าวถึงจุลธาตุเหล็ก เพราะเป็นธาตุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549)

บทบาทและความสำคัญของจุลธาตุ

จุลธาตุมีความสำคัญต่อพืชเช่นเดียวกับธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง พืชต้องการใช้จุลธาตุในปริมาณน้อย แต่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช หากมีไม่เพียงพอกับความต้องการของพืชจะมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตน้อยลง พืชต้องการจุลธาตุในปริมาณน้อย ซึ่งช่วงของปริมาณที่พืชต้องการนั้นแคบมาก และปริมาณที่มีอยู่เหมาะสมต่อพืชมักจะเป็นช่วงแคบเมื่อในดินมีจุลธาตุมากผิดปกติ อาจเกิดจากสภาวะบางอย่างในดินที่ทำให้มีจุลธาตุละลายออกมามาก หรือ จากการใส่ปุ๋ยจุลธาตุมากเกินไป จะทำให้พืชได้รับจุลธาตุมากเกินไปจนเป็นพิษต่อพืชได้ และหากขาดแคลนมากพืชจะแสดงอาการผิดปกติให้ปรากฏออกมา จุลธาตุทั้งหลายไม่ได้เป็นองค์ประกอบหรือเป็นส่วนประกอบของเซลล์หรือเนื้อเยื่อพืชอย่างเช่น มหาธาตุ แต่มีบทบาทเป็นตัวกระตุ้น หรือสนับสนุนให้เกิดกระบวนการต่าง ๆ ภายในพืช โดยมีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบเอนไซม์ภายในพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

บทบาทและความสำคัญของเหล็ก

บทบาทและความสำคัญของโดยเหล็กเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์และเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส เป็นส่วนประกอบของไซโตโครมซึ่งเป็นสารตัวกลางในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนทั้งในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และการหายใจ เป็นส่วนประกอบของเฟอริดอกซิน ที่อยู่ในคลอโรพลาสต์ ซึ่งเป็นสารสำคัญในการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนของกระบวนการ

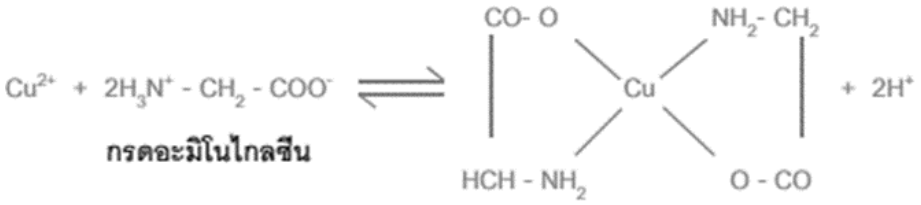
สังเคราะห์ด้วยแสงของพืชนอกจากนี้ธาตุเหล็กยังเป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงสร้างคลอโรพลาสต์ โดยร้อยละ 75 ของคลอโรพลาสต์จะมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบ (Havlin et al., 2005) ปริมาณของคลอโรฟิลล์ในพืชมีความสัมพันธ์อยู่กับปริมาณของธาตุเหล็กที่พืชได้รับ เมื่อพืชได้รับธาตุเหล็กในปริมาณที่เพียงพอจะทำให้กระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์เกิดได้ดี และเมื่อพืชเกิดการขาดเหล็กใบของพืชจะหยุดสร้างคลอโรฟิลล์ทันทีอาการผิดปกติ เรียกว่าคลอโรซีส คือใบมีสีเหลืองซีดหรือขาวซีด ปริมาณความต้องการ และอาการขาดธาตุเหล็กของพืช พืชทั่วไปมีระดับขาดแคลนวิกฤติของเหล็กในใบอยู่ระหว่าง 50-150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งถือว่าเป็นความเข้มข้นที่ค่อนข้างต่ำ และหากต่ำกว่านี้จะแสดงอาการขาดเหล็ก ธาตุเหล็กเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนย้ายภายในพืช พืชไม่สามารถดึงเอาเหล็กจากส่วนที่สะสมอยู่ที่ใบแก่เพื่อนำไปใช้ในใบอ่อนได้จึงแสดงออกที่ส่วนยอดอ่อนหรือใบอ่อน อาการขาดธาตุเหล็กของพืชมีลักษณะแตกต่างกันไปบ้างตามชนิดของพืช ลักษณะอาการคลอโรซีสมักพบกับพืชหลายชนิดโดยเฉพาะที่ปลูกในสภาพภูมิอากาศแบบกึ่งแห้งแล้ง และพืชที่ปลูกบนดินดินแคลคาเรียส เช่น แอบเปิ้ล อาโวคาโด้ ข้าวบาร์เลย์ ส้ม ถั่วลิสง มันสำปะหลัง ถั่วเหลือง และพืชจำพวกไม้ดอกอีกหลายชนิด (Chen and Barak., 1982) เหล็ก เป็นธาตุโลหะทรานซิชันหมู่ 8 และคาบ 4 สัญลักษณ์ธาตุเหล็ก เป็นอักษรสองตัวแรกของ ferrum ในภาษาละตินเหล็กมีเลขเชิงอะตอม 26 และน้ำหนักเชิงอะตอม 55.854 (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549)

ธาตุเหล็กในดินความเป็นประโยชน์ของเหล็ก และการดูดเหล็กของเข้าสู่รากพืช

ความเป็นประโยชน์และกลไกหลักที่รากพืชใช้เพื่อละลายสารประกอบเหล็กในขณะที่ประสบภาวะขาดเหล็กมีสองแบบคือ 1) การเพิ่มสภาพกรดในดินบริเวณรอบรากเนื่องจากสารประกอบเฟอริกละลายได้มากขึ้นเมื่อ pH ต่ำลง และ 2) รีดิวซ์สารประกอบเฟอริกให้เป็นเฟอรัส กระบวนการรีดักชันของเฟอริกในดินเกิดได้สองวิธีคือ 1) รากขับสารรีดิวซ์ เช่นกรดแคฟเฟอิก (caffeic acid) สู่ดิน หรือ 2) การรีดิวซ์เฟอริกผิวเยื่อหุ้มเซลล์ของรากอิเล็กตรอนในระบบ รีดอกซ์ของเยื่อ เนื่องจากพบว่าขณะอยู่ในสภาพขาดเหล็ก ถั่วพันธุ์ซึ่งปรับตัวต่อสภาพเช่นนี้ได้จะมีกิจกรรมการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนที่เยื่อหุ้มเซลล์ของรากสูงขึ้นพืชมักดูดใช้เหล็กในรูปเฟอรัสไอออนได้มากกว่าเฟอริกไอออน อย่างไรก็ตามรากพืชจะดูดเฟอริกไอออนที่มีอยู่ในดินได้ดีเช่นเดียวกัน ในกรณีที่มีเฟอริกและพืชต้องการดูดเฟอรัสไอออนรากก็มีความสามารถรีดิวซ์เฟอริกให้เป็นเฟอรัสไอออนได้เมื่อเฟอริกไอออนมาถึงผิวรากแต่ไม่จำเป็นต้องทำทั้งหมด เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวต้องใช้พลังงานจากเมแทบอลิซึมแต่พืชอาจรีดิวซ์เฟอริกให้เป็นเฟอรัสไอออนบ้างเพื่อช่วยให้กลไกการดูดเป็นไปได้สะดวกขึ้น เมื่อพืชประสบภาวะขาดแคลนธาตุเหล็กรากอาจขับสารฟีโนลิกเพื่อช่วยละลายสารประกอบเหล็กในดินซึ่งทำให้รากดูดธาตุนี้มาใช้ได้มากขึ้น (Olsen and Miller., 1986) เหล็กที่อยู่ในดิน มีสองส่วนคือ 1.เหล็กในสารประกอบที่สลับซับซ้อนและละลายยาก เช่น แร่ไพรรอกซีน แอมฟิโบล ไพไรต์ ไลมอ

ไนต์ และฮีมาไทต์ เหล็กส่วนนี้ไม่มีประโยชน์ต่อพืช แต่เมื่อแร่สลายตัวทางเคมี และปลดปล่อยฟอสฟอรัสหรือเฟอริกไอออนพืชจึงใช้ประโยชน์ได้ และ 2.รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ เฟอรัส หรือ เฟอริกไอออน (Fe^{2+} หรือ Fe^{3+}) ในสารละลายดินหรือที่แลกเปลี่ยนได้สารประกอบชีวเคมีที่เป็นสารคีเลต (chelating agents) สารประกอบชีวเคมีทีทำปฏิกิริยาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียรกับจุลธาตุที่เป็นแคทไอออน หรืออีกนัยหนึ่งทำปฏิกิริยาจับยึดโลหะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) สารประกอบชีวเคมีที่มีการจำแนกตามโครงสร้างทางชีวเคมีอย่างชัดเจน เช่น กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ต่าง ๆ ฟีนอลส์ และกรด ฟีนอลิกส์ และกรดน้ำตาล (sugar acids) เช่น กรดกลูโคนิก และ กาแล็กเทอรอนิก 2) ส่วนประกอบของฮิวมัสที่เสถียร เช่น กรดฮิวมิก และกรดฟัลฟิวริก สารประกอบชีวเคมีเหล่านี้มีความสำคัญเนื่องจากมีส่วนในการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนกับจุลธาตุที่มีคุณสมบัติละลายน้ำ อย่างไรก็ตามสารประกอบเชิงซ้อนกับกรดฮิวมิกส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ

คุณสมบัติของสารประกอบเชิงซ้อนโลหะคีเลต (metal chelate complexes) สารประกอบที่มาทำปฏิกิริยากับไอออนโลหะเรามักเรียกว่า ลิแกนด์ ตัวอย่างของปฏิกิริยาระหว่าง Cu กับกรดอะมิโนไกลซีน ดังแสดงภาพที่ 2 (Stevenson., 1986)

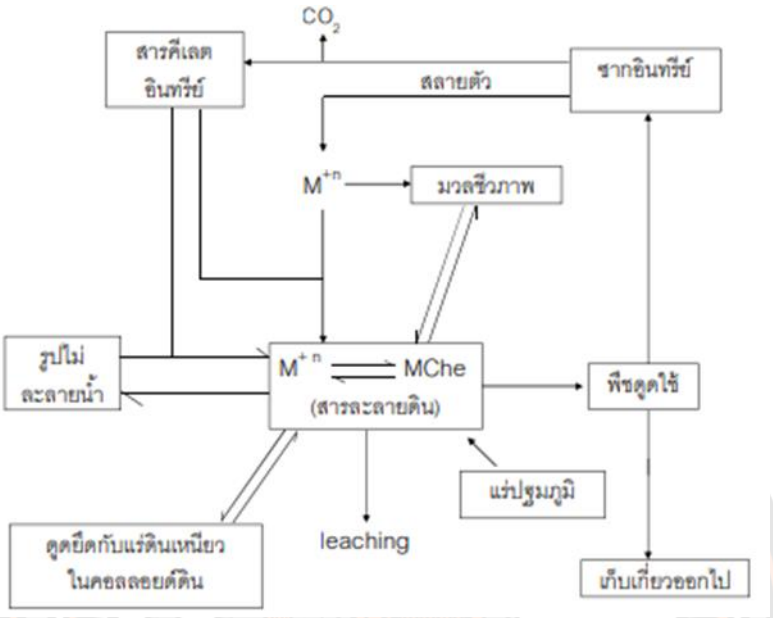


ภาพที่ 2 ตัวอย่างของปฏิกิริยาระหว่าง Cu กับกรดอะมิโนไกลซีน (glycine)

นอกจากนี้ รากพืชยังขับสารที่มีกรดอินทรีย์อยู่หลายชนิด เช่น กรดซิทริก เป็นต้นซึ่งกรดซิทริกทำปฏิกิริยาคีเลทกับ Fe^{2+} กรดซิทริกจัดเป็นสารคีเลทแบบไบเดนเทต เพราะมีพันธะ 2 พันธะกับเหล็ก

หากตั้งต้นวงจรโดยใช้ปริมาณจุลธาตุในสารละลายดินเป็นสารตั้งต้นจะพบว่าปริมาณจุลธาตุตัวใดตัวหนึ่งที่อยู่ในรูปไอออนอิสระในสารละลายดินหรือในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับลิแกนด์อินทรีย์ (สารคีเลต) หรืออนินทรีย์ที่ละลายน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลได้แก่ 1. ปฏิกิริยาการตกตะกอน 2. การเปลี่ยนรูปโดยกิจกรรมจุลินทรีย์ และ 3. การดูดยึดที่ผิวแร่ดินเหนียวหรือแร่ออกไซด์เมื่อซากพืชกลับคืนสู่ดินทำให้จุลธาตุถูกหมุนเวียนกลับมาใช้ ใหม่ ซึ่งนับเป็นปัจจัยที่สำคัญใน

ดินที่ขาดแคลนจุลธาตุ สารคีเลตทีจุลินทรีย์สร้างขึ้นหรือรากพืชขับออกมามีส่วนทำให้หินและแร่สลายตัว นอกจากนี้ เมื่อทำปฏิกิริยาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับจุลธาตุ ช่วยในการเคลื่อนที่ของจุลธาตุไปยังราก แสดงภาพที่ 3



ภาพที่ 3 วงจรของจุลธาตุในดิน

ธาตุเหล็กในการสังเคราะห์ฮอร์โมนพืช

เหล็กเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของเอนไซม์ที่มีบทบาทในการสังเคราะห์ฮอร์โมนพืช 3 ชนิดคือ จิบเบอเรลลิน (gibberellins) เอทิลีน (ethylene) และกรดจาสโมนิก (jasmonic acid) ดังนี้ 1) การสังเคราะห์จิบเบอเรลลินจาก GA12 aldehyde ใช้เอนไซม์ 2-oxoacid dependent non-haem dioxygenases, GA20 oxidase และ GA3 oxidase 2) ในขั้นตอนสุดท้ายของการสังเคราะห์เอทิลีนคือการออกซิไดส์ 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) มาเป็นเอทิลีนนั้น ใช้เอนไซม์ ACC oxidase ซึ่งมีเหล็กเป็นโคแฟกเตอร์และ 3) การสังเคราะห์กรดจาสโมนิกจากกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ใช้เอนไซม์ lipoxygenase, fatty acid hydroperoxide lyase และ allene oxide synthase ซึ่งมีเหล็กเป็นโคแฟกเตอร์ (Sharma., 2006)

การขาดเหล็กมีผลให้การเคลื่อนย้าย IAA จากปลายยอดไปยังรากมากขึ้น ความเข้มข้นของ IAA ในรากจึงสูงกว่าปกติ 4-5 เท่าจึงเชื่อว่า IAA เป็นโมเลกุลสัญญาณอย่างหนึ่ง ที่เหนี่ยวนำให้พืชตอบสนองต่อภาวะขาดเหล็ก (Han et al., 2005) และเหล็กมีบทบาทในการสังเคราะห์แสง และการหายใจดังต่อไปนี้ (Chitnis,2001;Sharma., 2006) การสังเคราะห์แสง เหล็กมีบทบาทสำคัญ 3 ประการคือ 1) ช่วยให้เยื่อหุ้มไทลาตอยด์อันเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเชิงแสงมีบูรณภาพด้าน

โครงสร้างและการทำหน้าที่ 2) จำเป็นต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และเฟอร์รีดอกซินและ 3) เป็นสะพานสำหรับการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนของกระบวนการสังเคราะห์แสงใน 3 ส่วนซึ่งมีเหล็กรวมกันประมาณ 20 อะตอมต่อชุดดังนี้ (Broadley et al., 2012)

1) ศูนย์ปฏิกิริยา (reaction centre) ของระบบแสง II มีเหล็กไอออนเป็นส่วนประกอบสำหรับระบบแสง 1 มี 4Fe-4S คลัสเตอร์จำนวน 3 โมเลกุล

2) ในระบบแสง II อิเล็กตรอนเคลื่อนย้ายจาก P680 ไปยังฟิโอไฟทิน (pheophytin) และต่อไปยังพลาสโทควิโนน (plastoquinone) และไซโทโครมบีไซโทโครมเอฟและ Preiske 2Fe-2S Centre ตามลำดับซึ่งสารประกอบสามชนิดหลังนี้มีเหล็กอยู่ในโครงสร้าง

3) ในระบบแสง I อิเล็กตรอนเคลื่อนย้ายจาก P700 ไปยังเฟอร์รีดอกซินซึ่งเป็นโปรตีนที่มี 2Fe-2S คลัสเตอร์ในโครงสร้างและมีเหล็กมากที่สุดเมื่อเทียบกับส่วนอื่นเมื่อพืชขาดเหล็กจึงได้รับผลกระทบมากที่สุดด้วย

เหล็กมีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนของกระบวนการหายใจ เนื่องจากเหล็กเป็นองค์ประกอบของโปรตีน ซึ่งทำหน้าที่เคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน จาก NADH และ FADHไปยังออกซิเจน ได้แก่ ไซโทโครม b/c1 คอมเพล็กไซโทโครม C และไซโทโครม a/a3 คอมเพล็ก การสังเคราะห์โปรตีนพืชที่ขาดเหล็กมีโปรตีนทั้งหมดในใบลดลงก็จริง แต่โปรตีนต่างชนิดมิได้ลดลงในระดับเดียวกันกล่าวคือโปรตีนในเยื่อลดลงมากกว่าโปรตีนที่ละลายได้ สำหรับในไทลาคอยด์นั้นโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับหน่วยการสังเคราะห์แสง (photochemical units) จะลดลงมากกว่าโปรตีน ชนิดอื่น สาเหตุที่การขาดเหล็กทำให้การสังเคราะห์โปรตีนลดลงเนื่องจากธาตุนี้มีบทบาทในการสังเคราะห์ RNA และการรวมกลุ่มของไรโบโซมคลอโรพลาสต์ของใบพืชหลายชนิดที่ขาดธาตุเหล็กมีอาร์เอ็นเอไรโบโซม (rRNA) และอาร์เอ็นเอนำรหัส (mRNA) ลดลง ซึ่งถือเป็นสาเหตุสำคัญที่ลดการสังเคราะห์โปรตีนในคลอโรพลาสต์มากกว่าในไซโทพลาซึม เมื่อการขาดเหล็กเพิ่มความรุนแรง ปริมาณของ คลอโรพลาสต์และปริมาณโปรตีนต่อคลอโรพลาสต์จะลดลง (Tery and Abadia, 1986; Bertamini and Nedunchezhian., 2005) ส่วนรากของมะเขือเทศที่ขาดเหล็กนั้นการสังเคราะห์โปรตีนจะแตกต่างจากรากพืชที่มีเหล็กเพียงพอ กล่าวคือเมื่อขาดเหล็ก รากมะเขือเทศ จะตอบสนองโดยการสังเคราะห์พอลิเพ็บไทด์ 7 ชนิดเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่พบในกรณีการขาดธาตุอื่น แต่เมื่อให้พืชได้รับเหล็กตามปรกติ การสังเคราะห์พอลิเพ็บไทด์ดังกล่าวก็ลดลง (Schmidt and Buckhout., 1997)

อาการของพืชเมื่อขาดเหล็ก

พืชทั่วไปมีระดับขาดแคลนวิกฤต (critical deficiency level) ของเหล็กในใบระหว่าง 50–150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พืชแห้ง) ซึ่งถือว่าเป็นความเข้มข้นที่ค่อนข้างต่ำและหากต่ำกว่านี้จะแสดงอาการขาดเหล็ก แต่อย่างไรก็ตามพืชอาจแสดงอาการขาดเหล็กแม้ว่าจะมีธาตุนี้ในใบสูงกว่าเกณฑ์ ซึ่ง

มักเกิดกับพืชที่อยู่ในดินเนื้อปูนหรือดินแคลลาเรียส จึงเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าอาการเหลืองซีดหรือพร่องคลอโรฟิลล์ซึ่งเหนี่ยวนำด้วยปูน (lime–induced chlorosis) กล่าวคือ เมื่อมี HCO^-_3 ในสารละลายดินสูงจะมีผลต่อการดูด เคลื่อนย้าย และการใช้เหล็กของพืชโดยตรงและโดยอ้อม (Abadia,1992) ซึ่งแบ่งได้ 8 อย่างคือ

1) สารละลายดินมี pH สูง ทำให้สารประกอบของเหล็กตกตะกอน ทำให้การละลายของเหล็กจึงต่ำ

2) สารละลายภายนอกที่มี pH สูงนั้นทำให้กลไกการดึงโปรตอนออก (H^+ - efflux pump) ทำงานไม่ได้ผล เนื่องจาก H^+ ที่ออกมาทำปฏิกิริยากับ HCO^-_3 หมด

3) รากปลดปล่อยสารฟีนอลออกมาน้อยลง

4) มีการรีดิวซ์เฟอริกได้เฉพาะที่ผิวเยื่อหุ้มเซลล์ เนื่องจากขาดสารรีดิวซ์เหล็กในดิน อิทธิพลของ HCO^-_3 ทั้ง 4 ประการนี้ทำให้รากพืชดูดเหล็กได้น้อยลง ความเข้มข้นของธาตุนี้ในส่วนเหนือดินจึงต่ำกว่าปกติ

5) เมื่อรากอยู่ในสารละลายที่มี HCO^-_3 สูง การสังเคราะห์กรดอินทรีย์ภายในรากจะสูงตามไปด้วยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพืชชอบดินกรด กรดอินทรีย์เหล่านี้รวมตัวกับเหล็กเป็นคีเลตแล้วเก็บไว้ในแวคิวโอลของราก

6) การดึงเหล็กเข้าไปสะสมในแวคิวโอลของราก ทำให้มีเหล็กเพียงส่วนน้อยเคลื่อนย้ายทางไซเล็มไปยังส่วนเหนือดิน

7) รากที่อยู่ในสารละลายซึ่งมี HCO^-_3 สูงได้รับผลกระทบสองประการคือ การยืดตัวของรากลดลงและแรงดันภายในรากน้อยลง พลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนตัวละลายทางไซเล็มจากรากไปยังส่วนเหนือดินจึงต่ำลงด้วย เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เหล็กไปถึงใบที่กำลังเจริญเติบโตน้อยกว่าเดิม และการกระจายในใบพืชก็ไม่ค่อยสม่ำเสมอ

8) ใบพืชมีอาการเหลืองซีดซึ่งเหนี่ยวนำด้วยปูนมีความเข้มข้นของเหล็กสูง แต่ใบนั้นมีขนาดเล็กลงและหยุดการพัฒนาคลอโรพลาสต์ สาเหตุหนึ่งที่ใช้ใบเจริญเติบโตเนื่องจากไซโทไคนินเคลื่อนย้ายมายังส่วนเหนือดินน้อย การสังเคราะห์โปรตีนและพัฒนาคลอโรพลาสต์ซึ่งต้องอาศัยไซโทไคนินจึงหยุดด้วยเหตุที่ใบซึ่งปรากฏอาการเหลือซีดมีขนาดเล็กลง และสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ไม่ได้ ขณะเดียวกันก็อาจมีเหล็กเคลื่อนย้ายมาเพิ่มเติมที่ใบโดยมิได้ใช้ประโยชน์ ความเข้มข้นของธาตุนี้ในใบดังกล่าวจึงอาจสูงเท่าใบปกติ สำหรับความเข้มข้นของเหล็กในพืชที่ถือว่าขาดแคลนและเพียงพอ

ผลกระทบของธาตุเหล็กด้านการสังเคราะห์แสง

ผลกระทบด้านการสังเคราะห์แสงของพืชเมื่อขาดเหล็ก เนื่องจากเหล็กอยู่ในโครงสร้างและเกี่ยวข้องกับการทำหน้าที่ของโคโรพลาสต์ เหล็กในใบพืชส่วนมากอยู่ภายในคลอโรพลาสต์ ผลการ

วิเคราะห์ใบชูการ์บีตที่กำลังเจริญรวดเร็วพบว่า หากแบ่งเหล็กทั้งหมดในใบออกเป็น 5 ส่วน มี 3 ส่วน อยู่ในเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ หนึ่งส่วนอยู่ในสะโทรมาของคลอโรพลาสต์ อีกหนึ่งส่วนอยู่นอกคลอโรพลาสต์ เมื่อหยุดให้ธาตุเหล็กแก่พืชนี้ ปริมาณเหล็กในใบจะลดลงอย่างมาก โดยส่วนที่อยู่ในสะโทรมาลดลงเกือบหมด สำหรับในเยื่อหุ้ม ไทลาคอยด์ และนอกคลอโรพลาสต์ลดลงร้อยละ 51 และ 62 ของที่เคยมีตามลำดับ (Terry and Low.,1982) เหล็กในสะโทรมาซึ่งลดลงนี้ คือส่วนที่มาจากไฟโทเฟอริทิน อันเป็นเหล็กสำรองในรูปสารประกอบเหล็ก-ฟอสโฟโปรตีน (Fe-phosphoprotein) ประมาณว่า 10-30 เปอร์เซ็นต์ ของเหล็กในใบพืชอยู่ในไฟโทเฟอริทิน ปริมาณและสัดส่วนของเหล็กในรูปนี้เป็นดัชนีที่อาจบ่งชี้ถึง 1) ความเพียงพอของเหล็กในพืชที่จะใช้ในเมแทบอลิซึม และ 2) ระดับความเป็นประโยชน์ของเหล็กในวัสดุปลูก สำหรับการใช้เหล็กที่ดูดมาได้เพื่อพัฒนาใบนั้น ใบที่กำลังเจริญจะใช้ธาตุนี้เพื่อสร้างเยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์มาก และเก็บไว้ในสโตรมาน้อย (Hewit., 1983)

เมื่อพืชขาดเหล็กจะมีผลกระทบต่อโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ดังนี้

1) เกิดความเสียหายต่อเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ ใบชูการ์บีตที่ขาดเหล็กมีปริมาณเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ต่อคลอโรพลาสต์ลดลงอย่างมาก โดยไม่กระทบต่อโครงของออร์แกเนลอื่นๆ ที่มีการสะสมเหล็ก เช่น เพอร์ออกซิโซม และไมโทคอนเดรีย (Platt-Aloia et al., 1983)

โดยปกติเยื่อหุ้มไทลาคอยด์มีกาแลกโทลิพิด (galactolipids) ประมาณ 70 เปอร์ ของลิพิดที่มิใช่สารสี (non-pigment lipids) ทั้งหมด แต่เมื่อพืชขาดเหล็กสารต่อไปนี้ในไทลาคอยด์ลดลงมาก คือ กาแลกโทลิพิด โปรตีนทั้งหมดและคลอโรฟิลล์ทั้งหมดลดลง 75 60 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Nishio et al., 1985) นอกจากปริมาณของเยื่อหุ้มไทลาคอยด์จะลดลงเมื่อพืชขาดเหล็กแล้ว สารสีซึ่งทำหน้าที่รับพลังงานแสงหลายชนิดก็ลดปริมาณลงด้วย เช่น คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และแคโรทีน (carotene) ส่วนซานโทฟิลล์ (xanthophyll) ลดลงน้อยกว่าสารสีที่กล่าวข้างต้น จึงดูเหมือนว่าใบมีซานโทฟิลล์มากกว่าสารสีชนิดอื่น (Terry., 1980)

2) เนื่องจากเหล็กมีบทบาทในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ดังนั้นเมื่อพืชขาดเหล็กจะแสดงอาการเหลืองซีดหรือพร่องคลอโรฟิลล์ที่ใบ เนื่องจากการสังเคราะห์ลดลง ในขณะเดียวกันก็มีการสะสมทั้ง mg-protoporphyrin IX และ mg-protoporphyrin lx monomethy ester ซึ่งเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ซึ่งแสดงว่าขั้นตอนที่ต้องการเหล็กคือการเปลี่ยน mg-protoporphyrin lx monomethyl ester ให้เป็น protochlorophyllide นั่นเอง โดยในขั้นตอนการสังเคราะห์ protochlorophyllide พืชใช้โปรตีน CHL27 ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีเหล็กสองอะตอม (diiron containing enzyme) (Green and Rogers., 2004) นอกจากนี้การขาดเหล็กยังทำให้ระบบการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนในเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ขัดข้อง เนื่องจากพาหะของอิเล็กตรอน (electron carriers) เช่น ไซโทโครมเอฟ และเฟอรีดอกซินมีปริมาณลดลง (Terry and Abadia., 1986)

กลไกการทำหน้าที่ของเหล็ก และคลอโรพลาสต์

เมื่อพืชขาดเหล็กจะมีผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของคลอโรพลาสต์ดังนี้

1) ลดการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ คลอโรพลาสต์ของใบพืชที่ขาดเหล็กมีการสังเคราะห์คลอฟิลล์น้อยลงเนื่องจากเอนไซม์ที่กี่ยข้องกับการสังเคราะห์ σ-amino levulinic acid มีกิจกรรมลดลง เมื่อมีสารดังกล่าวน้อยก็สร้างคลอโรฟิลล์ได้น้อยด้วย นอกจากนั้นเหล็กยังอาจมีบทบาททางใดทางหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการถอดรหัส (transcription) และเสถียรภาพของ RNA (Huang et al., 1984)

2) พืชที่ขาดเหล็กจะหยุดสร้างไทลาคอยด์ ขณะที่ใบยังเจริญต่อไปได้ จำนวนคลอโรพลาสต์ก็เพิ่มขึ้นแต่จำนวนไทลาคอยด์ต่อหนึ่งคลอโรพลาสต์ลดลง อาการเหลืองซีดของใบพืชปรากฏก็เพราะคลอโรพลาสต์มีจำนวนไทลาคอยด์น้อย และองค์ประกอบสำคัญของไทลาคอยดีก็สูญหายไปด้วย (Tery and Abadia,. 1986)

3) การรับพลังงานแสงและการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนมีน้อยลงในใบพืชที่ขาดเหล็กโดยกระบวนการแรกได้รับผลกระทบน้อยกว่ากระบวนการหลัง ทำให้ประสิทธิภาพของระบบแสง II ลดลง (Terry, 198;Pestana et al,. 2001)

นอกจากนี้การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ก็ลดลงด้วย จากที่ได้กล่าวแล้วว่าการขาดเหล็กมีผลกระทบต่อไทลาคอยด์มากกว่า สะโทรมาของคลอโรพลาสต์ ดังนั้นโปรตีนในสะโทรมาจึงไม่เปลี่ยนแปลง สวนกิจกรรมของ Rubisco ลดลงราว 30 เปอร์เซ็นต์ แต่เอนไซม์หลายชนิดในวัฏจักรคาร์ลวินยังคงปกติ การที่เอนไซม์หลักในการตรึงคาร์บอนไดออกไซม์ คือ Rubisco มีกิจกรรมลดลงอัตราการสังเคราะห์แสงในส่วนนี้ของพืชที่ขาดเหล็กจึงต่ำกว่าปกติ (Terry and Abadia., 1986)

การขาดเหล็กของพืชก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงด้านกายวิภาคของรากอย่างชัดเจน (ยกเว้นพืชตระกูลหญ้า) ได้แก่ 1) รากสั้นลง 2) ขนาดปลายรากโตขึ้น 3) มีขนรากมากกว่าเดิม และ 4) เซลล์ไรโซเดิม (thizodermal cells) หรือเซลล์คอร์เทกซ์ชั้นนอกสุดได้ปรับสภาพให้มีลักษณะคล้ายเซลล์ถ่ายโอน (transfer cells) ซึ่งหมายความว่าเซลล์นั้นมีผนังไม่เรียบ เยื่อหุ้มเซลล์มีลักษณะคดเคี้ยวจึงเพิ่มพื้นผิวการดูดธาตุอาหารได้อีกมาก ประกอบกับเป็นเซลล์ที่มีกิจกรรมด้านเมทาบอลิซึมสูงขึ้นจึงสามารถเพิ่มอัตราการดูดธาตุอาหารโดยตรง การเปลี่ยนแปลงนี้จึงเป็นกลยุทธที่ช่วยให้รากดูดเหล็กได้มากขึ้น และชัดเจนมากในรากพืชที่สามารถเพิ่มสภาพกรดในวัสดุปลูก (Kramer el al., 1980)

เนื่องจากรากพัฒนาเซลล์ไรโซเดิมให้เป็นเซลล์ถ่ายโอนเมื่ออยู่ในภาวะขาดเหล็ก หลังจากพัฒนาแล้วเซลล์เหล่านี้ก็มีกิจกรรมสำคัญ 3 ประการคือ 1) กระตุ้น H^+- efflux pumps ให้มีการขับโปรตอนออก 2) เพิ่มความสามารถในการรีดิวซ์ และ 3) ปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลออกจากรากด้วย แต่เมื่อพืชได้รับเหล็กจนเพียงพอเซลล์ถ่ายโอนเหล่านี้ก็ปรับเข้าสู่สภาพเดิมภายใน 1-2 วันเท่านั้น ในขณะเดียวกันการกระตุ้นกลไกการดูดเหล็ก การขับโปรตอนตลอดจนการชับสารประกอบฟินอล

จากรากก็ลดลงสู่ระดับเดิมเช่นกันเมื่อเป็นเช่นนี้ PH ของสารละลายภายนอกก็เพิ่มขึ้น สารรีดิวซ์ต่างๆ ก็หายไปด้วย

หากพืชได้รับเหล็กในระดับที่ต่ำกว่าปกติ (suboptimum) เช่น ให้เฟอริกคีเลตอัตราต่ำ หรือใช้สารประกอบเฟอริกซึ่งมีสภาพละลายได้ต่ำ รากจะมีการเปลี่ยนแปลงสัณฐานลักษณะดังที่กล่าวข้างต้น ขับโปรตอนออกมาลด pH ของวัสดุปลูก ตลอดจนเพิ่มอัตราการดูดเหล็ก ในขณะที่อัตราการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดิน และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบยังคงปกติ (Romheld and Marshner., 1981) นอกจากนี้พืชแต่ละชนิดยังใช้กลยุทธ์ในการหาเหล็กมาเพิ่มจากดินเมื่อขาดเหล็ก ความเป็นพิษจากเหล็กมิได้เกิดกับพืชทั่วไป แต่มักเกิดกับข้าวซึ่งปลูกในดินนาน้ำขังบางพื้นที่เท่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินเปรี้ยวจัด (acid sulfate soil) ซึ่งมีเฟอรัสในสารละลายดินสูงมาก อาการเป็นพิษที่ปรากฏมีดังนี้ ระยะแรกใบมีเขียวปนน้ำเงิน ต่อมาใบจะแห้งอย่างรวดเร็ว การเจริญของใบ ต้น และรากลดลง รากเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล อาการของสีใบในระยะแรกคล้ายกับอาการขาดฟอสฟอรัส เพราะเป็นช่วงที่ฟอสฟอรัสถูกยึดไว้ในเนื้อเยื่อและใช้ประโยชน์ไม่ได้ ผู้ประเมินจึงอาจเข้าใจผิดว่าขณะนั้นข้าวขาดฟอสฟอรัสความเข้มข้นวิกฤตเป็นพิษ (critical toxicity content) ของเหล็กคือสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ความเป็นพิษของข้าวเนื่องจากเหล็กเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน เนื่องจากมักควบรวมเอาปัญหาการขาธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และสังกะสีเข้าไว้ด้วย (Sahrawat., 2004)

การใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมช่วยชะลอความรุนแรงของปัญหาลงได้บ้างเนื่องจาก 1) โพแทสเซียมช่วยลดเอ็กซิเดชั่นของรากจึงลดประชากร และชะลอกิจกรรมของแบคทีเรียในไรโซสเฟียร์ (rhizosphere) ซึ่งทำหน้าที่รีดิวซ์เหล็ก ความเข้มข้นของเฟอรัสไอออนที่ผิวรากจึงลดลง และ 2) เพิ่มศักย์ออกซิเดชั่น(oxidizing potential) ของรากข้าว ซึ่งเปลี่ยนเหล็กจากรูปเฟอรัสให้เป็นเฟอริก และละลายได้น้อยลง (Bergmann., 1992)

เหล็กมีอันตรกิริยากับธาตุอาหารหลายธาตุ ดังนี้ (Fageria. 2001: Alam et al, 2001: Fasaei et al., 2003)

สำหรับภาวะปฏิปักษ์ (antagonism) ระหว่างเหล็กกับธาตุอื่น อาจเกิดผลเสียหรือผลดีขึ้นอยู่กับระดับของเหล็กในดินขณะนั้น

1) ในกรณีที่ดินมีเหล็กระดับปรกติหรือค่อนข้างต่ำ การเพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจน (รูปแอมโมเนียม) ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมงกานีส หรือทองแดง ทำให้พืชดูดเหล็กได้น้อยลงและแสดงอาการขาดเหล็ก

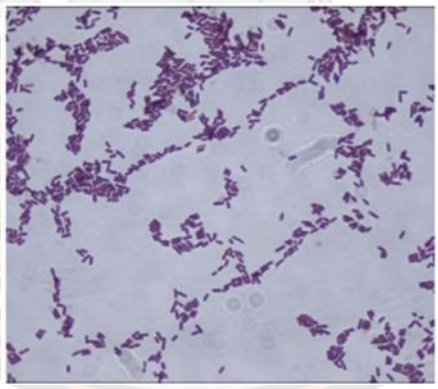
2) หากดินมีเหล็กมากเกินไปจนถั่วเหลืองดูดไปสะสมในใบถึง 300 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งเป็นพิษต่อพืชหากใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุใดธาตุหนึ่งตามข้อ 1) เมื่อเริ่มปลูกพืช จะทำให้รากพืชดูดเหล็กจากดินน้อยลงและไม่เป็นพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหล็กและแมงกานีสมีภาวะปฏิปักษ์ต่อกันในเรื่องการดูด

อย่างชัดเจน ดังนั้นการเพิ่มปุ๋ยแมงกานีสจึงช่วยลดการดูดเหล็กอย่างมาก ถั่วเหลืองจึงไม่เป็นพิษเนื่องจากเหล็ก

ในทางกลับกันหากมีแมงกานีสในสารละลายธาตุอาหารพืชสูงจนถึงระดับเป็นพิษ (2.5 ไมโครโมลาร์) ทำให้มีแมงกานีสในส่วนเหนือดินและรากข้าวบาร์เลย์มีความเข้มข้น 44 และ 147 ไมโครกรัมต่อกรัม (ระดับวิกฤตเป็นพิษ หรือ critical toxicity level) ตามลำดับ การเพิ่มเหล็กให้ได้ 100 มิลลิโมลาร์ ข้าวบาร์เลย์จะสะสมแมงกานีสน้อยลง และไม่เป็นพิษจากธาตุนี้

3) การศึกษาผลของการเพิ่มความเข้มข้นของเหล็กในสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ปลูกข้าว ต่อการดูดมหาธาตุ แสดงว่าฟอสฟอรัสได้รับผลกระทบรุนแรงที่สุด รองลงมาคือ โพแทสเซียม แมกนีเซียม ไนโตรเจนและแคลเซียม ดังนั้นหากดินมีเหล็กสูง ข้าวจะขาดฟอสฟอรัสเป็นลำดับแรก นอกจากนี้ยังมีผลให้การดูดจุลธาตุลดลง โดยแมงกานีสลดลงมากที่สุด รองลงมาคือสังกะสีและทองแดง

การใช้ประโยชน์เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis*



ภาพที่ 4 รูปแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ผ่านเลนส์กล้องจุลทรรศน์

Bacillus subtilis เป็นแบคทีเรียแกรมบวก สามารถสร้างแคปซูล (capsule) ได้ สามารถสร้างแอนโดสปอร์ (endospore) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญได้ดีแหล่งที่อยู่อาศัยพบได้ทั่วไปในดินและยังมีอัตราการขยายพันธุ์เร็ว เชื้อ *Bacillus subtilis* มีชีวิตที่ทนทาน ในสภาพที่ปลอดจากความชื้น และยังทนต่อสภาพแวดล้อมที่เป็นกรด ด่าง ทนทานต่อยาฆ่าเชื้อ จึงเป็นตัวควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ก่อเกิดโรคอื่นๆได้ (อัจฉรา,2562) กลไกการทำงาน *Bacillus subtilis* สามารถเข้าทำลายโดยตรงและอีกทั้งยังสามารถสร้างสารปฏิชีวนะได้หลายชนิด และสามารถแก่งแย่งธาตุอาหารได้ดีกว่าจุลินทรีย์อื่น ๆ ในสภาพแวดล้อมที่ขาดแคลนเป็น

เชื้อจุลินทรีย์ที่โดยปกติมักจะพบอาศัยอยู่ภายในพืชโดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียหายต่อพืชที่อาศัยอยู่มีความสามารถในการปรับตัวและทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่แปรเปลี่ยน และวิกฤต โดยการสร้างสปอร์ สำหรับในประเทศไทยได้มีการศึกษา พบว่า แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* สามารถกำจัดเชื้อราก่อเกิดโรครากเน่า ใบจุด และโรคพืชต่าง ๆ ที่เกิดได้ทั้งในระบบรากและใบ ซึ่งได้ทำการศึกษาการการปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์ทำได้ง่ายกว่าการปลูกในดิน เพราะสามารถเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในระบบรากได้ชัดเจนกว่า โดยในระยะแรกเริ่มจากเรื่องโรครากเน่า โดยการคัดเลือกเชื้อในระยะแรกจะต้องมีการใส่เชื้อโรคลงในระบบปลูก จนสามารถคัดเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ *Bacillus subtilis* ที่ยับยั้งเชื้อรากลุ่มพิชเชียม (*Pytium* spp.) ที่เป็นสาเหตุของโรครากเน่า (อัจฉรา, 2562) ในปัจจุบันพืชที่สามารถเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับเกษตรกรในพืชเศรษฐกิจหลักแล้วยังมีพืชผัก และสมุนไพรที่สามารถสร้างรายได้ให้เป็นอย่างดี และการผลิตที่สามารถเข้าสู่ตลาดจะต้องมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค เกษตรกรจึงมองหาปัจจัยการผลิตที่เป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะด้านการป้องกันกำจัดศัตรูพืชผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและพัฒนาแนวทางการใช้ปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมกับชนิดพืชและศัตรูพืชและชีวภัณฑ์ที่โดดเด่นสามารถแก้ปัญหาในพื้นที่ด้านโรคพืชชนิดหนึ่ง คือ *Bacillus subtilis* ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ กลุ่มของแบคทีเรีย เป็นเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ที่สามารถเจริญเติบโตแข่งขันกับเชื้อโรคพืช เนื่องจากเชื้อ *Bacillus subtilis* สามารถเจริญเติบโตและครองพื้นที่บนผิวพืชได้ดีกว่า เชื้อโรคพืชจึงเข้าทำลายไม่ได้ ส่งผลให้พืชเจริญเติบโต แข็งแรง ทำให้ผลผลิตสูงชีวภัณฑ์ที่ผลิตจากแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* เป็นชีวภัณฑ์ที่ใช้เพื่อควบคุมโรคพืช ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มักพบอยู่ทั่วไปในดิน เศษวัสดุปลูก รากพืช หรือแหล่งน้ำ จึงมีความปลอดภัยทั้งผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม และมีความทนทานในสภาพแวดล้อม เนื่องจากสามารถสร้างสปอร์ที่เรียกว่าเอ็นโดสปอร์ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง จึงสามารถปรับตัวให้อยู่ในสภาพธรรมชาติได้ยาวนาน ทำให้แบคทีเรียชนิดนี้มีการนำมาผลิตเป็นสารชีวภัณฑ์เพื่อใช้ในการควบคุมโรคพืชกันอย่างแพร่หลาย โดยมีการขึ้นทะเบียนเพื่อผลิตเป็นการค้าทั่วโลก แล้วไม่ต่ำกว่า 25 ประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา เยอรมนีแคนาดาญี่ปุ่น สเปน และ อิตาลี เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการใช้ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองเพื่อเพิ่มปริมาณสารเคอร์คิวมินในขมิ้นชัน

จากการศึกษาการใช้ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองต่อปริมาณของเคอร์คิวมินมีรายงานการศึกษาวิจัยการใช้ธาตุอาหารในพืชและได้ทำการศึกษาจุลธาตุหรือธาตุอาหารเสริมทั้ง 8 ชนิดและเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อพืชจึงได้ศึกษาโดยการให้ปุ๋ยทางดินและทางใบโดยผลของการใช้สังกะสีกับใบของขมิ้นชันก็แสดงให้เห็นถึงการใช้ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนและไม่ส่งผลกระทบต่อผลิตของขมิ้นชันและในรากพืชโดยไม่มีผลกระทบ ZnHN ผลที่ได้ของ

เคอร์คูมินอยด์มีความต่างกันและปริมาณของขมิ้นชันก็เพิ่มขึ้นตามปริมาณสังกะสี (Nguyen et al., 2020)

การจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับขมิ้นชันมีความสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของขมิ้นชัน

จากการศึกษาการใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จึงได้ศึกษาการจัดการธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แยกกันจะไม่สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของขมิ้นชันได้ในขณะที่ใช้ ไนโตรเจน เพียงอย่างเดียวจะเพิ่มทั้งการเจริญเติบโตและผลผลิตขมิ้นชัน แต่ในการใช้ไนโตรเจน และ โพแทสเซียม หรือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม ร่วมกันทำให้มีมวลชีวภาพของขมิ้นชันมากขึ้น 148.4 ± 6.1 กรัมต่อต้น และให้ผลผลิตของขมิ้นชันสูงขึ้น 153.6 ± 3.1 กรัมต่อต้น แม้ว่า โพแทสเซียม เพียงอย่างเดียวจะให้ปริมาณเคอร์คูมินสูงสุดในเหง้า แต่ผลผลิตของขมิ้นชันไม่เพิ่มในทางกลับกัน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม ให้ผลผลิตสูงสุดแต่ไม่เพิ่มปริมาณเคอร์คูมิน ไนโตรเจน และ โพแทสเซียม ให้ผลตอบแทนสูงสุดเป็นอันดับสอง 149.4 ± 4.1 โดยมีปริมาณเคอร์คูมินนอยด์สูงสุดเป็นอันดับสอง ซึ่งบ่งชี้ว่าชุดค่าผสมนี้ดีที่สุดสำหรับการส่งเสริมทั้งผลผลิตและปริมาณเคอร์คูมินนอยด์ในขมิ้นชัน เราต้องการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อประเมินระดับการผสมที่สำคัญและระยะเวลาของการใช้ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม ในด้านผลผลิตและคุณภาพของขมิ้นชัน นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ช่วยเพิ่มปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ของขมิ้นชันได้ดังเช่นงานวิจัยการใช้ปุ๋ยเคมีและมูลวัวมีผลทำให้สารเคอร์คูมินิยด์ สูงสุด 10.52 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้มูลวัวในอัตราไม่ต่ำกว่า 8 ตันต่อไร่ (อนัสรูล และคณะ,2564) และในการศึกษาการใช้ปุ๋ยที่ปริมาณที่เมาะสมส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของขมิ้นชันเพิ่มมากขึ้น ทำให้ได้ผลผลิตสูงสุด ใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม (15:15:15) ในอัตรา 150 และ 300 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ผลผลิตน้ำหนักแห้งของขมิ้นชันได้ 9.4 และ 10.2 กรัม และการปุ๋ยที่อัตรา 450 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ก็ทำให้ผลผลิตขมิ้นชันลดลง (Thomas et al., 2018) นอกจากนี้การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตของขมิ้นชันได้ดังเช่นงานวิจัยการใช้ปุ๋ยเคมีและมูลวัวมีผลทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งของขมิ้นชันเพิ่มขึ้น 55.42 กรัม โดยการใช้มูลวัวในอัตราไม่ต่ำกว่า 8 ตันต่อไร่ (อนัสรูลและคณะ, 2564) และการใช้อินทรีย์จะมีองค์ประกอบของธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ (Land Development Department, 2010) และการศึกษาปริมาณแร่ธาตุในดินที่ส่งผลต่อผลผลิตและปริมาณทางชีวเคมีของขมิ้นชันและผลผลิตของขมิ้นชันต่ำเนื่องจากการจัดการธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชเป็นข้อจำกัดหลักในด้านผลผลิตและคุณภาพของขมิ้นชัน และเป็นที่ทราบกันดีว่าพืชขมิ้นชันสามารถตอบสนองต่อแร่ธาตุได้ดีโดยการใส่ปุ๋ย ดังนั้นจึงได้ศึกษาการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสมและในปริมาณที่เพียงพอต่อการเพาะปลูกเพื่อให้ได้ผลผลิตพืชสมุนไพร และมีกลิ่นหอม

สำหรับการปลูกขมิ้นชันนั้นต้องใส่ธาตุต่างๆ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ทั้งแบบเดี่ยวและแบบผสมนั้น ผลการทดลองใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม ร่วมกับธาตุอาหารหลักและจุลธาตุ การรวมกันยังช่วยปรับปรุงดินและเอ็นไซม์ในดินอีกด้วยงานวิจัยนี้จึงแนะนำให้ใช้ปุ๋ยร่วมกับธาตุอาหารหลักและจุลธาตุเพื่อเพิ่มผลผลิตและปริมาณสารสำคัญในเหง้าขมิ้นชัน และการใช้ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม ร่วมกับ สังกะสีและเหล็ก ที่อัตรา (100:75:75:3:6:6 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) ช่วยปรับปรุงดินและสารสำคัญในเหง้าขมิ้นชัน และกิจกรรมของเอนไซม์ในดิน รวมถึงคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของดินอีกด้วย (Khurshid et al., 2021) การใช้ธาตุอาหารโดยการใช้ปุ๋ยเคมีและอินทรีย์มีความสำคัญในการเจริญเติบโต รวมถึงผลผลิตของขมิ้นชัน (Kamal and Yousuf., 2012) และการเพิ่มขึ้นของสารเคอร์คูมิน (Sanwal et al., 2007) นอกจากนี้ การใช้ธาตุอาหารให้กับพืชในช่วงระยะแรกในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้ขมิ้นชันสามารถเจริญเติบโตได้ดี และการใช้อินทรีวัตถุก็ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของดินได้ (Land Development Department, 2017)

อิทธิพลของสารละลาย Salicylic acid

จากการศึกษาการให้สารละลาย Salicylic acid ในผลผลิตและปริมาณสารสำคัญในขมิ้นชัน โดยที่การพ่นสาร salicylic acid ไม่มีผลต่อผลผลิตของขมิ้นชัน แต่มีผลต่อคุณภาพ โดยระยะเวลาของการฉีดพ่นก่อนการเก็บเกี่ยว ร่วมกับความเข้มข้นของสารละลายที่แตกต่างกันของ salicylic acid มีผลต่อปริมาณสาร curcumintotal phenolic และtotal flavonoids โดยการฉีดพ่นสาร salicylic acid ที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนการเก็บเกี่ยว 60 วัน มีปริมาณเคอร์คูมิน และ total phenolic มากที่สุด 143.04 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ 108.80 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และการฉีดพ่นสารละลาย salicylic acid ความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนการเก็บเกี่ยว 60 วัน มีปริมาณ total flavonoids มากที่สุด 292.50 มิลลิกรัม QUE ต่อกรัมน้ำหนักแห้งจากผลการทดลองนี้เกษตรกรสามารถนำไปใช้ในการผลิตขมิ้นชันในแปลงปลูกเพื่อเพิ่มคุณภาพด้านปริมาณสารสำคัญโดยไม่กระทบต่อปริมาณผลผลิตและคุณภาพขมิ้นชัน (สมพร ช่วยแต้ม, 2562)

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

อุปกรณ์การวิจัย

1) พืชที่ใช้ในการทดลองใช้ขมิ้นชันพันธุ์เชียงรายเป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูก

2) ปุ๋ยที่ใช้ในการทดลอง

ปุ๋ยไนโตรเจน ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย 46-0-0

ปุ๋ยฟอสฟอรัส ได้แก่ ฟอสฟอรัส 16-20-0

ปุ๋ยโพแทสเซียม ได้แก่ ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ 0-0-60

ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์

ผงธาตุเหล็กในรูปของ Fe–EDTA หรือ ปุ๋ยคีเลต

3) อุปกรณ์ที่ใช้เพาะปลูก

จอบ

ถุงเพาะกล้า

กระถาง

วัสดุปลูก (ดินปลูก)

เครื่องชั่ง

บัวรดน้ำ

4) อุปกรณ์ที่ใช้บันทึกข้อมูล

ตลับเมตร

เวอร์เนียคาลิปเปอร์

การใช้เครื่องวัดคลอโรฟิลล์ในใบพืช รุ่น SPAD-502 Plu

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การทดลองในสภาพโรงเรือนศึกษาผลของการใช้ชีวภัณฑ์ *Bacillus subtilis* (B-Veggie) ร่วมกับการจัดการปุ๋ย และ Fe–EDTA ต่อการเจริญเติบโต และปริมาณธาตุอาหารพืชในขมิ้นชัน ผลของการใส่ Fe-EDTA ต่อปริมาณสารเคอร์คิวมินในขมิ้นชัน

การเตรียมท่อนพันธุ์ขมิ้นชัน

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ชีวภัณฑ์ *Bacillus subtilis* (B-Veggie) จากรองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู สาขาวิชานวัตกรรมการเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การเตรียมดินสำหรับเพาะขมิ้นชันโดยใช้แกลบดำ และผสมทรายในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ผสมเข้าด้วยกัน นำดินใส่ถุงเพาะชำเพื่อเตรียมปลูก โดยนำท่อนพันธุ์ขมิ้นชันตัดเป็นชิ้นให้ได้ขนาดน้ำหนัก 5-6 กรัม จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด และนำท่อนพันธุ์แช่ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) เป็นเวลา 15 นาที

สำหรับการเตรียมชีวภัณฑ์ (B-Veggie) ทำการเพาะขยายชีวภัณฑ์ (B-Veggie) ในน้ำสะอาดต้มสุก จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 36 - 48 ชั่วโมง โดยนำท่อนพันธุ์แช่ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) เป็นเวลา 15 – 20 นาที จากนั้นนำท่อนพันธุ์ลงปลูกในถุงเพาะชำที่เตรียมไว้ และรดน้ำทุกๆ 2 วัน เมื่อต้นกล้ามีอายุครบ 30 วัน ทำการย้ายปลูกขมิ้นชันลงในกระถาง

วัสดุที่ใช้ในการเพาะปลูก

การเตรียมวัสดุปลูกและย้ายปลูกขมิ้นชัน

เตรียมวัสดุปลูกผสมดินและแกลบดำให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นชั่งดินใส่กระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว จำนวน 7 กิโลกรัมต่อกระถาง และทำการเก็บดินไปวิเคราะห์ดินก่อนเพาะปลูก จากนั้นนำต้นกล้าขมิ้นชันอายุ 1 เดือน ย้ายปลูกในกระถางใช้ต้นพันธุ์ขมิ้นชันที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพ การใช้ชีวภัณฑ์ (B-Veggie) มาเพาะปลูก โดยคัดเลือกต้นพันธุ์ที่มีขนานใกล้เคียงกันปลูกในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้วและรดน้ำทุกๆ วัน ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในระยะแรก และเมื่อขมิ้นชันอายุ 4 เดือนจะเพิ่มปริมาณน้ำเป็น 400 มิลลิลิตร

การใส่ปุ๋ยเมื่อขมิ้นชันอายุได้ 1 เดือน ใส่ปุ๋ยเคมีแบบที่ 1 (ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร) ปริมาณอัตราส่วน 5-1-4 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ สูตร 46-0-0 16-20-0 0-0-60 ปริมาณ 3 กรัมต่อกระถาง และใส่ปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) ใส่เดือนละ 1 ครั้ง ปริมาตร 200 มิลลิลิตรต่อกระถาง

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) โดยศึกษาการใช้ *Bacillus subtilis* (B-Veggie) และการใช้ปุ๋ยร่วมกับ Fe- EDTA ต่อการเจริญเติบโตและปริมาณของสารเคอร์คูมินในขมิ้นชัน โดยการเพาะขมิ้นชันในถุงดำและย้ายขมิ้นชันลงปลูกในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว ปลูกภายในโรงเรือนประกอบด้วย 4 ซ้ำ 16 กรรมวิธี ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1+ไม่ใส่ Fe
กรรมวิธีที่ 2 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1+ Fe600 1 ครั้ง 600 ppm
กรรมวิธีที่ 3 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1+Fe 600 แบ่งใส่ 2 ครั้งๆ ละ 300 ppm
กรรมวิธีที่ 4 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1+Fe600 แบ่ง 3 ครั้งๆ ละ 200 ppm

กรรมวิธีที่ 5 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+ ไม่ใส่ Fe
กรรมวิธที่ 6 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+Fe 600 1ครั้ง 600 ppm
กรรมวิธีที่ 7 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+Fe600 แบ่ง 2 ครั้งๆ ละ 300 ppm
กรรมวิธีที่ 8 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+Fe 600 แบ่ง 3 ครั้งๆ ละ 200 ppm
กรรมวิธีที่ 9 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1 + ไม่ใส่ Fe
กรรมวิธีที่ 10 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1+Fe600 1 ครั้ง 600 ppm
กรรมวิธีที่ 11 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1+Fe 600 แบ่ง 2 ครั้งๆ ละ 300 ppm
กรรมวิธีที่ 12 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1+Fe 600 แบ่ง 3 ครั้งๆละ 200 ppm
กรรมวิธีที่ 13 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+ ไม่ใส่ Fe
กรรมวิธีที่ 14 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+Fe600 1 ครั้ง 600 ppm
กรรมวิธีที่ 15 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+Fe600 แบ่ง 2 ครั้งๆละ 300 ppm
กรรมวิธีที่ 16 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+Fe600 แบ่ง 3 ครั้งๆ ละ 200 ppm

การเก็บข้อมูล

การบันทึกผลการทดลอง หลังปลูกย้ายขมิ้นชันลงปลูกในกระถางแล้ว 30 วัน ทำการเก็บข้อมูลดังนี้

วัดการเจริญเติบโตความสูงของขมิ้นชัน (เซนติเมตร) โดยวัดจากผิวดินถึงส่วนของคอใบความยาวใบ (เซนติเมตร) วัดจากคอใบจนถึงปลายใบ ขนาดของลำต้น (เซนติเมตร) วัดจากเหนือผิวดินขึ้นมา 5 เซนติเมตร จำนวนใบ (ใบต่อต้น) และค่าความเขียวของใบ โดยเก็บข้อมูลทุก 15 วัน เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อขมิ้นชันอายุ 8 เดือน บันทึกผลผลิตโดยชั่งน้ำหนักสด

การเก็บตัวอย่างดินในกระถางหลังจากผสมดินทั้งหมดตามสัดส่วนเข้ากันเรียบร้อยแล้ว ทำการเก็บตัวอย่างดินในกระถางด้วยช้อนปลูกที่ความลึกประมาณ 5-10 เซนติเมตร สุ่ม 3-4 จุดบริเวณดินในกระถาง

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดิน

ธาตุอาหารฟอสฟอรัสวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารด้วยวิธี Bray II โพแทสเซียม วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารด้วยวิธี NH_4OA_c อินทรียวัตถุ วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารด้วยวิธี Walk – Black และ ค่าความเป็น กรด – ด่างด้วยวิธี pH meter

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่พบในขมิ้นชัน และปริมาณเคอร์คูมิน

ไนโตรเจน วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารด้วยวิธี Kjeldahl ฟอสฟอรัสวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารด้วยวิธี Vanadomolybdate (จำเป็น อ่อนทอง, 2555) โพแทสเซียมและ โซเดียม วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารด้วยวิธี AES (Samadi et al., 2008) แคลเซียม และแมกนีเซียมวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารด้วยวิธี atomicabsorption spectroscopy (AAS) กำมะถัน วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารด้วยงิธี $BaCl_2$ method เหล็ก แมงกานีส ทองแดงและสังกะสี วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารด้วยวิธี (AAS) (Samadi et al., 2008) และวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินด้วยวิธี UV-Visible spectrophotometry (สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม, 2549)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลผลของการใช้ (B-Veggie) ต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชัน ด้านความสูง ความยาวใบ ขนาดลำต้น จำนวนใบ ความเขียวใบ วิเคราะห์หาค่าแปรปรวนโดยใช้ F-test และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกขมิ้นชัน และปริมาณธาตุอาหารในขมิ้นชัน วิเคราะห์หาค่าแปรปรวนโดยใช้ F-test และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

นำข้อมูลปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณเคอร์คูมิน วิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ด้วยวิธี Pearson Product moment correlation Coefficient

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

แปลงวิจัยและฝึกงานนิสิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการใช้ชีวภัณฑ์ (B-Veggie) ต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชัน

ผลการแช่ท่อนพันธุ์ขมิ้นชันด้วย *Bacillus subtilis* (B-Veggie) จากการทดสอบผลการใช้ *Bacillus subtilis* (B-Veggie) เพื่อศึกษาอิทธิผลการเจริญเติบโตของขมิ้นชันเมื่อปลูกขมิ้นชันอายุผ่านไป 1 เดือนหลังปลูก พบว่าความสูง ความยาวใบ ขนาดลำต้น จำนวนใบ และความเขียวของขมิ้นชัน มีผลการทดลองดังนี้ (ดังแสดงในตาราง 1)

ความสูง

จากการทดสอบพบว่าเมื่อปลูกขมิ้นชันอายุผ่านไป 1 เดือนหลังปลูก ความสูงของขมิ้นชันในกรรมวิธีไม่แช่ท่อนพันธุ์ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) มีความสูงของขมิ้นชันสูงสุดที่ 13.38 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่แช่ท่อนพันธุ์ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) มีความสูงของขมิ้นชันสูงสุดที่ 15.48 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความยาวใบ

จากการทดสอบพบว่าเมื่อปลูกขมิ้นชันอายุผ่านไป 1 เดือนหลังปลูก ในกรรมวิธีไม่แช่ท่อนพันธุ์ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) มีความยาวใบของขมิ้นชันสูงสุดที่ 17.06 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่แช่ท่อนพันธุ์ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) มีความยาวใบของขมิ้นชันสูงสุดที่ 18.46 เซนติเมตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ขนาดลำต้น

จากการทดสอบพบว่าเมื่อปลูกขมิ้นชันอายุผ่านไป 1 เดือนหลังปลูก ในกรรมวิธีไม่แช่ท่อนพันธุ์ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) มีขนาดลำต้นของขมิ้นชันสูงสุดที่ 0.61 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่แช่ท่อนพันธุ์ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) มีขนาดลำต้นของขมิ้นชันสูงสุดที่ 0.63 เซนติเมตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จำนวนใบ

จากการทดสอบพบว่าเมื่อปลูกขมิ้นชันอายุผ่านไป 1 เดือนหลังปลูก ในกรรมวิธีไม่แช่ท่อนพันธุ์ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) มีจำนวนใบของขมิ้นชันสูงสุดที่ 4.43 ใบ และกรรมวิธีที่แช่ท่อนพันธุ์ ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) มีจำนวนใบของขมิ้นชันสูงสุดที่ 4.75 ใบ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเขียวใบ

จากการทดสอบพบว่าเมื่อปลูกขมิ้นชันอายุผ่านไป 1 เดือนหลังปลูก ในกรรมวิธี ไม่แช่ท่อนพันธุ์ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) มีความเขียวของ ขมิ้นชันสูงสุดที่ 23.87 และกรรมวิธี แช่ท่อนพันธุ์ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) ทำให้ความความเขียวของใบขมิ้นชันสูงสุดที่ 26.90 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1) เมื่อเทียบกับความยาวของใบขมิ้นชัน ขนาดลำต้น และจำนวนใบของขมิ้นชันพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติแต่ แช่ท่อนพันธุ์ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) มีส่วนช่วยทำให้รากขมิ้นชันดูดธาตุอาหารได้ดีดังนั้นเมื่อขมิ้นชันมีสารอาหารมากขึ้น ส่งผลให้ความเขียวเพิ่มขึ้น สำหรับข้อมูลส่วนอื่นก็มีแนวโน้มที่จะดีกว่าเนื่องจากการที่ความสูงเพิ่มมากขึ้นเพราะเชื้อทำให้ดูดธาตุอาหารได้ดี

ตาราง 1 ผลของการใช้ B-Veggie ต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชัน

กรรมวิธีการทดลอง	ความสูงต้น (ซม.)	ความยาวใบ (ซม.)	ขนาดลำต้น (ซม.)	จำนวนใบ(ใบ/ต้น)	ความเขียวใบ
ไม่แช่	13.38 ± 0.76^{b}	17.0 ± 0.55	0.61 ± 1.01	4.43 ± 0.19	23.87 ± 0.31^{b}
แช่	15.48 ± 0.63^{a}	18.4 ± 0.56	0.63 ± 0.02	4.75 ± 0.24	26.90 ± 0.50^{a}
T-test	*	ns	ns	ns	*
cv (%)	26.04	21.29	21.02	22.75	9.32

หมายเหตุ : * มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95
ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ผลการใช้ปุ๋ยเคมี และการใช้ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ ต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชัน

จากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 1 (ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร) และการใช้ปุ๋ยแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) ต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชันพบว่า ความสูง ความยาวใบ ขนาดลำต้น จำนวนใบ และความเขียวของขมิ้นชันมีผลการทดลองดังนี้ (ดังแสดงในตาราง 2)

ความสูง

พบว่าเมื่อขมิ้นชันอายุ 2 เดือนหลังปลูก หลังจากใส่ปุ๋ยเคมี และเก็บข้อมูลความสูงต้นขมิ้นชันพบว่า การไม่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 1 (ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร) ทำให้ความสูง

ของขมิ้นชันสูงสุดที่ 25.60 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) ทำให้ความสูงของต้นขมิ้นชันสูงสุดที่ 45.39 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความยาวใบ

พบว่าเมื่อขมิ้นชันอายุ 2 เดือนหลังปลูก ความยาวใบของขมิ้นชันสูงสุดที่ 27.60 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ทำให้ความยาวใบสูงสุดที่ 44.92 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความยาวใบของขมิ้นชันสูงสุดที่ 27.60 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ ทำให้ความยาวใบสูงสุดที่ 44.92 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ขนาดลำต้น

พบว่าเมื่อขมิ้นชันอายุ 2 เดือนหลังปลูกพบว่าขนาดลำต้นของขมิ้นชัน สูงสุดที่ 0.9 เซนติเมตรและกรรมวิธีที่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) ทำให้ขนาดลำต้นสูงสุดที่ 1.13 เซนติเมตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จำนวนใบ

พบว่าเมื่อขมิ้นชันอายุ 2 เดือนหลังปลูกจำนวนใบสูงสุดที่ 3.28 ใบ และกรรมวิธีที่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) ทำให้จำนวนใบสูงสุดที่ 5.21 เซนติเมตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเขียวใบ

พบว่าเมื่อขมิ้นชันอายุ 2 เดือนหลังปลูกความเขียวของขมิ้นชันสูงสุดที่ 32.62 และกรรมวิธีที่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) ทำให้ความเขียวของขมิ้นชันสูงสุดที่ 33.59 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตาราง 2 ผลของการใช้ B-Veggie ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชัน

กรรมวิธี	ความสูงต้น	ความยาวใบ	ขนาดลำต้น	จำนวนใบ	ความเขียวใบ
B-Veggie (B)					
ไม่แช่	34.56[b]	34.57[b]	1.11	4.4	33.60[a]
แช่	36.00[a]	37.95[a]	1.17	4.09	32.60[b]
Fertilizer (F)					
แบบ 1	25.60[b]	27.60[b]	0.95	3.28	32.62[b]
แบบ 2	45.39[a]	44.92[a]	1.13	5.21	33.59[a]
F-test					
B-Veggie (B)	*	*	ns	ns	*
Fertilizer (F)	*	*	ns	ns	*
B*F	ns	ns	ns	ns	ns
CV%	25.53%	19.41%	51.63%	27.56%	5.34%

หมายเหตุ : * มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95
ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ผลการใช้ปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตขมิ้นชัน

การเจริญเติบโตและผลผลิตของขมิ้นชันที่ได้ทำการใส่ปุ๋ย เมื่อขมิ้นชันมีอายุ 5 เดือนหลังปลูก ทำการใส่ปุ๋ยเคมี และเก็บข้อมูล พบว่าความสูง ความยาวใบ ขนาดลำต้น จำนวนใบ และความเขียวของขมิ้นชันมีผลการทดลองดังนี้ (ดังแสดงในตาราง 3)

ความสูงต้น

พบว่ากรรมวิธีที่ 9 ถึง 12 แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยแบบ 1 (ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร) และ Fe 600 ppm แบ่งใส่ 3 ครั้ง ความสูงของขมิ้นชันสูงสุดที่ 37.75 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 13 ถึง 16 แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) และ Fe 600 ppm แบ่งใส่ 2 ครั้ง ทำให้ความสูงต้นสูงสุดที่ 55.75 เซนติเมตร และ กรรมวิธีที่ 1 ถึง 4 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยแบบ 1 (ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร) และ Fe 600 ppm 1 ครั้ง ความสูงของขมิ้นชันสูงสุดที่ 38.50 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 5 ถึง 8 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) และ

Fe 600 ppm แบ่งใส่ 3 ครั้ง ทำให้ความสูงต้นสูงสุดที่ 51.25 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความยาวใบ

พบว่ากรรมวิธีที่ 9 ถึง 12 แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยแบบ 1 (ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร) และ Fe 600 ppm แบ่งใส่ 2 ครั้ง ความยาวใบสูงสุดที่ 37.25 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 13 ถึง 16 แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) และ Fe 600 ppm แบ่งใส่ 2 ครั้ง ทำให้ความสูงต้นสูงสุดที่ 61.00 เซนติเมตร กรรมวิธีที่ 1 ถึง 4 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยแบบ 1 (ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร) และ ไม่ใส่ Fe ความยาวของใบขมิ้นชันสูงสุดที่ 45.00 เซนติเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ขนาดลำต้น

. พบว่ากรรมวิธีที่ 9 ถึง 12 แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยแบบ 1 (ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร) และ Fe 600 ppm แบ่งใส่ 3 ครั้ง เส้นรอบวงสูงสุดที่ 1.10 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 13 ถึง 16 แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) และ Fe 600 ppm แบ่งใส่ 2 ครั้ง ทำให้ขนาดลำต้นขมิ้นชัน สูงสุดที่ 1.71 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 5 ถึง 8 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) และ Fe 600 ppm แบ่งใส่ 3 ครั้ง ขนาดลำต้นขมิ้นชัน กรรมวิธีที่ 1 ถึง 4 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยแบบ 1 (ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร) และ ไม่ใส่ Fe เส้นรอบวงขมิ้นชันสูงสุดที่ 0.97เซนติเมตร กรรมวิธีที่ 5 ถึง 8 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) และ Fe 600 ppm แบ่งใส่ 3 ครั้ง ทำให้ขนาดลำต้นสูงสุดที่ 1.52 เซนติเมตร

จำนวนใบ

พบว่ากรรมวิธีที่ 9 ถึง 12 แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยแบบ 1 (ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร) ไม่ใส่ Fe 600 จำนวนใบ สูงสุดที่ 3.66 ใบต่อต้น และกรรมวิธีที่ 13 ถึง 16 แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) และ Fe 600 ppm แบ่งใส่ 3 ครั้ง ทำให้จำนวนใบสูงสุดที่ 5.50 ใบต่อต้น กรรมวิธีที่ 1 ถึง 4 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 1 (ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร) และไม่ใส่ Fe จำนวนใบสูงสุดที่ 4 ใบต่อต้น กรรมวิธีที่ 5 ถึง 8 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) ไม่ใส่ Fe 600 ppm แบ่งใส่ 2 ครั้ง ทำให้จำนวนใบสูงสุดที่ 5.50 ใบต่อต้น ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความเขียวใบ

พบว่ากรรมวิธีที่ 9 ถึง 12 แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยแบบ 1 (ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร) และ Fe 600 ppm แบ่งใส่ 2 ครั้ง ความเขียวใบขมิ้นชันสูงสุดที่ 39.32 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่ 13 ถึง 16 แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) ไม่ใส่ Fe ทำให้ความความเขียวใบสูงสุดที่ 39.32 เซนติเมตร กรรมวิธีที่ 1 ถึง 4 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 1 (ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร) และ Fe 600 ppm 3 ครั้ง ความเขียวใบสูงสุดที่ 38.20 และกรรมวิธีที่ 5 ถึง 8 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) และ Fe 600 ppm แบ่งใส่ 1 ครั้ง ทำให้ความความเขียวใบสูงสุดที่ 37.10

จำนวนผลผลิต

พบว่ากรรมวิธีที่ 13 ถึง 16 แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) ใส่ Fe 600 ppm แบ่งใส่ 3 ครั้ง ทำให้ผลผลิตสูงสุดที่ 226.75 กรัม กรรมวิธีที่ 1 ถึง 4 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ร่วมกับการใช้ปุ๋ยแบบ 1 (ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร) และ Fe 600 ppm 3 ครั้ง และ 2 ครั้ง ผลผลิตสูงสุดที่ 178.50 กรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) ดังนั้นผลการทดลองพบว่า การใช้แช่ท่อนพันธุ์ด้วยชีวภัณฑ์ *Bacillus subtilis* (B-Veggie) ร่วมกับปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) และ Fe – EDTA 600 ppm. แบ่งใส่ 2 และ 3 ครั้ง ทำให้ผลผลิตมากกว่าการใส่ Fe-EDTA 600 ppm จำนวน 1 ครั้ง

ตาราง 3 ผลของการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตขมิ้นชัน

กรรมวิธีการทดลอง	ความสูงต้น (ซม.)	ความยาวใบ (ซม.)	ขนาดลำต้น (ซม.)	จำนวนใบ (ใบ/ต้น)	ความเขียวใบ	ผลผลิต (กรัม)
T1 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1+ไม่ใส่ Fe	36.00^{bcd}	45.00^{abcd}	0.97^{cd}	4.00^{abc}	35.10^{bcd}	-
T2 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1+ Fe600 1ครั้ง	38.50^{abcd}	32.75^{cd}	0.97^{cd}	3.00^{bc}	36.75^{abcd}	-
T3 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1+Fe600 แบ่ง 2 ครั้ง	31.00^{d}	31.50^{cd}	0.77^{d}	2.50^{c}	34.75^{cd}	-
T4 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1+Fe600แบ่ง 3 ครั้ง	33.50^{cd}	28.50^{d}	0.75^{d}	3.00^{bc}	38.20^{abc}	-
T5 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+ไม่ใส่Fe	47.75^{abcd}	47.00^{abc}	1.44^{ab}	5.25^{ab}	33.00^{d}	149.75^{b}
T6 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+Fe600 1ครั้ง	48.75^{abcd}	50.25^{ab}	1.46^{ab}	4.75^{abc}	37.10^{abc}	175.50^{ab}
T7 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+Fe600แบ่ง 2 ครั้ง	49.75^{adc}	50.75^{ab}	1.34^{abc}	5.50^{ab}	35.92^{abcd}	178.50^{ab}
T8 ไม่แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+Fe600แบ่ง 3 ครั้ง	51.25^{abc}	51.25^{ab}	1.52^{ab}	5.50^{ab}	36.85^{abcd}	143.75^{b}
T9 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1+ไม่ใส่Fe	34.66^{bcd}	33.00^{cd}	0.96^{cd}	3.66^{abc}	38.53^{abc}	-
T10 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1+Fe600 1ครั้ง	34.00^{cd}	33.00^{cd}	0.71^{d}	2.50^{c}	38.75^{abc}	-
T11 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1+Fe600แบ่ง 2 ครั้ง	37.75^{bcd}	37.25^{bcd}	0.98^{cd}	3.00^{bc}	39.32^{a}	-
T12 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 1+Fe600แบ่ง 3 ครั้ง	34.50^{bcd}	36.50^{bcd}	1.1^{bcd}	3.00^{bc}	37.10^{abc}	-
T13 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+ไม่ใส่ Fe	47.75^{abcd}	47.50^{abc}	1.24^{bc}	5.25^{ab}	39.32^{a}	200.50^{ab}
T14 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+Fe600 1 ครั้ง	43.00^{abcd}	42.75^{bcd}	1.00^{cd}	3.25^{abc}	39.27^{a}	153.50^{b}
T15 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+Fe600แบ่ง 2 ครั้ง	55.75^{a}	61.00^{a}	1.71^{a}	5.25^{ab}	38.97^{ab}	157.75^{b}
T16 แช่ชีวภัณฑ์+ปุ๋ยแบบ 2+Fe600แบ่ง 3 ครั้ง	52.50^{ab}	52.75^{ab}	1.48^{ab}	5.50^{ab}	38.87^{ab}	226.75^{a}
F-test	*	*	*	*	*	*
C.V.(%)	35.48	35.72	32.43	34.73	39.03	39.06

หมายเหตุ : * มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังปลูกขมิ้นชัน

พบว่าปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีความเตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่อยู่ในดิน อยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบว่ากรรมวิธีที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในดินเฉลี่ยมาที่สุด 0.458 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาได้แต่ กรรมวิธี 1 7 และ 10 มีปริมาณ ฟอสฟอรัสในดินเฉลี่ยเท่ากับ 0.45 0.43 0.11 0.05 และ 0.031 ตามลำดับ และมีปริมาณฟอสฟอรัสในดินน้อยที่สุดที่ กรรมวิธี 13 เท่ากับ 0.0053 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโพเทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินพบว่ามีความเตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมันร้อยละ 95 ปริมาณโพเทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินหลังปลูกขมิ้นชันพบว่าที่ปริมาณ โพเทสเซียมอยู่ในช่วง 3.06 ถึง 33.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์ดินพบว่ากรรมวิธที่ 4 มีปริมาณโพเทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินมากที่สุดเท่ากับ 33.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรรมวิธีรองลงมาได้แก่ กรรมวิธี 1 12 9 2 3 11 และ 10 ซึ่งมีปริมาณ โพเทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเฉลี่ยเท่ากับ 15.44 14.81 12.50 9.17 8.87 8.31 และ 7.43 ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธี 15 พบว่ามีปริมาณ โพเทสเซียม ที่เป็นประโยชน์ในดินเฉลี่ยน้อยที่สุด เท่ากับ 3.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทุกกรรมวิธีจัดว่ามีค่าอินทรียวัตถุอยู่ในช่วงต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำในช่วง 0.06 ถึง 1.22 เปอร์เซ็นต์ ผลการวิเคราะห์ดินพบว่ากรรมวิธี 7 มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินเฉลี่ยมาที่สุดเท่ากับ 1.37 เปอร์เซ็นต์ กรรมวิธีรองลงมา ได้เก่ กรรมวิธี 14 16 11 5 และ 12 มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินเฉลี่ยเท่ากับ 1.22 1.17 1.15 และ 1.14 ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธี 3 และ 2 มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 0.06 และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรด-ด่างในดินหลังปลูกพบว่ามีความเตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมันร้อยละ 95 ทุกกรรมวิธีจัดอยู่ในช่วง 4.89 -6.02 ระดับปฏิกิริยาเป็นกรดเล็กน้อย (ดังแสดงในตาราง 4)

ตาราง 4 ปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนปลูกและหลังปลูก

กรรมวิธี	ปริมาณธาตุอาหารในดิน			
	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	อินทรียวัตถุ (%)	กรด-ด่าง
ก่อนปลูก	0.43	12.44	1.17	7.10
T1	0.436^{ab}	15.44^{b}	0.70^{d}	5.11^{abcd}
T2	0.458^{a}	9.17^{b}	0.13^{e}	5.21^{abcd}
T3	0.031^{abc}	8.31^{b}	0.06^{e}	4.89^{a}
T4	0.044^{ab}	33.07^{a}	0.78^{cd}	4.99^{ab}
T5	0.018^{abc}	6.91^{b}	1.15^{abc}	5.54^{abcd}
T6	0.010^{ab}	3.98^{b}	1.12^{ab}	5.61^{abcd}
T7	0.11^{abc}	4.17^{b}	1.37^{a}	5.55^{abcd}
T8	0.0085^{a}	5.85^{b}	0.82^{bcd}	5.72^{abcd}
T9	0.0084^{a}	12.50^{b}	0.77^{cd}	5.02^{abc}
T10	0.0544^{a}	7.43^{b}	0.78^{cd}	5.04^{abcd}
T11	0.0081^{a}	8.87^{b}	1.17^{abc}	5.32^{abcd}
T12	0.0074^{a}	14.81^{b}	1.14^{abc}	4.99^{ab}
T13	0.0053^{a}	5.11^{b}	1.10^{abcd}	5.76^{abc}
T14	0.0068^{a}	4.22^{b}	1.22^{ab}	5.79^{ab}
T15	0.0354^{ab}	3.06^{b}	0.83^{bcd}	6.02^{a}

T16	0.011^{abc}	3.42^{b}	1.22^{ab}	5.56^{abcd}
F-test	*	*	*	*
CV (%)	187.17	81.66	41.71	6.56

หมายเหตุ : * มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในขมิ้นชัน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในขมิ้นชันมีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมดในขมิ้นชันอยู่ในช่วง 2.14 ถึง 2.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์พืชในขมิ้นชันพบว่ากรรมวิธีที่ 13 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในพืชเฉลี่ยมากที่สุด 2.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรรมวิธีรองลงมา ได้แก่กรรมวิธีที่ 5 16 และ 8 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในขมิ้นชันเฉลี่ยเท่ากับ 2.66 2.61 และ 2.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกรรมวิธีที่ 8 มีปริมาณไนโตรเจนในขมิ้นชันเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 2.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในขมิ้นชันมีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.38 ถึง 0.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์ในขมิ้นชันพบว่ากรรมวิธีที่ 16 มีปริมาณฟอสฟอรัสในพืชในขมิ้นชันเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 0.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรรมวิธีรองลงมาได้แก่ กรรมวิธีที่ 13 กรรมวิธีที่ 5 และกรรมวิธีที่ 8 มีปริมาณฟอสฟอรัสในขมิ้นชันเฉลี่ยเท่ากับ 0.52 0.48 และ 0.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกรรมวิธีที่ 8 มีปริมาณฟอสฟอรัสในขมิ้นชันเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 0.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักพบว่าปริมาณโพแทสเซียมในขมิ้นชันพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณโพแทสเซียมในขมิ้นชัน อยู่ในช่วง 3.03 ถึง 3.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในขมิ้นชันพบว่ากรรมวิธีที่ 5 มีปริมาณปริมาณโพแทสเซียมในขมิ้นชันเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 3.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรรมวิธีรองลงมาได้แก่ กรรมวิธีที่ 8 กรรมวิธีที่ 13 และกรรมวิธีที่ 16 มีปริมาณโพแทสเซียมในขมิ้นชันเฉลี่ยเท่ากับ 3.15 3.08 และ 3.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกรรมวิธีที่ 16 พบว่ามีปริมาณโพแทสเซียมในขมิ้นชันเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 3.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารรองพบว่าปริมาณโซเดียมในขมิ้นชันมีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณโซเดียมในพืชอยู่ในช่วง 0.14 ถึง 0.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์พืชในขมิ้นชันพบว่ากรรมวิธีที่ 16 มีปริมาณโซเดียมในขมิ้นชันเฉลี่ยมากที่สุด

เท่ากับ 0.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรรมวิธีรองลงมาได้แก่ กรรมวิธีที่ 13 8 และกรรมวิธีที่ 5 มีปริมาณโพแทสเซียมในขมิ้นชันเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 0.16 และ 0.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกรรมวิธีที่ 5 พบว่ามีปริมาณโซเดียมในขมิ้นชันเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 0.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารรองพบว่าปริมาณแคลเซียมในขมิ้นชันพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณแคลเซียมในพืชอยู่ในช่วง 0.28 ถึง 0.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลการวิเคราะห์พืชในขมิ้นชันพบว่ากรรมวิธีที่ 16 มีปริมาณแคลเซียมในขมิ้นชันเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 0.78 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรรมวิธีรองลงมาได้แก่ กรรมวิธีที่ 8 กรรมวิธีที่ 5 และกรรมวิธีที่ 13 พบว่ามีปริมาณแคลเซียมในขมิ้นชันเฉลี่ยเท่ากับ 0.30 0.29 และ 0.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกรรมวิธีที่ 13 พบว่ามีปริมาณแคลเซียมในขมิ้นชันเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 0.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารรองปริมาณแมกนีเซียมในขมิ้นชันพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณแมกนีเซียมในขมิ้นชันอยู่ในช่วง 0.29 ถึง 0.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมผลการวิเคราะห์ในขมิ้นชันพบว่ากรรมวิธีที่ 5 และ 13 มีปริมาณแมกนีเซียมในขมิ้นชันเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 0.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรรมวิธีรองลงมาได้แก่ กรรมวิธีที่ 16 และ 8 พบว่ามีปริมาณแมกนีเซียมในขมิ้นชันเฉลี่ยเท่ากับ 0.32 และ 0.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับโดยกรรมวิธีที่ 8 พบว่ามีปริมาณแมกนีเซียมในขมิ้นชันเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 0.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารรองพบว่าปริมาณกำมะถันในขมิ้นชันพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณกำมะถันในขมิ้นชันอยู่ในช่วง 2.18 ถึง 3.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์พืชในขมิ้นชันพบว่ากรรมวิธีที่ 13 มีปริมาณกำมะถันในขมิ้นชันเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 3.38 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรรมวิธีรองลงมาได้แก่ กรรมวิธีที่ 8 ,16 และ 5 มีปริมาณกำมะถันในขมิ้นชันเฉลี่ยเท่ากับ 3.32 2.87 และ 2.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกรรมวิธีที่ 5 พบว่ามีปริมาณกำมะถันในขมิ้นชันเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 2.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณเหล็กในขมิ้นชันพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณเหล็กในขมิ้นชันอยู่ในช่วง 224.83 ถึง 278.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารเสริมหรือจุลธาตุในขมิ้นชันพบว่ากรรมวิธีที่ 13 มีปริมาณเหล็กในขมิ้นชันเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 278.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรรมวิธีรองลงมาได้แก่ กรรมวิธีที่ 5 ,8 และ16 มีปริมาณเหล็กในขมิ้นชันเฉลี่ยเท่ากับ 264.85 257.04 และ 224.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกรรมวิธีที่ 16 พบว่ามีปริมาณเหล็กในขมิ้นชันเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 224.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารเสริมหรือจุลธาตุในขมิ้นชันพบว่าปริมาณแมงกานีสไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณแมงกานีสในพืชอยู่ในช่วง 40.83 ถึง 82.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์พืชในขมิ้นชันพบว่ากรรมวิธีที่ 16 มีปริมาณแมงกานีสในขมิ้นชันเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 82.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรรมวิธีรองลงมาได้แก่ กรรมวิธีที่ 5 13 และ 8 มีปริมาณแมงกานีสในขมิ้นชันเฉลี่ยเท่ากับ 51.63 47.98 และ 40.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกรรมวิธีที่ 8 พบว่ามีปริมาณแมงกานีสในขมิ้นชันเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 40.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารเสริมหรือจุลธาตุในขมิ้นชันพบว่าปริมาณทองแดงมีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณทองแดงในขมิ้นชันอยู่ในช่วง 1.10 ถึง 1.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์พืชในขมิ้นชันพบว่ากรรมวิธีที่ 16 พบว่ามีปริมาณทองแดงในขมิ้นชันเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 1.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรรมวิธีรองลงมาได้แก่ กรรมวิธีที่ 13, 8 และ 5 มีปริมาณทองแดงในขมิ้นชันเฉลี่ยเท่ากับ 1.71 1.11 และ 1.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกรรมวิธีที่ 5 พบว่ามีปริมาณทองแดงในขมิ้นชันเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 1.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารเสริมหรือจุลธาตุในขมิ้นชันพบว่าปริมาณสังกะสีในขมิ้นชันพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณสังกะสีในพืชอยู่ในช่วง 18.60 ถึง 40.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์ในขมิ้นชันพบว่ากรรมวิธีที่ 5 พบว่ามีปริมาณสังกะสีในขมิ้นชันเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 40.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรรมวิธีรองลงมาได้แก่ กรรมวิธีที่ 13 8 และ 16 มีปริมาณสังกะสีในขมิ้นชันเฉลี่ยเท่ากับ 23.77 22.12 และ 18.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และกรรมวิธีที่ 16 พบว่ามีปริมาณสังกะสีในขมิ้นชันเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 18.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ปริมาณในพืชอยู่ในช่วง 0.15 ถึง 0.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์เคอร์คูมินอยด์ของขมิ้นชันพบว่ากรรมวิธีที่ 5 8 และ16 พบว่ามีปริมาณเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 0.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ พบว่ามีปริมาณเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ดังแสดงในตาราง 5)

ตาราง 5 ปริมาณธาตุอาหารที่พบในขมิ้นชัน และปริมาณเคอร์คูมินในขมิ้นชัน

กรรมวิธี	ปริมาณธาตุอาหารในขมิ้นชัน											
	ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โพแทสเซียม (%)	โซเดียม (mg/kg)	แคลเซียม (%)	แมกนีเซียม (%)	กำมะถัน (%)	เหล็ก (mg/kg)	แมงกานีส (mg/kg)	ทองแดง (mg/kg)	สังกะสี (mg/kg)	เคอร์คูมินอยด์ mg/L
T5	2.66^{ab}	0.48^{a}	3.38	0.14^{b}	0.29	0.33	2.18	264.85	51.63	1.10^{b}	40.28^{a}	0.16^{ab}
T8	2.14^{b}	0.38^{b}	3.15	0.16^{b}	0.3	0.29	3.32	257.04	40.83	1.11^{b}	22.12^{bc}	0.16^{ab}
T13	2.90^{a}	0.52^{a}	3.08	0.17^{b}	0.28	0.33	3.38	278.59	47.98	1.71^{a}	23.77^{b}	0.15^{bc}
T16	2.61^{ab}	0.53^{a}	3.03	0.31^{a}	0.78	0.32	2.87	224.83	82.05	1.72^{a}	18.60c	0.16^{ab}
F-test	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*
CV (%).	12.26	14.34	4.90	39.83	59.43	5.96	18.86	8.90	32.69	24.98	36.79	6.81

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาปริมาณความสัมพันธ์ของธาตุอาหารในขมิ้นชัน

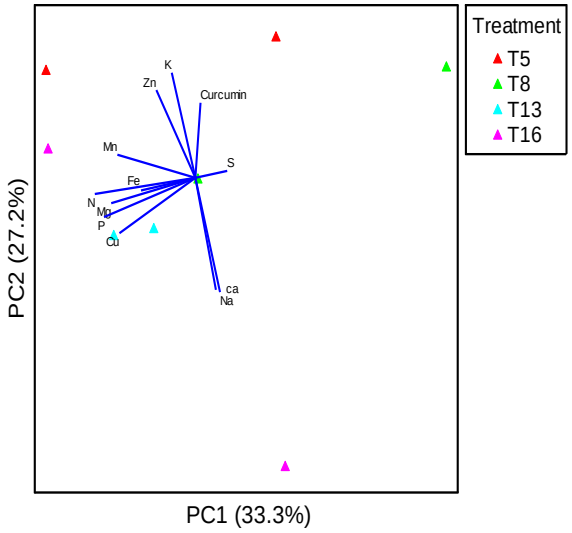
ความสัมพันธ์ของปริมาณธาตุอาหารในขมิ้นชันทั้ง 4 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 5 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ B-Veggie ร่วมกับปุ๋ยแบบ 2 ไม่ใส่ Fe-EDTA กรรมวิธีที่ 8 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ B-Veggie ร่วมกับปุ๋ยแบบ 2 และใส่ Fe-EDTA แบ่งใส่ 3 ครั้ง กรรมวิธีที่ 13 แช่ชีวภัณฑ์ B-Veggie ร่วมกับปุ๋ยแบบ 2 ไม่ใส่ Fe-EDTA และ กรรมวิธีที่ 16 แช่ชีวภัณฑ์ (B-Veggie) ร่วมกับปุ๋ยแบบ 2 และใส่ Fe–EDTA แบ่งใส่ 3 ครั้ง จากตารางแสดงให้เห็นถึงปริมาณธาตุทั้ง 11 ชนิด ธาตุไนโตรเจน มีความสัมพันธ์เชิงบวกได้แก่ ธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และธาตุที่มีโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบได้แก่ ธาตุ โซเดียม แคลเซียม กำมะถัน และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณ เคอร์คูมิน ความสัมพันธ์ของธาตุฟอสฟอรัส มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกได้แก่ ธาตุไนโตรเจน โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และ สังกะสี โดยธาตุที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบได้แก่ ธาตุโพแทสเซียม กำมะถัน มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณ เคอร์คู ความสัมพันธ์ของธาตุโพแทสเซียม มีความสัมพันธ์เชิงบวกได้แก่ ธาตุ ไนโตรเจน แมงกานีส สังกะสี และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณเคอร์คูมิน และธาตุที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบได้แก่ ธาตุ ฟอสฟอรัส โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก ทองแดง ความสัมพันธ์ของธาตุโซเดียม มีความสัมพันธ์เชิงบวกได้แก่ ธาตุฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม และทองแดง ธาตุที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบได้แก่ ธาตุไนโตรเจน แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณเคอร์คูมิน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของธาตุแคลเซียม มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกได้แก่ ธาตุฟอสฟอรัส โซเดียม แมกนีเซียมและทองแดง ธาตุที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณเคอร์คูมิน ความสัมพันธ์ของธาตุแมกนีเซียม มีความสัมพันธ์เชิงบวกได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โซเดียม แคลเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ธาตุที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบได้แก่ ธาตุ แมกนีเซียม กำมะถัน มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณเคอร์คูมิน ความสัมพันธ์ของธาตุกำมะถัน มีความสัมพันธ์เชิงบวกได้แก่ ธาตุแมงกานีส ธาตุที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบได้แก่ ธาตุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง และ สังกะสี มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณเคอร์คูมิน ความสัมพันธ์ของ ธาตุเหล็ก มีความสัมพันธ์เชิงบวกได้แก่ ธาตุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม แมงกานีส , ทองแดง และสังกะสี มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณ เคอร์คูมิน และธาตุที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบได้แก่ ธาตุ โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และกำมะถัน ความสัมพันธ์ของธาตุแมงกานีส มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกได้แก่ ธาตุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก และ สังกะสีมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณ Curcumin และธาตุที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบได้แก่ ธาตุไนโตรเจน แคลเซียม ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ของธาตุทองแดง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกได้แก่ ธาตุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และแมงกานีส ธาตุที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบได้แก่ ธาตุโพแทสเซียม กำมะถัน สังกะสี และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณเคอร์คูมิน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของธาตุสังกะสี มีความสัมพันธ์เชิงบวกได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณเคอร์คูมิน และธาตุที่มีความค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบได้แก่ ธาตุ โพแทสเซียม กำมะถัน สังกะสี และปริมาณเคอร์คิวมิน มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกกับธาตุอาหารได้แก่ แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส และ สังกะสี ธาตุที่มีความสำคัญเชิงลบได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม, กำมะถัน และ ทองแดง สำหรับธาตุที่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมาก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation) มากกว่า 0.5 ได้แก่ ธาตุไนโตรเจนมีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุฟอสฟอรัสโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวก สูงสุดที่ 0.837 ธาตุฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุสังกะสีโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวก สูงสุดที่ 0.966 ธาตุฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุสังกะสีโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวก สูงสุดที่ 0.525 ธาตุโซเดียมมีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุแคลเซียมโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวก สูงสุดที่ 0.950 ธาตุแคลเซียมมีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุโซเดียมโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวก สูงสุดที่ 0.950 ธาตุแมกนีเซียมมีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุไนโตรเจนโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกสูงสุดที่ 0.819 ธาตุแมงกานีสมีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุสังกะสีโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวก สูงสุดที่ 0.961 ธาตุทองแดงมีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุฟอสฟอรัส โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวก สูงสุดที่ 0.754 และ ธาตุสังกะสีมีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุ ฟอสฟอรัสโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวก สูงสุดที่ 0.966 ธาตุที่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างน้องค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation) น้อยกว่า 0.5 ได้แก่ ธาตุไนโตรเจนมีความเป็นปรปักษ์ค่อนข้างมากกับธาตุกำมะถัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบที่ - 0.0323 ธาตุฟอสฟอรัสมีความเป็นปรปักษ์ค่อนข้างมากกับธาตุโพแทสเซียมโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ - 0.0138 ธาตุฟอสฟอรัส มีความเป็นปรปักษ์ค่อนข้างมากกับธาตุแคลเซียมโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ - 0.0691 ธาตุโซเดียม มีความเป็นปรปักษ์ค่อนข้างมากกับธาตุโพแทสเซียม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่ - 0.0652 ธาตุแคลเซียม มีความเป็นปรปักษ์ค่อนข้างมากกับธาตุเหล็ก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่- 0.077 ธาตุแมกนีเซียม มีความเป็นปรปักษ์ค่อนข้างมากกับธาตุฟอสฟอรัสโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบ ที่ - 0.0268 ธาตุกำมะถัน มีความเป็นปรปักษ์ค่อนข้างมากกับธาตุโซเดียมโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบ ที่ - 0.0624 ธาตุเหล็ก มีความเป็นปรปักษ์ค่อนข้างมากกับธาตุแคลเซียม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบ ที่ - 0.0770 ธาตุ แมงกานีส มีความเป็นปรปักษ์ค่อนข้างมากกับธาตุแคลเซียม โดยมีค่า

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบ ที่ - 0.0.87 และ ธาตุทองแดง มีความเป็นปรปักษ์ค่อนข้างมากกับธาตุโพแทสเซียม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบ ที่ - 0.0485 ธาตุสังกะสีมีความเป็นปรปักษ์ค่อนข้างมากกับธาตุสังกะสี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบ ที่ - 0.593 (ดังแสดงในตาราง 6)

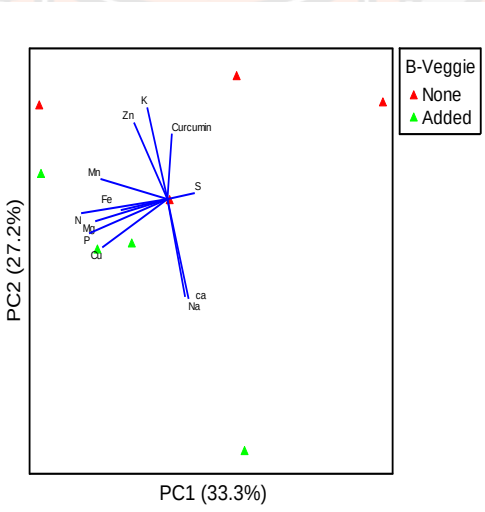
ตาราง 6 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลหาปริมาณความสัมพันธ์ของธาตุอาหารในขมิ้นชัน

	N	P	K	Na	Ca	Mg	S	Fe	Mn	cu	Zn	Curcumin
N	1	0.837	0.160	-0.016	-0.0109	0.819	-0.032	0.425	0.552	0.7316	0.3265	-0.0316
P	0.837	1	-0.013	0.149	0.8053	0.726	-0.010	0.322	0.6777	0.7541	0.9668	-0.0102
K	0.160	-0.013	1	-0.065	-0.0690	-0.026	-0.022	-0.038	0.4383	-0.0484	0.5258	0.3417
Na	-0.016	0.149	-0.065	1	0.9509	0.210	-0.062	-0.022	-0.0198	0.1284	-0.0592	-0.0238
ca	-0.010	0.805	-0.069	0.950	1	0.130	-0.027	-0.076	-0.0287	0.536	-0.0435	-0.0243
Mg	0.819	0.726	-0.026	0.210	0.1305	1	-0.021	0.410	0.4356	0.3728	0.3898	-0.0167
S	-0.032	-0.010	-0.022	-0.062	-0.0279	-0.021	1	-0.033	0.3842	-0.0140	-0.0445	-0.0109
Fe	0.425	0.322	-0.038	-0.022	-0.0769	0.410	-0.033	1	0.2047	0.3165	0.2045	0.718
Mn	0.552	0.677	0.438	-0.019	-0.0287	0.435	0.384	0.204	1	0.6083	0.9612	0.3309
Cu	0.731	0.754	-0.048	0.128	0.536	0.372	-0.014	0.316	0.6083	1	-0.0308	-0.0396
Zn	0.326	0.966	0.525	-0.059	-0.0435	0.389	-0.044	0.204	0.9612	-0.0308	1	0.4307
Cur	-0.031	-0.010	0.341	-0.023	-0.0243	-0.0167	-0.010	0.718	0.3309	-0.0396	0.4307	1



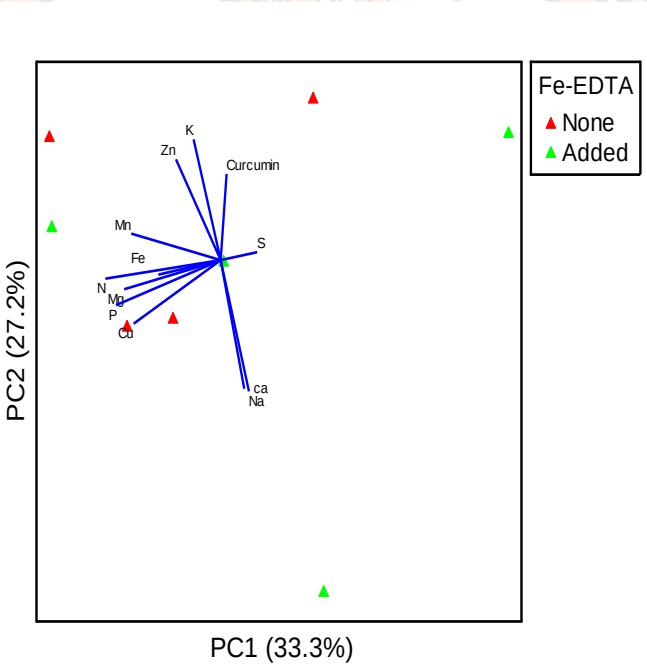
ภาพที่ 5 กราฟแสดงปริมาณความสัมพันธ์ของธาตุอาหารในขมิ้นชัน

ความสัมพันธ์ของปริมาณธาตุอาหารทั้ง 4 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 5 ไม่แช่ ชีวภัณฑ์ B-Veggie ร่วมกับปุ๋ยแบบ 2 ไม่ใส่ Fe-EDTA กรรมวิธีที่ 8 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ B-Veggie ร่วมกับปุ๋ยแบบ 2 และใส่ Fe-EDTA แบ่งใส่ 3 ครั้ง กรรมวิธีที่ 13 แช่ชีวภัณฑ์ B-Veggie ร่วมกับปุ๋ยแบบ 2 ไม่ใส่ Fe-EDTA และ กรรมวิธีที่ 16 แช่ชีวภัณฑ์ (B-Veggie) ร่วมกับปุ๋ยแบบ 2 และใส่ Fe–EDTA แบ่งใส่ 3 ครั้ง จากกราฟแสดงพบว่า ธาตุฟอสฟอรัส มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุสังกะสี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สูงสุดที่ 0.966 ธาตุโพแทสเซียม มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุสังกะสี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สูงสุดที่ 0.525 ธาตุโซเดียม มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุแคลเซียมโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สูงสุดที่ 0.950 ธาตุแคลเซียม มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุโซเดียม โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สูงสุดที่ 0.950 ธาตุแมกนีเซียม มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุไนโตรเจน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สูงสุดที่ 0.819 ธาตุแมงกานีส มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุสังกะสี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สูงสุดที่ 0.961 ธาตุทองแดง มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุฟอสฟอรัสโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สูงสุดที่ 0.754 และธาตุสังกะสีมีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุฟอสฟอรัส โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ สูงสุดที่ 0.966 ดังนั้นการใช้ (B–Veggie) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยและ Fe–EDTA แสดงปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในขมิ้นชันได้แก่ธาตุอาหารหลัก จุลธาตุ และธาตุอาหารเสริม ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่ช่วยเพิ่มปริมาณเคอร์คิวมินได้ และการใช้ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ที่มีปริมาณธาตุอาหารที่ครบถ้วนทำให้ปริมาณธาตุอาหารมีส่วนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับบทบาทของธาตุแคลเซียม ที่มีส่วนช่วยในการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตและสารอาหาร (Osotsapa., 2015) ทำให้ขมิ้นชันมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการใช้แคลเซียมในมันฝรั่งที่พบว่า แคลเซียมในมันฝรั่งมีขนาดหัวและผลผลิตที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณธาตุอาหารในขมิ้นชันโดยการแช่ชีวภัณฑ์ (B-Veggie) และไม่แช่ชีวภัณฑ์

อิทธิพลของการใช้ (B–Veggie) ในขมิ้นชันพบว่าการแช่ชีวภัณฑ์ (B-Veggie) อาจจะไม่ได้ มีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณสารเคอร์คูมินโดยตรง แต่ก็ยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ชนิดอื่นที่มีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณเคอร์คิวมินในขมิ้นชันได้ โดยความสัมพันธ์ของปริมาณธาตุอาหารทั้ง 4 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 5 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ B-Veggie ร่วมกับปุ๋ยแบบ 2 ไม่ใส่ Fe-EDTA กรรมวิธีที่ 8 ไม่แช่ชีวภัณฑ์ (B-Veggie) ร่วมกับปุ๋ยแบบ 2 และใส่ Fe-EDTA แบ่งใส่ 3 ครั้ง กรรมวิธีที่ 13 แช่ชีวภัณฑ์ B-Veggie ร่วมกับปุ๋ยแบบ 2 ไม่ใส่ Fe-EDTA และ กรรมวิธีที่ 16 แช่ชีวภัณฑ์ (B-Veggie) ร่วมกับปุ๋ยแบบ 2 และใส่ Fe–EDTA แบ่งใส่ 3 ครั้ง จากตารางแสดงให้เห็นถึงปริมาณธาตุทั้ง 11 ชนิด ธาตุ ไนโตรเจน มีความสัมพันธ์เชิงบวกได้แก่ ธาตุ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี และธาตุที่มีโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงลบได้แก่ ธาตุโซเดียม แคลเซียม กำมะถัน มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณ เคอร์คูมิน ในขมิ้นชัน



ภาพที่ 6 แสดงปริมาณธาตุอาหารในขมิ้นชันและปริมาณเคอร์คูมินเมื่อใส่ Fe-EDTA

อิทธิพลของการใช้ Fe–EDTA ในขมิ้นชันส่งผลให้ปริมาณ ธาตุอาหารในขมิ้นชันเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ซึ่งตามรายงานการวิจัย การใช้สังกะสีกับใบของ

ขมิ้นชันก็แสดงให้เห็นถึงการใช้ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองมีความแตกต่างกัน ผลที่ได้ของเคอร์คูมินอยด์มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณสังกะสี (Nguyen et al., 2020) ซึ่งการใช้ Fe–EDTA มีแนวโน้มช่วยเพิ่มปริมาณสังกะสีและสังกะสีเป็นธาตุรองที่มีส่วนสำคัญในการเจริญเติบโตและยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือปัจจัยเชิงโครงสร้างในเอมไซม์และโปรตีนควบคุมหลายชนิด (Maret., 2009) ซึ่งมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณเคอร์คิวมินในขมิ้นชัน

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการใช้ชีวภัณฑ์ *Bacillus subtilis* (B-Veggie) ต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชัน

ขมิ้นชันที่แช่ท่อนพันธุ์ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) มีความสูงขมิ้นชันมีการเจริญเติบโตได้มากกว่าขมิ้นชันที่ไม่ได้รับการแช่ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) จากการใช้ชีวภัณฑ์แช่ท่อนพันธุ์ก่อนการปลูกช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตในด้านความสูงของขมิ้นชันได้ดี ทั้งนี้อาจเป็นเพราะชีวภัณฑ์ (B-Veggie) ที่มีคุณสมบัติสามารถผลิตกรดอินทรีย์ (Indole-3-acetic acid : IAA) ได้ซึ่งเป็นสารในกลุ่มออกซิน เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Growth Regulating Chemicals : PGRC) โดยที่ IAA ผลิตโดยพืชและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช (Brown and Burlingham, 1964) โดยฮอร์โมน IAA มีส่วนสำคัญต่อการแบ่งเซลล์ การขยายตัวของเซลล์ราก และการยืดตัวของเซลล์ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความยาวของราก และพื้นที่ผิวเพื่อให้รากสามารถดูดซึมน้ำและธาตุอาหารได้มากขึ้น (Salisbury, 1994; Patten and Glick, 2002; Ahemad and Khan., 2011) และยังช่วยเพิ่มการเจริญของราก (Oteino et al., 2015) และนอกจากนี้ IAA ยังสามารถถูกผลิตโดยแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ต่างๆที่อาศัยอยู่ในพืช จึงส่งผลให้ขมิ้นชันที่แช่ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) มีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าที่ไม่ได้แช่ท่อนพันธุ์ด้วยสารชีวภัณฑ์ (B-Veggie) และความเขียวใบขมิ้นชันที่แช่ท่อนพันธุ์ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) ทำให้รากขมิ้นชันดูดธาตุอาหารได้ดีดังนั้นเมื่อขมิ้นชันมีสารอาหารมากขึ้น ส่งผลให้ความเขียวเพิ่มขึ้นสำหรับข้อมูลส่วนอื่นก็มีแนวโน้มที่จะดีกว่าเนื่องจากการที่ความสูงเพิ่มมากขึ้นเพราะเชื้อทำให้ดูดธาตุอาหารได้ดี

ผลการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชัน

การใช้ปุ๋ยเคมีแบบ 1 (ปุ๋ยตามวิธีเกษตรกร) และ ปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) ที่มีต่อการเจริญเติบโตของขมิ้นชันเมื่อขมิ้นชันอายุ 2 เดือน พบว่า ปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) ทำให้ความสูงใบ ความยาวใบ เส้นรอบวง จำนวนใบ และความเขียวใบ ขมิ้นชันมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้สารละลายมาตรฐาน AB (ปุ๋ยไฮโดรโพนิกส์) มีธาตุอาหาร ประกอบด้วย แมกนีเซียมซัลเฟต โพแทสเซียมไนเตรท โมโนแอมโมเนียมฟอตเฟต โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต แมงกานีสคีเลตและจุลธาตุรวม โดย ปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยเคมีตามวิธีเกษตรกร) ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ดังนั้นปุ๋ยเคมีแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) มีธาตุอาหารที่มากกว่ามีทำให้ขมิ้นชันมีการเจริญเติบโตดีที่สุดธาตุอาหารพืช ธาตุอาหารที่พืชจำเป็นต้องใช้เพื่อให้พืชมีชีวิตอยู่ได้หากพืชขาดธาตุนั้นอย่างรุนแรงมาก จะไม่สามารถเจริญเติบโตจนครบวัฏจักรชีวิตและถ้าขาดธาตุนั้นพอเพียงเล็กน้อย

พืชจะมีอาการผิดปกติ ซึ่งเป็นลักษณะของพืชที่เปลี่ยนไป สามารถฟื้นฟูอาการดังกล่าว ได้โดยให้ธาตุอาหารของพืชอยู่ในรูปของปุ๋ยแต่การใส่ธาตุอาหารเพื่อให้พืชอาการปกตินั้นจะต้องขึ้นอยู่กับ ความต้องการธาตุนั้น ๆด้วย ซึ่งมีความจำเพาะเจาะจงมาก เนื่องจากแต่ละธาตุมีบทบาทสำคัญโดยตรงในเมแทบอลิซึมของพืช (ยงยุทธ โอสถสภา, 2552) เมื่อเทียบกับสารละลายอินทรีย์ชนิดอื่น อาจเนื่องมาจากปริมาณธาตุอาหารในสารละลายปุ๋ยอินทรีย์มีน้อยกว่า ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตน้อย ซึ่งสอดคล้องกับ (บัญชา, 2556) ที่ทำการปลูกผักกาดเขียวกวางตุ้งโดยใช้น้ำหมักชีวภาพมูลวัวเทียบกับปุ๋ยเคมี พบว่าปุ๋ยเคมียังคงให้ผลผลิตดีที่สุด และปุ๋ยมาตรฐาน AB สำหรับใช้ในการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์เป็นสูตรปุ๋ยที่มีธาตุอาหารครบตามที่พืชต้องการ (มณู, 2545) จึงทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์กว่า ส่งผลให้ขมิ้นชันที่ใช้ปุ๋ยแบบ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโพนิกส์) มีการเจริญเติบโตดีกว่าการใช้ปุ๋ยแบบ 1 การใช้ปุ๋ยไฮโดรโพนิกส์มีผลให้ขมิ้นชันมีการเจริญเติบโตได้ดี การใส่ปุ๋ยไฮโดรโพนิกส์ ทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมลดลง อาจส่งเสริมให้รากมีการเจริญเติบโตดีขึ้น ทำให้ขมิ้นชันมีการดูดใช้ธาตุอาหารต่าง ๆ โดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมากขึ้น (ภาพที่ 5) ส่งผลให้มีผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Singh และคณะ (1995) ที่พบว่าเมื่อมีการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่มากขึ้น ทำให้ขมิ้นชันมีผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้น

ผลการใช้ Fe – EDTA ต่อปริมาณธาตุอาหารในผลผลิตขมิ้นชัน

ผลการใช้ Fe-EDTA 600 ppm แบ่งใส่ 3 ครั้งๆละ 200 ppm ทำให้มีปริมาณ ธาตุอาหารหลัก จุลธาตุ และธาตุหารเสริม มีปริมาณที่มาก เนื่องจากเหล็กมีบทบาทในการสังเคราะห์แสงและการหายใจ (Chitnis,2001; Sharma., 2006) เหล็กเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์และเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส เป็นส่วนประกอบของไซโตโครมซึ่งเป็นสารตัวกลางในการถ่ายทอดอิเลคตรอน ทั้งในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และการหายใจ และยังเป็นส่วนประกอบของเฟอริดอกซินที่อยู่ในคลอโรพลาสต์ ซึ่งเป็นสารสำคัญในการเคลื่อนย้ายอิเลคตรอนของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช นอกจากนี้ธาตุเหล็กยังเป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงสร้างคลอโรพลาสต์ โดย 75 เปอร์เซ็นต์ของคลอโรพลาสต์จะมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบ (Havlin et al., 2005) โดย แคลเซียมก็ยังมีบทบาทเกี่ยวข้องในการแบ่งเซลล์และการยืดขยายตัวของเซลล์ ในขณะที่แมกนีเซียมก็ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญในการสร้างคลอโรฟิลล์ (Osotsapar., 2015) และการให้ปุ๋ยทางใบเป็นวิธีการที่ให้ธาตุอาหารแก่พืชทางส่วนเหนือดินได้ โดยการนำปุ๋ยที่มี สถานะเป็นของแข็งหรือของเหลว มาเตรียมเป็นสารละลายเจือจาง แล้วฉีดพ่นสารละลายเป็นละอองไปยังใบและต้น เพื่อให้พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549) รูปของธาตุอาหาร ที่พืชใช้

ประโยชน์ได้ คือไอออนหรือโมเลกุลขนาดเล็ก โดยใบพืชสามารถดูดธาตุอาหารทางใบจาก สารละลายที่มาสัมผัสผิวใบไปใช้ในการเจริญเติบโตได้โดยตรง โดยดูดซึมธาตุอาหารผ่านทางผิวใบ และช่องเปิดต่าง ๆ ของใบ เช่น รอยแตกของคิวทิเคิล ปากใบ ผิวของเส้นใบ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549) บริเวณฐานของขนใบ (Barel and Black., 1979) ได้อย่างรวดเร็วภายในเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าการให้ปุ๋ยทางดินเมื่อเปรียบเทียบในปริมาณปุ๋ยที่ใช้เท่ากัน Fe-EDTA ส่งผลให้ขมิ้นชันมีผลต่อปริมาณสารเคอร์คิวมินในขมิ้นชันและ ปริมาณธาตุอาหารพืชในขมิ้นชันและยังส่งผลให้มีผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์เพิ่มสูงขึ้นนชัดเจน มีผลผลิตด้านน้ำหนักสด และสารเคอร์คูมินอยด์สูงสุด สอดคล้องกับรายงานที่ว่า การใส่ปุ๋ยเคมีรวมกับมูลวัวทำให้ขมิ้นชันมีน้ำหนักผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์สูงสุด (Kulpapangkorn et al., 2012) ซึ่งอาจเกิดจากการที่ขมิ้นชันได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ โดยเฉพาะโพแทสเซียมซึ่งเกี่ยวข้องในการสร้างหัวและสารเคอร์คูมินอยด์ในขมิ้นชันโดยตรง (Akamine et al., 2007) นอกจากนั้นในขมิ้นชันมีแคลเซียมและแมกนีเซียมในดินก่อนปลูกซึ่งเป็นธาตุอาหารรองที่พืชต้องการสูง โดยอาจมีในปริมาณที่เพียงพอส่งเสริมให้ขมิ้นชันเจริญเติบโตได้ดีเป็นผลให้ขมิ้นชันที่ปลูกในดินดังกล่าวที่มีการใส่ปุ๋ยร่วมกับ Fe – EDTA และแช่ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie) มีน้ำหนักผลผลิตและสารเคอร์คูมินอยด์สูงสุด ความสัมพันธ์ของปริมาณธาตุอาหารทั้ง 4 กรรมวิธี พบว่า ธาตุฟอสฟอรัส มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุสังกะสี โดยมีค่าสูงสุดที่ 0.966 ธาตุ K มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุสังกะสี โดยมีค่าสูงสุดที่ 0.525 ธาตุ โซเดียม มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุ แคลเซียมโดยมีค่าสูงสุดที่ 0.950 ธาตุแคลเซียม มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุโซเดียมโดยมีค่าสูงสุดที่ 0.950 ธาตุแมกนีเซียม มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุ ไนโตรเจน โดยมีค่าสูงสุดที่ 0.819 ธาตุแมงกานีส มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุสังกะสี โดยมีค่าสูงสุดที่ 0.961 ธาตุทองแดง มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุฟอสฟอรัส โดยมีค่าสูงสุดที่ 0.754 และ ธาตุสังกะสี มีความสัมพันธ์ค่อนข้างมากกับธาตุฟอสฟอรัส โดยมีค่าสูงสุดที่ 0.966 ดังนั้นการใช้ (B– Veggie) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยและ Fe–EDTA แสดงปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในขมิ้นชันได้แก่ ธาตุอาหารหลัก จุลธาตุ และธาตุอาหารเสริม ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่ช่วยเพิ่มปริมาณเคอร์คิวมินได้ และการใช้ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ที่มีปริมาณธาตุอาหารที่ครบถ้วนทำให้ปริมาณธาตุอาหารมีส่วนช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับบทบาทของธาตุแคลเซียมที่มีส่วนช่วยในการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตและสารอาหาร (Osotsapa., 2015) ทำให้ขมิ้นชันมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการใช้แคลเซียมในมันฝรั่งที่พบว่า แคลเซียมในมันฝรั่งมีขนาดหัวและผลผลิตที่เพิ่มขึ้น

สรุปผลการวิจัย

1. ขมิ้นชันที่แช่ด้วยชีวภัณฑ์ (B – Veggie) มีผลทำให้ขมิ้นชันในระยะแรกมีการเจริญเติบโตในด้านความสูงต้นและความเขียวใบได้ดีกว่าการที่ไม่แช่ด้วยชีวภัณฑ์ (B-Veggie)

2. การใช้ (B – Veggie) ร่วมกับปุ๋ยเคมีแบบที่ 1 และ แบบที่ 2 การใช้ปุ๋ยแบบที่ 2 (ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์) ทำให้การเจริญเติบโตของขมิ้นชันในด้านความสูงต้น ความยาวใบ และความเขียวใบของขมิ้นชัน มีการเจริญเติบโตดีกว่าการใช้ปุ๋ยแบบที่ 1

3. การใช้ (B–Veggie) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยแบบ 2 และ Fe - EDTA 600 ppm. แบ่งใส่ 3 ครั้ง มีผลทำให้ขมิ้นชันมีการเจริญเติบโตและมีปริมาณเคอร์คูมินที่เพิ่มมากขึ้น การใช้ Fe–EDTA ทำให้ปริมาณธาตุอาหารในขมิ้นชันมีมากขึ้นโดยเฉพาะธาตุอาหารหลัก และจุลธาตุ ส่งผลให้ขมิ้นชันมีปริมาณเคอร์คูมินอยด์เพิ่มขึ้น ดังนั้น การใช้ (B – Veggie) ร่วมกับปุ๋ยแบบที่ 2 และ Fe–EDTA ความเข้มข้น 600 ppm. แบ่งใส่ 3 ครั้ง ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการผลิตขมิ้นชันให้มีปริมาณผลผลิตที่เพิ่มมากขึ้น และปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ที่เพิ่มขึ้น และควรศึกษาต่อในด้านพื้นที่ในแปลงเพาะปลูกของเกษตรกรเพื่อหาอัตราการใช้ปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ที่เหมาะสมในระดับแปลงนาต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้จุลธาตุเพิ่มเติมในการเพิ่มผลผลิตและปริมาณเคอร์คิวมินในขมิ้น
2. ควรมีการศึกษาในสภาพแปลงทดลอง เพื่อให้เป็นการประยุกต์ใช้แบคทีเรีย (B–Veggie) ร่วมกับปุ๋ยไฮโดรโปนิกส์ในอัตราที่เหมาะสมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

บรรณานุกรม

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 547 น. จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2541

จีราภรณ์ อินทสาร ฉัตรปวีณ์ เดชจิรรัตนสิริ และ ประวิทย์ บุญมี. 2560. ผลของแบคทีเรียที่ผลิตสาร Indole-3-Acetic Acid (IAA) ต่อการเจริญเติบโต และปริมาณธาตุอาหารของพริกขี้หนู. วารสารเกษตร 33(3): 333-344.

เฉลิมพล แซมเพชร. 2535. สรีรวิทยาการผลิตพืช. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตรเป้าหมายของแผนแม่บทแห่งชาติว่าด้วยการพัฒนาสมุนไพรไทยฉบับที่ 1 พ.ศ. 2560-2564

ชัชวาล ย์ ช่าง ทำ. (2015). คุณ ประโยชน์ และฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลายของสมุนไพรขมิ้นชัน. วารสาร วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยีหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ISSN 2651-2483 (Online)(TCI Tier 2), 1(2), 94-109.

บุษราคัม อุดมศักดิ์. 2561. การใช้ชีวภัณฑ์บาซิลลัส ซับทิลิส 20W33 (*Bacillus subtilis* 20W33) ในการป้องกันกำจัดโรคแอนแทรคโนสหรือกุ้งแห้งพริก สาเหตุจากเชื้อ *Collectotricum gloeosporiodes* และ C. *capsica* ในชีวภัณฑ์กาจัดศัตรูพืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร. (น. 20-22)

บุหรัน พันธุ์สวรรค์. (2013). อนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระ และการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 21(3): 275-286

ยงยุทธ โอสถสภา. (2552). ธาตุอาหารพืช . สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 311 หน้า.

รุ่งนภา ทองเครั่ง, บูรณี พั่ววงศ์แพทย์ และณัฏฐิมา โฆษิตเจริญกุล. 2561. ชีวภัณฑ์แบคทีเรีย *Bacilius subtilis* สายพันธุ์ BS-DOA 24 ในการควบคุมโรคเหี่ยวสาเหตุจากแบคทีเรีย *Ralstonia solanacearum*.ในชีวภัณฑ์กำจัดศัตรูพืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร.(น. 26-27)

วิธู ศิริ รัตน อำ พร, & อิทธิ สุนทร นันท กิจ. (2021). อิทธิพลของชนิดเหล็กคีเลต และ ความเข้มข้นของธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตเยอบีร่ากระถาง (Gerbera jamesonii) ใน ระบบ ปลูก NFT (Nutrient Film Techniques). วารสารดิน และปุ๋ย, 34(1-4), 8-16.

สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช. 2564. ชีวภัณฑ์กำจัดศัตรูพืชเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน. สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืชกรมวิชาการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. หน้า 4-17.

สุนทรี สิงหบุตรา. สรรพคุณสมุนไพร 200 ชนิด.กรุงเทพฯ: คุณ 39 จำกัด; 2536.32(6), 1053-1064. (in Thai)

Abbaszadeh-Dahaji, P., Masalehi, F., and Akhgar, A. (2020). Improved growth and nutrition of sorghum (Sorghum bicolor) plants in a low-fertility calcareous soil treated with plant growth–promoting rhizobacteria and Fe-EDTA. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 20(1), 31-42.

Ahemad, M. and M.S. Khan. 2011. Assessment of plant growth promoting activities of rhizobacterium Pseudomonas putidaunder insecticide-stress. Microbiology Journal 1(2): 54-64.

Akamine, H., Hossain, M. A., Ishimine, Y., Yogi, K., Hokama, K., Iraha, Y., and Aniya, Y. (2007). Effects of application of N, P and K alone or in combination on growth, yield and curcumin content of turmeric (*Curcuma longa* L.). Plant production science, 10(1), 151-154.

Amzad Hossain, M., Akamine, H., Ishimine, Y., Teruya, R., Aniya, Y., and Yamawaki, K. (2009). Effects of relative light intensity on the growth, yield and curcumin content of turmeric (*Curcuma longa* L.) in Okinawa, Japan. Plant production science, 12(1), 29-36.

Anandaraj, M., Prasath, D., Kandiannan, K., Zachariah, T. J., Srinivasan, V., Jha, A. K., and Maheswari, K. U. (2014). Genotype by environment interaction effects on yield and curcumin in turmeric (*Curcuma longa* L.). Industrial Crops and Products, 53, 358-364.

Baka, A., Poonpakdee, C., Khawmee, K., and Onthong, J. (2021). Effects of fertilizers on growth, yield and curcuminoid content of turmeric (*Curcuma longa* L.) cultivated in red clay loam and sandy loam soil. Burapha Science Journal(วารสาร วิทยาศาสตร์ บูรพา), 26(3), 1611-1626.

Bureau of Animal Nutrition Development. (2010). Utilization of animal manure & wastewater from animal farms.Retrieved September 20, 2021, from http://nutrition.dld.go.th/nutrition/images/knowledge/ waste1.pdf (in Thai)

Chen, Y. and Barak, P. (1982). Iron nutrition of plants in calcareous soil. Adv. Agron. 35: 217-241.

Fan, X., Zhou, X., Chen, H., Tang, M., and Xie, X. (2021). Cross-talks between macro- and micronutrient uptake and signaling in plants. Frontiers in Plant Science, 12.

Hossain, M. A., and Ishimine, Y. (2005). Growth, yield and quality of turmeric (Curcuma longa L.) cultivated on darkred soil, gray soil and red soil in Okinawa, Japan. Plant Production Science, 8(4), 482-486.

Jabborova, D., Sulaymanov, K., Sayyed, R. Z., Alotaibi, S. H., Enakiev, Y., Azimov, A., ... and Datta, R. (2021). Mineral fertilizers Improves the quality of turmeric and soil.Sustainability, 13(16), 9437.

Kamal, M. Z. U., and Yousuf, M. N. (2012). Effect of organic manures on growth, rhizome yield and quality attributes of turmeric (*Curcuma longa* L.). The Agriculturists,10(1), 16-22.

Ministry of Public Health. (2018). Thai Herbal Pharmacopoeia 2018. Bangkok: Prachachon. (in Thai)

of golden spice: from bedside to bench and back. Biotechnology advances,

Ojikpong, T. O. (2018). Effect of Planting Dates and NPK (15: 15: 15) Fertilizer on the growth an yield of turmeric (*Curcuma longa* Linn). International Journal of Agriculture & Environmental Science, 5(4), 42-46.

Onthong, J., Poonpakdee, C., Khawmee, K. and Sopharat, J. (2019). Survey of Land and Turmeric Cultivation Soils in Southern Region for Information of Turmeric Research Development. Songkhla: Prince of Songkla University. (in Thai)

Osotsapar, Y. (2015). Plant nutrients. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)

Patten, C.L. and B.R. Glick. 2002. Role of Pseudomonas putidaindoleacetic acid in development of the host plant root system. Applied and Environmental Microbiology 68(8): 3795-3801.

Prasad, S., Gupta, S. C., Tyagi, A. K., & Aggarwal, B. (2014). Curcumin, a component of golden spice: from bedside to bench and back. Biotechnology advances, 32(6), 1053-1064. (in Thai)

Sadanandan, A. K., Peter, K. V., & Hamza, S. (1998). Soil nutrient and water management for sustainable spices production. In Proceeding National seminar on water and nutrient management for sustainable production and quality of spices. (pp. 12-20). Calicut: Kerala State.

Sahne, F., Mohammadi, M., Najafpour, G. D., & Moghadamnia, A. A. (2017). Enzyme-assisted ionic liquid extraction of bioactive compound from turmeric (*Curcuma*

longa L.): Isolation, purification and analysis of curcumin. Industrial crops and products, 95, 686-694.

Salisbury, F.B. 1994. The role of plant hormones. pp.39-81. In: R.E. Wilkinson (ed.). Plant-Environment Interactions. Marcel Dekker, New York.

Sanwal, S. K., Laxminarayana, K., Yadav, R. K., Rai, N., Yadav, D. S., & Bhuyan, M. (2007). Effect of organic manures on soil fertility, growth, physiology, yield and quality of turmeric. Indian Journal of Horticulture,64(4), 444-449

Singh, M., Khan, M. M. A., & Naeem, M. (2016). Effect of nitrogen on growth, nutrient assimilation, essential oil content, yield and quality attributes in Zingiber officinale Rosc. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 15(2), 171-178.

Sogi, D. S., Sharma, S., Oberoi, D. P. S., & Wani, I. A. (2010). Effect of extraction parameters on curcumin yield from turmeric. Journal of food science and technology, 47(3), 300-304.

Sunda, W., & Huntsman, S. (2003). Effect of pH, light, and temperature on Fe–EDTA chelation and Fe hydrolysis in seawater. Marine Chemistry, 84(1-2), 35-47.

Vanek, V., J. Silha & Nemecek, R. (2003). The level of soil nitrate content at different management of organic fertilizers application. Plant Soil Environ, 49,197-202.

Verma, P. P. S., Padalia, R. C., Singh, V. R., Kumar, A., & Agri, B. K. (2019). Effect of nitrogen, phosphorus and potassium levels on growth and yield of turmeric (*Curcuma longa* L.) Under the Katyur valley of western Himalayan region of Uttarakhand. J. Med. Plants, 7, 117-122.

Zaidi, S., S. Usmani, B.R. Singh and J. Musarrat. 2006. Significance of Bacillus subtilisstrain SJ 101 as a bioinoculant for concurrent plant growth promotion and nickel accumulation in Brassica juncea. Chemosphere 64(6): 991-997.