ผลของการให้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูปของคีเลตกรดอะมิโน ต่อการดูดใช้ธาตุอาหาร การเจริญเติบโต และผลผลิตของพริก (*Capsicum frutescens* L.)

นางสาววาสนา ยอดปรางค์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2553

THE EFFECTS OF FOLIAR APPLICATION OF AMINO ACID CHELATED SECONDARY AND MICRO-NUTRIENTS ON NUTRIENT UPTAKE, GROWTH AND YIELD OF CHILI (*Capsicum frutescens* L.)

Wassana Yodprang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Crop Production Technology

Suranaree University of Technology

Academic Year 2010

ผลของการให้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูปของคีเลตกรดอะมิโน ต่อการดูดใช้ธาตุอาหาร การเจริญเติบโต และผลผลิตของพริก (*Capsicum frutescens* L.)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____

(ผศ. ดร.ฐิติพร มะชิโกวา)
ประธานกรรมการ

_____

(ผศ. ดร.สุดชล วุ้นประเสริฐ)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____

(ศ. ดร.นันทกร บุญเกิด)
กรรมการ

_____

(ดร. โสภณ วงศ์แก้ว)
กรรมการ

_____ _____

(อ. ดร.วุฒิ ด่านกิตติกุล) (ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)
รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

วาสนา ยอดปรางค์ : ผลของการให้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูปของคีเลตกรดอะมิโน ต่อการดูดใช้ธาตุอาหาร การเจริญเติบโต และผลผลิตของพริก (*Capsicum frutescens* L.) (THE EFFECTS OF FOLIAR APPLICATION OF AMINO ACID CHELATED SECONDARY AND MICRO-NUTRIENTS ON NUTRIENT UPTAKE, GROWTH AND YIELD OF CHILI (*Capsicum frutescens* L.)) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดชล วุ้นประเสริฐ, 58 หน้า.

การแก้ปัญหา การขาด ธาตุอาหารรองและจุลธาตุ ในพืช ส่วนมากใช้ในรูปของ เกลือ และคีเลต สังเคราะห์ ทางใบ การใช้ในรูปเกลือจะเ กิดการแตกตัวเป็นไอออนในสารละลาย และ ทำปฏิกิริยากับธาตุต่าง ๆ ที่อยู่ในสารละลาย ทำให้ธาตุอาหาร ตกตะกอน ในรูปคีเลตสังเคราะห์มักมีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีปัญหาในการซึมผ่านช่องเปิดของใบ และเมื่ออยู่ภายในเซลล์พืช อาจมีการแตกตัวน้อย เพราะ มีค่าคงตัวด้านเสถียรภาพที่สูง ทำให้การใช้ของพืชไม่มีประสิทธิภาพ คีเลต กรดอะมิโนเป็นคีเลตจากธรรมชาติ ชนิดที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก มีประจุเป็นกลาง ไม่ถูกดูดยึดโดยประจุลบที่ช่องผ่านของผิวใบ สามารถซึมผ่านช่องเปิดของใบเข้าไปในเซลล์พืชได้ง่าย เมื่ออยู่ในเซลล์พืช สามารถแตกตัวได้ง่าย เพราะมีค่าค งตัวด้านเสถียรภาพที่ ค่อนข้างต่ำ จึงทำให้พืชนำไปใช้ได้อย่ างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ ในรูปเกลือและคีเลตสังเคราะห์ กา รศึกษาครั้ง นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ และความสามารถในการเคลื่อนย้าย ธาตุเหล็กในรูปคีเลตกรดอะมิโนของพริก การทดลองนี้ได้ ให้ธาตุเหล็กในรูป เกลือ ($FeSO_4$) คีเลตสังเคราะห์ (Fe-EDTA) และคีเลตกรดอะมิโน (Ferrous bisglycinate) โดยทาสารละลาย ธาตุเหล็กความเข้มข้น 100 มก./ล. ทั่วทั้งใบพริกพันธุ์ซุปเปอร์ฮอท ผลการทดลองพบว่า การให้ธาตุเหล็กในรูป Ferrous bisglycinate มีปริมาณการดูดซับ และเคลื่ อนย้ายธาตุเหล็กได้ดีที่สุด ภายใน 24 ชั่วโมง โดยธาตุเหล็กที่ให้ใบบนมีการเคลื่อนย้ายจากใบบนไปยังใบล่าง และราก และธาตุเหล็กที่ให้ใบล่าง มีการเคลื่อนย้าย จากใบล่างไปยังใบบน และราก จากนั้นจึงทำการศึกษาเพื่อทดสอบ ประสิทธิภาพการดูด ใช้ และความสามารถในการเคลื่อนย้ายธ าตุเหล็กในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิต ของพริกในแปลง ซึ่งประกอบด้วย 4 ตำรับการทดลองคือ 1) ควบคุม 2) $FeSO_4$ 3) Fe-EDTA และ 4) Ferrous bisglycinate ทุกตำรับการทดลองยกเว้นชุดควบคุมให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กเท่ากันคือ 100 มก./ล. พ่นทางใบทุก 7 วัน จากระยะออกดอกจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ผลการ ทดลองพบว่าการพ่นปุ๋ยในรูป Ferrous bisglycinate มีแนวโน้มว่ามีการดูดใช้ และเคลื่อนย้ายธาตุอาหารได้ดีกว่าในรูป Fe-EDTA และ $FeSO_4$ โดยมีปริมาณธาตุเหล็กในใบและรากสูงที่สุด มีปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กสูงที่สุด ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตที่ดี มีความสูง และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงที่สุด ถึงแม้จะไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และการให้ ธาตุเหล็กทางใบในรูป Ferrous bisglycinate ให้ผลผลิตสูงกว่าการ

ใช้ในรูป Fe-EDTA แต่ให้ผลไม่แตกต่างจากการใช้ในรูป $FeSO_4$ ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะว่าไม่มีการแก่งแย่งการดูดใช้ธาตุอาหาร (nutrient antagonistic interaction) ในการทดลองนี้ เพราะมีการใช้ธาตุเหล็กธาตุเดียว ดังนั้น จึงทำการศึกษาการแก่งแย่งการดูดใช้ธาตุอาหารที่มีประจุ บวกเหมือนกัน และผลการทดลองพบว่า การใช้ธาตุเหล็กร่วมกับแมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ในรูปของเกลือ ทำให้การดูดใช้ธาตุเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีลดลง ส่วนการใช้ธาตุเหล็กร่วม กับแมงกานีส ทองแดงและสังกะสีในรูปของคีเลตกรดอะมิโน ไม่มีผลทำให้การดูดใช้ธาตุต่าง ๆ ลดลง และการใช้ธาตุต่าง ๆ ร่วมกันในรูปคีเลตกรดอะมิโน มีปริมาณและการดูดใช้ธาตุอาหาร การเจริญเติบโต และผลผลิตสูงกว่าการใช้ธาตุต่าง ๆ ร่วมกันในรูปเกลือซัลเฟต จากผลการทดลองพบ ว่าการใช้ปุ๋ยทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโน พืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้ดี ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริก จึงทำการศึกษาความเข้มข้นและความถี่ที่เหมาะสมของการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกโดยศึกษาความเข้มข้น 3 ระดับคือ 20 40 และ 60 มล./20 ล. และความถี่ของการฉีดพ่นคือทุก 7 14 และ 21 วัน จากผลการทดลองพบว่าการพ่นปุ๋ยในทุกกรรมวิธีไม่มีผลต่อความสู ง และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และการพ่นปุ๋ยในทุกกรรมวิธีให้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโน ช่วยเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นกว่าไม่ใช้ปุ๋ย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

WASSANA YODPRANG : THE EFFECTS OF FOLIAR APPLICATION OF AMINO ACID CHELATED SECONDARY AND MICRO-NUTRIENTS ON NUTRIENT UPTAKE, GROWTH AND YIELD OF CHILI (*Capsicum frutescens* L.). THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SODCHOL WONPRASAID, Ph.D., 58 PP.

AMINO ACID CHELATE/CHILI/FOLIAR APPLICATION/NUTRIENT UPTAKE

The use of foliar application to solve the problem of secondary and micro-nutrients deficiency in crops is mostly in the forms of salt and synthetic chelates. In the salt form, nutrients dissociate into ions and can react with other ions in the solution and precipitate. Synthetic chelates of high molecular weight can hardly penetrate the open space of the leaf surface into plant cells. Inside the plant cells, they hardly dissociate because of their high stability constant. Therefore, the release of plant nutrients is limited. Amino acid chelates are natural chelators with low molecular weight, and neutral charge. They are neither attracted to nor repulsed from the negatively charged leaf surface. Consequently, they freely pass through cuticle of the leaves. Inside the plant cells, they are easily dissociated because of their low stability constant. Therefore, the application of nutrient-amino acid chelates might be more efficient than that of nutrient-salt and synthetic chelates. The objective of this research was to investigate the effects of Fe-amino acid chelate foliar application on nutrient absorbtion and translocation in chili. Fe in the form of salt ($FeSO_4$) synthetic chelate (Fe-EDTA) and amino acid chelate (Ferrous bisglycinate) at 100 mg L^{-1} concentration were applied on the leaf surface of superhot chili. The result showed that Fe applied as ferrous bisglycinate gave the highest nutrient absorbtion and

translocation within 24 hours. The Fe was translocated from the points of application to the lower and the upper leaves and to the roots. Subsequently, the effects of Fe-amino acid chelate foliar application on nutrient uptake, growth and yield of chili were studied. The experiment consisted of 4 treatments : 1) control 2) $FeSO_4$ 3) Fe-EDTA and 4) Ferrous bisglycinate. In all treatments except control, 100 mg L^{-1} of Fe was applied on the leaves of chili at 7-day interval from flowering to harvesting. The results showed that plants with ferrous bisglycinate application tended to have higher Fe contents in leaves and roots and Fe uptake. This resulted in greater plant height and dry matter and gave higher yield than that of Fe-EDTA but did not differ from that of $FeSO_4$. The lack of difference between ferrous bisglycinate and $FeSO_4$ may be contributed from the lack of nutrient interaction because only one nutrient (Fe) was studied. Therefore, the antagonistic interaction of positively charged nutrients was studied. The results showed that the use of nutrient combination of Fe, Mn, Cu and Zn in the salt form reduced the uptakes of Fe, Mn, Cu and Zn, but the use of nutrient combination of amino acid chelate did not affect Fe, Mn, Cu and Zn uptakes. The results also showed that plants with mixed nutrients in amino acid chelate application had higher nutrient content and uptake, plant height, dry matter and yield than that of mixed nutrients in the salt form. It is obvious that the application of plant nutrients in the form of amino acid chelate was effective. They were easily absorbed and quickly translocated in plants and were able to enhance growth and yield of chili. Therefore, the concentration and frequency of secondary and micronutrients-amino acid chelate foliar application on the growth and yield of chili were studied. The treatments consisted of three concentration levels (20, 40 and 60 ml/20 L) and three application frequencies (7, 14 and 21 day intervals). The results showed that plant height and dry matter were not affected by all applications. Yield

was not different among all application treatments. However, all amino acid chelate applications gave higher yield than that of the control (no application).

School of Crop Production Technology Student's Signature_____

Academic Year 2010 Advisor's Signature_____

Co-advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง ไปด้วยดี ผู้วิจัย ได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร .สุดชล วุ้นประเสริฐ หัวหน้าสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ดร.โสภณ วงศ์แก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณนวลปรางค์ อุทัยดา คุณสมยง พิมพ์พรม คุณสหรัฐ นภากาศ คุณจรรจิรา วงศ์วิวัฒนา และคุณสุชาดา อุดมพร เจ้าหน้าที่ประจำ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ และให้คำแนะนำในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คุณอุทัย พลแสงจันทร์ และเจ้าหน้าที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยเหลือ และสนับสนุนการปฏิบัติงานในแปลงทดลอง

ขอขอบคุณ พี่น้องบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชทุกท่าน ที่ช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ให้การปฏิบัติงานเป็นไปได้ด้วยดี ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ บริษัท สยาม 88 จำกัด ที่สนับสนุนปุ๋ยคีเลตกรดอะมิโนในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้โอกาสในการศึกษาระดับมหาบัณฑิตแก่ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ด้วยทุนเรียนดีระดับบัณฑิตศึกษา และ ทุนอุดหนุนโครงก ารวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิต

วาสนา ยอดปรางค์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทบาทของธาตุอาหารพืช 4
2.2 การให้ปุ๋ยทางดินเพื่อแก้ปัญหาการขาดธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ 9
2.3 การให้ปุ๋ยทางใบ 9
2.4 กลไกการดูดซับธาตุอาหารทางใบพืช 11
2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของใบ 12
2.6 รูปของธาตุอาหารที่ใช้เป็นปุ๋ยทางใบ 13

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ประสิทธิภาพการดูดซับ และความสามารถในการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็ก ในรูปคีเลตกรดอะมิโน 19
3.2 ปฏิสัมพันธ์ของการดูดใช้จุลธาตุที่มีประจุบวกในรูปคีเลตกรดอะมิโน 23
3.3 ความเข้มข้น และความถี่ที่เหมาะสมของการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโนต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริก 24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และการอภิปรายผล

4.1 ประสิทธิภาพการดูดซับ และความสามารถในการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กในรูปคีเลตกรดอะมิโน 28

4.2 ปฏิสัมพันธ์ของการดูดใช้จุลธาตุที่มีประจุบวกในรูปคีเลตกรดอะมิโน 36

4.3 ความเข้มข้น และความถี่ที่เหมาะสมของการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโนต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริก 41

5 บทสรุป 47

รายการอ้างอิง 48

ภาคผนวก 52

ประวัติผู้เขียน 58

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 ค่า Stability Constants (log K) และขนาดโมเลกุลของโลหะคีเลต 15
2 กรดอะมิโนที่นำมาผลิตคีเลตกรดอะมิโน 18
3 คุณสมบัติของดินในแปลงทดลองก่อนปลูกพริก 22
4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในปุ๋ยคีเลตกรดอะมิโนสูตร multi mineral 25
5 คุณสมบัติของดินก่อนปลูกพริกในแปลงทดลอง 26
6 ผลของการให้ธาตุเหล็กทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อปริมาณธาตุเหล็กที่ถูกดูดซับโดยส่วนที่ได้รับธาตุเหล็กโดยตรง 29
7 ผลของการให้ธาตุเหล็กทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อปริมาณธาตุเหล็กในใบ และรากและปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กของพริก 32
8 ผลของการให้ธาตุเหล็กทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อความสูงและน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของพริก 33
9 ผลของการให้ธาตุเหล็กทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของพริก 34
10 ผลของการพ่นจุลธาตุทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อปริมาณธาตุเหล็กในใบและปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กของพริก 37
11 ผลของการพ่นจุลธาตุทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อปริมาณธาตุแมงกานีสในใบและปริมาณการดูดใช้ธาตุแมงกานีสของพริก 37
12 ผลของการพ่นจุลธาตุทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อปริมาณธาตุทองแดงในใบและปริมาณการดูดใช้ธาตุทองแดงของพริก 38
13 ผลของการพ่นจุลธาตุทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อปริมาณธาตุสังกะสีในใบและปริมาณการดูดใช้ธาตุสังกะสีของพริก 38
14 ผลของการพ่นจุลธาตุทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อความสูงและน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของพริก 39
15 ผลของการพ่นจุลธาตุทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของพริก 40

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

16 ผลของความเข้มข้น และความถี่ที่ของการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบ ในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อความสูง และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของพริก 42

17 ผลของความเข้มข้น และความถี่ของการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบ ในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของพริก.....43

18 ผลของความเข้มข้น และความถี่ของการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบ ในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อปริมาณธาตุอาหารอาหารรอง และจุลธาตุในใบของพริก.....44

19 ผลของความเข้มข้น และความถี่ของการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบ ในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อปริมาณธาตุอาหารอาหารรอง และจุลธาตุในรากของพริก.....45

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1 ผลของการให้ธาตุเหล็กที่ใบบนต่อปริมาณธาตุเหล็กในใบล่าง 30
2 ผลของการให้ธาตุเหล็กที่ใบบนต่อปริมาณธาตุเหล็กในราก 30
3 ผลของการให้ธาตุเหล็กที่ใบล่างต่อปริมาณธาตุเหล็กในใบบน 31
4 ผลของการให้ธาตุเหล็กที่ใบล่างต่อปริมาณธาตุเหล็กในราก 31

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โดยทั่วไปเกษตรกรปลูกพืชโดยใช้ ปุ๋ยเคมี ที่มีแต่ธาตุอาหารหลัก ซึ่งปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชได้เร็ว พืชสามารถนำไปใช้ได้ทันที ทำให้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีผลผลิตสูง แต่การใช้ปุ๋ยเคมีอย่ างต่อเนื่องเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดิน ดินได้รับธาตุอาหารหลักเพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ย ในขณะที่พืชดูดใช้ธาตุรองและจุลธาตุจากดินอยู่เสมอ และธาตุเหล่านี้ติดไปกับผลผลิตที่เก็บเกี่ยว สูญเสียไปกับการชะล้างและการกร่อนหน้าดินในระหว่างการเพาะป ลูก ทำให้ พืชขาดธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ซึ่งการแก้ไขโดย ให้ธาตุอาหารเหล่านี้ทางดินได้ผลช้า ไม่สามารถแก้ ไขได้ทันเวลา เนื่องจากมีการตรึงหรือแปรสภาพธาตุ อาหารรอง และจุลธาตุ ไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช และ สภาพแวดล้อมบางประการที่ไม่เหมาะสมทำให้การใส่ธาตุอาหารทางดินมีประสิทธิภาพ ต่ำ การใช้ปุ๋ยทางใบช่วยแก้ปัญหาการขาดธาตุอาหารรอง และ จุลธาตุในดิน เป็นการ ให้ธาตุอาหาร แก่พืชทางส่วนเหนือดิน ใบพืชสามารถดูดธาตุอาหารทางใบจากสารละลายที่มาสัมผัสผิวใบไปใช้ในการเจริญเติบโตได้โดยตรง โดยดูดซึมผ่านทางผิวใบและช่องเปิดต่าง ๆ ของใบ ทำให้พืชได้รับธาตุอาหารอย่างเพียงพอ เพ ราะพืชดูดและส่งธาตุอาหารไปในเนื้อเยื่อที่มีความต้องการใช้ได้เร็ว ทำให้พืชมีผลผลิตและคุณภาพสูง ส่วนใหญ่การให้ธาตุอาหารทางใบมักอยู่ในรูปของเกลืออนินทรีย์ และคีเลตสังเคราะห์ ซึ่งปุ๋ยในรูปของเกลือมีราคาถูก ละลายน้ำได้ ง่าย สามารถแก้ไขปัญหาการขาด ธาตุอาหารได้ แต่การใช้ในรูปของเกลือธาตุอาหารจะแตกตัวเป็นไอออนในสารละลาย จึงมีโอกาสทำปฏิกิริยากั บธาตุต่าง ๆ แล้วตกตะกอน ทำให้เคลื่อนย้ายได้ยาก และถ้าเป็นธาตุอาหารที่มีประจุลบการซึมผ่านทางช่องเปิดของใบอาจถูกจำกัด เพราะช่องเปิด ของใบมีประจุลบมากกว่าประจุบวก ทำให้เกิดการผลักดันกับประจุของธาตุอาหาร ส่วนธาตุอาหารที่อยู่ในรูปของคีเลตสังเคราะห์พืชจะใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าในรูปเกลือ เนื่องจากไม่ถูกไอออนเข้าแทนที่โดยง่าย ธาตุอาหารจึงไม่ตกตะกอน และการที่ประจุมีสภาพเป็นกลางจะไม่เกิดปัญหาในการซึมผ่านช่องเปิดของใบที่มีประจุเป็นลบ แต่คีเลตสังเคร าะห์มักมีโมเลกุลขนาดใหญ่ ทำให้ ซึมผ่านช่องเปิดของผิวใบได้ยาก และเมื่ออยู่ภายในเซลล์พืชมีการแตกตัวน้อย เพราะมีค่าคงตัวด้านเสถียรภาพ (stability constant) ที่สูงเกินไป การใช้ของพืชอาจไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นก ารใช้ธาตุอาหารในรูปของ คีเลตกรดอะมิโน (amino acid chelate) ที่ผลิตด้วยสารคีเลตจากธรรมชาติ คือ กรดอะมิโน ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก มีประจุเป็นเป็นกลา ง ไม่ถูกดูดยึดโดย

ประจุลบที่ช่องเปิดของใบ สามารถซึมผ่านช่องเปิดของใบเข้าไปในเซลล์พืชได้ง่าย แตกตัวได้ง่าย เพราะมีค่าคงตัวด้านเสถียรภาพที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้พืชดูดได้ง่ายและเร็ว เคลื่อนย้ายในพืชได้ดี พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที ทำให้การใช้ของพืชมีประสิทธิภาพสูง กว่า และ รูปของ คีเลตกรดอะมิโน พืชอาจจะใช้ กลไกในการเคลื่อนย้าย (translocation) เหมือนกับ กรดอะมิโน ทั่วไปที่เคลื่อนย้ายทางท่อลำเลียงอาหาร ทำให้เคลื่อนย้ายไปในส่วนที่ต้องการได้เร็ว ซึ่งจะทำให้การใช้ธาตุอาหาร ของพืชดีและมีประสิทธิภาพสูงกว่าธาตุอาหารที่อยู่ในรูปของเกลือ อนินทรีย์ และคีเลตสังเคราะห์ ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตและผลผลิตดีขึ้น

การศึกษาการใช้ ธาตุอาหารรอง และ จุลธาตุทางใบในรูปของ คีเลตกรดอะมิโน ยังมีจำกัด โดยเฉพาะกับพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ดังนั้นจึงควรมีการวิจัยเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ ความสามารถในการเคลื่อนย้าย และปฏิ สัมพันธ์ของการใช้ ธาตุอาหารในรูป คีเลตกรดอะมิโน และศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ธา ตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูป คีเลตกรดอะมิโน ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิต โดย ทำการทดสอบกับพริก ซึ่งเป็นตัวแทนของพืชผักอายุยาวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ให้ผลตอบแทนคุ้มค่า ผลที่ได้จากการศึก ษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดการใช้ปุ๋ยทางใบ เพื่อช่วยเพิ่มศักยภาพในการผลิตพืชเศรษฐกิจชนิดต่าง ๆ ให้มีผลผลิตและคุณภาพสูง

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ ความสามารถในการเคลื่อนย้าย และปฏิสัมพันธ์ของการใช้ธาตุอาหารในรูปคีเลตกรดอะมิโน

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ทางใบ ในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ และความสามารถในการเคลื่อนย้าย ธาตุเหล็กในรูปคีเลตกรดอะมิโน ในกระถางและแปลงทดลอง

2. ศึกษาปฏิสัมพันธ์ของการดูดใช้จุลธาตุที่มีประจุบวก (Fe, Mn, Cu และZn) ในรูปคีเลตกรดอะมิโน

3. ศึกษาความเข้มข้น และความถี่ที่เหมาะสมของการใช้ธาตุอาหารรอง(Ca และ Mg) และจุลธาตุ (Fe, Mn, Cu และ Zn) ทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบประสิทธิภาพการดูดซับ ความสามารถในการเคลื่อนย้าย และปฏิสัมพันธ์ของการใช้ธาตุอาหารในรูปคีเลตกรดอะมิโน

2. ทราบอัตราการใช้ และความถี่ที่เหมาะสมในการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก

3. ใช้ความรู้ที่ได้เป็นแนวทางในการจัดการการใช้ปุ๋ยทางใบ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตพริก และพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทบาทของธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารพืชคือ ธาตุอาหารที่พืชจำ เป็นต้องใช้ เพื่อให้ดำรงชีวิตอยู่ได้ อย่างสมบูรณ์ หมายความว่า 1) หากพืชขาดธาตุนั้นอย่างรุนแรงมาก จะไม่สามารถเจริญเติบโตจนครบวัฏ จักรชีวิต 2) ถ้าขาดแคลนธาตุนั้นรุนแรงพอประมาณพืชจะมีอาการผิดปกติ ซึ่งเป็นอาการเฉพาะ สามารถแก้ไขอาการดังกล่าว ได้โดยให้ธาตุนั้นในรูปของปุ๋ย ไม่อาจแก้ไขอาการผิดปกตินั้นด้วยการให้ธาตุอื่น และ 3) ความต้องการธาตุนั้น ๆ มีความจำเพาะเจาะจงมาก เนื่องจากแต่ละธาตุมี บทบาทสำคัญโดยตรงในเมแทบอลิซึมของพืช (ยงยุทธ โอสถสภา, 2552)

ธาตุอาหารจำเป็นสำหรับพืชทั่วไปที่ยอมรับกันแล้วมีอยู่ 17 ธาตุ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ

ก. มหธาตุ (macronutrients) หมายถึงธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมาก มีสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อพืชความเข้มข้นสู งกว่า 500 มก. ต่อน้ำหนักพืชแห้ง 1 กก. ซึ่งมี 9 ธาตุ ได้แก่ ไฮโดรเจน คาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน สำหรับไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เรียกรวมกันว่าธาตุอาหารหลัก (primary nutrient elements) เนื่องจากพืชต้องก ารในปริมาณมาก แต่ได้รับจาก ดินไม่เพียงพอ ทำให้มีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุดังกล่าว ปุ๋ยเคมีที่ผลิตขายส่วนมากจึงมี 3 ธาตุนี้เป็นองค์ประกอบเสมอ ส่วนแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน เรียกว่าธาตุอาหารรอง (secondary nutrient elements) พืชต้องการในปริมาณมากเช่นกัน แต่ดินเพาะปลูกทั่วไปมักมีเพียงพอแก่ความต้องการของพืช จะพบว่าขาดสำหรับพืชในดินบางแห่งเท่านั้น

ข. จุลธาตุ (micronutrients) หมายถึงธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริม าณน้อย มีสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อพืชในความเข้มข้นต่ำกว่า 100 มก. ต่อน้ำหนักพืชแห้ง 1 กก. มีความสำคัญทัดเทียมกับ ธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง ซึ่งพืชจะขาด ไม่ได้ ในดินทั่วไปมักมีธาตุเหล่านี้อยู่ จึงไม่ค่อยปรากฏว่าขาดธาตุเหล่านี้ในดินที่ทำการเพาะปลูกทั่ว ๆ ไป มี อยู่ 8 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดีนัม คลอรีน และนิกเกิล

สำหรับในที่นี้ขอกล่าวถึงธาตุอาหารรอง 2 ธาตุ คือ แคลเซียม และแมกนีเซียม และจุลธาตุ 4 ธาตุ คือ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง เพราะเป็นธาตุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

บทบาทและความสำคัญของธาตุอาหารรอง

ถึงแม้ธาตุอาหารรองจะมีความสำคัญน้อยในอดีต เพราะมักมีอยู่ในดินเพียงพอกับความต้องของพืช แต่ในปัจจุบันเริ่มมีการขาดแคลนโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการใช้เฉพาะธาตุอาหารหลักในการปลูกพืช ธาตุอาหารรองมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชทางด้านสรีรวิทยา

บทบาทและความสำคัญของแคลเซียม

แคลเซียมเป็นธาตุที่จำเป็นต่อพืชสีเขียวทุก ชนิด เป็นพิษต่อพืช น้อย และพืชทั่วไปสามารถปรับตัวให้สอดคล้องกับปริมาณที่ได้รับ ถ้ามีอาการเป็นพิษจะเกิดช้าและเป็นผลทางอ้ อมมากกว่าทางตรง สาเหตุที่ เป็นพิษต่อพืชน้อย เนื่องจากพืชมีกลไกที่สามารถควบคุมให้มีแคลเซียมในไซโตพลาสซึมต่ำได้ (Hanson, 1984) แคลเซียมเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการแบ่งเซลล์ของพืช มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสร้างเส้นใยไมโทซิส และเป็นองค์ประกอบของ แคลเซียมเพกเทต ในมิดเดิลลาเมลลา ของเซลล์เพลท ในช่วงของการแบ่งเซลล์ ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีความแข็งแรง ถ้าพืชขาดแคลเซียมจะทำให้เยื่อ หุ้มเซลล์เสียหาย และในกรณีที่ขาดอย่างรุนแรงจะทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ขาด (ยงยุทธ โอสถสภา, 2552) นอกจากนี้ยังส่งเสริมการปฏิสนธิ ส่งเสริมการงอกของเมล็ด โดยเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ย่อยแป้งในเอนโดสเปอร์มของเมล็ด ทำให้โมเลกุลของแป้งมีขนาดเล็กลงสำหรับ ใช้ในกระบวน การงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์และออแกเนลล์ต่าง ๆ มีเสถียรภาพ โดยเป็นสะพานเชื่อมระหว่างฟอสเฟตกับหมู่คาร์บอกซิลของฟอสโฟลิพิดและโปรตีนตรงบริเวณผิวของเยื่อ

ปริมาณความต้องการ และอาการขาดธาตุแคลเซียมของพืช

ความเข้มข้นของแคลเซียมในพืชแตกต่างกันตามสภาพการปลูก พันธุ์พืช และอวัยวะ ซึ่งแปรผันอยู่ในช่วง 0.1 ถึงมากกว่า 5% โดยน้ำหนักแห้ง แคลเซียมเป็นธาตุที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายจากส่วนแก่ไปยังส่วนอ่อนหรือส่วนที่กำลังเติบโตได้ (วิเชียร ฝอยพิกุล, 2536) เมื่อพืชเกิดอาการขาดแคลเซียม จะแสดงออกที่ส่วนยอดของต้นหรือกิ่ง ลักษณะอาการขาดแคลเซียมในพืชทั่วไปคื อ ใบอ่อนที่แตกออกมาใหม่จะหดสั้นและเหี่ยว ใบอ่อนมีสีเขียวแต่ปลายใบเหลือง เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและตายในที่สุด ในระยะพืชออกดอก ติ ดผล ตาดอกและกลีบดอกจะไม่พัฒนา ดอกและผลจะร่วง พืชหลายชนิดที่ขาดธาตุแคลเซียม อาจมีลักษณะเป็นพิเศษเฉพาะพืช เช่ น มะเขือเทศ แตงโม พริก แตงกวา จะเกิดการเน่าที่ส่วนล่างของผล ผักขึ้นฉ่ายแสดงอาการไส้ดำ แครอทแสดงอาการฟ่ามที่หัว พืชลงหัวต่าง ๆ เช่น ผักกาดหัว หอม กระเทียม แสดงอาการไม่ลงหัว หรือลงหัวแต่หัวจะไม่สมบูรณ์

บทบาทและความสำคัญของแมกนีเซียม

แมกนีเซียมเป็นแคตไอออนที่มีประจุบวกสอง มีขนาดเล็ก มีมากในแวคิวโอล ทำหน้าที่ในการควบคุมสมดุลระหว่ างแคตไอออนกับแอนไอออน เป็นส่วนประกอบ ในคลอโรพลาสต์และไซโตพลาซึม แมกนีเซียมส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนที่เป็นสีเขียวของพืช โดยสะสมอยู่มากในใบและเมล็ดโดยเฉพาะในเมล็ดที่ มีน้ำมัน แต่ พบน้อยในส่วนที่ทำหน้าที่สะสมอาหาร เช่น ลำต้นและหัว

เนื่องจากแมกนีเซียมเคลื่อนที่ได้ดีมากในพืช (ยงยุทธ โอสถสภา , 2552) แมกนีเซี ยมเป็นองค์ประกอบสำคัญในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ โดยแมกนีเซียมเป็นอะตอมที่อยู่กึ่งกลางโมเลกุลคลอโรฟิลล์ มีความสำคัญต่อระบบเอนไซม์หลายชนิดในพืช เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ที่ มีบทบาทในการถ่ายโอนฟอสเฟตหรือหมู่คาร์บอกซิล ช่วยกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ รูบิสโกซึ่งทำหน้าที่ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในปฏิกิริยามืดของพืชพวกซีสาม ยังเป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างแป้ง

ปริมาณความต้องการ และอาการขาดธาตุแมกนีเซียมของพืช

พืชปกติมีแมกนีเซียมในอวัยวะส่วนที่ไม่อาศัยเพศอยู่ในช่วง 0.15-0.35% โดยน้ำหนักแห้ง แมกนีเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายจากส่วนแก่ไปยังส่วนยอดที่กำลังเติบโตได้ หากเกิด อาการขาดในพืชอาการจะปรากฏให้เห็นที่ใบล่างหรือใบแก่ของพืชก่อน อัตราการสังเคราะห์ ด้วยแสงลดลง จึงสร้าง ATP ได้น้อย ทำให้ขาดพลังงานที่จะใช้ในการเคลื่อนย้ายผลผลิตของการสังเคราะห์ ด้วยแสงจากแหล่งจ่ายไปยังที่รับ คือราก ผล และหัว จึงทำให้การสังเคราะห์แป้งลดลง การขาดแมกนีเซียมที่พบในพืช คือใบจะเหลืองแล้วเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและตายในที่สุด อาการขาดจะเริ่มจากปลายใบถึงโคนใบ ถ้ารุนแรงมากใบจะแห้งตาย (necrosis) ใบแก่ของพืชจะสูญเสียคลอโรฟิ ลล์ (chlorosis) ซึ่งจะเกิดเฉพาะบริเวณที่อยู่ระหว่างเส้นใบ ในขณะที่เส้นใบยังเขียวอยู่ การขาดแมกนีเซียมทำให้ปริมาณแป้งในหัวมันฝรั่งและเมล็ดธัญพืชลดลง ในพืชตระกูลถั่วจะทำให้พืชไม่ค่อย ติดฝัก (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543)

บทบาทและความสำคัญของจุลธาตุ

จุลธาตุมีความสำคัญต่อพื ชเช่นเดียวกับธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารอง พืชต้องการใช้จุลธาตุในปริมาณน้อย แต่ มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช หากมีไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช พืชจะมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตน้อยลง พืชต้องการจุลธาตุในปริมาณน้อยมาก ซึ่งช่วงของปริมาณที่พืชต้องการ นั้นแคบมาก และ ปริมาณที่มีอยู่เหมาะสมต่อพืชมักจะเป็นช่วงแคบเช่นเดียวกัน ถ้าหากในดินมีจุลธาตุมากผิดปกติ อาจเกิดจากสภาวะบางอย่างในดินที่ทำให้มีจุลธาตุละลายออกมามาก หรือจากการใส่ปุ๋ยจุลธาตุมากเกินไป จะทำให้พืช ได้รับจุลธาตุมากเกินไปจนเป็นพิษต่อพืชได้ และหาก ขาดแคลนมากพืชจะแสดงอาการผิดปกติให้ปรากฏออกมา จุ ลธาตุทั้งหลายไม่ได้เป็นองค์ประกอบหรือเป็นส่วนประกอบของเซลล์หรือเนื้อเยื่อพืชอย่างเช่นมหธาตุ แต่มีบทบาทเป็นผู้กระตุ้น หรือสนับสนุนให้เกิด กระบวนการต่าง ๆ ภายในพืช โดยมีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบเอนไซม์ภายในพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

บทบาทและความสำคัญของเหล็ก

เหล็กเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์และเอนไซม์ เพอร์ออกซิเดสซ์ เป็นส่วนประกอบของไซโตโครมซึ่งเป็นสารตัวกลา งในการถ่ายทอดอิเลคตรอน ทั้งใน

กระบวนการสังเคราะห์ ด้วยแสง และการหายใจ เป็นส่วนประกอบของเฟอริดอกซินที่อยู่ใน คลอโรพลาสต์ ซึ่งเป็นสารสำคัญในการเคลื่อนย้ายอิเลคตรอนของกระบวนการสังเคราะห์ ด้วยแสง ของพืช นอกจากนี้ธาตุเหล็กยังเป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงสร้ างคลอโรพลาสต์ โดย 75 เปอร์เซ็นต์ของคลอโรพลาสต์จะมีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบ (Havlin et al., 2005) ปริมาณของ คลอโรฟิลล์ในพืชมีความสัมพันธ์อยู่กับปริมาณของธาตุเหล็กที่พืชได้รับ เมื่อพืชได้รับธาตุเหล็กใน ปริมาณที่เพียงพอจะทำให้ กระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์เ กิดได้ดีขึ้น และเมื่อพืชเกิดการขาด เหล็กใบของพืชจะหยุดสร้างคลอโรฟิลล์ทันที อาการผิดปกติดังกล่าวนี้เรียกว่าคลอโรซีส คือใบมีสี เหลืองซีดหรือขาวซีด

ปริมาณความต้องการ และอาการขาดธาตุเหล็กของพืช

พืชทั่วไปมีระดับขาดแคลนวิกฤติของเหล็กในใบระหว่าง 50-150 มก./กก. (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งถือว่าเป็นความเข้มข้นที่ค่อนข้างต่ำ และหากต่ำกว่านี้จะแสดงอาการขาดเหล็ก ธาตุเหล็กเป็นธาตุ ที่ไม่เคลื่อนย้ายภายในพืช พืชไม่สามารถดึงเอาเหล็กจากส่วนที่สะสมอยู่ที่ใบแก่เพื่อนำไปใช้ในใบ อ่อนได้ จึงแสดงออกที่ส่วนยอดอ่อนหรือใบอ่อน อาการขาดธาตุเหล็กของพื ชมีลักษณะแตกต่างกัน ไปบ้างตามชนิดของพืช ลักษณะอาการคลอโรซีสมักพบกับพืชหลายชนิดโดยเฉพาะที่ปลูกในสภาพ ภูมิอากาศแบบกึ่งแห้งแล้ง และพืชที่ปลูกบนดินคัลคาเรียส เช่น แอบเปิ้ล อโวกาโด ข้าวบาร์เลย์ ส้ม ถั่วลิสง มันสำปะหลัง ถั่วเหลือง และพืชจำพวกไม้ดอกอีกหลายชนิด (Chen and Barak, 1982)

บทบาทและความสำคัญของแมงกานีส

แมงกานีสเกี่ยวข้องกับระบบแคตะลิสต์และเอนไซม์ต่าง ๆ ในพืช เป็นโคแฟ กเตอร์ของ เอนไซม์หลายชนิด มีบทบาทในการสังเคราะห์โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และลิพิด ช่วยกระตุ้นการ ถ่ายทอดอิเล็คตรอนในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแ สง กระตุ้นปฏิกิริยาการแตกตัวของน้ำ การ ปลดปล่อยออกซิเจนในระบบแสง II และเกี่ยวข้องกับการสร้างเมมเบรนของคลอโรพลาสต์ การขาด แมงกานีสมีผลให้โครงสร้างจุลภาคของเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ชำรุด และสูญเสียอนุภาคซึ่งเป็นหน่วยทำ หน้าที่ของระบบแสง II เมื่อให้แมงกานีสอย่างพอเหมา ะ อนุภาคดังกล่าวของเยื่อหุ้มไทลาคอยด์จะ กลับคืนสู่สภาพเดิม

ปริมาณความต้องการ และอาการขาดธาตุแมงกานีสของพืช

พืชทั่วไปมีระดับขาดแคลนวิกฤติของแมงกานีสในใบแก่ 10-20 มก./กก. (น้ำหนักแห้ง) ซึ่ง ถือว่าเป็นความเข้มข้นที่ค่อนข้างต่ำ และหากลดลงกว่าระดับนี้จะทำให้น้ำ หนักแห้ง การสังเคราะห์ ด้วยแสงสุทธิ และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างรวดเร็ว แมงกานีสไม่เป็นองค์ประกอบ ของคลอโรฟิลล์ แต่มีส่วนเกี่ยวข้องในการสร้างคลอโรฟิลล์ ถ้าขาดแมงกานีสอย่างรุนแรงจะมีผล ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลด ลง โครงสร้างจุลภาคของเยื่อหุ้มไทลาคอยด์เ สียหายมาก แม้จะได้รับ แมงกานีสมาเพิ่มอีก ยากที่จะซ่อมแซมได้ เนื่องจากมีการยับยั้งการสังเคราะห์ลิปิดและแคโรทีนอยด์

แล้วโดยสิ้นเชิง (Polle et al., 1992) พืชที่ขาดแมงกานีสจะแสดงอาการคลอโรซิส คือ ใบเป็นสีเหลืองหรือขาวในบริเวณพื้นที่ในระหว่างเส้นใบ หรือเป็นแถบสีเ ขียวแก่อ่อนขนานไปกับเส้นใบและเส้นกลางใบ ถ้าขาดมากใบจะเป็นสีขาวหรือไหม้แห้งตายในที่สุด ถ้าหากแมงกานีสมากเกินไปในดิน จะเกิดเป็นพิษกับพืช และขาดความสมดุลกับธาตุอื่น

บทบาทและความสำคัญของทองแดง

ทองแดงเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หรือ ของโปรตีนในออแกเนลล์ เช่น ไมโทคอนเดรีย คลอโรพลาสต์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของเอนไซม์บางชนิด เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ เช่น ไทโรซิลเลส แลคเตส ช่วยใน กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในพืช เป็นองค์ประกอบของพลาสโทไซยานิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นพาหะ ของอิเล็คตรอนเพื่อให้อิเล็คตรอนเคลื่อนย้ายระหว่างระบบแสง II และระบบแสง I ในคลอโรพลาสต์ 50 เปอร์เซ็นต์ของทองแดงในคลอโรพลาส ต์เป็นองค์ประกอบอยู่ในพลาสโทไซยานิน ใบพืชบางชนิด เช่น ข้าวโพด ทองแดงมีความสำคัญในการสะสมธ าตุเหล็ก และมีส่วนเกี่ยวข้องกับ กระบวนการเมตาโบลิซึมของพวกไขมัน ในกระบวนการและปฏิกิริยาของระบบหายใจ

ปริมาณความต้องการ และอาการขาดธาตุทองแดงของพืช

พืชที่มีทองแดงในใบ 3-5 มก./กก. (น้ำหนักแห้ง) ถือว่าค่อนข้างต่ำ และหากต่ำกว่านี้จะแสดงอาการ อาการ ขาดธาตุทองแดง ให้เห็น แต่ทั้งนี้พิสัยความเข้มข้นอาจขึ้น กับพันธุ์พืช อวัยวะ พืชจะแสดงอาการที่ใบอ่อนคือ จะมีสีเหลืองซีดและจะเริ่มไหม้จนในที่สุด พืชจะแกร็นและตาย อาการขาดธาตุทองแดงถ้าขาดมากยอดใบและขอบใบ จะไหม้ อาการขาดทองแดงที่เด่นชัดในพืชยืนต้นคือ ต้นแกร็น ใบอ่อนบิดเบี้ยว เยื่อเจริญที่ยอดตาย ใบอ่อนสีเหลืองซีด ในธัญพืชและพืชตระกูลถั่วเซลล์ปลายใบของใบอ่อนจะแห้งตายเป็นจุด ๆ ลุกลามมาตามขอบใบ ปลายใบจะขาด เหี่ยวแห้งตายและร่วงในที่สุด (ยงยุทธ โอสถสภา, 2552) ในพืชผักใบจะแห้งและไม่อวบน้ำ ใบม้วนและไม่ออกดอก

บทบาทและความสำคัญของสังกะสี

สังกะสีมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการเมแทบอ ลิซึมต่าง ๆ ในพืช เอนไซม์หลายชนิดมีสังกะสีเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ในโครงสร้าง เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ carbonic anhydrase ซึ่ง 1 โมเลกุลของ carbonic anhydrase มีสังกะสีถึง 6 อะตอม พบเอนไซม์นี้ทั้งในไซโทพลาซึมและคลอโรพลาสต์ บทบาทที่สำคัญของเอนไซม์นี้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง คือ ช่วยในการรักษาสมดุลย์ระหว่าง CO_2 และ HCO^-_3 เพื่อให้มี CO_2 ที่ละลายได้ในไซโทซอลของมีโซฟิลล์เพียงพอสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง มีบทบาทในเมแทบอลิซึมของดีเอ็นเอ และอาร์เอ็นเอ ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์ทริพโทเฟนซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ IAA เมื่อพืชขาดสังกะสีนอกจากกิจกรรมของเอนไซม์ carbonic anhydrase จะลดลงอย่างมาก แล้ว ยังมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต

ลดลง นอกจากนี้สังกะสีมีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการสร้างคลอโรพลาสต์ ถ้าขาดสังกะสีจะ แสดงอาการคลอโรซิส การสร้างคลอโรพลาสต์จะหยุดชะงัก

ปริมาณความต้องการ และอาการขาดธาตุสังกะสีของพืช

พืชทั่วไปมีระดับขาดแคลนวิกฤติของสังกะสีในใบมีค่าต่ำกว่า 15-20 มก./กก. (น้ำหนักแห้ง) สังกะสีเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายไม่ได้ จะแสดงอาการ ผิดปกติ ในใบอ่อนที่เริ่มเจริญเติบโต เช่น ยอดข้าวโพดจะมีสีขาว ปล้องสั้น ที่ยอดใบจะรวมกันเป็นพุ่ม ถ้าขาดมากใบอาจร่วง หรือไม่ออกดอกในพืชบางชนิด ข้าวโพดและถั่วจะมีความไวต่อการขาดธาตุนี้ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2552)

2.2 การให้ปุ๋ยทางดินเพื่อแก้ปัญหาการขาดธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ

ถึงแม้พืชจะต้องการ ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในปริมาณน้อย แต่ในปัจจุบันเริ่มมีการขาดแคลนธาตุเหล่านี้ในดิน จากหลายสาเหตุด้วยกัน อาทิเช่น ปลูกพืชโดยใช้ปุ๋ยเคมีที่มีแต่ธาตุอาหารหลัก พืชปลูกดูดธาตุอาหารไปจากดิน ถูกเก็บเกี่ยวออกไปกับผลผลิตต่ อเนื่องกันนานจนกระทั่งธาตุอาหารในดินเหลืออยู่ไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช สูญเสียไปกับการชะล้าง การกร่อนหน้าดินในระหว่างการเพาะปลูก ดินทรายมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชน้อย การชะล้างในสภาวะ ดินเป็นกรด ส่งเสริมให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารที่มีน้อยอยู่แล้ว ในสภาวะดินเป็นด่าง ธาตุอาหารบางธาตุละลายได้ยาก จึงไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549) สำหรับวิธีการแก้ปัญหาการขาดธาตุอาหารรอง และจุลธาตุนั้น สามารถทำได้โดยการปรับปรุงดินให้มีระดับความเป็นกรดด่าง และการถ่ายเทน้ำและอากาศให้หมาะสม เพื่อควบคุมความเป็นประโยช น์และการละลายของธาตุเหล่านี้ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดินจะช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น และช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้แก่ดิน การใส่ปุ๋ยธาตุนั้นโดยตรงลงดิน จะช่วยแก้ปัญหาการขาด ธาตุเหล่านี้โดยตรง แต่ การแก้ไขโดยให้ธาตุอาหารเหล่านี้ทางดินได้ผลช้า ไม่สามารถแก้ไขได้ทันเวลา เนื่องจากในบางครั้งมีการตรึงหรือแปรสภาพธาตุอาหารรอง และจุลธาตุไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช และ สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมทำให้การใส่ธาตุอาหารทางดินมีประสิทธิภาพต่ำ

2.3 การให้ปุ๋ยทางใบ

การให้ธาตุอาหารแก่พืชนอกจากการให้ปุ๋ยทา งดินแล้วยังสามารถให้ปุ๋ยแก่พืชทางใบได้ (Neumann, 1979) การให้ปุ๋ยทางใบเป็นวิธีการให้ธาตุอ าหารแก่พืชทางส่วนเหนือดิน โดยนำปุ๋ยที่มีสถานะเป็นของแข็งหรือของเหลว มาเตรียมเป็นสารละลายเจือจาง แล้วฉีดพ่นสารละลายนี้เป็นละอองไปยังใบและต้น เพื่อให้ พืชดูดไปใช้ประโยชน์ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549) รูปของธาตุอาหารที่พืชใช้ประโยชน์ได้ คือไอออนหรือโมเลกุลขนาดเล็ก โดย ใบพืชสามารถดูดธาตุอาหารทางใบจากสารละลายที่มาสัมผัสผิวใบไปใช้ในการเจริญเติบโตได้โดยตรง โดยดูดซึมธาตุอาหารผ่านทางผิวใบ

และช่องเปิดต่าง ๆ ของใบ เช่น รอยแตกของคิวทิเคิล ปากใบ ผิวของเส้นใบ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549) บริเวณฐานของขนใบ (Barel and Black, 1979) ได้อย่างรวดเร็วภายในเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าการให้ปุ๋ยทางดินเมื่อเปรียบเทียบในปริมาณปุ๋ยที่ใช้เท่ากัน เนื่องจากการสูญเสียธาตุอาหารจากการใส่ปุ๋ยทางใบน้อยกว่าทาง ดิน 50-70 % (Chaudhuri and De, 1975) การให้ปุ๋ยทางใบสามารถเลือกชนิดและปริมาณของธาตุอาหารที่พืชต้องการ เป็นการให้ธาตุอาหารสู่แหล่งผลิตโดยตรงและรวดเร็วที่สุดในช่วงเวลาที่พืชต้องการ ทำให้พืชได้รับธาตุอาหารเพิ่มเติมจากรากที่ดูดขึ้นมาได้จากดิน แม้ว่าธาตุอาหารจะเข้าสู่พืชได้เร็ว แต่ปริมาณที่ดูดซึมเข้าสู่พืชน้อย ดังนั้นการให้ปุ๋ยทางใบเหมาะสำหรับการให้ธาตุอาหารเสริมแก่พืชหรือพืชที่มีระบบรากถูกทำลาย

วัตถุประสงค์ของการให้ปุ๋ยทางใบ

การให้ปุ๋ยทางใบมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเสริมการใช้ปุ๋ยทางดินใน 2 กรณีคือ

1. เสริมเมื่อการใช้ปุ๋ยทางดินให้ผลช้า เมื่อปลูกพืชไปแล้วพบว่าในดินมีธาตุอาหารบางธาตุไม่เพียงพอ ทำให้พืชโตช้ากว่าปกติ การใส่ปุ๋ยธาตุดังกล่าวทางดินร่วมกับการใช้ปุ๋ยทางใบ จะช่วยให้พืชเจริญเติบโตตามปรกติได้เร็วกว่าการใช้ปุ๋ยทางดินเพียงอย่างเดียว

2. เสริมเมื่อการใ ช้ปุ๋ยทางดินไม่ให้ผลตามเป้าหมาย เช่น หลังจากใส่ปุ๋ยฟอสเฟตทางดินแล้ว ผลการวิเคราะห์พืช พบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบพืชมีความเข้มข้นต่ำ การฉีดพ่นปุ๋ยฟอสเฟตเสริมทางใบ จะช่วยเพิ่มความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบพืชให้อยู่ในระดับปกติ ทำให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น

ข้อดีและข้อจำกัดของการใช้ปุ๋ยทางใบ

ข้อดี

1. การใช้ปุ๋ยทางใบเป็นวิธีเสริมการใช้ปุ๋ยทางดินเพื่อให้พืชได้รับธาตุอาหารอย่างเพีย งพอ เพราะพืชดูดและส่งธาตุอาหารไปในเนื้อเยื่อที่มีความต้องการใช้ได้เร็ว อีกทั้งไม่มีข้อจำกัดในเรื่องสภาพของดินที่ไม่เอื้อต่อการดูดใช้ธาตุอาหารเหล่านี้

2. ช่วยให้พืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วหลังจากการย้ายปลูกและตั้งตัวได้แล้ว หรือหลังจากชะงักจากการกระทบแล้ง หรือโรคและแมลงเข้าทำลาย

3. ได้ผลดีกับพืชที่มีพื้นที่ผิวใบทั้งหมดสูง มีใบใหญ่มาก เพราะจะรับละอองปุ๋ยไว้ได้มาก จึงได้ผลดีกับพืชใบเลี้ยงคู่ เช่น ไม้ผล ผักต่าง ๆ

4. ในระยะเจริญพันธุ์ พืชมีความสามารถในการดูดธาตุอาหารของรากมักลดลง มีการเคลื่อนย้ายอาหารไปเลี้ยงส่วนของดอก และเมล็ด เป็นเหตุให้ใบเหลืองและ ร่วง การใช้ปุ๋ย ทางใบในช่วงที่ออกดอก จะช่วยชะลอการร่วงของใบและมีแนวโน้มจะเพิ่มผลผลิตได้ด้วย

5. การใช้ปุ๋ยทางใบอย่างเหมาะสมกับพืชผักและผลไม้ ช่วยเ พิ่มคุณภาพและผลผลิต ให้สูงขึ้น

ข้อจำกัด

1. การใช้ปุ๋ยทางใบเพียงอย่างเดียวไม่สามารถจะให้ธาตุอาหารแก่พืชได้อย่างเพียงพอในปริมาณที่เท่าเทียมกับปุ๋ยทางดิน ควรใช้เสริมการให้ปุ๋ยทางดินเท่านั้น

2. การให้ปุ๋ยทางใบเพียงอย่างเดียวจะทำได้เฉพาะกับพืชที่ให้ผลตอบแทนสูงมากเท่านั้น เพราะจะต้องให้ปุ๋ยบ่อยครั้งตามกำหนดเวลาอย่างสม่ำเสมอ

3. พืชหลายชนิดที่มีพื้นที่ใบขนาดเล็กและพื้นที่ผิวใบทั้งหมดน้อย มีการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยทางใบน้อย

4. หากใช้ความเข้มข้นสูงเกินไป อาจทำให้เกิดอาการใบไหม้อย่างรุนแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ปุ๋ยที่พืชมีความต้องการน้อย ต้องระวังเรื่องความเข้มข้นที่ใช้อย่างมาก

5. ปุ๋ยทางใบมีราคาต่อหน่วยน้ำหนักธาตุอาหารสูงกว่าปุ๋ยทางดิน ควรใช้เฉพาะกรณีจำเป็นเท่านั้น เพื่อให้ผลคุ้มค่า

2.4 กลไกการดูดซับธาตุอาหารทางใบพืช

สิ่งปกคลุม ผิวนอก ของใบ ประกอบด้วย สารอินทรีย์หลายอย่าง แบ่งเป็นสองชั้นหลัก คือ ชั้นนอกสุดเป็นชั้นของ ไขเคลือบผิว (epicuticle wax) เป็นส่วนผสมของเอซิลลิพิดโซ่ยาว (long-chain acyl lipids) ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic compound) และเป็นกลางทางไฟฟ้า โครงสร้างประกอบไปด้วยสารประกอบพวก cyclic และ aliphatic ที่เกิดพันธะต่อกันเป็นโมเลกุลใหญ่ ซึ่งได้แก่ primary alcohol, hydrocarbon, secondary alcohol, β-diketones และ triterpenoid เป็นองค์ประกอบหลัก ชั้นถัดมาคือ ชั้นของผิวเคลือบคิวทิน มีลักษณะเป็นชั้นบาง ๆ ปกคลุมผิวใบทั้งผิวด้านบนและผิวด้านล่าง เพื่อลดการสูญเสียน้ำ มีโครงสร้างหลักที่ประกอบไปด้วยกลุ่มโมเลกุลของกรดไขมัน ที่ต่อกันด้วยพันธะเอสเทอร์ (ester linkage) จากการทำปฏิกิริยาตรงหมู่ไฮดรอกซี (OH-group) และองค์ประกอบสำคัญคือสารคิวทิน (cutin) และคิวแทน (cutan) ถัดจากชั้นคิวทินเข้าไปเป็นส่วนของชั้น เซลล์ลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemi-cellulose) และเพกทิน (pectin substance) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549)

เมื่อสารละลายปุ๋ยสัมผัสผิวใบ จะแพร่ผ่านไขเคลือบผิว ผิวเคลือบคิวทิน และผนังเซลล์ โดยกระบวนการแพร่ (diffusion) และการแลกเปลี่ยนแคตไอออน การแพร่ของสารเป็นไปอย่างรวดเร็ว สารต่าง ๆ สามารถซึมผ่านผิวใบได้รวดเร็วเนื่องจากผิวใบมีช่องเสรี (free space) ธาตุอาหาร ที่มีประจุบวกมีการแพร่ผ่านชั้นของ สิ่งปกคลุม ผิวนอก ของใบ ได้ดีกว่าประจุลบ เนื่องจาก ช่องเสรี มีสมบัติทางประจุไฟฟ้าเป็นลบ มากกว่าประจุบวก ดังนั้นธาตุอาหารประจุบวกจึงถูกดูดซับได้ดี และผ่านไปด้วยการแทนที่ของประจุบวกตัวอื่น การแพร่ผ่านของธาตุอาหารประจุบวกขึ้นกับรัศมีของประจุที่เกาะกับโมเลกุลของน้ำ และการแพร่ผ่านของ สารอินทรีย์ขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของสาร

(Swietlik and Faust, 1984) หลังจากธาตุอาหารแพร่ผ่านชั้นของ สิ่งปกคลุมผิวนอกของใบ และผนังเซลล์ ไอออนจะผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่เซลล์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบ ซึ่งต้องใช้พลังงานจากเมแทบอลิซึม เมื่อไอออนเข้าไปในเซลล์ใดเซลล์หนึ่งของใบแล้ว ไอออนสามารถเคลื่อนย้ายไปยังเซลล์ข้างเคียงจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งได้ โดยผ่านช่องทางที่เรียกว่าพลาสโมเดสมาตา (plasmodesmata) โดยวิถีซิมพลาสต์ แล้วเคลื่อนย้ายต่อไปจนถึงมัดท่อลำเลียงในเส้นใบ นอกจากวิถีซิมพลาสต์แล้วยังเคลื่อนย้ายโดยวิถีอะโพพลาสต์ เริ่มเมื่อธาตุอาหารเข้าสู่ผิวเคลือบคิวทิน และเคลื่อนที่ต่อไปตามช่องเสรี และผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปเซลล์ใดเซลล์หนึ่ง นับว่าได้เข้าสู่วิถีซิมพลาสต์แล้วเช่นเดียวกัน (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549; Swietlik and Faust, 1984) อัตราการดูดสารและไอออนจากสารละลายภายนอกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่ภายในเซลล์นั้นขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุลของสาร คือ สารที่มีโมเลกุลเล็กกว่า เช่น ยูเรียมีอัตราการดูดสูงกว่าสารโมเลกุลใหญ่กว่า เช่นคีเลต โมเลกุลที่ไม่มีประจุมีอัตราการดูดสูงกว่าแอนไอออนที่ให้ธาตุเดียวกัน แอนไอออนซึ่งมีประจุลบหนึ่ง มีอัตราการดูดสูงกว่าแอนไอออนประจุลบสอง (Romheld and El-Fouly 1999 อ้างโดยยงยุทธ โอสถสภา, 2549) ส่วนประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยทางใบ ขึ้นอยู่กับอัตราการดูด และการเคลื่อนย้ายของธาตุนั้น ๆ ในใบ และจากใบไปยังส่วนอื่น ๆ การวินิจฉัยว่าธาตุใดเคลื่อนที่ได้มากน้อยเพียงใด พิจารณาจากว่าเมื่อให้ใบดูดธาตุนั้นแล้ว ธาตุดังกล่าวสามารถเคลื่อนที่จากใบที่ได้รับปุ๋ยไปยังอวัยวะส่วนอื่นได้มากน้อยเพียงใด เช่น แคลเซียม เป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายทางโฟลเอ็มได้ยาก ใบจึงมักสะสมไว้มาก เหล็กสามารถเคลื่นย้ายได้ทั้งในทิศทางสู่ปลาย (ส่วนยอดซึ่งอยู่เหนือใบที่ให้ปุ๋ย) และสู่ฐาน (ส่วนล่างถัดจากใบที่ให้ปุ๋ย) (Huve et al., 2003)

2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของใบ

1. ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ได้แก่ แสง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ปัจจัยดังกล่าวนี้มีอิทธิพลต่อการดูดธาตุอาหาร คือ มีผลต่อการพัฒนาของใบและการสะสมของคิวทินบนผิวใบ และมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชซึ่งเชื่อมโยงกับการดูดไอออนแบบ active (Flore and Bukovac, 1972) เมื่ออุณหภูมิและความเข้มแสงไม่สูงเกินไป ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความชื้นในดินพอเหมาะ พืชจะมีความเต่งเนื่องจากอัตราการดูดน้ำของรากสมดุลกับอัตราการคายน้ำ ขณะที่ใบพืชเต่ง ไขและผิวเคลือบจะมีลักษณะฟู จึงยอมให้ตัวละลายผ่านง่าย แต่ถ้าพืชอยู่ในภาวะขาดน้ำใบพืชย่อมสูญเสียความเต่ง ไขและผิวเคลือบของใบแฟบลงและแน่น จึงทำให้ตัวละลายผ่านยาก ดังนั้นการฉีดพ่นสารละลายธาตุอาหารขณะที่ใบพืชเต่ง อัตราการดูดเข้าไปใช้จึงสูง (Gray and Akin, 1984)

2. อายุใบ ลักษณะของผิวใบ และพันธุ์พืช ใบพืชที่มีอายุน้อยการสะสมของไข เคลือบผิวและผิวเคลือบคิวทินยังไม่หนามากนัก การดูดปุ๋ยทางใบจึงมีประสิทธิภาพสูงกว่าใบที่เสื่อมตามอายุ

ธาตุอาหารจึงเคลื่อนที่ผ่านได้เร็วกว่าใบแก่ เช่น ใบแอปเปิลที่ปลายกิ่งจะดูดยูเรียได้เร็วกว่าใบที่โคนกิ่ง (Oosterhuis, 1999) ส่วนผิวใบด้านล่างของพืชหลายชนิดดูดซึมยูเรียได้เร็วกว่าผิวใบด้านบน เนื่องจากผิวใบด้านล่างมีจำนวนปากใบต่อพื้นที่สูงกว่า นอกจากนั้นอัตราการดูดธาตุอาหารของใบที่มีขนจะสูงกว่าใบเรียบ (Franke, 1967) และอัตราการดูดธาตุอาหารทางใบในพืชต่างชนิดมีความแตกต่างกันด้วย ใบแอปเปิลดูดยูเรียได้มากกว่าใบเชอรี่สามเท่า และแอปเปิลต่างพันธุ์ดูดธาตุอาหารต่างกัน (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549) ใบท้อจะมีอัตราการดูดธาตุอาหารทางใบต่ำกว่าแอปเปิลและส้มมาก (Swietlik and Faust, 1984)

3. ระดับของธาตุอาหารในพืช มีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารบางธาตุ เช่น การให้ธาตุหนึ่งทางใบมีผลต่อการดูดธาตุเดียวกันหรือธาตุอื่นที่ให้ทางดิน เช่น เมื่อให้สารละลายธาตุอาหารฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และไนโตรเจนทางใบ เท่ากัน ใบพืชดูดฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมได้มากกว่าไนโตรเจน ใบแอปเปิลที่มีธาตุไนโตรเจนเพียงพอสามารถดูดยูเรียได้มากกว่าใบแอปเปิลที่ขาดไนโตรเจน และ การมีธาตุไนโตรเจนปริมาณเพียงพอในต้นแอปเปิลจะส่งเสริมการดูดแมกนีเซียมที่ให้ทางใบและทางราก

4. องค์ประกอบของปุ๋ยและความเข้ มข้น ความเป็นกรดเป็นด่าง และรูปของสารเคมีที่ให้ทางใบ รูปของธาตุอาหารบางรูปอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ใบได้ง่าย เช่นการให้ปุ๋ ยไนโตรเจนในรูป $Ca(NO_3)^2$ และ $(NH_4)_2SO_4$ จะก่อให้เกิดอาการ phytotoxic ที่ผิวใบ เช่นเดียวกับการให้ปุ๋ยทางใบที่ระดับความเข้มข้นสูงเกินไป

5. สารเสริมประสิทธิภาพ (adjuvants) สารเสริมประสิทธิภาพต้องมีสมบัติเป็นสารจับใบ เพราะสารจับใบช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ ช่วยเพิ่มการแพร่กระจายของสารละลายกับผิวใบ ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ผิวใบจึงเปียกอย่างทั่วถึง และมีประสิทธิภาพในการดูดธาตุอาหารทางใบดียิ่งขึ้ น (Swietlik and Faust, 1984)

2.6 รูปของธาตุอาหารที่ใช้เป็นปุ๋ยทางใบ

ปุ๋ยอนินทรีย์

ปุ๋ยประเภทนี้ เป็นเกลือของธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในรูปต่าง ๆ เป็นปุ๋ยที่มี ราคาถูก ละลายน้ำได้ง่าย สามารถแก้ ไขปัญหาการขาดแคลนธาตุอาหารรอง และจุลธาตุได้ ได้แก่ เกลือซัลเฟต เช่น แคลเซียมไนเตรต แมกนีเซียมซัลเฟต เหล็กซัลเฟต แมงกานีสซัลเฟต ทองแดงซัลเฟต และสังกะสีซัลเฟต Treeby and Storey (2002) ทดลองใช้สารละลายแคลเซียมไนเทรต 1% พ่นที่ใบและผลของส้มทุก ๆ 10 วัน รวม 15 ครั้ง พบว่าช่วยลดปัญหาผิวชั้นกลางแตกของส้มได้ Pestana et al. (2001) พบว่าการใช้เหล็กในรูปเฟอรัสซัลเฟต 500 มก. Fe/ล. พ่นทางใบ ช่วยเพิ่มความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ ช่วยให้ผลส้มมีขนาดใหญ่กว่า และคุณภาพดีกว่าการไม่ฉีดพ่นปุ๋ย Modaihsh (1997)

พบว่าการใช้แมงกานีสซัลเฟตอัตรา 0.96 กก./ไร่ พ่นทางใบ ช่วยแก้ปัญหาการขาด แมงกานีสในข้าวสาลีได้ และการใช้ทองแดงซัลเฟตอัตรา 0.096 กก./ไร่ พ่นทางใบ ช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนทองแดงในข้าวสาลีได้ การใช้สังกะสีซัลเฟตที่ความเข้มข้น 800 หรือ 1200 มก. Mn/ล. พ่นทางใบ ทำให้ความเข้มข้นของสังกะสีในใบส้มสูงกว่าการไม่ฉีดปุ๋ย (Papadakis et al., 2005) สำหรับการเตรียมสารละลายที่มีหลายธาตุในสารละลายเดียวกันเพื่ อใช้ทางใบ โดยเตรียมจากเกลืออนิน ทรีย์ทั้งหมด ฟอสเฟตในสารละลายสามารถแตกตัวเป็นไอออนในสารละลาย สามารถทำปฏิกิริยากับแคตไอออนของธาตุ ต่าง ๆ ที่อยู่ในสารละลาย กลายเป็นเกลือฟอสเฟตที่ละลายยาก ทำให้เกิดการตกตะกอน นอกจากนั้นแล้วการดูดเข้าทางปากใบอาจมีประสิทธิภาพน้อยถ้าเป็นธาตุอาหารที่มีประจุลบ เพราะช่องเปิดของปากใบมีประจุลบ มากกว่าประจุบวก ทำให้เกิด การผลักดันกับประจุของธาตุอาหาร (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549, Schönherr and Hüber, 1977)

ปุ๋ยคีเลต

คีเลตเป็นคำที่ได้มาจากภาษากรีกซึ่งมีความหมายว่า “กรงเล็บ” (claw) โดยคีเลตเป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นจากการจับตัวของไอออนโลหะอยู่ในส่วนกลางโครงสร้างของสารคีเลต (chelating agent) ด้วยปฏิกิริยาคีเลชัน (chelation) ซึ่งสารคีเลตมีคุณสมบัติสำคัญ คือ มีอิเล็กตรอนคู่โดดมากกว่าหนึ่งคู่ เพื่อใช้ในการสร้างพันธะ โคออดิเนต กับไอออนของโลหะ ซึ่งพันธะดังกล่าวเกิดขึ้นระหว่างไอออนของโลหะกับอะตอมที่ให้อิเล็กตรอนคู่โดดในโมเลกุลของสารคีเลต ทำให้เกิดการเกาะยึดกันระหว่างสารคีเลตกับไอออนของโลหะที่มีความเหนียวแน่นมาก เมื่อปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์โครงสร้างของคีเลตจะเป็นวงแหวน โดยตัววงแหวนเป็นโมเลกุลของสารคีเลต และมีอะตอมของโลหะเช่น ธาตุเหล็ก เป็นองค์ประกอบในวงแหวนนั้น (Kotz and Purcell, 1991 อ้างโดยยงยุทธ โอสถสภา, 2549) จึงไม่เปิดโอกาสให้อนุมูลอื่ นเข้าไปเกาะกับโลหะธาตุที่เป็นประจุบวกได้ ทำให้โลหะธาตุที่เป็นองค์ประกอบของคีเลตอยู่ในสารละลาย ได้อย่างมีเสถียรภาพ โลหะธาตุในโครงสร้างคีเลตจึง ไม่เกิดการตกตะกอนเป็นไฮดรอกไซด์ของโลหะ และเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น

การใช้ปุ๋ยในรูปคีเลตพืชจะใช้ประโยชน์ได้ดีก ว่าในรูปเกลือ อนินทรีย์ เนื่องจากไม่ถูกไอออน เช่น Ca_2^+ และ Mg_2^+ เข้าแทนที่โดยง่าย ธาตุอาหารจึงไม่ตกตะกอน และการที่อยู่ในสภาพเป็นกลางจะไม่เกิดปัญหาในการซึมผ่านช่องเสรีของผิวใบที่มีประจุเป็นลบ อีกทั้งลดปัญหาการแก่งแย่งการดูดใช้ของพืช (nutrient antagonistic interaction) ซึ่งมักมีปัญหากับธาตุอาหารที่มีประจุเหมือนกัน คีเลตที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ละลายน้ำได้ดี พืชจึงสามารถดูดซึมธาตุอาหารเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ได้ และมีโครงสร้างภายในที่ประกอบด้วยโลหะต่างๆ ที่ไม่ตกตะกอนในตัวคีเลตเอง และที่สำคัญธาตุโลหะต้องไม่เกาะตัวกันแน่น เกินไป เพราะเมื่อคีเลตถูกพืชดูดซึมเข้าไปแล้ว ธาตุอาหารเสริมเหล่านั้นควรจะแตกตัวให้พืชดูดซึมไปใช้งานได้จึงจะเรียกว่าเป็นคีเลตที่ดี สมบัติที่สำคัญอย่าง

หนึ่งของคีเลตคือ ค่าคงตัวด้านเสถียรภาพ (stability constant) หมายถึงความสามารถในการแตกตัวของไอออนในสารละลาย ซึ่งคำนวณได้จากสูตร log K = log[MeA]/[Me][A]

เมื่อ K = ค่าคงตัวด้านเสถียรภาพ (stability constant) จากสมการ

$MeA \rightleftharpoons Me^{2+} + A$

[MeA] = ความเข้มข้นของคีเลตในสารละลาย (โมล/ลิตร)

[Me] = ความเข้มข้นของไอออนที่แตกตัวในสารละลาย (โมล/ลิตร)

[A] = ความเข้มข้นของสารคีเลตที่แตกตัวจากคีเลตในสารละลาย (โมล/ลิตร)

คีเลตแต่ละชนิดมีค่าคงตัวด้านเสถียรภาพต่างกัน (ตารางที่ 1) คีเลตที่มีค่า log K สูง แสดงว่ามีเสถียรภาพสูงหรือแตกตัวได้ยาก แคตไอออนอื่นจึงเข้าแทนที่ได้ยากด้วย เช่น Cu-EDTA มีเสถียรภาพสูงกว่าคีเลตอื่น (ตารางที่ 1) ดังนั้นเหล็ก แมงกานีส สังกะสี แคลเซียม และแมกนีเซียมจึงเข้าแทนที่ทองแดงใน Cu-EDTA ได้ยาก นอกจากนี้คีเลตแต่ละชนิดมีค่าคงตัวด้านเสถียรภาพต่างกันมากเมื่ออยู่ในสารละลายที่มีสภาพกรดด่างต่างกัน (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551) ลักษณะของคีเลตที่ใช้พ่นทางใบ นั้นต้องสามารถดำรงสภาพของคีเลตที่มีเสถียรภาพ ขณะที่เป็นสารละลายซึ่งใช้ฉีดพ่นให้แก่พืช ดังนั้นประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ยคีเลตแต่ละชนิดจึงขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย และควรปรับ pH ของน้ำที่ใช้ละลายปุ๋ยให้มีค่าประมาณ 6 ซึ่งเหมาะกับคีเลตทั่วไป (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549) และต้องอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ง่าย เคลื่อนย้ายรวดเร็ว เมื่อสลายตัวแล้วให้ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ง่าย และต้องไม่เป็นอันตรายต่อพืชที่ระดับความเข้มข้นที่ควบคุมการขาดธาตุนั้น

ตารางที่ 1 ค่า Stability Constants (log K) และขนาดโมเลกุลของโลหะคีเลต

คีเลต	log K	Atomic mass unit
Ca-EDTA	10.70	332.33
Mg-EDTA	8.69	316.55
Fe-EDTA	14.30	348.09
Mn-EDTA	13.56	347.19
Cu-EDTA	18.80	355.79
Zn-EDTA	16.50	357.63
Ca-Glycine	1.43	115.15
Mg-Glycine	3.45	99.35
Fe-Glycine	4.3	130.89
Mn-Gycine	3.2	129.99
Cu-Glycine	8.22	138.59
Zn-Glycine	5.16	140.43

ดัดแปลงจาก Furia, 1972

กลไกการดูดคีเลตของเซลล์พืช

กลไกการดูดคีเลตของเซลล์พืช นักวิจัยมีความเห็นแตกต่างกัน 2 แนวทาง

แนวทางที่ 1 เมื่อ Fe-EDTA มาถึงเยื่อหุ้มเซลล์ Fe^{3+} จะแตกตัวออกจาก Fe-EDTA โดยมีสารคีเลตชนิดหนึ่งจากเยื่อหุ้มเซลล์เข้ามาแข่งขัน แล้วดึง Fe^{3+} ไป ซึ่งสารคีเลตที่เข้ามาแข่งขันและดึง Fe^{3+} ไปนี้ คือพาหะในเยื่อซึ่งทำหน้าที่ดูด Fe^{3+} นั่นเอง ซึ่งกรณีนี้การดูด Fe^{3+} และ EDTA เข้าไปในเซลล์ไม่จำเป็นต้องมีปริมาณเท่ากัน

แนวทางที่ 2 เมื่อ Fe-EDTA มาถึงเยื่อหุ้มเซลล์ Fe-EDTA จะถูกดูดผ่านเยื่อเข้าไปทั้งโมเลกุล แล้วสลายตัวแยกจากกันภายในเซลล์ แล้วพืชจึงสามารถนำ Fe ไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ชนิดของปุ๋ยคีเลต

คีเลตสังเคราะห์ (synthetic chelate)

ผลิตด้วยสารคีเลตสังเคราะห์ ได้แก่ EDTA DTPA HEDTA NTA และ EDDHA โดยปุ๋ยคีเลตที่ขายกันอยู่ในประเทศไทยมีหลายรูปด้วยกัน เช่น Fe-EDTA Fe-EDDHA และ Zn-EDTA โดยชนิดของคีเลต เกิดจากการจับตัวกันของสารคีเลตกับไอออนของโลหะ เช่น Fe-EDTA เป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นจากการจับตัวของเหล็กไอออนอยู่ในส่วนกลางโครงสร้างของสารคีเลต EDTA มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ 5 ถึง 14 เปอร์เซ็นต์ ได้มีการนำคีเลตสังเคราะห์ในรูปต่าง ๆ มาใช้เป็นปุ๋ยทางใบ อย่างแพร่หลาย จากการทดลองของ Brennan (1991) พบว่าการใช้ Zn-EDTA (15%Zn) อัตรา 40-70 ก. Zn ต่อน้ำ 16 ล. พ่นทางใบช่วยให้ข้าวสาลีหายจากอาการขาดสังกะสี และการทดลองของ Sawan et al. (2001) พบว่าการใช้ Zn-EDTA 40 มก. Zn/กก. และ Ca-EDTA 60 มก. Ca /กก. พ่นทางใบ 75 วัน และ 90 วันหลังปลูก ช่วยเพิ่มผลผลิตเมล็ด โปรตีนและน้ำมันในเมล็ดฝ้ายได้ดี นอกจากนี้ยังพบว่าการ ใช้ Fe-EDDHA 160 ก./80 ล./ไร่ Mn-EDTA 80 ก./80 ล./ไร่ Cu-EDTA 24 ก./80 ล./ไร่ และ Zn-EDTA 24 ก./80 ล./ไร่ ช่วยเพิ่มผลผลิตข้าวสาลีในดินแคลคาเรียสให้สูงขึ้น (Modaihsh, 1997) และยังมีการใช้ปุ๋ยคีเลตเพื่อแก้ปัญหาไม้กระถางที่ขาดธาตุเหล็ก Fisher et al. (2003) รายงานว่าต้น calibrachoa ที่ปลูกในกระถางซึ่งวัสดุปลูกมี pH 6.9-7.4 แสดงอาการขาดเหล็ก เมื่อพ่นด้วยสารละลาย Fe-EDTA 60 มก. Fe/ล. ใบจะมีสีเขียวขึ้นกว่าเดิม บางครั้งพบว่าการให้เหล็กทางใบในรูปเฟอรัสซัลเฟตและคีเลตให้ผลดีเท่ากันเมื่อใช้ในอัตราเดียวกัน (Chen and Barak, 1982)

อย่างไรก็ตาม ธาตุอาหารในรูปคีเลตสังเคราะห์ มักมีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีปัญหาในการซึมผ่านช่องเปิดของใบ และเมื่ออยู่ภายในเซลล์พืชมีการแตกตัวน้อย เพราะมีค่าคงตัวด้านเสถียรภาพ ที่สูงเกินไป การใช้ของพืชอาจไม่มีประสิทธิภาพ

คีเลตกรดอะมิโน (amino acid chelate)

ผลิตด้วยสารคีเลตจากธรรมชาติ คือกรดอะมิโน โด ยกรดอะมิโนทำหน้าที่ เป็นสารคีเลตในโครงสร้างของกรดอะมิโนมีกลุ่มซึ่งทำหน้าที่จับเกาะกับไอออนของโลหะ คีเลตกรดอะมิโน

มี atomic mass unit 150-800 กรดอะมิโนที่สามารถนำมาผลิตคีเลตกรดอะมิโน มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่างประมาณ 75.07-204.03 (ตารางที่ 2) เช่น ไกลซีน มีขนาดโมเลกุล 75.05 และทริปโทแฟนมีขนาดโมเลกุล 204.03 ไกลซีนเป็นกรดอะมิโน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยที่สุดคือ 75.05 การที่มีโครงสร้างอย่างง่าย จึงสามารถทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะ ธาตุได้ง่าย จึงเหมาะที่จะนำมาผลิตคีเลตกรดอะมิโน คีเลตกรดอะมิโน มีโมเลกุลขนาดเล็ก มีประจุเป็นกลาง (Koksal et al., 1999) ไม่ถูกดูดยึดโดยประจุลบที่ช่องผ่านของผิวใบ สามารถซึมผ่านช่องเปิดของใบเข้าไปในเซลล์พืชได้ง่าย (Jeppsen, 2008) มีค่าคงตัวด้านเสถียรภาพที่ ค่อนข้างต่ำ (Brien, 2007) ทำให้แตกตัวได้ง่าย การใช้ของพืชมีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งไม่เป็นพิษกับพืช สำหรับการเคลื่อนย้ายของ คีเลตกรดอะมิโน นั้นน่าจะมีการเคลื่อนย้ายเหมือนกับกรดอะมิโนทั่วไป คือเคลื่อนย้ายทางท่อลำเลียงอาหาร และ หลังจากแตกตัวแล้วจะสามารถถูกใช้โดยพืชเหมือนพืชสังเคราะห์เอง สำหรับการเคลื่อนย้ายกรดอะมิโนในพืชนั้น Furuya and Umemiya (2002) ได้ทำการทดลองการดูดใช้กรดอะมิโนของใบท้อ พบว่าพืชดูดกรดอะมิโนได้สูงขึ้น เมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลลดลง และ เมื่อใบพืชดูดกรดอะมิโนเข้าไป สามารถนำกรดอะมิโนไปสังเคราะห์โปรตีน ได้เร็วกว่าในรูปอื่น สำหรับการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารในรูปคีเลตกรดอะมิโน Hsu et al. (1982) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการใช้เหล็กของพืชในรูป $FeSO_4$ กับรูป iron amino acid chelate ทางใบในข้าวโพด พบว่า 5 วันหลังจากให้ปุ๋ย ใบข้าวโพดดูดเหล็กจาก iron amino acid chelate ได้ดีกว่าเหล็กจาก $FeSO_4$ เหล็กที่ใบดูดได้มีการเคลื่อนย้ายไปยังส่วนอื่น ๆ และบางส่วนไปปรากฏที่ราก การที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก และมีประจุเป็นกลาง ทำให้พืชดูดได้ง่ายและเร็ว เคลื่อนย้ายในพืชได้ดี พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที ทำให้คุณภาพและผลผลิตดีขึ้น ซึ่ง Lester and Grusak (2004) ได้ทำการทดลอง ใช้แคลเซียม -คีเลตกรดอะมิโน ฉีดพ่นเพื่อเพิ่มคุณภาพผลแตงฮันนีดิว โดยใช้อัตรา 0.4 ล./ไร่ จำนวน 4 ครั้ง นำผลที่เก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวแล้ว 3 สัปดาห์ ประเมินคุณภาพผลผลิตพบว่าความเข้มข้นของแคลเซียมในผลสูง และช่วยให้ผลแตงมีเนื้อแน่นสภาพผลดีกว่าการไม่ฉีดพ่นปุ๋ย

ตารางที่ 2 กรดอะมิโนที่นำมาผลิตคีเลตกรดอะมิโน

กรดอะมิโน	น้ำหนักโมเลกุล	กรดอะมิโน	น้ำหนักโมเลกุล
Glycine	75.07	Aspartic Glutamic Acid	133.10
Alanine	89.09	Glutamic Acid	147.13
Valine	117.15	Glutamine	146.15
Leucine	131.17	Asparagine	132.12
Isoleucine	131.17	Lysine	146.19
Serine	105.09	Arginine	174.20
Threonine	119.12	Histidine	155.16
Tyrosine	181.19	Hydroxlysine	162.20
Phenylalanine	165.19	Cycteine	121.16
Tryptophan	204.23	Methionine	149.21

จากการปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบใน รูปคีเลตกรดอะมิโ น ไม่มีข้อจำกัดเหมื อนกับการใช้ในรูปของเกลือและคีเลตสังเคราะห์ ซึ่งทำให้การใช้ธาตุอาหารของพืชมีประสิทธิภาพสูงกว่า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิต ของพริก ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีพื้นที่ปลูกและผลผลิตเป็นอันดับหนึ่งของพืชผักทั้งหมดในประเทศ สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปีและปลู กได้ทุกภาค มีฐานพันธุกรรมที่แพร่หลาย สามารถแปรรูปได้หลากหลายประโยชน์ใช้สอยมาก ตลาดมีความต้องการสูง ให้ ผลตอบแทนคุ้มค่า ผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้อาจสามาร ถนำไปใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการการใช้ปุ๋ยทางใบ เพื่อช่วยเพิ่มศักยภาพในการผลิตพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นให้มีผลผลิตและคุณภาพสูง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การทดลองที่ 1 ประสิทธิภาพการดูดซับ และความสามารถในการเคลื่อนย้าย ธาตุเหล็กในรูปคีเลตกรดอะมิโน

3.1.1 ประสิทธิภาพการดูด ซับ และการเคลื่อนย้ายธาตุ เหล็กในรูปคีเลตกรดอะมิโน ของพริกในกระถาง

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD)

จำนวน 4 ซ้ำ 4 ตำรับการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. Control (น้ำเปล่า)
2. $FeSO_4$
3. Fe-EDTA
4. Ferrous bisglycinate

ตำรับที่ 2-4 ให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กเท่ากัน 100 มก./ล.

2. วิธีการทดลอง

2.1 การปลูก ใช้กระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม. ใส่ทรายหยาบซึ่งมีธาตุอาหารต่ำ เป็นวัสดุปลูก นำกล้าพริกพันธุ์ซุปเปอร์ฮอทอายุ 30 วัน ย้ายปลูก 1 ต้นต่อกระถาง ในโรงเรือนที่ป้องกันแมลงและศัตรูพืช ให้น้ำตามปกติโดยใช้น้ำกลั่นวันละ 1 ครั้ง

2.2 การให้ธาตุอาหาร ทางดิน หลังย้ายปลูก 7 วัน เริ่มให้สารละลายธาตุอาหาร ทุกธาตุทางดินยกเว้นธาตุเหล็ก (ภาคผนวก) ให้สัปดาห์ละ 2 ครั้ง ครั้งละ 50 มล./กระถาง ให้จนถึงต้นพริกอายุ 50 วันหลังย้ายปลูก

2.3 การให้ธาตุเหล็กทางใบ เมื่อต้นพริก อายุ 50 วัน หลังย้ายปลูก แบ่งต้นพริกออกเป็นสองส่วนเท่ากันตามแนวดิ่ง โดยใช้ด้ายสีผูกที่ต้นเพื่อแบ่งออกเป็นสองส่วน จะได้ส่วนของใบบน และส่วนของใบล่าง ซึ่งแต่ละส่วนมีจำนวนใบประมาณ 10-12 ใบ แต่ละตำรับการทดลองมีต้นพริกทั้งหมด 8 ต้น แบ่งออกเป็นทาเฉพาะใบบน 4 ต้น และ ทาเฉพาะใบล่าง 4 ต้น ใช้พู่กันทาสารละลายทั่วทั้งใบตามตำรับการทดลอง 1 ครั้ง เก็บต้นพริกตามตำรับการทดลองละ 2 ต้น คือต้นที่ทาเฉพาะใบบน และต้นที่ทาเฉพาะใบล่าง โดยเก็บหลังจากให้ธาตุเหล็ก 1, 3, 5 และ 7 วัน

2.4 การวิเคราะห์ธาตุเหล็ก เก็บต้นพริกตามวิธีการข้างต้น แบ่งต้นพริกออกเป็น ส่วน

ต่าง ๆ คือต้นที่ทาเฉพาะใบบน ได้ส่วนของใบบน ใบล่าง และราก ส่วนต้นที่ทาเฉพาะใบล่าง ได้ส่วนของใบล่าง ใบบน และราก ล้างส่วนต่าง ๆ ด้วยน้ำกลั่น ก่อนนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กในส่วนต่าง ๆ

3. การเก็บข้อมูล

วิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กในใบ บน ใบล่าง และราก โดยย่อยด้วย HNO_3+HCl อัตราส่วน 5:3 วัดปริมาณธาตุเหล็กด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Jones, 2001)

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS for Window (version 13.0) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ของปริมาณธาตุเหล็กในใบบน ใบล่าง และราก

3.1.2 ประสิทธิภาพการดูด ใช้ และความสามารถในการเคลื่อนย้าย ธาตุเหล็กในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริกในแปลง

ทำการทดลองปลูกพริกพันธุ์ซุปเปอร์ฮอทในแปลงทดลอง ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จัดอยู่ในชุดดินจตุรัส

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD)

จำนวน 4 ซ้ำ 4 ตำรับการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. Control (น้ำเปล่า)
2. $FeSO_4$
3. Fe-EDTA
4. Ferrous bisglycinate

ตำรับที่ 2-4 ให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กเท่ากัน 100 มก. /ล.

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมแปลงทดลอง เตรียมดิ น โดยการไถพลิกหน้าดินและตากแดดประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อฆ่าเชื้อโรคและกำจัดวัชพืช ไถพรวนเพื่อย่อยดินให้ละเอียด ยกแปลงทดลองขนาดกว้าง 1 ม. ยาว 25 ม. จำนวน 5 แปลง และแถวคุมอีก 2 แปลง แต่ละแปลงแบ่งเป็นแปลงย่อย 4 แปลง ขนาด 1 x 5 ตร.ม. ระยะห่างระหว่างแปลง 1 ม. ระยะห่างระหว่างซ้ำ 1 ม. หลังการเตรียมดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์ตรา มทส. 600 กก./ไร่ คลุกเคล้าให้เข้ากับดิน ให้น้ำโดยระบบน้ำหยด จากนั้นใช้แผ่นพลาสติกคลุมแปลง ทำการเจาะรูพลาสติกคลุมแปลงเป็น แบบแถวคู่สับหว่างห่างกัน 50 ซม. แต่ละ

หลุมในแถวเดียวกันห่างกัน 50 ซม. ใส่ปุ๋ยรองพื้นคือปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 25 กก./ไร่ และคาร์โบฟูราน 4 กก./ไร่ ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากับดินรองก้นหลุมก่อนย้ายกล้าปลูก

2.2 การปลูก นำกล้าพริกพันธุ์ ซุปเปอร์ฮอทอายุ 30 วัน ย้ายปลูก 1 ต้นต่อหลุม ปลูกในสภาพแวดล้อมปกติ ในช่วงสัปดาห์แรกให้น้ำวันละ 2 ครั้ง เช้า-เย็น ช่วงสัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 4 ให้น้ำสัปดาห์ละ 3 ครั้ง ช่วงสัปดาห์ที่ 5 ถึงสัปดาห์ที่ 7 ให้น้ำสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ช่วงสัปดาห์ที่ 7 ไปแล้วให้น้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ทั้งนี้การให้น้ำให้ตามสภาพพื้นที่ และความชุ่มชื้นของดิน การจัดการโรคและแมลง เมื่อเริ่มพบการระบาดของโรค และแมลง ใช้สารเคมีพ่นตามลักษณะที่พบ

2.3 การให้ธาตุเหล็ก หลังย้ายปลูก 45 วัน เป็นระยะที่พริกเริ่ม มีตาดอก (แต่ยังไม่ออกดอก) เริ่มให้ธาตุเหล็กทางใบตามตำรับการทดลอง โดยใช้น้ำกลั่นเตรียมสารละลายธาตุเหล็กพ่นจนสารละลายอิ่มตัวที่ใบ พ่นทุก 7 วัน หยุดพ่นเมื่อเริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตรุ่นที่ 2 (รวมทั้งสิ้น 10 ครั้ง)

3. การเก็บข้อมูล

3.1 วิเคราะห์คุณสมบัติดินก่อนปลูก โดยทำการวิเคราะห์ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:1 ด้วยเครื่อง pH meter วิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) ดิน:น้ำ เท่ากับ 1:5 ด้วยเครื่อง Electrical Conductivity Meter วิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ด้วยวิธี Walkley and Black (Black, 1965) วิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) ด้วยวิธี Bray II (Bray et al., 1945) วิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K Ca Mg) โดยสกัดดินด้วย NH_4OAC เข้มข้น 1.0 M วัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Jones, 2001) และวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง (available Fe Mn Cu และ Zn) สกัดดินด้วย DTPA วัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Lindsay et al., 1978) ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของดินก่อนปลูก ในการทดลองนี้แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของดินในแปลงทดลองก่อนปลูกพริก

คุณสมบัติของดิน	ค่าวิเคราะห์	ค่าที่เหมาะสม
pH	5.89	6.0-7.0
EC (เดซิซีเมนส์./ม.)	0.10	$\leq$ 2.0
Organic matter (%)	2.07	2.0-3.0
Available P (มก./กก.)	29.68	35-60
Exchangeable K (มก./กก.)	94.0	100-120
Exchangeable Ca (มก./กก.)	1340	800-1500
Exchangeable Mg (มก./กก.)	88.34	250-400
Available Fe (มก./กก.)	12.23	18-25
Available Mn (มก./กก.)	7.43	13-30
Available Cu (มก./กก.)	0.26	1.3-2.5
Available Zn (มก./กก.)	0.76	3-6

3.2 ความสูงต้น ทำการวัดความสูงต้นที่ระยะเก็บ เกี่ยวผลผลิตรุ่นที่ 2 โดยการสุ่มวัดจากต้นที่อยู่ตรงกลางของแปลง ย่อยจำนวน 10 ต้นต่อแปลงย่อย วัดความสูงจากผิวดินไปจนถึงข้อสุดท้ายของยอดที่สูงที่สุด แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.3 ผลผลิต เริ่มเก็บเกี่ยว ผลผลิตเมื่อพริกมีอายุ 85 วันหลังปลูก เก็บเกี่ยวผลผลิต 2 รุ่น (แต่ละรุ่นเก็บได้ 4 ครั้ง) โดยเก็บเกี่ยวผลผลิตเฉพาะผลแก่ที่มีสีแดงเท่านั้น โดยสุ่มเก็บเกี่ยวจากต้นที่อยู่ตรงกลางของแปลง ย่อย จำนวน 10 ต้นต่อแปลงย่อย บันทึกผลผลิตต่อไร่ น้ำหนัก 100 ผล และเปอร์เซ็นต์ผลเสีย

3.4 น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน ตัดต้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตออก ไปหมดแล้วที่ตำแหน่งผิวดิน นำส่วนเหนือดินทั้งหมดล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°ซ นาน 48 ชม. และนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง

3.5 วิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กในใบและราก หลังจากเก็บ เกี่ยวผลผลิตรุ่นที่ 2 เรียบร้อยแล้ว โดยย่อยด้วย HNO_3+$HClO_4$ อัตราส่วน 5:3 วัดปริมาณธาตุด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Jones, 2001)

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS for Window (version 13.0) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ของความสูงต้น ผลผลิตต่อไร่ น้ำหนัก 100 ผล เปอร์เซ็นต์ผลเสีย น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และปริมาณ

ธาตุเหล็กในใบและราก

3.2 การทดลองที่ 2 ปฏิสัมพันธ์ของการดูดใช้จุลธาตุที่มีประจุบวกในรูปคีเลตกรดอะมิโน

เป็นการศึกษาการแก่งแย่งการดูดใช้ธาตุอาหารที่มีประจุเหมือนกัน (nutrient antagonistic interaction)

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD)

จำนวน 4 ซ้ำ 5 ตำรับการทดลอง ดังต่อไปนี้

1. Control (น้ำเปล่า)
2. $FeSO_4$
3. Ferrous bisglycinate
4. Mix elements ในรูปเกลือซัลเฟต (Fe + Mn + Cu + Zn)
5. Mix elements ในรูปคีเลตกรดอะมิโน (Fe + Mn + Cu + Zn)

ตำรับที่ 2-3 ให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กเท่ากัน 50 มก./ล.

ตำรับที่ 4-5 ให้ความเข้มข้นของธาตุ Fe และ Mn 50 มก./ล. Cu และ Zn 10 มก./ล.

2. วิธีการทดลอง

2.1 การปลูก ใช้กระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม. ใส่ทรายหยาบซึ่ง มีธาตุอาหารต่ำ เป็น วัสดุปลูก นำกล้าพริกพันธุ์ ซุปเปอร์ฮอท อายุ 30 วัน ย้ายปลูก 1 ต้นต่อกระถาง ในโรงเรือนที่ป้องกันแมลงและศัตรูพืช ให้น้ำตามปกติโดยใช้น้ำกลั่นวันละ 1 ครั้ง

2.2 การให้ธาตุอาหารทางดิน หลังย้ายปลูก 7 วัน เริ่มให้สารละลายธาตุอาหาร ทุกธาตุทางดินยกเว้นธาตุเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง (ภาคผนวก) ให้สัปดาห์ละ 2 ครั้ง ครั้งละ 50 มล./กระถาง ให้จนถึงต้นพริกอายุ 50 วันหลังย้ายปลูก

2.3 การให้ธาตุอาหารทางใบ เมื่อต้นพริกอายุ 50 วัน พ่นธาตุอาหารทางใบตามตำรับการทดลอง โดยพ่นจนสารละลายอิ่มตัวที่ใบ พ่นสัปดาห์ละ 1 ครั้ง จำนวน 3 สัปดาห์

3. การเก็บข้อมูล

3.1 ความสูงต้น ทำการวัดความสูงต้นที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิต วัดความสูงจากผิวดินไปจนถึงข้อสุดท้ายของยอดที่สูงที่สุด

3.2 ผลผลิต เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อพริกมีอายุ 110 วันหลังปลูก เก็บเกี่ยวผลผลิตเฉพาะผลแก่ที่มีสีแดงเท่านั้น บันทึกผลผลิตต่อต้น จำนวนผลต่อต้น และน้ำหนักต่อผล

3.3 น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน ตัดต้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตออกหมดแล้ว ที่ตำแหน่งผิวดิน นำส่วนเหนือดินทั้งหมด ล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°ซ นาน 48 ชม. และ

นำมาชั่งน้ำหนักแห้ง

3.4 วิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงในใบ หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิต โดย ย่อยด้วย HNO_3+ $HClO_4$ อัตราส่วน 5:3 วัดปริมาณธาตุอาหารด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Jones, 2001)

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS for Window (version 13.0) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ของความสูงต้น น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน ผลผลิตต่อต้น จำนวนผล ต่อต้น น้ำหนักต่อผล และปริมาณธาตุเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงในใบ

3.3 การทดลองที่ 3 ความเข้มข้น และความถี่ที่เหมาะสมของการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริก

ทำการทดลองปลูกพริกพันธุ์ซุปเปอร์ฮอทในแปลงทดลอง ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จัดอยู่ในชุดดินจตุรัส

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 3×3+1 Factorial in RCBD จำนวน 4 ซ้ำ

ปัจจัยการทดลองคือ ตำรับควบคุม คือ ไม่ใช้ปุ๋ยทางใบ

ปัจจัยที่ 1 คือ ความเข้มข้น ได้แก่

C1 = 20 มล./20 ล.

C2 = 40 มล./20 ล.

C3 = 60 มล./20 ล.

ปัจจัยที่ 2 คือ จำนวนครั้งของการฉีดพ่น (ความถี่)

T1 = 7 วัน

T2 = 14 วัน

T3 = 21 วัน

ได้ตำรับการทดลอง 10 ตำรับการทดลองคือ

1. ควบคุม (ไม่ใช้ปุ๋ยทางใบ)
2. ความเข้มข้น 20 มล./20 ล. พ่นทุก 7 วัน
3. ความเข้มข้น 20 มล./20 ล. พ่นทุก 14 วัน
4. ความเข้มข้น 20 มล./20 ล. พ่นทุก 21 วัน

5. ความเข้มข้น 40 มล./20 ล. พ่นทุก 7 วัน
6. ความเข้มข้น 40 มล./20 ล. พ่นทุก 14 วัน
7. ความเข้มข้น 40 มล./20 ล. พ่นทุก 21 วัน
8. ความเข้มข้น 60 มล./20 ล. พ่นทุก 7 วัน
9. ความเข้มข้น 60 มล./20 ล. พ่นทุก 14 วัน
10. ความเข้มข้น 60 มล./20 ล. พ่นทุก 21 วัน

ใช้ปุ๋ยคีเลตกรดอะมิโน สูตร multi mineral ประกอบด้วยธาตุอาหารรองคือ Ca และ Mg และจุลธาตุคือ Fe, Mn, Cu Zn Mo B และ Ni ความเข้มข้นแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในปุ๋ยคีเลตกรดอะมิโนสูตร multi mineral

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้น (%)
CaO	1.3
MgO	0.6
Fe	0.35
Mn	0.25
Cu	0.25
Zn	0.50
Mo	0.05
B	0.08
Ni	0.025

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมแปลงทดลอง เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1.2 ประสิทธิภาพการดูด ใช้ และความสามาร ถในการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กในรูป คีเลตกรดอะมิโน ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริกในแปลง แต่ในการทดลองนี้มีจำนวนแปลง 12 แปลง และแถวคุมอีก 2 แปลง

2.2 การปลูก เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1.2 ประสิทธิภาพการดูด ใช้ และความสามาร ถในการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กในรูป คีเลตกรดอะมิโน ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริกในแปลง

2.3 การให้ปุ๋ย หลังย้ายปลูก 45 วัน เป็นระยะที่พริกเริ่มมีตาดอก (แต่ยังไม่ออกดอก) เริ่มพ่นปุ๋ยทางใบตามตำรับการทดลอง โดยพ่นจนสารละลายอิ่มตัวที่ใบ พ่นตามอัตราและช่วงเวลาที่

กำหนดหยุดพ่นเมื่อเริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตรุ่นที่ 2

3. การเก็บข้อมูล

3.1 วิเคราะห์คุณสมบัติดินก่อนปลูก เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1.2 ประสิทธิภาพการดูดใช้ และความสามารถในการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กในรูป คีเลตกรดอะมิโน ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกในแปลง ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของดินก่อนปลูกแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของดินก่อนปลูกพริกในแปลงทดลอง

คุณสมบัติ		ค่าวิเคราะห์	ค่าที่เหมาะสม
pH		6.10	6.0-7.0
EC	(เดซิซีเมนส์./ม.)	0.12	$\leq$ 2.0
Organic matter	(%)	2.19	2.0-3.0
Available P	(มก./กก.)	31.60	35-60
Exchangeable K	(มก./กก.)	104.0	100-120
Exchangeable Ca	(มก./กก.)	1315	800-1500
Exchangeable Mg	(มก./กก.)	85.43	250-400
Available Fe	(มก./กก.)	10.92	18-25
Available Mn	(มก./กก.)	7.11	13-30
Available Cu	(มก./กก.)	0.16	1.3-2.5
Available Zn	(มก./กก.)	0.87	3-6

3.2 ความสูงต้น ทำการวัดความสูงต้นที่ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตรุ่นที่ 2 โดยการสุ่มวัดจากต้นที่อยู่ตรงกลางของแปลง ย่อยจำนวน 10 ต้นต่อแปลงย่อย วัดความสูงจากผิวดินไปจนถึงข้อสุดท้ายของยอดที่สูงที่สุด แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.3 ผลผลิต เริ่มเก็บเกี่ยว ผลผลิตเมื่อพริกมีอายุ 85 วันหลังปลูก เก็บเกี่ยวผลผลิต 2 รุ่น (แต่ละรุ่นเก็บได้ 4 ครั้ง) โดยเก็บเกี่ยวผลผลิตเฉพาะผลแก่ที่มีสีแดงเท่านั้น โดยสุ่มเก็บเกี่ยวจากต้นที่อยู่ตรงกลางของแปลง ย่อย จำนวน 10 ต้นต่อแปลงย่อย บันทึกผลผลิตต่อไร่ น้ำหนัก 100 ผล และเปอร์เซ็นต์ผลเสีย

3.4 น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน ตัดต้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตออก ไปหมดแล้วที่ตำแหน่งผิวดิน นำส่วนเหนือดิ นทั้งหมดล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°ซ นาน 48 ชม. และนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง

3.5 วิเคราะห์ปริมาณธาตุ Ca, Mg, F,e Mn, Cu และ Zn ในใบและราก หลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตรุ่นที่ 2 เรียบร้อยแล้ว โดยย่อยด้วย HNO_3+$HClO_4$ อัตราส่วน 5:3 วัดปริมาณธาตุอาหารด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Jones, 2001)

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS for Window (version 13.0) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ของความสูงต้น ผลผลิตต่อไร่ น้ำหนัก 100 ผล เปอร์เซ็นต์ผลเสีย น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และปริมาณธาตุอาหารสะสมในใบและราก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และการอภิปรายผล

4.1 การทดลองที่1 ประสิทธิภาพการดูดซับและความสามารถในการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กในรูปคีเลตกรดอะมิโน

4.1.1 ประสิทธิภาพการดูด ซับ และการเคลื่อนย้ายธาตุ เหล็ก ในรูปคีเลตกรดอะมิโน ของพริกในกระถาง

1. การดูดซับธาตุเหล็กหลังจากให้ธาตุเหล็ก 1 วัน

จากการวิเคราะห์ ปริมาณธาตุเหล็ กที่ถูกดูดซับ โดยส่วนที่ได้รับธาตุเหล็กโดยตรง พบว่าการให้ธาตุเหล็กที่ใบบนพริกสามารถดูดซับ ธาตุเหล็กในรูปต่าง ๆ ได้ภายในเวลา 24 ชั่วโมง (เปรียบเทียบกับตำรับควบคุม)โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุเหล็กที่ถูกดูดซับ โดยใบบน พบว่าแต่ละตำรับการทดลองให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยตำรับการทดลองที่ให้ Ferrous bisglycinate มีปริมาณธาตุเหล็กสูงที่สุด และตำรับการทดลองที่ ให้ $FeSO_4$ มีปริมาณธาตุเหล็กน้อยที่สุด แต่ให้ผลไม่แตกต่างกันกับตำรับการทดล องที่ให้ Fe-EDTA (ตารางที่ 6) ส่วนการให้ธาตุเหล็กที่ใบล่าง พริกสามารถดูดซับธาตุเหล็กในรูปต่าง ๆ ได้ภายในเวลา 24 ชั่วโมงเช่นเดียวกัน และผลการวิเคราะห์ ปริมาณธาตุเหล็ กที่ถูกดูดซับ โดยใบล่าง พบว่าแต่ละตำรับการทดลองให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติโดยตำ รับการทดลองที่ให้ Ferrous bisglycinate มีปริมาณธาตุเหล็กสูงที่สุด และตำรับการทดลองที่ ให้ $FeSO_4$ มีปริมาณธาตุเหล็กน้อยที่สุด แต่ให้ผลไม่แตกต่างกันกับตำรับการทดลองที่ให้ Fe-EDTA (ตารางที่ 6)

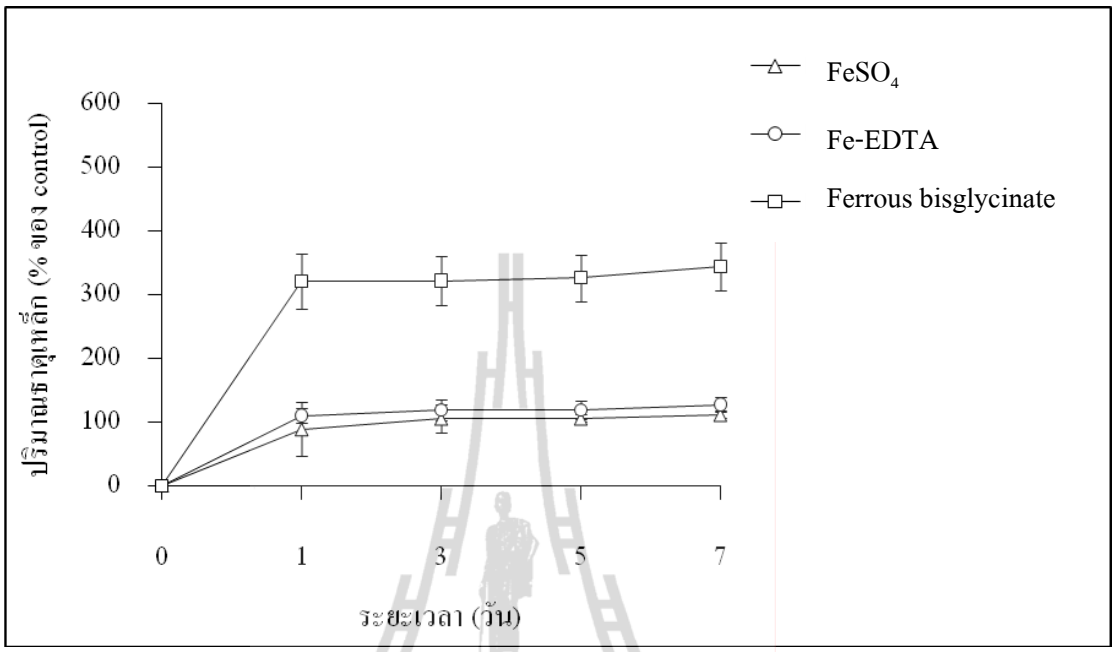
ตารางที่ 6 ผลของการให้ธาตุเหล็กทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อปริมาณธาตุเหล็กที่ถูกดูดซับ โดยส่วนที่ได้รับธาตุเหล็กโดยตรง

ตำรับการทดลอง	ปริมาณ Fe (มก./กก.)	
	ใบบน	ใบล่าง
Control (น้ำเปล่า)	231a[1]	222a
$FeSO_4$	549b	545b
Fe-EDTA	582b	595b
Ferrous bisglycinate	1,082c	1,042c
CV (%)	8.46	4.95

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

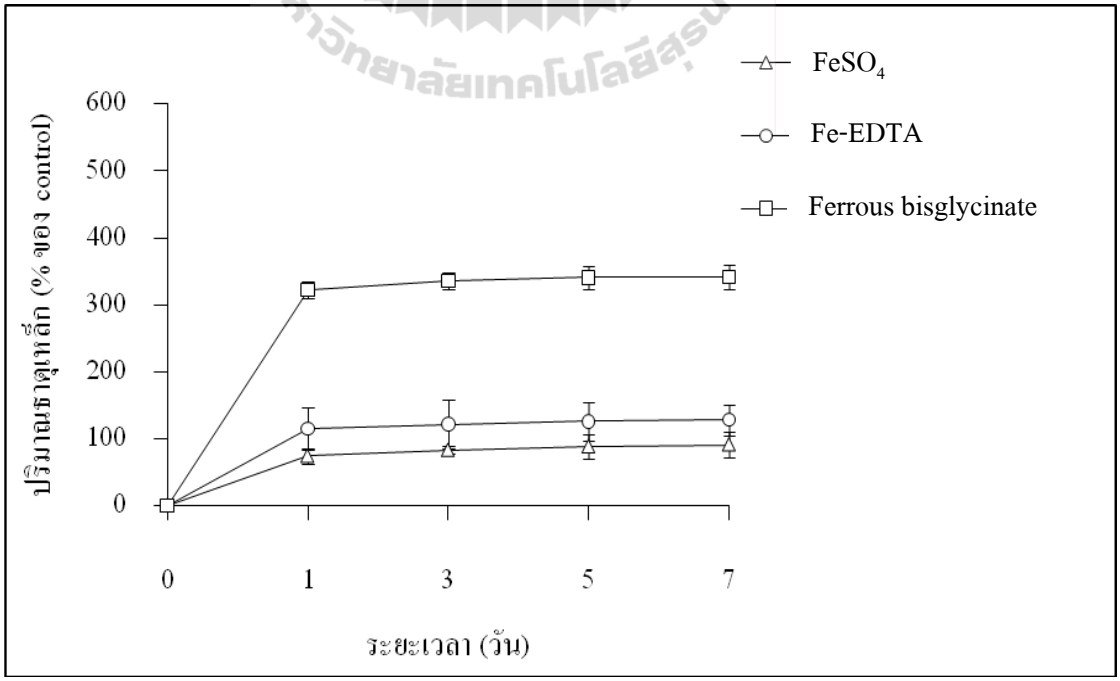
2. การเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กจากบริเวณที่ได้รับธาตุเหล็กไปยังส่วนอื่น

จากการวิเคราะห์ ปริมาณธาตุเหล็กที่ถูกดูดซับ โดยส่วนที่ได้รับธาตุเหล็กโดยตรง พบว่าพริกสามารถดูดซับ ธาตุเหล็กในรูปต่าง ๆ ได้ภายใน 1 วันหลังจากการให้ธาตุเหล็ก นอกจากพบธาตุเหล็กในส่วนที่ได้รับธาตุเหล็กโดยตรง ยังพบธาตุเหล็กในส่วนอื่นที่ไม่ได้รับธาตุเหล็กโดยตรง แสดงว่าธาตุเหล็กที่ถูกดูดซับโดยส่วนที่ได้รับธาตุเหล็กโดยตรง มีการเคลื่อนย้าย ไปยังส่วนอื่น จากผลการทดลองพบว่าการให้ธาตุเหล็กที่ใบบนมีการเคลื่อนย้ายไปยังใบล่างและราก โดยปริมาณการเคลื่อนย้ายส่วนใหญ่พบภายใน 1 วันหลังจากการให้ธาตุเหล็ก (รูปที่ 1 และรูปที่ 2) ส่วนการให้ธาตุเหล็กที่ใบล่าง มีการเคลื่อนย้ายไปยังใบบนและรากมากที่สุด หลัง จากการให้ธาตุเหล็ก 1 วัน (รูปที่ 3 และรูปที่ 4) โดยการให้ธาตุเหล็ก ในรูป Ferrous bisglycinate ทั้งใบบนและใบล่างมีการเคลื่อนย้ายไปยังส่วนอื่นได้มากที่สุด



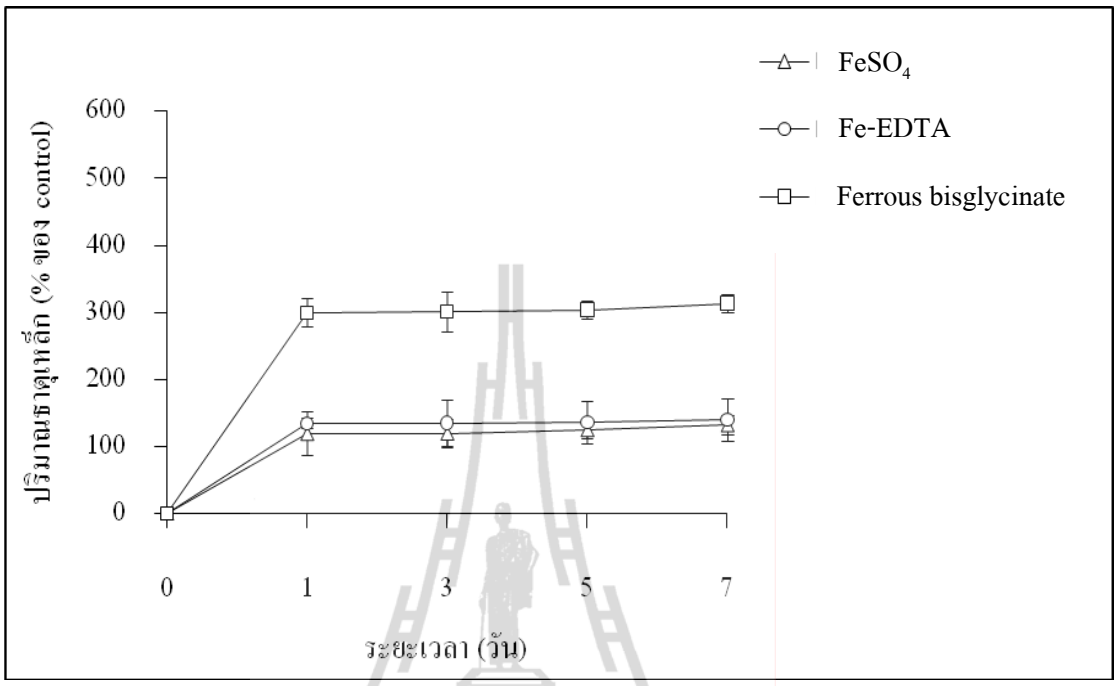
รูปที่ 1 ผลของการให้ธาตุเหล็กที่ใบบนต่อปริมาณธาตุเหล็กในใบล่าง

หมายเหตุ : I = Standard deviation



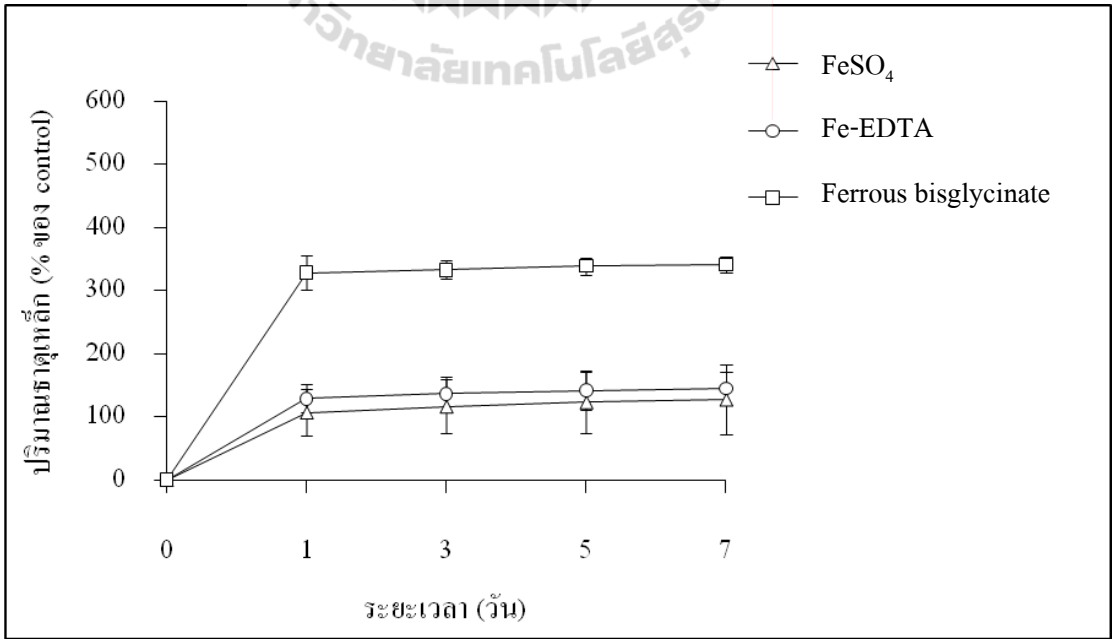
รูปที่ 2 ผลของการให้ธาตุเหล็กที่ใบบนต่อปริมาณธาตุเหล็กในราก

หมายเหตุ : I = Standard deviation



รูปที่ 3 ผลของการให้ธาตุเหล็กที่ใบล่างต่อปริมาณธาตุเหล็กในใบบน

หมายเหตุ : I = Standard deviation



รูปที่ 4 ผลของการให้ธาตุเหล็กที่ใบล่างต่อปริมาณธาตุเหล็กในราก

หมายเหตุ : I = Standard deviation

4.1.2 ประสิทธิภาพการดูด ใช้ และความสามารถในการเคลื่อนย้าย ธาตุเหล็กในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริกในแปลง

จากผลการทดลองที่ 4.1.1 ทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ และการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กในรูปคีเลตกรดอะมิโน ของพริกในกระถาง พบว่าธาตุเหล็กมีการดูดซับโดยส่วนที่ได้รับธาตุเหล็ก และเคลื่อนย้าย ไปยังส่วนอื่นได้ โดยเคลื่อนย้ายไปยังส่วนยอดซึ่งอยู่เหนือใบที่ให้ธาตุเหล็ก และเคลื่อนย้ายไปสู่ส่วนล่างถัดจากใบที่ให้ธาตุเหล็ก ซึ่งการให้ธาตุเหล็กในรูป Ferrous bisglycinate มีปริมาณการดูดซับ และเคลื่อนย้ายได้ดี ที่สุด จึงทำการทดลอง เพื่อทดสอบ ประสิทธิภาพการดูด ใช้ และ ความสามารถในการเคลื่อนย้าย ธาตุเหล็กในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริกในแปลง ได้ผลดังนี้

1. ความเข้มข้นของธาตุเหล็กในใบและราก และปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็ก

ผลการวิเ คราะห์ทางสถิติของความเข้มข้นของ ธาตุเหล็กในใบและราก พบว่า ทุกตำรับการทดลองให้ผลแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ ให้ธาตุเหล็ก โดยการ ไม่ให้ธาตุเหล็ก คือพ่นด้วยน้ำเปล่ามีความเข้มข้นของธา ตุเหล็กในใบและรากเฉลี่ยต่ำที่สุด ส่วน การให้ธาตุเหล็กในรูป Ferrous bisglycinate มีความเข้มข้นของ ธาตุเหล็กในใบและรากเฉลี่ยสูงที่สุด แต่ให้ผลไม่แตกต่าง กันทางสถิติ กับการพ่นในรูป Fe-EDTA และรูป $FeSO_4$ (ตารางที่ 7) สำหรับปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็ก พบว่าทุกตำรับการทดลองให้ผลแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเปรีย บเทียบกับการไม่ให้ธาตุเหล็ก โดยการให้ธาตุเหล็กในรูป Ferrous bisglycinate มีปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการพ่นในรูป Fe-EDTA และรูป $FeSO_4$ (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ผลของการให้ ธาตุเหล็ก ทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อปริมาณ ธาตุเหล็กในใบ และราก และปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กของพริก

ตำรับการทดลอง	ปริมาณ Fe ในใบ (มก./กก.)	ปริมาณ Fe ในราก (มก./กก.)	ปริมาณการดูดใช้ Fe (กก./ไร่)
Control (น้ำเปล่า)	203a[1]	251a	0.18a
$FeSO_4$	315b	441b	0.37b
Fe-EDTA	319b	459b	0.36b
Ferrous bisglycinate	327b	489b	0.41b
CV (%)	24.81	20.62	22.72

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

2. ความสูง และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน

ผลการวิเ คราะห์ทางสถิติของ ความสูงต้น ที่ระยะเก็บเกี่ยว พบว่า แต่ละตำรับการทดลองให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยการให้ธาตุเหล็ก ในรูปต่าง ๆ ไม่มีผลต่อความสูง ต้น แต่มีแนวโน้มว่าการให้ธาตุเหล็กในรูป Ferrous bisglycinate มีความสูงต้นมากกว่าการให้ธาตุเหล็กในรูปอื่น และการ ไม่ให้ธาตุเหล็ก คือการพ่นด้วยน้ำเปล่า มีความสูงต้นเฉลี่ยต่ำที่สุด (ตารางที่ 8) สำหรับผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน พบว่าการ ให้ธาตุเหล็กในรูปต่าง ๆ ให้ผลแตกต่างกันทางสถิติกับการ การไม่ให้ธาตุเหล็ก คือการ ไม่ให้ธาตุเหล็ก มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเฉลี่ยต่ำที่สุด และการให้ธาตุเหล็กในรูป Ferrous bisglycinate ทำให้น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเฉลี่ยสูงที่สุด แต่ให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการพ่นในรูป Fe-EDTA และรูป $FeSO_4$ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ผลของการให้ ธาตุเหล็กทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อ ความสูง และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของพริก

ตำรับการทดลอง	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักแห้ง (กก./ไร่)
Control (น้ำเปล่า)	96.7	778a[1]
$FeSO_4$	97.2	984b
Fe-EDTA	98.2	931b
Ferrous bisglycinate	101.4	1011b
CV (%)	4.43	13.94

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษร เหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

3. ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลผลิต พบว่าแต่ละตำรับการทดลอง ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ โดยการให้ธาตุเหล็ก ในรูป $FeSO_4$ และในรูป Ferrous bisglycinate มีผลผลิตต่อไร่เฉลี่ยสูงที่สุดคือ 1,261 และ 1,246 กก./ไร่ ตามลำดับ ซึ่งต่างจากการ ให้ธาตุเหล็กในรูป Fe-EDTA ซึ่งให้ผลผลิตต่อไร่เฉลี่ยต่ำกว่าคือ 1,018 กก./ไร่ และไม่ให้ธาตุเหล็ก คือการพ่นด้วยน้ำเปล่า ให้ผลผลิตต่อไร่เฉลี่ยต่ำ ที่สุดคือ 804 กก./ไร่ (ตารางที่ 9) สำหรับผลการวิเคราะห์ทางสถิติขององค์ประกอบผลผลิตคือ น้ำหนัก 100 ผล พบว่าการให้ธาตุเหล็กในรูปต่าง ๆ ให้ผลแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับการ ไม่ให้ธาตุเหล็ก คือการให้ธาตุเหล็กในรูป Ferrous bisglycinate มีน้ำหนัก

100 ผล สูงที่สุด และการ ไม่ให้ธาตุเหล็ก มีน้ำหนัก 100 ผล ต่ำที่สุด (ตารางที่ 9) และเปอร์เซ็นต์ผลเสีย พบว่าแต่ละตำรับการทดลองให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ผลของการให้ธาตุเหล็กทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของพริก

ตำรับการทดลอง	ผลผลิต (กก./ไร่)	น้ำหนัก 100 ผล (ก.)	ผลเสีย (%)
Control (น้ำเปล่า)	804a[1]	104a	2.33
$FeSO_4$	1,261b	122b	2.25
Fe-EDTA	1,018a	127b	2.23
Ferrous bisglycinate	1,246b	128b	2.23
CV (%)	13.84	7.74	17.72

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองนี้ ใช้ธาตุเหล็กเป็นตัวแทนในการศึกษา ผลของการใช้ธาตุอาหารทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโน เพราะธาตุเหล็ก มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงสร้างคลอโรพลาสต์ และเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้า งคลอโรฟิลล์ เป็นจุลธาตที่พืชต้องการมากที่สุด มีความเข้มข้นในเนื้อเยื่อพืชมากที่สุด และดินที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณธาตุเหล็กต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม

จากการทดลองเห็นได้ว่าการให้ธาตุเหล็กทางใบ พืชมีการดูดซับธาตุเหล็กโดยสะสมไว้ในใบส่วนที่ได้รับธาตุเหล็กโดยตรง และพบว่าส่วนอื่นที่ไม่ได้รับธาตุเหล็กโดยตรง มีปริมาณธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นหลังจากให้ธาตุเหล็ก แสดง ว่าธาตุเหล็กสามารถเคลื่อนย้ายไปยังส่วนอื่น โดยเคลื่อนย้ายได้ทั้งในทิศทางสู่ปลาย (ส่วนยอดซึ่งอยู่เหนือใบที่ให้ธาตุเหล็ก) และสู่ฐาน (ส่วนล่างถัดจากใบที่ให้ธาตุเหล็ก) โดยผลการทดลองนี้พบว่า ธาตุเหล็กที่ให้ใบบน สามารถเคลื่อนย้ายจากใบ บนไปยังใบล่าง และราก และเหล็กที่ให้ใบล่างมีการเคลื่อนย้ายจากใบล่าง ไปยังใบบนและราก ซึ่งการให้ในรูป Ferrous bisglycinate มีปริมาณการดูดซับ และเคลื่อนย้ายได้ดีที่สุด ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Huve et al. (2003) ซึ่งได้ศึกษาการเคลื่อนย้ายของเหล็กที่ให้บนใบ พบว่าธาตุเหล็กสามารถเคลื่อนย้ายไปยังส่วนอื่น ๆ ได้ โดยเคลื่อนย้ายได้ทั้งในทิศทางสู่ปลาย (ส่วนยอดซึ่งอยู่เหนือใบที่ให้ปุ๋ย) และสู่ฐาน (ส่วนล่างถัดจากใบที่ให้ปุ๋ย) โดยเป็นการเคลื่อนย้าย ทางโฟลเอ็ม (Eddings and Brown., 1967) ส่วน Hsu et al. (1982) ได้ทำการทดลอง การดูดใช้ และการเคลื่อนย้าย

ธาตุเหล็กที่ให้ทางใบในข้าวโพด พบว่าการให้ธาตุเหล็กทางใบในรูป iron amino acid chelate พืชมีการดูดใช้ได้ดีกว่าในรูป $FeSO_4$ และเหล็กที่ใบพืชดูดได้นี้ส่วนมากเคลื่อนย้ายไปยังใบอื่น ๆ เคลื่อนย้ายไปยังลำต้น และบางส่วนไปปรากฏที่รากด้วย จากผลการทดลองเห็นได้ชัดเจนว่า การให้ธาตุเหล็กในรูป Ferrous bisglycinate มีปริมาณการดูดซับ และเคลื่อนย้ายได้ดีที่สุด เป็นเพราะคีเลตกรดอะมิโน มีโมเลกุลขนาดเล็ก มีประจุที่เป็นกลาง ไม่ถูกดูดยึดโดยประจุลบที่ช่องผ่านของผิวใบ สามารถซึมผ่านช่องเปิดของใบเข้าไปในเซลล์พืชได้ง่าย ทำให้พืชดูดได้ง่าย และสามารถเคลื่อนย้ายได้รวดเร็ว

ผลการทดลอง ประสิทธิภาพการดูด ใช้ และความสามารถในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร ในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิต ของพริกในแปลง พบว่าผลการทดลองไม่สอดคล้องกับผลการทดลองข้างต้น ในกระถาง แต่มีแนวโน้มว่า การให้ธาตุเหล็กทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโน พืชมีการดูดใช้และเคลื่อนย้ายธาตุอาหารได้ดี ที่สุด ถึงแม้จะไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใช้ในรูป Fe-EDTA และ $FeSO_4$ สาเหตุของความแตกต่างอาจเป็นเพราะการทดลองในกระถางนั้นมีการทาธาตุเหล็กลงบนใบโดยตรง วัดผลภายในเวลา 7 วัน ต้นพริกมีขนาดเล็ก การดูดซับเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วภายใน 24 ชั่วโมง และสามารถเคลื่อนย้ายไปยังส่วนอื่นที่ไม่ได้ให้ธาตุเหล็ก แต่ไม่ได้มีการลำเลียงไปเลี้ยงส่วนของทรงพุ่มและผลผลิต ปริมาณธาตุเหล็กที่ดูดซับ และเคลื่อนย้ายได้ภายในส่วนของใบ และรากจึงสูง จึงเห็นความแตกต่างระหว่าง ตำรับการทดลองอย่าง ชัดเจน ส่วนต้นพริกในแปลงทดลองได้รับธาตุเหล็กในรูปต่าง ๆ หลายครั้ง ทำให้มีการสะสมของธาตุเหล็กและต้นพริกมีทรงพุ่มขนาดใหญ่ รวมทั้งให้ผลผลิต เมื่อระยะเวลาผ่านไปธาตุเหล็กมีการกระจายไปยังส่วนอื่น มีการดูดใช้และลำเลียงธาตุอาหารไปใช้ยังส่วนต่าง ๆ รวมทั้งผลผลิตตลอดเวลา อีกทั้งดินในแปลงทดลองมีธาตุเหล็กอยู่มากพอสมควร จึงทำให้ ความเข้มข้นของธาตุเหล็ก และปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กไม่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด ถึงแม้ว่าการให้ธาตุเหล็กในรูป ต่าง ๆ มีปริมาณความเข้มข้นของธาตุเหล็กในพืช และปริมาณการดูดใช้ไม่แตกต่างกัน แต่ผลผลิตของพริกที่ให้ธาตุเหล็กในรูป Ferrous bisglycinate สูงกว่าการให้ธาตุเหล็กในรูป Fe-EDTA ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ธาตุเหล็กในรูป Ferrous bisglycinate พืชสามารถนำธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าในรูป Fe-EDTA อาจเป็นเพราะมีการแตกตัว หรือเคลื่อนย้ายได้ดีกว่า ซึ่ง Ferrous bisglycinate มีค่าคงตัวด้านเสถียรภาพต่ำกว่า Fe-EDTA จึงแตกตัวได้ดีกว่า ทำให้การใช้ของพืช มีประสิทธิภาพสูงกว่า แต่การให้ธาตุเหล็กในรูป Ferrous bisglycinate ให้ผลผลิตไม่แตกต่างจากการให้ธาตุเหล็กในรูป $FeSO_4$ อาจเป็นเพราะ $FeSO_4$ มีการแตกตัวได้ง่ายเช่นเดียวกัน การใช้ธาตุเหล็กแค่เพียงธาตุเดียวในการเตรียมสารละลายที่ ใช้น้ำกลั่น ทำให้การใช้ในรูปของเกลือไม่เสียเปรียบกับการใช้ในรูปคีเลต เนื่องจากสามารถละลายได้ง่าย ไม่มีธาตุอื่นเจือปน ไม่เกิดการทำปฏิกิริยากันของธาตุอาหาร และไม่เกิดการตกตะกอน แต่ถ้าใช้ ธาตุเหล็กร่วมกับธาตุอื่น ในรูปเกลือ และใช้น้ำที่ไม่สะอาด ธาตุอาหาร

อาจเกิดการแตกตัวเป็นไอออนในสารละลาย และทำปฏิกิริยากับธาตุต่าง ๆ ที่อยู่ในสารละลายทำให้เกิดการตกตะกอน ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารอาจลดลง

4.2 การทดลองที่2 ปฏิสัมพันธ์ของการดูดใช้จุลธาตุที่มีประจุบวกในรูปคีเลตกรดอะมิโน

การใช้ธาตุเหล็กเพียงธาตุเดียว ในรูปของเกลือสามารถละลายได้ง่าย ไม่มีธาตุอื่นเจือปน ไม่เกิดการทำปฏิกิริยากันของธาตุอาหาร ไม่เกิดการตกตะกอน แต่อาจเป็นไปได้ว่าหาก ใช้ธาตุเหล็กร่วมกันกับธาตุอื่น ที่มีประจุเหมือนกัน ในรูปของเกลือ ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุ เหล็ก และธาตุอื่นอาจลดลง จึงทำการ ศึกษาการแก่งแย่งการดูดใช้ ธาตุอาหารที่มีประจุเหมือนกั น (nutrient antagonistic interaction) ในรูปของคีเลตกรดอะมิโนเปรียบเทียบกับในรูปของเกลือได้ผลดังนี้

1. ปริมาณธาตุอาหารในใบ และการดูดใช้ธาตุอาหาร

การทดลองการพ่นจุลธาต ในรูปเดี่ยวศึกษาผลของธาตุ เหล็กเพียงธาตุเดียว และการพ่นจุลธาตุในรูปผสมกันคือ ใช้ธาตุเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีร่วมกันในรูปของเกลื อ และคีเลตกรดอะมิโน ซึ่งธาตุเหล่านี้มีประจุบวกเหมือนกัน สำหรับการไม่พ่นจุลธาตุคือพ่นด้วยน้ำเปล่ามีปริมาณจุลธาตุต่ำที่สุดอยู่แล้ว เนื่องจากใช้ทรายเป็นวัสดุปลูก ซึ่งมีธาตุอาหารต่ำ และปริมาณแมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ไม่ได้พ่นในรูปเดี่ยว จึงพบปริมาณธาตุอาหา รเหล่านี้ในตำรับการทดลองที่พ่นธาตุเหล็กธาตุเดียวในปริมาณต่ำ สำหรับผลการวิเคราะห์ ปริมาณและการดูดใช้ ธาตุเหล็ก พบว่าการพ่นธาตุเหล็กเดี่ยว ๆ ในรูป $FeSO_4$ และรูป Ferrous bisglycinate ไม่มีผลทำให้ปริมาณและการดูดใช้ธาตุเหล็ก แตกต่างกันทางสถิติ แต่ การพ่นจุลธาตุ ร่วมกันหลายธาตุ ในรูปเกลือซัลเฟต และรูปคีเลตกรดอะมิโนมีผลทำให้ปริมาณและการดูดใช้ ธาตุเหล็กแตกต่างกัน โดยการพ่นในรูปคีเลตกรดอะมิโนมีปริมาณและการดูดใช้ธาตุเหล็กสูงกว่าในรูปเกลือซัลเฟต (ตารางที่ 10)

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณและการดูดใช้แมงกานีส พบว่าแต่ละตำรับการทดลองให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยตำรับการทดลองที่พ่น จุลธาตุร่วมกันหลายธาตุ ในรูปคีเลตกรดอะมิโน มีปริมาณและการดูดใช้แมงกานีสสูงที่สุด และสูงกว่าการใช้ในรูปเกลือ ซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 11) ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณและกา รดูดใช้ทองแดง และสังกะสี ให้ผลเช่นเดียวกัน โดยตำรับการทดลองที่พ่นจุลธาตุร่วมกันหลายธาตุในรูป คีเลตกรดอะมิโน ทำให้มีปริมาณและการดูดใช้ทองแดง และสังกะสีสูงที่สุด และสูงกว่าการใช้ในรูปเกลือซัลเฟตอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 12 และ13)

ตารางที่ 10 ผลของการพ่นจุลธาตุทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อปริมาณธาตุเหล็กในใบ และปริมาณการดูดใช้ธาตุเหล็กของพริก

ตำรับการทดลอง	ปริมาณ Feในใบ (มก./กก.)	ปริมาณการดูดใช้ Fe (มก./ต้น)
Control (น้ำเปล่า)	183a[1]	1.12a
$FeSO_4$	667bc	6.50bc
Ferrous bisglycinate	670bc	8.37bc
Mix elements ในรูปเกลือซัลเฟต	651b	6.32b
Mix elements ในรูปคีเลตกรดอะมิโน	748c	8.90c
CV (%)	24.76	22.06

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 11 ผลของการพ่นจุลธาตุทางใบ ในรูปต่าง ๆ ต่อปริมาณธาตุ แมงกานีส ในใบ และปริมาณการดูดใช้ธาตุแมงกานีสของพริก

ตำรับการทดลอง	ปริมาณ Mn ในใบ (มก./กก.)	ปริมาณการดูดใช้ Mn (มก./ต้น)
Control (น้ำเปล่า)	41.8a[1]	0.28a
$FeSO_4$	49.4a	0.48a
Ferrous bisglycinate	50.9a	0.64a
Mix elements ในรูปเกลือซัลเฟต	174.1b	1.69b
Mix elements ในรูปคีเลตกรดอะมิโน	228.0c	2.71c
CV (%)	21.27	20.09

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 12 ผลของการพ่นจุลธาตุทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อปริมาณธาตุทองแดงในใบ และปริมาณการดูดใช้ธาตุทองแดงของพริก

ตำรับการทดลอง	ปริมาณ Cu ในใบ (มก./กก.)	ปริมาณการดูดใช้ Cu (มก./ต้น)
Control (น้ำเปล่า)	7.12a[1]	0.04a
$FeSO_4$	13.6b	0.13b
Ferrous bisglycinate	13.1b	0.16b
Mix elements ในรูปเกลือซัลเฟต	32.4c	0.31c
Mix elements ในรูปคีเลตกรดอะมิโน	40.9d	0.48d
CV (%)	17.04	20.79

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 13 ผลของการพ่นจุลธาตุทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อปริมาณธาตุ สังกะสีในใบ และปริมาณการดูดใช้ธาตุสังกะสีของพริก

ตำรับการทดลอง	ปริมาณ Zn ในใบ (มก./กก.)	ปริมาณการดูดใช้ Zn (มก./ต้น)
Control (น้ำเปล่า)	22.9a[1]	0.15a
$FeSO_4$	38.7ab	0.37ab
Ferrous bisglycinate	41.4b	0.51b
Mix elements ในรูปเกลือซัลเฟต	55.8bc	0.57bc
Mix elements ในรูปคีเลตกรดอะมิโน	71.9c	0.85c
CV (%)	22.65	21.34

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

2. ความสูง และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ ความสูง พบว่าแต่ละตำรับการทดลองให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตำรับการทดลองที่พ่น ในรูป Ferrous bisglycinate มีความสูงต้นสูงที่สุด ส่วนการไม่พ่น จุลธาตุ คือการพ่นด้วยน้ำเปล่า มีความสูงต้นต่ำที่สุด และผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน พบว่าแต่ละตำรับการทดลองให้ผลแตกต่างกันทางสถิติกับการไม่พ่น

จุลธาตุ (ตารางที่ 14) โดยตำรับการทดลองที่ ไม่พ่นจุลธาตุมีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินต่ำที่สุด และการพ่นในรูป Ferrous bisglycinate มีน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงที่สุด

ตารางที่ 14 ผลของการพ่นจุลธาตุทางใบในรู ปต่าง ๆ ต่อความสูง และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิ น ของพริก

ตำรับการทดลอง	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักแห้ง (ก./ต้น)
Control (น้ำเปล่า)	30.8a[1]	6.64a
$FeSO_4$	35.0a	9.75ab
Ferrous bisglycinate	41.8b	12.50b
Mix elements ในรูปเกลือซัลเฟต	35.2a	9.71ab
Mix elements ในรูปคีเลตกรดอะมิโน	41.0b	11.90b
CV (%)	9.20	13.54

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกั นทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

3. ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลผลิต พบว่าแต่ละตำรับการทดลอง ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 15) โดยตำรับการทดลองที่พ่น ในรูป Ferrous bisglycinate มีผลผลิตสูงที่สุด ส่วนการไม่พ่น จุลธาตุคือพ่นด้วยน้ำเปล่ามีผลผลิตต่ำที่สุด การพ่นจุลธาตุ ในรูปคีเลตกรดอะมิโนทั้งในรูป Fe เดี่ยว หรือร่วมกันหลายธาตุในรูปคีเลตกรดอะมิโน ให้ผลผลิตสูงกว่าการพ่น ในรูป $FeSO_4$ และ ร่วมกันหลายธาตุ ในรูปเกลือซัลเฟต สำหรับ ผลการวิเ คราะห์ทางสถิติขององค์ประกอบผลผลิตคือ จำนวนผลต่อต้น พบว่าแต่ละตำรับการทดลอง ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 15) โดยตำรับการทดลองที่พ่น ในรูป Ferrous bisglycinate มีจำนวนผลต่อต้นสูงที่สุด ส่วนการไม่พ่นจุลธาตุ มีผลผลิตต่ำที่สุด และน้ำหนักต่อผล พบว่าแต่ละตำรับการทดลอง ให้ผล ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 15) แต่มีแ นวโน้มว่าตำรับการทดลองที่พ่น ในรูป Ferrous bisglycinate มีน้ำหนักต่อผลสูงที่สุด และการไม่พ่นจุลธาตุมีน้ำหนักต่อผลต่ำที่สุด

ตารางที่ 15 ผลของการพ่นจุลธาตุทางใบในรูปต่าง ๆ ต่อผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของพริก

ตำรับการทดลอง	ผลผลิต (ก./ต้น)	จำนวนผลต่อต้น (ผล)	น้ำหนักต่อผล (ก.)
Control (น้ำเปล่า)	11.5a[1]	9.5a	1.17a
$FeSO_4$	16.7ab	14.0b	1.18a
Ferrous bisglycinate	21.6c	16.7c	1.41a
Mix elements ในรูปเกลือซัลเฟต	15.6a	11.5a	1.23a
Mix elements ในรูปคีเลตกรดอะมิโน	18.9bc	16.0bc	1.29a
CV (%)	11.03	11.47	10.15

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

วิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองใช้ธาตุเหล็กเพียงธาตุเดียว และใช้ธาตุเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีร่วมกันในรูปของเกลือ และ คีเลตกรดอะมิโน จากผลการทดลองถึงแม้ว่าการพ่นธาตุเหล็กในรูป $FeSO_4$ และธาตุเหล็กร่วมกับธาตุอื่นในรูปเกลือซัลเฟต มีปริมาณและการดูดใช้ธาตุเหล็กไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าการพ่นธาตุเหล็กร่วมกับธาตุอื่น ในรูปเกลือซัลเฟต มีปริมาณและการดูดใช้ธาตุเหล็กน้อยกว่าการพ่นธาตุเหล็กในรูป $FeSO_4$ แสดงว่าการใช้ธาตุเหล็กร่วมกับธาตุอื่นในรูปของเกลือ เกิดการแก่งแย่งการดูด ใช้กัน ทำให้ประสิทธิภาพการดูดธาตุเหล็กลดลง และในขณะเดียวกันพบว่าการพ่น จุลธาตุร่วมกันหลายธาตุ ในรูปคีเลตกรดอะมิโน มีปริมาณและการดูดใช้ธาตุเหล็กแมงกานีส ทองแดง และสังกะสีสูงที่สุด สูงกว่าการพ่นจุลธาตุร่วมกันหลายธาตุในรูปเกลือซัลเฟต แสดงว่าการใช้ธาตุเหล็กร่วมกั บแมงกานีส ทองแดง และสังกะสีในรูปเกลือซัลเฟตมีผลทำให้การดูดแมงกานีส ทองแดง และสังกะสีลดลงเช่นกัน สำหรับการใช้ธาตุเหล็กร่วมกับ แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีในรูปคีเลตกรดอะมิโน ไม่มีผลทำให้การดูดใช้ธาตุเหล็กและธาตุต่าง ๆ ลดลง และการใช้จุลธาตุร่วมกันหลายธาตุ ในรูปคีเลตกรดอะมิโน มีปริมาณและการดูดใช้ธาตุอาหาร การเจริญเติบโต และผลผลิตสูงกว่าการใช้จุลธาตุร่วมกันหลายธาตุในรูปเกลือซัลเฟต

จากผลการทดลองข้างต้นแสดงว่า การเตรียมสารละลายที่มีหลายธาตุ หรือมีธาตุอาหารที่มีประจุเหมือนกันในสารละลายเดียวกัน ในรูปเกลือเพื่อใช้ทางใบ ธาตุอาหาร ที่มีประจุเหมือนกัน เกิดการแก่งแย่งกันเข้าสู่เซลล์พืช (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549) ประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหาร แต่ละตัวจึงลดลง นอกจากนั้นอาจเป็นไปได้ว่าการ ใช้น้ำที่ไม่สะอาดเตรียมสารละลายธาตุอาหารในรูปเกลือทั้งในรูปเดี่ยว และรูปผสม ทำให้เกิดปัญหาในการละลาย และการตกตะกอน ซึ่งเกษตรกรโดยทั่วไป

มักใช้น้ำในลำคลองเพื่อการเกษตรเตรียมปุ๋ย ธาตุอาหารในรูปเกลือนั้นจะละลายได้ยาก ยิ่งเมื่อใช้ร่วมกันหลายธาตุความสามารถในการละลายอาจลดลง ธาตุต่าง ๆ อาจทำปฏิกิริยากัน ทำให้เกิดการตกตะกอน นอกจากปัญหาในเรื่องของน้ำที่ใช้ในการ เตรียมสารละลายธาตุอาหาร ในรูปเกลือที่อาจทำให้ประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารลดลง การใช้ธาตุอาหารร่วมกับสารเคมีบางชนิด หรือการใช้ที่ความเข้มข้นสูง อาจก่อให้เกิดปัญหาได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากโดยทั่วไปเกษตรกรมักนิยมใช้ปุ๋ยทางใบร่วมกับสารเคมีป้องกันกำจัดโรค แมลง และสารกำจัดวัชพืช เพราะการฉีดพ่นในครั้งเดียว ได้ผลงานสองลักษณะ ซึ่งประหยัดเวลา และแรงงาน แต่เพื่อให้การ ปฏิบัติงานเป็นไปด้วยความเรียบร้อยและปลอดภัย ต้องมั่นใจว่าสารทั้งสองประเภทนี้มีความเข้าใจกันได้ และไม่ลดฤทธิ์ของกันและกัน (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549) ซึ่งหากผสมกันแล้วเกิดตะกอน เกิดการแยกชั้นกัน แสดงว่าสารคู่นี้เข้ากันไม่ได้ และในบางครั้งสารเคมีป้องกันกำจัดโรค และ แมลงบางชนิดมีส่วนผสมของสารที่มีคุณสมบัติเป็นธาตุอาหารผสมอยู่ด้วย เช่น cupric oxide ซึ่งมีทองแดงเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย หากเราเตรียมสารละลายปุ๋ยที่มีทองแดงเป็ นส่วนประกอบมาผสมกับสารเคมีป้องกันกำจัดโรค และศัตรูพืชชนิดนี้ จะทำให้ความเข้มข้นของทองแดงสู งขึ้นอีก เมื่อนำไปพ่นใบพืชทำให้พืช สามารถดูดธาตุอื่นได้น้อยลง ในขณะที่ดูดทองแดงได้มากขึ้น Melarato and Cesar (2001) ได้ทำการทดลองการใช้สารกำจัดเชื้อราร่วมกับปุ๋ยในรูปเกลือ พบว่าการใช้สาร cupric oxide ร่วมกับ $ZnSO_4$ $MnSO_4$ และ H_3BO_3 หลังจากฉีดพ่น 30 วัน พบว่าความเข้มข้นของแมงกานีส และสังกะสีในใบส้มไม่เพิ่มขึ้นจากก่อนพ่นปุ๋ย แต่มีความเข้มข้นของทองแดงเพิ่มขึ้น แสดงว่าการใช้ทองแดงร่วมกับแมงกานีส และสังกะสีในรูปของเกลือจะ เป็น ปรปักษ์กัน คือทองแดงเป็นปรปั กษ์กับแมงกานีส และสังกะสี นอกจากนี้ยังพบว่า หากใช้ทองแดงร่วมกับแมงกานีสในรูปของคีเลตอินทรีย์ (lignosulfonate) ธาตุอาหารจะไม่เป็นปรปักษ์ต่อกัน และมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้ร่วมกันในรูปของเกลือ

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการใช้จุลธา ตุทางใบกับพืชหลาย ๆ ธาตุพร้อมกัน นอกจากต้องคำนึงถึงชนิดของพืช ความต้องการธาตุอาหารของพืชนั้น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Tisdale et al., 1993) ยังต้องพิจารณาถึงรูปของปุ๋ยที่ใช้ ด้วย เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการแก่งแย่งการดูดใช้ของธาตุอาหารที่มีประจุเหมือนกัน ที่อาจก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนธาตุอาหารบางธาตุ

4.3 การทดลองที่ 3 ความเข้มข้น และความถี่ที่เหมาะสมของการใช้ ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริก

จากผลการทดลองข้างต้นเห็นได้ชัดเจนว่าการใช้ธาตุอาหารทางใบในรูป คีเลตกรดอะมิโน พืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้ดี ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริกให้สูงขึ้น จึงทำการทดลอง เพื่อศึกษาอัตราการ ใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ทางใบใน รูปคีเลตกรดอะมิโน

ที่เหมาะสมกับพริก เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการการใช้ปุ๋ยทางใบกับพริ ก และนำไปประยุกต์ใช้กับพืชชนิดอื่น ได้ผลดังนี้

1. ความสูง และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ ความสูง และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน พบว่าทุกตำรับการทดลองให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าการพ่นปุ๋ยมีความสูง และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินสูงกว่าการไม่พ่นปุ๋ย (ตารางที่ 16) และการพ่นที่ความถี่ใด ๆ ไม่มีผลทำให้ผลของอิทธิพลหลักของความเข้มข้นที่มีต่อการเพิ่มขึ้นของความสูง และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินเปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 16 ผลของความเข้มข้น และความถี่ของการใช้ธาตุอาหารรองและจุลธาตุทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อความสูง และน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของพริก

ตำรับการทดลอง	ความสูง (ซม.)	น้ำหนักแห้ง (กก./ไร่)
ความเข้มข้น		
20 มล./20 ล.	100.6	798
40 มล./20 ล.	97.8	805
60 มล./20 ล.	98.6	813
Control	98.5	791
ความถี่		
7 วัน	102.7	795
14 วัน	96.9	794
21 วัน	98.0	807
Control	98.5	791
CV (%)	5.04	12.81

2. ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลผลิต พบว่าการพ่นปุ๋ยทุกตำรับการทดลองให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ให้ผลแตกต่างกันทางสถิติกับการไม่พ่นปุ๋ย โดยการพ่นปุ๋ยที่ความเข้มข้นและความถี่ต่าง ๆ มีผลผลิตสูงกว่าการไม่พ่นปุ๋ย (ตารางที่ 17) สำหรับองค์ประกอบผลผลิต คือ น้ำหนัก 100 ผล พบว่าการพ่นปุ๋ยทุกตำรับการทดลองให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ให้ผลแตกต่างกันทางสถิติกับการพ่นไม่พ่นปุ๋ย โดยการพ่นปุ๋ยมีน้ำหนัก 100 ผล สูงกว่าการไม่พ่นปุ๋ย (ตาราง ที่ 17) และเปอร์เซ็นต์ผลเสีย พบว่าทุกตำรับการทดลองให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการไม่พ่นปุ๋ย (ตารางที่

17) และการพ่นที่ความถี่ใด ๆ ไม่มีผลทำให้ผลของอิทธิพลหลักของความเข้มข้นที่มีต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตเปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 17 ผลของความเข้มข้น และความถี่ของการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิตของพริก

ตำรับการทดลอง	ผลผลิต (กก./ไร่)	น้ำหนัก 100 ผล (ก.)	ผลเสีย (%)
ความเข้มข้น			
20 มล./20 ล.	1367b[1]	127.6b	3.2
40 มล./20 ล.	1367b	127.4b	3.1
60 มล./20 ล.	1276b	128.5b	2.9
Control	1045a	120.2a	4.1
ความถี่			
7 วัน	1347b	126.6b	3.6
14 วัน	1331b	124.9b	2.4
21 วัน	1332b	132.0b	3.2
Control	1045a	120.2a	4.1
CV (%)	12.22	5.61	23.44

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือ อนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

3. ปริมาณธาตุอาหารในใบ

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของธาตุอาหารรอง พบว่าทุกตำรับการทดลองมีปริมาณ ธาตุอาหารรองคือ แคลเซียม และแมกนีเซียมในใบของพริกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 18) แต่มีแนวโน้มว่าการพ่นปุ๋ยที่ความเข้มข้น และความถี่ต่าง ๆ มีปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมในใบสูงกว่าไม่พ่นปุ๋ย สำหรับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ จุลธาตุ พบว่าทุกตำรับการทดลองที่พ่นปุ๋ยมีปริมาณจุลธาตุ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ให้ผลแตกต่างกันทางสถิติกับการไม่พ่นปุ๋ ย โดยการพ่นปุ๋ยที่ความเข้มข้น และความถี่ต่าง ๆ มีปริมาณธาตุเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงในใบสูงกว่าการไม่พ่นปุ๋ย (ตารางที่ 18) และการพ่นที่ความถี่ใด ๆ ไม่มีผลทำให้ผลของอิทธิพลหลักของความเข้มข้นที่มีต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในใบเปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 18 ผลของความเข้มข้น และความถี่ของการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อปริมาณธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในใบของพริก

ตำรับการทดลอง	Ca (%)	Mg (%)	Fe (มก./กก.)	Mn (มก./กก.)	Cu (มก./กก.)	Zn (มก./กก.)
ความเข้มข้น						
20 มล./20 ล.	3.98a[1]	0.18a	244b	60.0b	5.79b	135.8b
40 มล./20 ล.	4.24a	0.16a	269b	60.9b	5.67b	134.8b
60 มล./20 ล.	3.83a	0.19a	242b	57.6b	7.44b	153.8b
Control	3.55a	0.14a	198a	42.7a	3.19a	68.8a
ความถี่						
7 วัน	4.12a	0.16a	259b	60.6b	6.19b	147.9b
14 วัน	3.84a	0.17a	254b	58.6b	6.94b	141.6b
21 วัน	4.45a	0.19a	262b	59.3b	5.77b	134.9b
Control	3.55a	0.14a	198a	42.7a	3.19a	68.8a
CV (%)	10.21	10.52	16.33	13.14	20.02	15.42

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4. ปริมาณธาตุอาหารในราก

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ของธาตุอาหารรอง พบว่าทุกตำรับการทดลองปริมาณ ธาตุอาหารรองคือ แคลเซียม และแมกนีเซียมในรากของพริกไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 19) แต่มีแนวโน้มว่าการพ่นปุ๋ยที่ความเข้มข้น และความถี่ต่าง ๆ มีปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมในรากสูงกว่าไม่พ่นปุ๋ย สำหรับผลการวิเคราะห์ทางสถิติของ จุลธาตุ พบว่าทุกตำรับการทดลองที่พ่นปุ๋ยมีปริมาณจุลธาตุ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ให้ผลแตกต่างกันทางสถิติกับการไม่พ่นปุ๋ย โดยการพ่นปุ๋ยที่ความเข้มข้น และความถี่ ต่าง ๆ มีปริมาณธาตุเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงในรากสูงกว่าการไม่พ่นปุ๋ย (ตารางที่ 19) และการพ่นที่ความถี่ใด ๆ ไม่มีผลทำให้ผลของอิทธิพลหลักของความเข้มข้นที่มีต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในรากเปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 19 ผลของความเข้มข้น และความถี่ของการใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโน ต่อปริมาณธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในรากของพริก

ตำรับการทดลอง	Ca (%)	Mg (%)	Fe (มก./กก.)	Mn (มก./กก.)	Cu (มก./กก.)	Zn (มก./กก.)
ความเข้มข้น						
20 มล./20 ล.	1.64a[1]	0.15a	231b	52.1b	6.23b	84.4b
40 มล./20 ล.	1.52a	0.15a	232b	53.1b	5.69b	84.3b
60 มล./20 ล.	1.72a	0.16a	244b	59.2b	7.84b	110.8b
Control	1.42a	0.12a	201a	42.6a	2.62a	71.1a
ความถี่						
7 วัน	1.58a	0.15a	244b	53.9b	6.33b	118.4b
14 วัน	1.62a	0.15a	253b	55.6b	6.33b	93.5b
21 วัน	1.47a	0.16a	251b	54.9b	7.08b	90.0b
Control	1.31a	0.12a	201a	42.6a	2.62a	71.1a
CV (%)	17.11	12.11	23.92	13.32	17.61	17.32

[1] ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลอง การใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในรูป คีเลตกรดอะมิโน พ่นทางใบที่ความเข้มข้น และความถี่ต่าง ๆ พบว่าทุกความเข้มข้น และทุกความถี่ให้ผลไม่แตกต่างกันทั้งด้านความสูง น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน ผลผลิต และองค์ประกอบผลผลิต แต่ให้ผลดีกว่าการไม่ พ่นปุ๋ย สำหรับปริมาณธาตุอาหารในใบนั้น พบว่าการพ่นปุ๋ยทุกตำรับการทดลองมีปริมาณธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในใบไม่แตกต่างกัน แต่สูงกว่าการไม่พ่นปุ๋ย น่าจะเป็นเพราะการใช้ปุ๋ยที่ความเข้มข้นต่ำ และความถี่ของการใช้น้อยครั้ง พืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้เพียงพอแล้ว ไม่จำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นสูง และใช้บ่อยครั้ง ซึ่งปริมาณธาตุอาหารรอง และจุลธาตุที่พบในใบหลังจากพ่นปุ๋ยนั้นส่วนมากอยู่ในระดับที่เพียงพอกับความต้องการของพริก แล้ว เช่น ปริมาณแคลเซียมอยู่ในระดับที่เพียงพอกับความต้องการของพริกคือ 1.0-1.5% แมกนีเซียม 0.3-0.4% เหล็ก 30-150 มก./กก. แมงกานีส 30-100 มก./กก. ทองแดง 5-10 มก./กก. และสังกะสี 25-80 มก./กก. (Hochmuth and Hanlon, 1995) สำหรับปริมาณธาตุอาหารในรากนั้น พบว่าการพ่นปุ๋ยทุกตำรับการทดลองมีปริมาณธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในรากไม่แตกต่างกัน แต่สูงกว่าการไม่พ่นปุ๋ย แสดงว่าการพ่นปุ๋ยนั้นธาตุ

อาหารสามารถเคลื่อนย้ายไปยังรากได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการใช้ปุ๋ย ทางใบ ในรูปคีเลตกรดอะมิโน ให้ผลดีกว่าการไม่ใช้ปุ๋ย แสดงถึงการตอบสนองต่อปุ๋ย แต่การให้ธาตุอาหารทุกความเข้มข้น และความถี่ให้ผลไม่แตกต่างกัน น่าจะ เป็นเพราะระดับธาตุอาหาร ที่มีอยู่ในดินในการทดลองนี้ไม่ได้ขาดธาตุ อาหารรุนแรง (ตารางที่ 5) ธาตุอาหารส่วนใหญ่ อยู่ในระดับที่สามารถทำให้พริกมีการเจริญเติบโตได้ตามป รกติ และ ประกอบกับ การใช้ปุ๋ยทางใบในรูป คีเลตกรดอะมิโน พืชสามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้ง่ายและเร็ว มีการเคลื่อนย้า ยในพืชได้ดี จึงมีประสิทธิภาพสูง การใช้ที่ความเข้มข้นต่ำ และความถี่ของการใช้น้อยครั้ง พืชมีการตอบสนองต่อปุ๋ยแล้ว ทำให้ มีระดับ ธาตุอาหารเพียงพอกับความต้องการของพืช ไม่จำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นสูง และใช้บ่อยครั้ง แต่ถ้าหากใช้ในดินที่ขาดธาตุอาหาร รุนแรง หรือปลูกพืชชนิดอื่น ผลการทดลองอาจให้ผลแตกต่างกันออกไป และการใช้ปุ๋ย ธาตุอาหารรอง และ จุลธาตุต้องระมัดระวังเรื่องของอัตราการใช้ เนื่องจากช่วงของปริมาณที่พืชต้องการนั้นแคบมาก การใช้ปุ๋ย ธาตุอาหารรองและ จุลธาตุจึงจำเป็นต้องดูที่ผลการวิเคราะห์ดินประกอบด้วย

จากผลการทดลองเ ห็นได้ว่าการพ่นธาตุอาหารทางใบในรูป คีเลตกรดอะมิโน ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต และช่วยเพิ่มผลผลิตของพืชให้สูงขึ้น ดังนั้นการปลูกพืชแต่ละชนิดสามารถเสริมการใช้ปุ๋ยทางใบในรูปคีเลตกรดอะมิโน ให้เป็นส่วนหนึ่งของแผนการดูแลปลูกพืชนั้น เพื่อช่วยเพิ่มศักยภาพในการผลิตพืชให้สูงขึ้น โดยอัตราการประยุกต์ใช้ขึ้นอยู่กับความต้องการธาตุอาหาร ของพืช และสามารถปรับใช้ตามวิธีการปลูกพืชที่ใช้กันตามปกติ สภาวะแวดล้อมของพื้นที่ และสภาพของดิน

บทที่ 5
บทสรุป

จากการศึกษาผลของการให้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูปของคีเลตกรดอะมิโนต่อการดูดใช้ธาตุอาหาร การเจริญเติบโต และผลผลิตของพริก สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การทดลองในกระถางโดยให้ธาตุเหล็กเพียงครั้งเดียว พบว่า การให้ ธาตุเหล็ก ในรูป Ferrous bisglycinate มีปริมาณการดูดซับ และเคลื่อนย้าย ธาตุเหล็ก ได้ดีกว่าการให้ในรูป $FeSO_4$ และ Fe-EDTA สามารถดูดซับและเคลื่อนย้ายจากบริเวณที่ได้รับธาตุอาหารไปยังส่วนอื่น ภายใน 24 ชั่วโมง โดยธาตุเหล็กที่ให้ใบบนมีการเคลื่อนย้ายจากใบบนไปยังใบล่าง และราก และธาตุเหล็กที่ให้ใบล่างมีการเคลื่อนย้ายจากใบล่างไปยังใบบน และราก

2. การทดลองในแปลงปลูก และมีการให้ธาตุเหล็กอย่างต่อเนื่อง พบว่า การพ่นธาตุเหล็กทางใบในรูป Ferrous bisglycinate มีแนวโน้มว่ามีการดูดใช้ และเคลื่อนย้ายธาตุอาหารได้ดีกว่าในรูป Fe-EDTA และ $FeSO_4$ ถึงแม้จะไม่มีความ แตกต่างกันทางสถิติ และการให้ ธาตุเหล็กทางใบในรูป Ferrous bisglycinate ให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้ในรูป Fe-EDTA

3. จากการศึกษาปฏิสัมพันธ์ของธาตุอาหาร พบว่า การใช้ธาตุเหล็กร่วมกับ แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ในรูปของเกลือ ทำให้การดูด ใช้ธาตุเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ลดลง ส่วนการใช้ธาตุเหล็กร่วมกันกับแมงกานีส ทองแดง และสังกะสี ในรูปคีเลตกรดอะมิโน ไม่มีผลทำให้การดูดใช้ธาตุต่าง ๆ ลดลง และการใช้ธาตุต่าง ๆ ร่วมกันในรูปคี เลตกรดอะมิโน มีปริมาณและการดูดใช้ธาตุอาหาร การเจริญเติบโต และผลผลิ ตสูงกว่าการใช้ ธาตุต่าง ๆ ร่วมกัน ในรูปเกลือซัลเฟต

4. การใช้ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุทางใบในรูป คีเลตกรดอะมิโน ที่ความเข้มข้น และความถี่ต่าง ๆ นั้น ทุกความเข้มข้นและทุกความถี่ให้ผลไม่แตกต่างกัน แต่ให้ผลดีกว่าการไม่ใช้ปุ๋ย ดังนั้นการใช้ปุ๋ยในอัตรา 20 มล. /20 ล. พ่นทุก 21 วัน จึงเป็นวิธีการที่ดีที่สุด ในสภาพดินที่ใช้ในการทดลองนี้ เพราะเป็นวิธีที่ประหยัดทั้งปุ๋ยและแรงงานมากที่สุด

5. ควรมีการวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของการใช้ ปุ๋ยทางใบ ในรูปคีเลตกรดอะมิโน กับพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น ทดสอบอัตราการใช้ที่ต่ำกว่าในการทดลองนี้ และในสภาพดินที่แตกต่างกัน

รายการอ้างอิง

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา . (2548). **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น** . สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . กรุงเทพฯ. 547 หน้า.

ทวีศักดิ์ นวลพลับ. (2534). **การปลูกพริก**. ศูนย์ผลิตตำราเกษตรเพื่อชนบท. 61 หน้า.

มณีฉัตร นิกรพันธุ์. (2541). **พริก**. โอ.เอส. พริ้นติ้งเฮ้าส์. กรุงเทพฯ. 196 หน้า.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2543). **ธาตุอาหารพืช.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . กรุงเทพฯ. 424 หน้า.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2549). **ปุ๋ยทางใบ**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 164 หน้า.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2552). **ธาตุอาหารพืช** . สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . กรุงเทพฯ . 529 หน้า.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถสิทธิ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร . (2551). **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน** . สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 519 หน้า.

วิเชียร ฝอยพิกุล . (2536). **ความอุดมสมบูรณ์ของ ดิน**. ภาควิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสุรินทร์. 238 หน้า .

Barel, D. and Black, C.A. (1979). Foliar application of phosphorus (II) Yield responses of corn and soybeans sprayed with various condense phosphate and P-N compounds in greenhouse and field experiments. **J. Agron**. 71: 21-24.

Black, C.A. (1965). Method of soil analysis In: the series **Agronomy American Society of Agronomy Inc**, Medison, Wisconsin, USA.

Bray, R.H. and Kurtz, L.T. (1945). Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. **Soil Sci**. 59: 39-45.

Brennan, R.F. (1991). Effectiveness of zinc sulfate and zinc chelate as foliar sprays in alleviating zinc deficiency of wheat grown on zinc-deficient soils in Western Australian. **Exp. Agric**. 31: 831-834.

Brien, O.J. (2007). The benefit of metalosate® products. Metalosate® Plant Nutrition Newsletter in **Alb. Adv. Nutr**. 8: 4 p.

Chaudhuri, B.B. and De, R. (1975). Effect of soil and foliar application of N and P on yield of tomato. **Soil Sci. and Plant Nutr**. 27: 57-62.

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

Eddings, J.L. and Brown, A.L. (1967). Absorption and translocation of foliar-applied iron. **Plant Physiol**. 42: 15-19.

Fisher, P.R., Wik, R.M., Smith, B.R. Pasian, C.C., Gonzales, M.K. and Argo, W.R. (2003). Correcting iron deficiency in calibrachoa grown in a container medium at high pH. **Hort. Tech**. 13: 308-313.

Flore, J.M. and Bukovac, M.J. (1972). Factors influencing absorption of 14C (2-chloroethyl) phosphoric acid by leaves of cherry. **J. Amner. Soc. Hort. Sci**. 107: 965-968.

Franke, W. (1967). Mechanism of foliar appliar penetration of solution. **Ann. Rev. Plant physiol**. 8: 248-300.

Furia, E.T. (1972). Sequestrants in foods. CRC Handbook of Food Additives. 424 p.

Furuya, S. and Umemiya, Y. (2002). The Influence of Chemical forms on Foliar-applied nitrogen absorption for peach trees. **Acta. Hort**. 594: 97-103.

Gray, R.C. and Akin, G.W. (1984). Foliar fertilization. In "Nitrogen in Crop Re production" (R.C. Dinauer et al. eds). **Amer. Socie. of Agro. Wisc**. 579-584.

Hanson, J.B. (1984). The function of calcium in plant nutrition. *In* Tinker, P.B. and Louchi, A. (eds.) **Adv. in Plant Nutr**. Praeger, New York. 149-207 p.

Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale S.L. and Nelson, W.L. (2005). **Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management**. 7th ed. Pearson Prentice Hall Inc, New Jersey. 528 p.

Hochmuth, G.J. and Hanlon, E.A. (1995). IFAS Standardized Fertilization Recommendations for Vegetable Crops. **Inst. of Food and Agri. Sci**. 8 p.

Hsu, H. Ashmead, H. D. and Graff, D. J. (1982). Absorption and distribution of foliar applied iron by plants. **Plant Nutr**. 5: 969-974.

Huve, K., Remus, R., Luttschwager, D. and Merbach, W. (2003). Transport of foliar applied iron (^{59}Fe) in Vicia faba. **Plant Nutr**. 26: 2231-2242.

Jeppsen, R. (2008). Chelation and the Metalosate Products. Plant Nutrition Newsletter in **Alb. Adv. Nutr**. 9: 4 p.

Jones, J. B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. **CRC Press**

LLC, Boca Raton, Florida.

Köksal, A.I., Dumanoglu, H. and Günes, N.T. (1999). The Effects of Different Amino Acid Chelate Foliar Fertilizers on Yield, Fruit Quality, Shoot Growth and Fe, Zn, Cu, MnContent of Leaves in Williams Pear Cultivar (*Pyrus communis* L.). **Agric. For**. 23: 651-658.

Lester, G.E. and Grusak, M.A. (2004). Field application of chelated calcium: postharvest effects on cantaloupe and honeydew fruit quality. **Hort. Tech**. 14: 29-38.

Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, manganese and copper. **Soil Sci. Soc. Amer. J**. 42: 421-428.

Melarato, S. M. and Cesar V. G. (2001). Evaluation of micronutrients foliar contents in citrus as a Function of fungicides, salts and chelates application etude de la concentration des feuilles de citrus en microéléments en relation avec l'application de fongicides, Sels et Chelates. 7 p.

Modaihsh, A.S. (1997). Foliar application of chelated and non- chelated merals for supplying micronutrients to wheat grown on Calcareous soil. **Expl. Agric**. 33: 237-245.

Neumann, D.M. 1979. Rapid evaluation of foliar fertilizer-induced damage: N, P, K, S on corn. Agron J. 71: 598-602.

Oosterhuis, D.M. (1999). The cotton leaf cuticle and absorption of foliar-applied fertilizer. Proceeding **"Second International Workshop on Foliar Fertilizatio"**. 4-10 April, 1999. Bangkok, Thailand. 253-270 p.

Papadakisa, I.E., Protopapadakisb, E., Theriosa, I.N. and Tsirakogloua, V. (2005). Foliar treatment of Mn deficient 'Washington navel' orange trees with two Mn sources. **Sci. Hort**. 106: 70-75.

Pestana, M., Correia, P.J., Varennes, D.A., Abadia, J. and Faria, E.A. (2001) Effectiveness of different foliar iron applications to control iron chlorosis in orange trees grown on a calcareous soil. **Plant Nutr**. 24: 614-622.

Polle, A., Chakrabarti, K., Chakrabarti, S., Seifert, F., Schramel, P. and Rennenberg, H. (1992). Antioxidants and manganese deficiency in needles of horway spruce tree. **Plant Physiol**. 99: 1084-1089.

Sawan, Z.M., Hafez, S.A. and Basyony, A.E. (2001). Effect of phosphorus fertilization and foliar application of chelated zinc and calcium on seed, protein and oil yields and oil properties

of cotton. **Agric. Sci**. 136: 191-198.

Schönherr, J. and Hüber, R. (1977). Plant cuticles are polyelectrolytes eith isolectric points around three. **Plant Physiol**. 59: 145-150.

Swietlik, D. and Faust, M. (1984). Foliar nutrition of fruit crops. **Hort. Rev**. 6: 287-399.

Tisdale, S.L., Nelson W.L., Beaton J.D. and Havlin J.L. (1993). **Soil fertility and fertilizers**. 5th Edition. Macmillian, New York. 634 p.

Treeby, M.T. and Storey, R. (2002). Calcium spray treatments for ameliorating albedo breakdown in navel oranges. **Exp. Agric**. 42: 495-502.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

ลักษณะประจำพันธุ์พริกที่ปลูกในการทดลอง

พันธุ์พริกที่ปลูกในการทดลองคือ พริกขี้หนูพันธุ์ซุปเปอร์ฮอท เป็นพริกขี้หนูลูกผสมที่เป็นผลงานการวิจัยกว่า 6 ปี โดยพัฒนาสายพันธุ์มาจากพริกขี้หนูไทยที่มีค วามเผ็ดร้อนผสมเข้ากับพันธุ์พริกขี้หนูเกาหลีจนกระทั่ง ได้พริกขี้หนูที่มีคุณสมบัติที่โดดเด่ นคือ เนื้อผลหนา แน่น สีแดงสด และเผ็ดกว่าพริกทั่วไปถึง 2 เท่า ปัจจุบันเกษตรกรให้การยอมรับและปลูกพริกขี้หนูซุปเปอร์ฮอทเพิ่มมากขึ้น

ลักษณะประจำพันธุ์คือ ต้นสูงใหญ่ แตกแขนงดี ข้อถี่และต่อยอดดี ขนาดผลยาว 5-8 ซม.ติดผลดก ทนทานโรค ผลดิบสีเขียว-เขียวเข้ม ผลสุกสีแดง- แดงเข้ม ผลผลิตสดเก็บไว้ได้นานโดยขั้วผลไม่เน่าสามารถส่งไปขายที่ตลาดได้นาน อายุเก็บเกี่ยว 60-65 วันหลังย้ายกล้าปลูก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ให้ทางดินการทดลองที่ 1.1 ประสิทธิ-ภาพการดูดซับ และการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กในรูปคีเลตกรดอะมิโนของพริกในกระถาง

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้น ก./ล. (100X)	
	Stock A	Stock B
KNO_3	13.37	67.43
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	-	47.20
$MgSO_4.7H_2O$	49.20	-
$NH_4H_2PO_4$	15.20	-
$ZnSo_4.7H2O$	-	0.350
$CuSO_4.5H_2O$	-	0.032
$MnSO_4.H_2O$	-	0.020
H_3BO_3	-	0.200
$Na_2MoO_4.2H_2O$	-	0.015

ตารางภาคผนวกที่ 2 ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่ให้ทางดินการทดลองที่ 2 ปฏิสัมพันธ์ของการดูดใช้จุลธาตุที่มีประจุบวกในรูปคีเลตกรดอะมิโน

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้น ก./ล. (100X)	
	Stock A	**Stock B**
KNO_3	13.37	67.43
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	-	47.20
$MgSO_4.7H_2O$	49.20	-
$NH_4H_2PO_4$	15.20	-
$ZnSo_4.7H2O$	-	-
$CuSO_4.5H_2O$	-	-
$MnSO_4.H_2O$	-	-
H_3BO_3	-	-
$Na_2MoO_4.2H_2O$	-	-

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาพภาคผนวกที่ 1 การทดลองที่ 1.1 ประสิทธิภาพการดูดซับ และการเคลื่อนย้ายธาตุเหล็กในรูปคีเลตกรดอะมิโนของพริกในกระถาง

ภาพภาคผนวกที่ 2 การทดลองที่ 2 ปฏิสัมพันธ์ของการดูดใช้จุลธาตุที่มีประจุบวกในรูปคีเลตกรดอะมิโน

ภาพภาคผนวกที่ 3 ระยะที่พริกเริ่มมีตาดอก (แต่ยังไม่ออกดอก)

ภาพภาคผนวกที่ 4 การพ่นปุ๋ยคีเลตกรดอะมิโน

ภาพภาคผนวกที่ 5 สภาพแปลงทดลอง

ภาพภาคผนวกที่ 6 ผลผลิตพริก

ประวัติผู้เขียน

นางสาววาสนา ยอดปรางค์ เกิดเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2528 ที่บ้านหนองม้า ตำบลหนองสาหร่าย อำเภอดอนเจดีย์ จังหวัดสุพรรณบุรี เริ่มศึกษาชั้นประถมปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนดอนเจดีย์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนบรรหารแจ่มใสวิทยา 1 จังหวัดสุพรรณบุรี และ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตพืช) เกียรตินิยมอันดับสอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ.2550

ปี พ.ศ. 2551 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเก ษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับ ทุนเรียนดีระดับบัณฑิตศึกษา และได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา

ผลงานวิจัย : ได้เข้าร่วมประชุมและเสนอผลงานทางวิชาการ ภาคบรรยาย เรื่อง ผลของการพ่นจุลธาตุทางใบในรูปอะมิโนแอซิดคีเลต ต่อการดูดใช้ธาตุอาหาร การเจริญเติบโต และผลผลิตของพริก ในการประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 2 ซึ่งดำเนินงานโดยมหาวิทยาลัยแม่โจ้ร่วมกับสมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย ระหว่างวันที่ 11-13 พฤษภาคม 2554 ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้