ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา	ปฐพีวิทยา
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การทดสอบปุ๋ยสังกะสีและแมกนีเซียมเพื่อการปลูกแตงกวาญี่ปุ่นในดินด่างที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างสูง

Zinc and Magnesium Fertilization for Growing Japanese Cucumber on Basic Soil with High Residual Phosphorus and Potassium

นามผู้วิจัย นางสาวนฤเนตร เกียรติเสริมขจร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(อาจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ศาสตราจารย์เอิบ เขียวรื่นรมณ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์ปริยานุช จุลกะ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิบูลย์ กังแฮ, วท.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การทดสอบปุ๋ยสังกะสีและแมกนีเซียมเพื่อการปลูกแตงกวาญี่ปุ่นในดินด่างที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างสูง

Zinc and Magnesium Fertilization for Growing Japanese Cucumber on Basic Soil with High Residual Phosphorus and Potassium

โดย

นางสาวนฤเนตร เกียรติเสริมขจร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)
พ.ศ. 2552

นฤเนตร เกียรติเสริมขจร 2552: การทดสอบปุ๋ยสังกะสีและแมกนีเซียมเพื่อการปลูกแตงกวาญี่ปุ่นในดินด่างที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างสูง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D. 105 หน้า

ได้ดำเนินการทดสอบผลของปุ๋ยแมกนีเซียมและสังกะสีต่อผลผลิตของแตงกวาญี่ปุ่นและการสะสมธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยลึก จ.เชียงใหม่ วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCBD) จำนวน 10 ตำรับการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ได้แก่ ตำรับควบคุมที่ไม่มีการมีปุ๋ยทั้งสองเพิ่มเติม การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตรา 1-3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ การใส่ปุ๋ยสังกะสีในอัตรา 0.1-0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ และการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับปุ๋ยสังกะสีในอัตรา 1:0.1-3:0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ร่วมกับการให้ปุ๋ยหลัก

ผลการศึกษา พบว่า ผลผลิตน้ำหนักผลสดในเกรด 1 ไม่มีความแตกต่างกัน โดยตำรับควบคุมมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 2,278 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 0.3 กรัม (2,266 กก./ไร่) การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1 กรัมให้ผลผลิตน้ำหนักผลสดในเกรด 2 สูงสุดเท่ากับ 2,040 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าตำรับอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่เมื่อรวมผลผลิตทั้งสองเกรด พบว่า การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตราดังกล่าวให้ผลผลิตน้ำหนักผลสดสูงสุดเท่ากับ 3,942 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีแนวโน้มการให้ผลผลิตสูงกว่าตำรับควบคุม การใส่ปุ๋ยนี้ในอัตรา 3 กรัม และการใส่ปุ๋ยนี้ร่วมกับสังกะสีอัตรา 2:0.2 และ 3:03 กรัม ส่วนตำรับที่เหลือได้ผลผลิตต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นที่น่าสังเกตว่า การใส่ปุ๋ยสังกะสีมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตรวมน้ำหนักผลสดระหว่างเกรด 1 และ 2 เพิ่มขึ้นตามอัตราที่เพิ่ม สำหรับผลผลิตในเกรด U และผลผลิตรวมทุกเกรดไม่มีความแตกต่างกัน

การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมและสังกะสีไม่มีผลทำให้แตงกวาญี่ปุ่นดูดใช้ในโตรเจนขึ้นไปสะสมทั้งในใบและผลเพิ่มขึ้น แต่การใส่แมกนีเซียม และแมกนีเซียมร่วมกับสังกะสีในอัตราสูงสุดมีผลทำให้พืชดูดใช้ฟอสฟอรัสขึ้นไปสะสมในใบมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ร้อยละ 0.6 และ 0.7 ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม ซึ่งคล้ายคลึงกับโพแทสเซียมที่สะสมในใบ การใส่แมกนีเซียมไม่มีผลต่อการสะสมแมกนีเซียมในใบ ขณะที่สังกะสีในใบมีแนวโน้มสะสมเพิ่มขึ้นตามปุ๋ยสังกะสีที่ใส่เพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาควรแนะนำให้เกษตรกรใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มในอัตรา 1 กรัมร่วมกับปุ๋ยหลัก ส่วนการทดสอบปุ๋ยสังกะสีในอัตราที่สูงขึ้น หรือการให้ทางใบอาจช่วยทำให้ได้รับผลผลิตน้ำหนักผลสดเพิ่มขึ้นได้ เมื่อพิจารณาจากแนวโน้มของผลผลิตที่เพิ่มขึ้นตามอัตราของปุ๋ยสังกะสีที่เพิ่มขึ้น

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Naruenatre Kietsermkajorn 2009: Zinc and Magnesium Fertilization for Growing Japanese Cucumber on Basic Soil with High Residual Phosphorus and Potassium. Master of Science (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Mr. Somchai Anusontpornperm, Ph.D. 105 pages.

A trial to investigate the effectiveness of Mg and Zn fertilizers on yield of Japanese cucumber and the concentration of nutrients in plant tissues was conducted at Huai Luek Royal Project Development Centre, Chiang Mai province. The experiment was in RCBD, which employed 10 treatments of different rates of Mg and Zn fertilizers and their combination such as 1, 2 and 3 g Mg plant^{-1} wk^{-1}, 0.1, 0.2 and 0.3 g Zn plant^{-1} wk^{-1}, and a combination of both nutrients at the rates of 1:0.1, 2:0.2 and 3:0.3 g plant^{-1} wk^{-1} all along with fertigation, each with four replications.

Results showed that there was no difference in fresh fruit yield of Japanese cucumber in grade 1 among treatments. The control tended to give the highest yield of 2,278 kg rai^{-1} which was nearly similar to 2,266 kg rai^{-1} obtained from the treatment applied with 0.3 g Zn plant^{-1} wk^{-1}. The application of 1 g Mg plant^{-1} wk^{-1} gave the highest fresh fruit yield in grade 2 of 2,040 kg rai^{-1} which was statistically significantly higher than that of other treatments. The total amounts of grade 1 and 3 yields after applying the same amount of Mg was still statistically highest (3,942 kg rai^{-1}) compared to other treatments with the exception of the one applied with 3 g Mg plant^{-1} wk^{-1} that gave the yield of 3,136 kg rai^{-1}. It can be noticed that the higher rate the application of Zn, the greater amounts of yield in grade 1 and 2 were potentially gained. There was no difference amount yields in grade U.

Application of Mg and Mg plus Zn at the highest rates significantly induced plant to take up more P (0.6 and 0.7 %, respectively) into leaves than did the control which was similar to K uptake into leaves in all treatments added with Mg and Zn fertilizers. There was no correlation between addition of Mg and Mg uptake. The accumulation of Zn in leaves was tentatively higher when applied Zn fertilizer at the highest rate. Results, however, showed no correlation between nutrients concentration and fresh fruit yield of Japanese cucumber obtained from this study. The use of Mg at the rate of 1 g plant^{-1} wk^{-1} clearly increased the fresh yield and should be recommended to local farmer. Considering the yields as affected by Zn application, increase of Zn fertilizer at much higher rates than at the ones used in this experiment or foliar application may help increase fresh fruit yield of Japanese cucumber.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ดร.สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ศาสตราจารย์ ดร. เอิบ เขียวรื่นรมณ์ และอาจารย์ดร.ปริยานุช จุลกะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาด้านการเรียน การค้นคว้าวิจัยและตลอดจนการแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ ทองแพ และรองศาสตราจารย์ ดร. อภิศักดิ์ โพธิ์ปั้น ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ เสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณโครงการหลวง ฝ่ายวิจัยมูลนิธิโครงการหลวงที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้ หัวหน้าและเจ้าหน้าที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยลึก ตำบลห้วยลึก อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์การทดลอง พร้อมทั้งคุณกฤษฎา หงษ์ทอง เจ้าหน้าที่ส่งเสริมฯ ประจำศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยลึก ที่ช่วยเหลือด้านการติดต่อประสานงาน การดำเนินการทดลอง และการเก็บข้อมูลงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณชัยภัทร คงแก้ว เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และสารเคมีในการทดลองต่าง ๆ และขอขอบคุณ พี่ น้องและเพื่อนภาควิชาปฐพีวิทยา ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาตลอดจนให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสมบัติ น้องชายภราดร เกียรติเสริมขจร และว่าที่ร้อยตรีวิวัฒน์ แสงเพ็ชร ที่ให้การสนับสนุน เป็นที่ปรึกษา และให้กำลังใจอันยิ่งใหญ่แก่ข้าพเจ้าตลอดมาจนประสบความสำเร็จในวันนี้ ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันที่ให้การศึกษาและอบรมข้าพเจ้ามาตลอด และท้ายสุดขอขอบคุณผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือ ให้กำลังใจจนข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษา

นฤเนตร เกียรติเสริมขจร

เมษายน 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	25
ผลและวิจารณ์	34
สรุปและข้อเสนอแนะ	70
สรุป	70
ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	73
ภาคผนวก	87
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	105

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปุ๋ยเคมีในระบบชลประทานโดยแบ่งเป็น stock A และ stock B	23
2	สัณฐานวิทยาของดินตัวแทนของแปลงทดลองภายในบริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยลึก จังหวัดเชียงใหม่	36
3	การแจกกระจายขนาดอนุภาคต่าง ๆ และชั้นเนื้อดินของดินในพื้นที่ทดลอง	38
4	พีเอชดินและสถานะธาตุอาหารของดินในพื้นที่ทดลอง	38
5	สมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ทดลอง	39
6	อิทธิพลของปุ๋ยต่อผลผลิตผลสดแตงกวาญี่ปุ่น	48
7	อิทธิพลของอัตราปุ๋ยต่อขนาดผล น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผลแตงกวาญี่ปุ่น (เกรด 1 และ 2)	50

ตารางผนวกที่

1	สมบัติดินบางประการ ก่อนการทดลองปลูกแตงกวาญี่ปุ่น	92
2	ปริมาณความเข้มข้นของธาตุปุ๋ยที่สะสมในใบและผลเมื่อมีการใส่ปุ๋ย	93
3	ปริมาณความเข้มข้นของแมกนีเซียมและแคลเซียมในใบและผลเมื่อมีการใส่ปุ๋ย	94
4	ปริมาณความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในใบและผลเมื่อมีการใส่ปุ๋ย	95
5	แสดงค่าวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในแตงกวาญี่ปุ่น (*Cucumis sativus* L.)	96
6	ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมีของดิน	97
7	ค่าเปรียบเทียบระหว่าง non SI unit เป็น SI unit	104

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเตรียมแปลงสำหรับการทดลองศึกษาการทดสอบปุ๋ยสังกะสีและแมกนีเซียมเพื่อการปลูกแตงกวาญี่ปุ่น	27
2	การเจริญเติบโตของแตงกวาญี่ปุ่นที่อายุ 1-40 วัน	28
3	สภาพพื้นที่และลักษณะหน้าตัดดินในพื้นที่ที่ทำการศึกษา ณ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยลึก อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่	35
4	เปรียบเทียบน้ำหนักผลสดของแตงกวาญี่ปุ่นเฉลี่ยตามเกรด (1, 2 และU) เมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตราต่าง ๆ เปรียบเทียบกับตำรับควบคุม	42
5	เปรียบเทียบน้ำหนักผลสดของแตงกวาญี่ปุ่นเฉลี่ยตามเกรด (1, 2 และU) เมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในอัตราต่าง ๆ เปรียบเทียบกับตำรับควบคุม	44
6	เปรียบเทียบน้ำหนักผลสดของแตงกวาญี่ปุ่นเฉลี่ยตามเกรด (1, 2 และU) เมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับปุ๋ยสังกะสีในอัตราต่าง ๆ เปรียบเทียบกับตำรับควบคุม	46
7	อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมที่มีต่อความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น	52
8	อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมที่มีต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น	54
9	อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมที่มีต่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น	55
10	อิทธิพลของปุ๋ยสังกะสีที่มีต่อความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น	56
11	อิทธิพลของปุ๋ยสังกะสีที่มีต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น	57
12	อิทธิพลของปุ๋ยสังกะสีที่มีต่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น	58
13	อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมและปุ๋ยสังกะสีที่มีต่อความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น	60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมและปุ๋ยสังกะสีที่มีต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น	61
15	อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมและปุ๋ยสังกะสีที่มีต่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น	62
16	อิทธิพลของปุ๋ยในตำรับต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อพืช	63
17	อิทธิพลของปุ๋ยในตำรับต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของสังกะสีในเนื้อเยื่อพืช	64
18	อิทธิพลของปุ๋ยในตำรับต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของแคลเซียมในเนื้อเยื่อพืช	65
19	อิทธิพลของปุ๋ยในตำรับต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของทองแดงในเนื้อเยื่อพืช	66
20	อิทธิพลของปุ๋ยในตำรับต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของเหล็กในเนื้อเยื่อพืช	68
21	อิทธิพลของปุ๋ยในตำรับต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของแมงกานีสในเนื้อเยื่อพืช	69

การทดสอบปุ๋ยสังกะสีและแมกนีเซียมเพื่อการปลูกแตงกวาญี่ปุ่นในดินด่างที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างสูง

Zinc and Magnesium Fertilization for Growing Japanese Cucumber on Basic Soil with High Residual Phosphorus and Potassium

คำนำ

แตงกวา (Cucumber) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cucumis sativus* L. (Decotean, 2000) เป็นพืชฤดูเดียวซึ่งอยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae เช่น แตงกวาญี่ปุ่น เป็นพืชผักใช้กินผล อายุสั้น ต้องการอากาศเย็นกว่าแตงกวาไทย พื้นที่ปลูกโดยทั่วไปมีความสูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 300-1500 เมตรขึ้นไป แตกต่างจากแตงกวาตามท้องตลาดที่ผลยาว เนื้อแน่น เมล็ดเล็ก น้ำน้อย และรสชาติหวานกว่า สามารถรับประทานสด และนำมาประกอบอาหารประเภทต่าง ๆ ได้เช่นเดียวกับแตงกวาทั่วไป (สุเทวี, 2522)

แม้ว่าพืชต้องการใช้ธาตุอาหารรองและจุลธาตุในปริมาณน้อย แต่ก็มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช ขาดธาตุใดธาตุหนึ่งไม่ได้ เพราะถ้าหากมีไม่พอกับความต้องการพืชย่อมจะเจริญเติบโตและให้ผลผลิตลดลงหรือพืชอาจตายได้ ในดินด่างที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างสูง ธาตุที่ตกค้างอยู่ในปริมาณมากทั้งสอง จะมีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ของสังกะสีและแมกนีเซียมในดินค่อนข้างมาก ถ้าค่าพีเอชของดินต่ำกว่า 5.0 หรือสูงกว่า 7.5 ความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินจะลดลง (Moraghan and Mascagni, 1991) และยังมีรายงานว่าพืชมีภาวะขาดสังกะสีได้หากได้รับปุ๋ยฟอสเฟตอัตราสูง พืชจะดูดฟอสฟอรัสเข้าไปสะสมมากจนเป็นพิษและแสดงอาการผิดปกติ คือ เนื้อเยื่อของใบแก่จะตายเป็นหย่อม ๆ (Cakmak *et al*., 1996) สังกะสีมีความสำคัญต่อการสร้างฮอร์โมนและเอนไซม์ต่าง ๆ ในพืช และช่วยส่งเสริมการดูดใช้ธาตุอาหารอื่น ส่วนแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ และยังช่วยสังเคราะห์โปรตีนในคลอโรพลาสต์ หากขาดธาตุดังกล่าวแล้วพืชนั้นก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ครบวัฏจักร (Scott and Robson, 1990b) ซึ่งหากดินมีปริมาณโพแทสเซียมอยู่สูง พืชก็อาจจะแสดงอาการขาดธาตุนี้ได้เช่นกัน

ผลการศึกษาที่ผ่านมา (นครินทร์ทิพย์, 2550) พบว่า การปลูกแตงกวาญี่ปุ่นในดินที่สูงที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างอยู่สูง สามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยทั้งสองลงได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ดินในพื้นที่ที่ใช้ทำการทดลองเป็นดินที่มีปฏิกิริยาเป็นด่าง และจากการที่ดินมีการตกค้างของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมอยู่สูง จึงน่าจะมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของสังกะสีและแมกนีเซียม ดังนั้น การศึกษาเพื่อทดสอบหาปริมาณปุ๋ยสังกะสีและแมกนีเซียมเพื่อลดอาการขาดธาตุทั้งสอง น่าจะเกิดประโยชน์ในเชิงวิชาการและหากสัมฤทธิ์ผลจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้ปลูกด้านการลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากในปัจจุบันการปลูกในดินไม่ค่อยประสบผลสำเร็จ ส่วนการปลูกในวัสดุปลูกมีต้นทุนค่อนข้างสูงและก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากถุงพลาสติกที่ใช้เป็นภาชนะปลูกกำจัดได้ยาก และปัจจุบันมีถุงพลาสติกที่ใช้แล้วสะสมอยู่ในบริเวณพื้นที่สูงเป็นจำนวนมาก

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลการใส่ปุ๋ยสังกะสีและแมกนีเซียมที่มีต่อผลผลิตของแตงกวาญี่ปุ่นที่ปลูกในดินด่างที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างสูง

2. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมธาตุสังกะสีและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ธาตุปุ๋ยของแตงกวาญี่ปุ่น

3. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการและแก้ไขปัญหาอาการขาดธาตุสังกะสีและแมกนีเซียมของแตงกวาญี่ปุ่นที่ปลูกในดินด่างที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างสูง

การตรวจเอกสาร

แตงกวาญี่ปุ่น

1. การจำแนกตามอนุกรมวิธาน

แตงกวาญี่ปุ่น (*Cucumis sativus* L.) มีชื่อสามัญว่า Japanese Cucumber จัดอยู่ในวงศ์ Cucurbitaceae (Decotean, 2000) มีถิ่นกำเนิดและมีการปลูกบริเวณทางตะวันตกของประเทศอินเดียมากว่า 3,000 ปีก่อนคริสตศักราช (Nonnecke, 1989) โดยแตงกวาที่พบตามท้องถิ่นของประเทศอินเดีย มีลักษณะแตกต่างกันอย่างมากด้านขนาด รูปร่าง และสีของผล (Yamakuchi, 1983)

2. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของแตงกวา

ลำต้น เป็นไม้เนื้ออ่อน ฤดูเดียว ในระยะแรกลำต้นจะตั้งตรงจากนั้นเจริญเป็นเถายาวประมาณ 4-8 ฟุต แตกกิ่งแขนงยาว 2-5 ฟุต สำหรับกิ่งแขนงมีลักษณะเป็นแบบ sympodial type โดยแต่ละข้อของกิ่งแขนงจะมีตาด้านข้างซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญสำหรับกิ่งและผลใหม่เกิดตรงข้ามกับใบ ส่วนลำต้นมีลักษณะขรุขระ เมื่อตัดตามขวางจะมีรูปทรงสามเหลี่ยม และเมื่อแก่ลำต้นตรงกลางจะกลวง แต่ละข้อจะมีใบเดี่ยวซึ่งมีขนาดใบ 10-20 เซนติเมตร สำหรับแตงกวาญี่ปุ่นและแตงกวาไร้เมล็ดมีขนาดใบ 20-40 เซนติเมตร มือเกาะบนก้านใบยาว 7-20 เซนติเมตร ขอบใบมีรอยหยักห้าเหลี่ยม ส่วนกลางใบเป็นส่วนที่กว้างที่สุด และมีขนปกคลุมบนผิวใบ และในข้อที่ 3-5 มีมือเกาะด้านล่างของก้านใบ เมื่อมือเกาะเจริญบนวัตถุจะเจริญพันหมุนเวียนรอบวัตถุนั้น เมื่อตัดลำต้นตามด้านขวางจะพบกลุ่มของท่อน้ำ ท่ออาหารจำนวน 10 ท่อ แบ่งออกเป็นสองกลุ่ม โดยกลุ่มแรกจะมีขนาดเล็กอยู่ในขอบเหลี่ยมของลำต้น กลุ่มที่สองจะอยู่ด้านใน เมื่อปลูกแบบเลื้อยในแปลงปลูกในสภาพที่มีความชื้นดินเหมาะสม รากพิเศษจะเจริญออกมาจากข้อ (Fujieda, 1994)

ราก โดยทั่วไประบบรากจะครอบคลุมเป็นบริเวณกว้างซึ่งมักจะแผ่ออกในแนวราบและแนวดิ่งอย่างรวดเร็วและหนาแน่น ความยาวประมาณ 1 เมตรและกระจายอยู่ในระดับไม่เกิน 30 เซนติเมตร รากแขนงอาจยาวประมาณ 15-30 เซนติเมตร ซึ่งอาจจะเจริญได้ลึกกว่ารากแก้วและสามารถทดแทนรากแก้วได้เมื่อต้นเจริญเติบโตเต็มที่ (Weaver and Bruner, 1927)

ดอก แตงกวาญี่ปุ่นมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกัน แต่อยู่บนต้นเดียวกัน เช่น แตงกวาสายพันธุ์พื้นเมือง พันธุ์จากสหรัฐอเมริกา และพันธุ์ที่ใช้สำหรับดอง ดังนั้นดอกตัวเมียจะเจริญเป็นดอกเดี่ยวบนเถาหลักและเถาแขนง ทำให้มีเกสรตัวผู้ที่ไม่สมบูรณ์ กลีบดอกจำนวน 5 กลีบออกสีเหลือง ก้านเกสรตัวเมียอวบและสั้น ส่วนยอดเกสรแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ รังไข่ซึ่งภายในรังไข่มีช่องว่างสามช่อง ต่อมน้ำหวาน (nectary) มีลักษณะเป็นวงแหวนรอบฐานก้านเกสรตัวเมีย ส่วนดอกตัวผู้นั้นมีก้านดอกเรียวเล็ก ไม่มีรังไข่กลีบเลี้ยงมี 5 กลีบ กลีบดอกจะมีสีเหลืองมีก้านเกสรตัวผู้ 3 ก้านซึ่งทั้ง 2 ก้านจะมีอับละอองเกสร 2 อัน ส่วนอีกก้านจะมี 1 หนึ่งอัน มักเจริญที่ข้อเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 3-5 ดอก สำหรับปัจจัยที่ส่งเสริมการแสดงเพศของแตงกวาขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม โดยพบว่าแตงกวาที่มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกันแต่อยู่บนต้นเดียวกันในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง (27 องศาเซลเซียส) ความยาวแสงมากกว่า 14 ชั่วโมงต่อวัน อากาศร้อน ไนโตรเจนสูง และปริมาณน้ำที่พอเหมาะจะทำให้เกิดดอกตัวผู้เป็นส่วนใหญ่ แต่หากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดดอกตัวเมียมากกว่า แต่ต้นที่มีเฉพาะดอกตัวเมียนั้นไม่ได้มีสาเหตุจากสภาพแวดล้อมเพียงอย่างเดียว (Atsmon and Galun, 1960)

ผล เป็นแบบ false berry หรือ pepo มีลักษณะเป็นเหลี่ยมยาว สี ขนาด และรูปร่างขึ้นกับสายพันธุ์ ขณะที่ยังอ่อนจะมีเปลือกสีเขียวแต่เมื่อผลโตเต็มที่จะกลายเป็นสีเหลืองขาว ส่วนผิวด้านนอกจะมีหนาม (Elizabeth *et al*., 2001)

3. สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มของแสงสูงตลอดจนมีความชื้นและธาตุอาหารในดินพอเพียงและสม่ำเสมอ ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมปราศจากโรค แมลง พืชจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและให้ผลผลิตสูงซึ่งจำเป็นจะต้องมีการตัดแต่งกิ่ง เพื่อให้ใบได้รับแสงเต็มที่ การหมุนเวียนของอากาศดี การติดผลมากเกินไป อาจจะทำให้มีอาหารไปเลี้ยงผลไม่พอเพียงทำให้ผลมีคุณภาพต่ำ ควรปลิดผลทิ้งให้มีจำนวนที่เหมาะสม (นิพนธ์, 2543) ในกรณีที่พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ลำต้นขนาดใหญ่ บิดหรือแตก ใบขนาดใหญ่ มือเกาะ (tendrils) ยาว ใบสีเขียวเข้ม ผลจำนวนมาก ดอกขนาดใหญ่ สีเหลืองเข้ม แสดงว่าอัตราการเจริญสูงเกินไป ในทางตรงกันข้ามถ้าหากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม ขาดน้ำ อาหาร พืชจะชะงักการเจริญเติบโต ซึ่งสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต มีดังนี้

อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต การเจริญของดอก การติดและการเจริญของผล ตลอดจนคุณภาพของผล การเจริญของแตงกวาญี่ปุ่นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวัน ถ้าหากอุณหภูมิเฉลี่ยสูง อัตราการเจริญเติบโตจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วงกลางวันและกลางคืนสูง ความสูงของพืชจะเพิ่มขึ้นแต่ขนาดของใบจะลดลง อัตราการเจริญเติบโตของพืชจะสูงที่สุด เมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยกลางวันและกลางคืนอยู่ในช่วง 28 องศาเซลเซียส และผลผลิตจะสูงที่สุดเมื่ออุณหภูมิกลางคืนอยู่ในช่วง 19-20 องศาเซลเซียสและกลางวันอยู่ที่ 20-22 องศาเซลเซียส (Ohsens, 1991)

สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 18-24 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำกว่าร้อยละ 95 เมื่อสภาพความชื้นในอากาศสูงจะทำให้เกิดโรคทางใบได้ง่าย ขณะที่สภาพความชื้นในอากาศต่ำ นอกจากจะเหมาะสำหรับการเจริญเติบโต ยังเหมาะสำหรับการผสมเกสรและการเจริญของผล เนื่องจากเป็นสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเปิดของอับละอองเกสร และการทำงานของแมลง (นิพนธ์, 2543)

แสง การเจริญเติบโตของพืชขึ้นอยู่กับแสงซึ่งช่วยในกระบวนการสร้างอาหาร ในสภาพที่มีความเข้มของแสงต่ำประมาณ 5,500 ลักซ์ (510 แรงเทียน) อัตราการสร้างอาหารในช่วงกลางวันจะต่ำและการใช้อาหารในตอนกลางคืนจะสูง ทำให้ผลร่วงมาก ผลผลิตต่ำ สำหรับเมล็ดที่เพิ่งงอกนั้นต้องการแสงประมาณ 12-14 ชั่วโมงต่อวัน และในช่วงฤดูหนาวใช้เวลาในการเจริญเติบโตประมาณ 5 สัปดาห์แต่ในฤดูร้อนใช้เวลาเพียง 4 สัปดาห์จึงสามารถเคลื่อนย้ายไปปลูกได้ (Yu *et al*., 2002)

ความชื้นสัมพัทธ์ โดยทั่วไปแตงกวาญี่ปุ่นอาจต้องการความชื้นสัมพัทธ์สูงในช่วงระยะการเจริญเติบโต แต่ในบางกรณีจะทำให้เกิดการระบาดของโรคพืชได้ นอกจากนี้จะทำให้พืชมีการคายน้ำต่ำ ส่งผลให้มีการดูดสารละลายและธาตุอาหารของพืชต่ำ โดยเฉพาะแคลเซียมซึ่งพืชจำเป็นสำหรับการเจริญของใบอ่อนและผล สำหรับสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำนั้นจะเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต การผสมเกสร การติดและการเจริญของผล เนื่องจากเป็นสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเปิดของอับละอองเกสรและการทำงานของแมลง แต่ก็จะก่อให้เกิดการระบาดของโรคราแป้งและไรแดง (Bakker *et al*., 1987)

คาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาพอากาศหนาว การปลูกภายในโรงเรือนการระบายอากาศไม่ดี จะมีคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ในช่วงฤดูร้อนซึ่งมีการระบายอากาศดีต้องมีการเติมคาร์บอนไดออกไซด์หากความเข้มข้นต่ำกว่า 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในสภาพอากาศปกติจะมีคาร์บอนไดออกไซด์ 330 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในโรงเรือนให้มีความเข้มข้น 1,000-1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะให้ผลผลิตสูงกว่าปกติร้อยละ 20-40 (Peet *et al*., 1986)

4. ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของแตงกวาญี่ปุ่น

การปลูกพืชรับประทานผลขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้ปลูกที่จะให้อาหารพืชอย่างสมดุลระหว่างการเจริญเติบโตทางลำต้น ใบ ดอกและผล ในกรณีที่มีความสมดุลของธาตุอาหารในการเจริญเติบโตและผลผลิตของแตงกวาญี่ปุ่น สามารถสังเกตจากขนาดของลำต้น ขนาดและสีของใบ จำนวนและการเจริญของดอกผล ขนาดของลำต้นแตงกวาญี่ปุ่นที่เหมาะสมควรมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร เถาแขนงมีขนาด 1 เซนติเมตร มีผลทุกข้อและเจริญอย่างรวดเร็ว (ประมาณ 7 วันหลังการผสมเกสร) ในกรณีที่เถาหรือลำต้นมีขนาดใหญ่กว่า 1.5 เซนติเมตร แสดงว่าอัตราการเจริญด้านลำต้น และใบสูงเกินไป มีผลทำให้เกิดผลหลายผลต่อข้อจนทำให้ธาตุอาหารสำรองไม่พอเพียงต่อการเจริญของลำต้นและผล ทั้งยังทำให้รากหยุดชะงักและผลอาจร่วงได้ สำหรับผลผลิตและระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิตจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและการจัดการน้ำ รวมทั้งการให้ปุ๋ยเคมี เช่น ชนิด ปริมาณและระยะเวลา ถึงแม้ว่าสารอนินทรีย์อาจจะเป็นส่วนประกอบอยู่ในพืชในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ (ร้อยละ 1) แต่ชนิด ปริมาณและเวลาที่ใส่ปุ๋ยนั้นมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของแตงกวาอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกในโรงเรือน แม้ว่าแตงกวาญี่ปุ่นเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารมากแต่การใส่ปุ๋ยมากเกินไปอาจจะทำอันตรายต่อราก เนื่องจากเป็นพืชที่ค่อนข้างอ่อนแอต่อความเค็มของสารละลายซึ่งการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตจะลดลงเมื่อค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: EC) ของสารละลายที่ใส่ลงไปสูงขึ้น ดังนั้นจึงควรมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ (Graifenberg *et al*., 1986; Papadopoulos, 1994)

5. ดินด่าง

ดินด่างมีเบสิกแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้สูง จะมีค่าพีเอชดินอยู่ในพิสัย 7.5-8.5 (Moraghan and Mascagni, 1991) โดยปกติมักพบดินด่างในเขตแห้งแล้ง หรือค่อนข้างแห้งแล้ง (Brady and Weil, 2002) สภาพดังกล่าวดินมักมีการชะละลายต่ำ จึงมีการสะสมสารประกอบคาร์บอเนตในดินสูง โดยทั่วไปดินเหล่านี้จะมีความอุดมสมบูรณ์สูง แต่เนื่องจากปฏิกิริยาของดินที่เป็นด่าง จึงมีโอกาสทำให้พืชปลูกขาดจุลธาตุที่เป็นประจุบวกได้ (ไพบูลย์, 2530; เอิบ, 2533) มีผลกระทบต่อการสูญเสียหรือการตรึงของธาตุอาหารทั้งหมด พืชที่ปลูกในดินด่างโดยทั่วไปมักแสดงอาการขาดธาตุเหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดงเสมอ (Marschner, 1995) แต่หากดินที่มีค่าพีเอชดินสูงกว่า 8.5 มักจะมีแคลเซียมในระดับต่ำ แต่จะมีโซเดียมในปริมาณสูง ซึ่งถ้าดินมีระดับของโซเดียมแลกเปลี่ยนได้มากกว่าร้อยละ 40-50 พืชก็จะแสดงอาการขาดแคลเซียมและแมกนีเซียมได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Waskom *et al*., 2003)

6. ปริมาณการตกค้างของธาตุอาหารพืชในดิน

เล็ก (2548) ได้รวบรวมผลการวิเคราะห์ทางเคมีของพื้นที่ปลูกผักใน 9 สถานี/ศูนย์พัฒนาโครงการหลวง พบว่า การสะสมปริมาณธาตุอาหารพืชโดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสและธาตุโพแทสเซียมมีปริมาณสูงมากเกินความต้องการที่พืชทั่วไปจะใช้หมด ในประเทศไทยการประเมินปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการว่าจะเพียงพอหรือไม่นั้น ไนโตรเจนจะประเมินจากปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งปริมาณการตกค้างของไนโตรเจนในดินจากปุ๋ยมีน้อยมาก ส่วนใหญ่จะสูญเสียโดยการละลายหรือระเหยออกไป ส่วนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจะประเมินจากค่าวิกฤติ (critical value) ของผลการวิเคราะห์ดิน ค่าวิกฤติของฟอสฟอรัสที่ใช้สำหรับพืชทั่วไปรวมถึงพืชผัก มีค่าระหว่าง 15-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมมีค่าระหว่าง 40-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ค่าเฉลี่ยของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินในพื้นที่ของมูลนิธิโครงการหลวง พบมีค่าอยู่ระหว่าง 85-409 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คิดเป็น 6-27 เท่าของระดับที่เพียงพอกับความต้องการของพืชส่วนโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 276-468 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คิดเป็น 7-12 เท่าของระดับที่เพียงพอกับความต้องการของพืช ขณะที่ค่าสูงสุดของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่พบสูงสุดมีมากถึง 900 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คิดเป็น 45-60 เท่าของระดับที่เพียงพอกับความต้องการของพืช ส่วนโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มีอยู่ถึง 808 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือคิดเป็น 9-23 เท่าของระดับที่เพียงพอกับความต้องการของพืช สาเหตุที่มีการสะสมของธาตุอาหารพืชในดินสูง เนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยเคมีติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ธาตุฟอสฟอรัสจึงเกิดการสะสมในดิน

ทั้งนี้เพราะฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มีเพียงร้อยละ 10-20 ของปริมาณที่ใส่ไปในดินแต่ละครั้ง ที่เหลือจะสะสมอยู่ในดิน ส่วนโพแทสเซียมแม้จะสามารถละลายน้ำและถูกชะละลายได้ง่าย แต่ก็สามารถถูกดูดซับไว้ในดินได้โดยเฉพาะดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่สูง ในพื้นที่ของโครงการหลวงที่เกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง ปัญหาการสะสมของธาตุอาหารพืชเหล่านี้จะมีความรุนแรงขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้สภาพโรงเรือน เนื่องจากกระบวนการชะละลายเกิดขึ้นได้น้อยกว่าสภาพธรรมชาติภายนอกโรงเรือน ในสภาพดังกล่าว ควรงดหรือลดการใช้ปุ๋ยทั้งสองลง เพราะนอกจากจะเป็นการสิ้นเปลืองปุ๋ยแล้ว การสะสมของธาตุทั้งสองในปริมาณสูง อาจจะส่งผลกระทบต่อสมดุลของธาตุอาหารอื่นในดิน เช่น ธาตุสังกะสีและธาตุแมกนีเซียม

7. อิทธิพลของฟอสฟอรัสต่อการดูดใช้ธาตุอาหารอื่น

ฟอสฟอรัสมีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับการสะสมและปลดปล่อยพลังงานในกระบวนการเมแทบอลิซึม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในพืช Oberson and Joner (2005) กล่าวว่า การขาดธาตุฟอสฟอรัสมีผลทำให้ใบร่วงก่อนแก่ ดอกและผลไม่สมบูรณ์ ผลสุกก่อนแก่ แต่ถ้าพืชได้รับฟอสฟอรัสมากเกินไปจะเร่งการสุกของผลให้เร็วขึ้น เพราะไปลดการดูดธาตุไนโตรเจน นอกจากนี้ธาตุฟอสฟอรัสยังช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียม ทั้งยังส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากแขนงและรากฝอย

ฟอสฟอรัสและสังกะสีแสดงการขัดขวางซึ่งกันและกันในด้านการดูดและการสะสมธาตุทั้งสองของพืช (Blair *et al.*, 1990) สุรศักดิ์ (2516) พบว่า การเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในดินให้มากขึ้นจะทำให้การเคลื่อนย้ายของสังกะสีภายในพืชลดลง เพราะสังกะสีและฟอสฟอรัสมีอิทธิพลร่วมในเชิงลบต่อกันและกัน

อันตรกิริยาระหว่างฟอสฟอรัสกับสังกะสีอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ฟอสฟอรัสเป็นพิษต่อพืชได้ กล่าวคือ ในขณะพืชมีภาวะขาดสังกะสีหากได้รับปุ๋ยฟอสเฟตอัตราสูง พืชจะดูดฟอสฟอรัสเข้าไปสะสมมากจนเป็นพิษและแสดงอาการผิดปกติ คือ เนื้อเยื่อของใบแก่ตายเป็นหย่อม ๆ อาการเช่นนี้เนื่องมาจากขณะนั้นสัดส่วนฟอสฟอรัสต่อสังกะสีสูงมาก ในพืชทั่วไปหากใบพืชมีฟอสฟอรัสมากกว่าร้อยละ 2 อาจแสดงอาการเป็นพิษได้ (ยงยุทธ, 2546; Cakmak *et al*., 1996)

Olson (1965) และ Katyal *et al*. (1992) กล่าวว่า สาเหตุของฟอสฟอรัสที่ทำให้การดูดใช้สังกะสีโดยพืชลดลงเนื่องจาก 1) ฟอสฟอรัสไปลดความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดิน 2)

ฟอสฟอรัสจะลดการดูดซับของสังกะสีในรากและต่อมาก็จะทำให้การเคลื่อนย้ายของสังกะสีในรากไปสู่ลำต้นลดลง และ 3) สังกะสีที่มีอยู่น้อยในส่วนเหนือดินของพืชเกิดขึ้นจากฟอสฟอรัสที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ ความไม่สมดุลของฟอสฟอรัสและสังกะสีจะทำให้เมแทบอลิซึมในพืชเปลี่ยนไป

นอกจากนี้ Prasad and Power (1997) ยังกล่าวว่า ธาตุฟอสฟอรัสที่มากเกินพอจะส่งผลต่อธาตุเหล็กที่เป็นประโยชน์ ระดับของฟอสฟอรัสสูงจะทำให้พืชขาดเหล็กอย่างรุนแรงซึ่งขึ้นอยู่กับระดับของค่าพีเอชดิน โดยเฉพาะสัดส่วนของลำต้นต่อรากจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับฟอสฟอรัสสูงแต่มีเหล็กอยู่ในระดับต่ำ

8. อิทธิพลของโพแทสเซียมต่อการดูดใช้ธาตุอาหารอื่น

โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต โดยทำหน้าที่ควบคุมแรงดันออสโมติกของเซลล์ การเปิด-ปิดปากใบ รักษาระดับความเป็นกรด-ด่างในไซโทพลาสซึมและคลอโรพลาสต์ การกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และส่งเสริมการเจริญเติบโตของเยื่อเจริญส่วนปลายยอดหรือราก (Andres and Edgardo, 2002)

ประสิทธิภาพของการดูดดึงโพแทสเซียมโดยพืช จะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุต่าง ๆ ในดิน (ชัยฤกษ์, 2530) เช่น ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งมีผลทำให้พืชแสดงอาการขาดโพแทสเซียม ส่วนแคลเซียมช่วยในการนำโพแทสเซียมขึ้นไปใช้โดยพืช กรณีที่ขาดแคลเซียมพืชจะแสดงอาการขาดโพแทสเซียมด้วย สำหรับแอมโมเนียมนั้นเป็นตัวจำกัดการนำโพแทสเซียมไปใช้ประโยชน์อย่างมาก และการขาดโพแทสเซียมจะทำให้พืชขาดธาตุเหล็กได้อีกด้วย การใช้โพแทสเซียมในอัตราที่สูงจะไม่เป็นอันตรายต่อพืชแต่จะเป็นสาเหตุให้พืชขาดธาตุอื่นๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก เป็นต้น นอกจากนี้พืชอาจดูดโพแทสเซียมเข้าไปมากแต่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตซึ่งเรียกว่า “luxury consumption” สอดคล้องกับ นิพนธ์ (2543) ที่รายงานว่าประสิทธิภาพการดูดใช้โพแทสเซียมจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งอาจมีผลทำให้พืชแสดงอาการขาดโพแทสเซียมได้ ส่วนแคลเซียมจะช่วยในการนำโพแทสเซียมขึ้นไปใช้โดยพืช

Jayaram and Allen (1994) รายงานว่า อัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนกับโพแทสเซียมมีความสำคัญมากในช่วงแรกของการเจริญเติบโต โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณสูงร่วมกับปุ๋ย

โพแทสเซียมในปริมาณต่ำจะทำให้เกิดการหักล้มได้ง่าย และอัตราส่วนระหว่างไนโตรเจนกับโพแทสเซียมยังส่งผลต่อคุณภาพของโปรตีนในพืชด้วย

หากในสารละลายมี K^{+}, NH^{4+}, Ca^{2+}, Mn^{2+} และ H^{+} ละลายอยู่สูง พืชจะดูดกิน Mg^{2+} ลดลง จึงอาจพบอาการขาดแมกนีเซียมได้เสมอ หากธาตุต่าง ๆ เหล่านี้ในดินขาดความสมดุล (Mengel and Kirkby, 1982) Mulder (1950) รายงานว่า ต้นแอปเปิลที่ปลูกในดินที่มีธาตุโพแทสเซียมอยู่ในระดับสูงมักจะแสดงอาการขาดแมกนีเซียมในใบ และปริมาณของธาตุแมกนีเซียมในพืชจะเพิ่มขึ้นเมื่อปลูกในดินที่มีระดับของธาตุโพแทสเซียมต่ำ (Leggett and Gilbert, 1969; Grimme *et al*., 1974; Mengel and Kirkby, 1982; Taiz and Zeiger 1998)

ยงยุทธ (2546) รายงานว่า โพแทสเซียมมีบทบาทร่วมกับสังกะสีในการควบคุมการเปิด-ปิดปากใบ เมื่อพืชขาดสังกะสี เซลล์คุมจะไม่เต่ง ปากใบจะปิด ทั้งยังมีบทบาทในกระบวนการเมแทบอลิซึมของดีเอ็นเอ อาร์เอ็นเอ การสังเคราะห์โปรตีนและการแบ่งเซลล์

Linn and Chang (1972) รายงานว่า ธาตุโพแทสเซียมมีอิทธิพลร่วมกับฟอสฟอรัสในการพัฒนาของรากหน่อไม้ฝรั่ง นอกจากนี้โพแทสเซียมยังมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์พืช สำหรับการให้ผลผลิต และยังมีรายงานอีกว่า ธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมมีบทบาทร่วมกันในการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของหน่อไม้ฝรั่ง โดย Sander (1999) ได้ทดลองปลูกหน่อไม้ฝรั่งในดินทรายเป็นเวลา 5 ปี พบว่า การให้ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับปุ๋ยโพแทสเซียมจะช่วยให้หน่อไม้ฝรั่งให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น และให้ผลผลิตสูงสุดเมื่อให้ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราไม่เกิน 150 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์

9. ลักษณะการขาดธาตุอาหารในดินที่มีค่าพีเอชสูง

Hesse (1971) รายงานว่า ในดินด่างฟอสฟอรัสมักจะถูกตรึงอยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟต แต่ถ้าค่าพีเอชของดินลดต่ำกว่า 5.5 แคลเซียมฟอสเฟตจะถูกปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น และในทางกลับกัน ถ้าค่าพีเอชของดินสูงกว่า 9.0 หรือมีฟลูออไรด์ไอออนอยู่ในดิน เหล็กและอะลูมิเนียมจะถูกปลดปล่อยออกมา

ค่าพีเอชของดินมีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินค่อนข้างมาก โดยสังกะสีในดินจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้เมื่อค่าพีเอชอยู่ในพิสัย 5.5-7.0 ถ้าค่าพีเอชของดินต่ำกว่า

5.0 หรือสูงกว่า 7.5 ความเป็นประโยชน์ของสังกะสีในดินจะลดลงเป็นอย่างมาก (Moraghan and Mascagni, 1991)

อาการของพืชที่ปลูกในดินที่มีค่าพีเอชสูง ได้แก่ การเกิดคลอโรซิส และการหยุดการเจริญเติบโต ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่ดินมีค่าพีเอชสูง ส่งผลต่อการละลายของธาตุอาหาร ซึ่งได้รับผลกระทบจากความเป็นพิษของไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) ที่มีผลต่อระบบทางสรีระและชีวเคมี ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตมีอิทธิพลต่อกระบวนการทางเคมีในบริเวณใกล้รากพืช (Pearce *et al*., 1999)

ในดินที่มีค่าพีเอชสูง ดินเหล่านี้จะมีธาตุเหล็กที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์น้อย ธาตุเหล็กจะอยู่ในรูปเฟอริกไฮดรอกไซด์ซึ่งมีการละลายได้ต่ำ (Anderson, 1982) Romheld (2000) ได้ทดลองปลูกพืชในสารละลายที่มีการเติมไบคาร์บอเนต พบว่า ปริมาณธาตุเหล็กในใบจะต่ำ เนื่องจากไบคาร์บอเนตจะยับยั้งการดูดธาตุนี้ การปลูกในแปลงปลูกที่ดินมีค่าพีเอชสูง พืชจะมีปริมาณเหล็กในใบอ่อนต่ำ จึงแสดงอาการเหลืองซีดในใบอ่อนมากกว่าใบปกติเนื่องจากการขาดธาตุนี้ แสดงว่าเหล็กอยู่ในสภาพไม่อิสระในการทำหน้าที่ (inactive iron) ทั้งนี้เป็นผลมาจากไบคาร์บอเนตและไนเตรทไปทำให้พีเอชของ apoplast ในใบสูงขึ้น จึงไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาเฟอริกรีดักเทสซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เปลี่ยนเฟอริกในรูปไม่อิสระในการทำหน้าที่ไปเป็นเฟอรัสซึ่งเป็นรูปที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

เมื่อดินมีปฏิกิริยาเป็นด่างหรือมีค่าพีเอชสูงขึ้น แมงกานีสจะอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (non-exchangeable form) การดูดซับทางเคมีของแมงกานีสบนผิวหน้าแคลเซียมคาร์บอเนต อาจเป็นสิ่งสำคัญในการเกิดกระบวนการที่ทำให้แมงกานีสอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช กล่าวคือ แมงกานีสจะตกตะกอนในรูป manganocalcite ซึ่งจะพบลักษณะดังกล่าวในดินเนื้อปูน (McBride, 1979; Curtin *et al*., 1980)

10. ธาตุแมกนีเซียม

แมกนีเซียมพบอยู่ในดินได้ 3 รูป คือ 1) แมกนีเซียมไอออนในสารละลายดิน 2) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ซึ่งดูดซับอยู่ที่ผิวของคอลลอยด์ดิน พืชสามารถดูดใช้แมกนีเซียมทั้งสองรูปนี้ไปใช้ประโยชน์ได้โดยง่าย และ 3) เป็นองค์ประกอบของเกลืออนินทรีย์และแร่ต่าง ๆ ในดิน ค่าพีเอชของดินมีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุนี้ในดินอย่างมาก (ยงยุทธ, 2546)

แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณที่พืชต้องการอยู่ในพิสัย 50-100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ (Scott and Robson, 1990b) มีบทบาทในการควบคุมเอนไซม์ให้มีขนาดและรูปทรงที่สามารถเข้ากันได้ดีกับซับสเตรท (substrate) และยังช่วยควบคุมสภาพความเป็นกรดหรือด่างในเซลล์ให้พอเหมาะอยู่เสมอ พืชจึงต้องการธาตุนี้ในปริมาณค่อนข้างมาก (Clarkson and Hanson, 1980) แมกนีเซียมในแวคิวโอลจะทำหน้าที่ควบคุมความเต่งของเซลล์ (Wu *et al*., 1991) ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนในคลอโรพลาสต์ (Scott and Robson, 1990a) เป็นปัจจัยร่วมของเอนไซม์หลายชนิด (Devlin and Witham, 1983) และจำเป็นต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ของพืช (ชวนพิศ, 2544) เช่น photophosphorylationในกระบวนการสังเคราะห์แสง และoxidative phosphorylation ในกระบวนการหายใจ (นวรัตน์, 2541)

การขาดแมกนีเซียมในแตงกวาจะปรากฏที่ใบแก่ก่อน โดยบริเวณเส้นใบจะมีสีเหลืองซีดไล่จากขอบใบเข้าสู่กลางใบ การขาดในระดับกลาง ลำต้นและใบจะเจริญเติบโตปกติ แต่เมื่อเกิดการขาดในระดับรุนแรงขึ้น ใบจะเริ่มมีสีเหลืองซีด รวมทั้งเส้นเล็ก ๆ จะขยายวงกว้างขึ้น มีเพียงแต่เส้นใบเส้นใหญ่ยังคงเขียวอยู่ บางครั้งอาการเหลืองซีดจะปรากฏตุ้มแผลซีดขาวแพร่กระจายอยู่ระหว่างเส้นใบด้วย (Roorda and Smith, 1981)

นิพนธ์ (2543) กล่าวว่า สาเหตุของการขาดแมกนีเซียมจะเกิดจากพืช ไม่ได้เกิดจากดิน ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากการใส่ธาตุอาหารบางชนิดสูงเกินไป เช่น ใส่โพแทสเซียมหลังปลูก แคลเซียม (จากการใส่ปูนขาวมากเกินไป) แอมโมเนียมหรือดินเป็นกรด ในสภาพดังกล่าวพืชจะไม่สามารถดูดแมกนีเซียมขึ้นไปใช้ประโยชน์ได้เพียงพอ ดังนั้น พืชจะเคลื่อนย้ายแมกนีเซียมจากใบแก่ไปยังใบอ่อน ในการปลูกพืชไร้ดินพืชจะแสดงอาการขาดธาตุดังกล่าวเมื่อมีระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมลดลงจากระดับที่เหมาะสม หรือขาดความสมดุลระหว่างไอออน K^+, NH_4^+, Ca^{2+} และ H^+

Tisdale *et al*. (1985) รายงานว่า ความเป็นประโยชน์ของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่พืชใช้นั้นมีอิทธิพลมาจากอัตราส่วนของธาตุประจุบวกเหล่านี้กับประจุบวกธาตุอื่น เช่น อัตราส่วนของแคลเซียมต่อปริมาณแมกนีเซียมร่วมกับโพแทสเซียมในสารละลายที่ควรมีค่า 0.1 ถึง 0.2 ซึ่งโดยทั่วไปต้องคำนึงถึงความต้องการที่เหมาะสมของแคลเซียม ปริมาณแคลเซียมที่มากเกินพออาจจะเป็นปฏิปักษ์กับการดูดใช้ของธาตุแมกนีเซียม หากอัตราส่วนของแคลเซียมและแมกนีเซียมในสารละลายมีมากกว่า 7:1 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการใส่ปูนอย่างต่อเนื่องในดินเนื้อหยาบอาจทำให้เกิดอาการขาดแมกนีเซียม ในทางกลับกันหากอัตราส่วนของแคลเซียมและแมกนีเซียมน้อยกว่า 2:1 จะส่งผลให้แมกนีเซียมมีการแลกเปลี่ยนสูงซึ่งจะขัดขวางการดูดใช้ของธาตุแคลเซียม ใน

ทำนองเดียวกัน ธาตุโพแทสเซียมเป็นปฏิปักษ์ต่อการดูดใช้ธาตุแมกนีเซียมซึ่งจะเกี่ยวข้องกับธาตุแมกนีเซียมมีปริมาณที่ต่ำ ข้อแนะนำอัตราส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมจะต้องมีน้อยกว่า 3:1 ในผักและหัวบีท และ 2:1 ในผลไม้และพืชที่ปลูกในโรงเรือน

Jones *et al*. (1991) รายงานว่า ปริมาณแมกนีเซียมในพืชควรอยู่ในพิสัย 1.5-10.0 กรัมต่อกิโลกรัม ในใบพืชที่อบแห้ง โดยค่าที่บ่งบอกความเพียงพอในใบพืชทั่ว ๆ ไป จะมีค่า 2.5 กรัมต่อกิโลกรัม ค่าวิกฤตของแมกนีเซียมจะมีค่าผันแปรระหว่างชนิดของพืช แมกนีเซียมจะมีปริมาณต่ำสุดในพวกธัญพืช และสูงสุดในพืชตระกูลถั่วและไม้ผลชนิดต่าง ๆ

ดินที่มีแมกนีเซียมอยู่น้อยหรือดินที่มีปัญหาขาดแมกนีเซียมเนื่องจากการใส่ปูนหรือปุ๋ยโพแทสเซียมมากเกินไปทำให้ต้องใส่ปุ๋ย kieserite ($MgSO_4.H_2O$) เนื่องจากละลายดี ออกฤทธิ์เร็ว นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยคอกลงในดิน สามารถแก้ไขดินที่ขาดแมกนีเซียมได้เพราะปุ๋ยคอกมีแมกนีเซียมอยู่ในปริมาณมากพอสมควร และการใส่วัสดุอื่น ๆ ที่ให้แมกนีเซียมแก่ดิน เช่น dolomitic limestone (5-44% $MgCO_3$), dolomite (8-12.5% Mg), magnesium sulfate ($MgSO_4.7H_2O$) และ sulfate of potash and magnesia ($K_2SO_4.MgSO_4.6H_2O$) ซึ่งมี K_20 22% และ MgO 18-19% (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Heming and Hollis, 2008)

11. บทบาทของจุลธาตุอาหาร

ความสำคัญของจุลธาตุอาหารที่มีผลต่อพืชจะมีหน้าที่หนึ่งอย่างหรือหลายอย่าง โดยมีหน้าที่ต่าง ๆ กัน (Plaster, 1992) ดังต่อไปนี้

1) ทำหน้าที่ช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยาบางอย่างในพืชให้สามารถดำเนินไปได้อย่างรวดเร็วและง่ายขึ้น

2) ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในสารประกอบที่สำคัญบางชนิดในพืช

3) ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการออกซิเดชัน และรีดักชันที่เกิดขึ้นในพืช

4) ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณกรดที่มีอยู่ในพืช

5) มีอิทธิพลควบคุมความเข้มข้นของสารละลายในพืช

11.1 ธาตุเหล็ก

เหล็กเป็นธาตุแรกในบรรดาจุลธาตุอาหารที่พบว่ามีความสำคัญและจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ธาตุเหล็กเกี่ยวข้องอยู่กับกระบวนการด้านสรีรวิทยาของพืช มีหน้าที่ช่วย

เสริมสร้างคลอโรฟิลล์ ปริมาณของคลอโรฟิลล์ในพืชมีความสัมพันธ์อยู่กับปริมาณของธาตุเหล็กที่ได้รับ เมื่อพืชได้รับธาตุเหล็กในปริมาณที่เพียงพอแล้วจะทำให้กระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์เป็นไปได้ดียิ่งขึ้น (Chen and Barak, 1982; Sanz *et al*., 1992) นอกจากนี้ยังช่วยในกระบวนการหายใจ เป็นองค์ประกอบของ cytochrome ซึ่งอยู่ในไมโทคอนเดรียและเป็นตัวจักรสำคัญในกระบวนการหายใจของพืช (Havlin *et al*., 2005) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสาร Ferrodoxin ใช้ในการลดและเติมออกซิเจนในปฏิกิริยาชีวเคมี เป็นสารประกอบของ Hemoglobin (กิตตินันท์, 2542) ธาตุนี้จะไม่เคลื่อนย้ายในพืช (immobile element) ซึ่งพืชไม่สามารถดึงเหล็กจากส่วนที่สะสมอยู่ที่ใบแก่เพื่อนำไปใช้ในใบอ่อนได้ (Tisdale and Nelson, 1963) การดูดซับธาตุเหล็กของพืชถูกยับยั้งเมื่อมีค่าพีเอชของดินสูง (Marschner, 1995)

ลักษณะการขาดธาตุอาหารชนิดนี้ของพืชจะเกิดบริเวณใบอ่อน อาการในขั้นแรกจะมีสีเหลืองปนเขียวหรือสีเหลือง แต่เส้นใบจะมีสีเขียว เมื่อมีอาการขาดถึงขั้นรุนแรงจะเริ่มจากเส้นใบขนาดเล็กเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือขาว หน่อจะหยุดชะงักการเจริญเติบโต ใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและความรุนแรงของการขาดธาตุเหล็กยังขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่างธาตุเหล็กกับแมงกานีสและสังกะสีด้วย (สุวพันธ์ และคณะ, 2528; Prasad and Power, 1997)

กิตตินันท์ (2542) รายงานว่า สาเหตุของการขาดธาตุนี้เนื่องจากวัสดุปลูกมีค่าพีเอชสูง มีปริมาณแมงกานีสสูง ออกซิเจนไม่พอ รากไม่สมบูรณ์ ตาย หรืออยู่ในสภาพน้ำขัง ควรเพิ่มปริมาณออกซิเจนบริเวณราก โดยการปรับอัตราส่วนผสมของวัสดุปลูก ให้น้ำในปริมาณที่เหมาะสม ควบคุมให้พืชมีอัตราการคายน้ำที่เหมาะสม การใส่ธาตุนี้มากเกินไป พืชจะแสดงอาการขาดคล้ายกับอาการขาดแมกนีเซียม

Orto and Brancadoro (2000) พบว่า การปลูกองุ่นในดินเนื้อปูนจะเกิดอาการใบเหลืองซีด ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการฉีดพ่นเหล็กคีเลตกับใบที่เกิดอาการ แต่เป็นการแก้ปัญหาแบบชั่วคราว การแก้ปัญหาที่ยั่งยืนควรจะคัดเลือกหาสายพันธุ์ที่ทนทานต่อการเกิดใบเหลืองซีดเนื่องจากขาดธาตุเหล็ก และได้ทำการทดลองกับองุ่นสองสายพันธุ์ คือ *Vitis vinifera* และ *Vitis riparia* ที่ต้านทาน และอ่อนแอตามลำดับ โดยปลูกในสารละลายและวัดอัตราการเกิดเหล็กรีดักชันของรากและวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของสารละลาย ซึ่งไม่พบความแตกต่างระหว่างองุ่นสองพันธุ์นี้ในเรื่องของความสามารถในการปล่อยโปรตอน (H^+) เพื่อลดค่าพีเอชของสารละลาย แต่พบว่า องุ่นพันธุ์ *Vitis vinifera* ซึ่งทนทานต่อการขาดเหล็ก มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเฟอริกรีดักเทสที่รากสูงกว่าพันธุ์ *Vitis riparia* ซึ่งอ่อนแอต่อการขาดธาตุเหล็ก นอกจากนี้ยังมีรายงานที่คล้ายคลึงกันคือ การ

คัดเลือกหาพันธุ์องุ่น แอบเปิ้ล ท้อ ส้ม อาโวกาโด และกีวี โดยสามารถคัดเลือกจากปฏิกิริยาเฟอริกรีดักเทส ซึ่งพบว่า พืชที่ทนต่อการขาดธาตุเหล็กจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเฟอริกรีดักเทสสูงกว่าพืชที่อ่อนแอ (Romera *et al*., 1991)

Shenker and Chen (2005) รายงานว่า เหล็กเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช มักมีการขาดเสมอในดินด่าง ซึ่งเหล็กจะจำกัดการให้ผลผลิตของพืชเป็นส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 30)

Lindsay (1972) รายงานว่า การแก้ไขคลอโรซิสเนื่องจากการขาดเหล็ก โดยการใส่ปุ๋ยที่มีธาตุเหล็กทางดินนั้นจะให้ผลน้อยมากเพราะเหล็กที่ใส่จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูป trivalent iron hydrated oxides ซึ่งไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช และการใช้ปุ๋ย $FeSO_4$ ในปริมาณร้อยละ 1-2 โดยการฉีดพ่นทางใบจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ปุ๋ย $FeSO_4.7H_2O$ ซึ่งมีเหล็กในอัตรา 10-20 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ นอกจากนี้ ในการทดลองของสุวพันธ์ และคณะ (2528) ยังพบว่า การใช้ปุ๋ยเหล็กทางใบในรูปเหล็กซัลเฟต (0.5% W/V) ผสมสารลดความตึงผิว (wetting agent) เช่น Tween 80 (0.25%W/V) ฉีดพ่นถั่วลิสงจะช่วยแก้อาการขาดธาตุเหล็กได้ และการใช้พันธุ์ถั่วลิสงที่เหมาะสมจะสามารถให้ผลผลิตสูงด้วย

11.2 ธาตุสังกะสี

ค่าเฉลี่ยของปริมาณของธาตุสังกะสีในดินมีอยู่ประมาณ 17-160 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สังกะสีในสารละลายดินจะอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนและอาจมีการแลกเปลี่ยนกับแร่ดินเหนียวและอินทรียวัตถุ หรือดูดซับที่ผิวอนุภาคดิน ความสามารถในการละลายของสังกะสีขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของดิน หากค่าพีเอชของดินมีค่าสูง สังกะสีก็จะละลายออกมาได้น้อย นอกจากนี้หากมีแคลเซียมคาร์บอเนตในดิน ความเป็นประโยชน์ของสังกะสีก็จะค่อนข้างต่ำ เพราะสังกะสีในสารละลายดินจะตกตะกอนเป็นสารประกอบ $ZnCO_3$ (Davies, 1980; Mehta *et al*., 1984; Swietlik, 1989; Kevin *et al*., 2003)

สังกะสีมีความสำคัญต่อการสร้างฮอร์โมนและเอนไซม์ต่าง ๆ ในพืช ช่วยการดูดใช้ธาตุอาหารอื่น (Cakmak *et al*., 1996) และมีความสำคัญต่อเอนไซม์ของพืชที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ tryptophan (Tsui, 1948) ซึ่งจำเป็นต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมของโปรตีน โดยสังกะสีจะอยู่ร่วมกับ carbonic anhydrase ในรูป zinc metalloenzym (Price *et al*., 1972)

การขาดธาตุสังกะสีเป็นปัญหาที่สำคัญในการผลิตพืชในประเทศจีน โดยเฉพาะในดินที่มีค่าพีเอชสูง และมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ (Liu *et al*., 1993; Liu, 1996) Cakmak *et al*. (1996) เสนอว่า การขาดธาตุสังกะสีในพืชมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นได้ในดินที่แห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณดินบนที่มักจะขาดน้ำ (Ekiz *et al*., 1998) ในดินที่มีค่าพีเอชสูงและมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่มากความเป็นประโยชน์ของสังกะสีจะลดลง นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในปริมาณมากอาจทำให้พืชขาดธาตุสังกะสีได้ เนื่องจากสังกะสีจะรวมกับฟอสฟอรัสและเปลี่ยนรูปเป็น zinc phosphate ซึ่งเป็นรูปที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ นอกจากนี้ทองแดง เหล็ก แมกนีเซียม และแคลเซียมจะจำกัดการนำสังกะสีไปใช้ประโยชน์ (Frederick and Louis, 2005)

พืชใบเลี้ยงคู่และพืชใบเลี้ยงเดี่ยวมีอาการขาดสังกะสีที่แตกต่างกัน คือ พืชใบเลี้ยงคู่ต้นจะแคระแกร็น เนื่องจากช่วงระหว่างข้อสั้นลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนยอดซึ่งยืดตัวช้ากว่าปกติ ทำให้ใบตอนบนเรียงมีการเรียงตัวซ้อนกันค่อนข้างชิด หรือเป็นกระจุกแบบกลีบกุหลาบซ้อน และขนาดของใบเล็กลงด้วย ส่วนใบอ่อนอาจมีสีเหลืองซีดกระจายทั้งแผ่นใบหรือเหลืองเป็นหย่อม ๆ ส่วนพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ใบอ่อนจะเหลืองลามไปตามขอบใบ และแผ่นใบบางส่วนเปลี่ยนเป็นจุดสีแดง (ยงยุทธ, 2546; Marschner, 1995)

ในกรณีที่ขาดธาตุอาหารนี้ เนื้อเยื่อใบระหว่างเส้นใบแก่ด้านล่างจะเป็นด่าง ต่อจากนั้นจะขยายขึ้นไปยังใบส่วนยอด ช่วงข้อด้านยอดจะสั้น ใบมีขนาดเล็ก ในกรณีที่มีอาการขาดอย่างรุนแรง ช่วงข้อส่วนยอดจะสั้น ทำให้ต้นมีลักษณะเป็นพุ่ม การเจริญเติบโตจะหยุดชะงัก ใบเปลี่ยนเป็นสีเขียวปนเหลืองและสีเหลืองแต่เส้นใบจะมีสีเขียวเข้ม ส่วนในกรณีที่พืชได้รับสังกะสีมากเกินไป ใบและเส้นใบจะมีสีเขียวเข้มจนถึงดำ ในขั้นรุนแรงอาการจะคล้ายกับอาการของการขาดธาตุเหล็ก

Rending and Taylor (1989) ได้เสนอแนวทางในการจัดการเพื่อเพิ่มผลผลิตของพืชที่ปลูกในดินด่าง ดังนี้คือ การลดค่าพีเอชของดิน ให้ธาตุอาหารพืชในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ในสภาพที่ดินมีค่าพีเอชสูง หลีกเลี่ยงการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตมากจนเกินไป เพิ่มอินทรียวัตถุเพื่อให้เกิดสารเชิงซ้อนกับจุลธาตุประจุบวก ซึ่งจะไปลดอิทธิพลของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุประจุบวกลง

การแก้ไขสามารถทำได้โดยการฉีดพ่นทางใบ โดยใช้สังกะสีซัลเฟต สังกะสีออกไซด์ และสังกะสีคีเลต ฯลฯ อัตราใช้สำหรับพืชไร่ทั่วไป ไม่ควรเกิน 5 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยสังกะสีเหล่านี้

เหมาะสมที่จะใช้พ่นให้ทางใบ เนื่องจาก สังกะสีเคลื่อนย้ายได้น้อยในดิน โดยปกติไม่ควรใส่ผสมกับปุ๋ยฟอสเฟต เพราะจะทำให้การละลายได้ลดลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกลายเป็นสังกะสีฟอสเฟตซึ่งไม่สามารถละลายได้ ในทางตรงข้าม การใส่ปูนขาวและฟอสฟอรัสจะช่วยลดอันตรายจากการใส่สังกะสีมากเกินไป (กิตตินันท์, 2542; นิพนธ์, 2543)

11.3 ธาตุทองแดง

ค่าเฉลี่ยของทองแดงในดินอยู่ในพิสัย 2-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ดินโดยทั่วไปมีระดับทองแดงประมาณ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Goldschmidt, 1954; Lindsay, 1972; Sillanpaa, 1972) รูปของธาตุทองแดงที่มักพบในสารละลายดินได้แก่ ทองแดงในรูปไอออนที่มีประจุบวกสอง (Cu^{2+}) กับรูปสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความเสถียรมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (Knezek and Ellis, 1980)

ทองแดงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ในเอนไซม์อย่างน้อยสามชนิด คือ ascorbic acid, oxidase, laccase ทองแดงทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรพลาสต์เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของพืช นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และมีส่วนช่วยในการสร้างวิตามินเอ ในพืชที่ขาดธาตุทองแดงจะแสดงอาการแคระแกร็น แต่พืชจะไม่แสดงอาการคลอโรซิส เมื่อมีการให้ปุ๋ยทองแดงทางใบจะไปช่วยเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ให้สูงขึ้นและช่วยป้องกันไม่ให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลายเร็วจนเกินไป ทำให้พืชแก่ช้าและมีอายุยาวขึ้น (สรสิทธิ์ และคณะ, 2527)

การใส่ปุ๋ย $CuSO_4$ มักนิยมใช้ทั่วไปเมื่อดินนั้นขาดธาตุทองแดง โดยใช้ในอัตรา 3.4-5.6 กิโลกรัมของทองแดงต่อเฮกตาร์ หรือประมาณ 0.54-0.90 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสามารถช่วยแก้ไขปัญหาการขาดทองแดงได้ และเพียงพอกับความต้องการของพืชที่ปลูกได้อีกหลายปี เนื่องจากทองแดงเป็นธาตุที่ไม่ถูกชะละลายออกไปจากดิน อย่างไรก็ตามการพ่นปุ๋ยทองแดงทางใบมักให้ผลดีกว่าการใส่ทางดิน (Mortvedt, 1988)

11.4 ธาตุแมงกานีส

แมงกานีสที่พบในดินมีอยู่หลายรูป สามารถแบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มที่อยู่รูปไอออนซึ่งแลกเปลี่ยนได้ในสารละลายในดิน และกลุ่มที่อยู่ในรูปออกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ แมงกานีสในดินอยู่ในสภาพของไอออนที่มีประจุสองบวก (Mn^{2+}) ประจุสามบวก (Mn^{3+}) และประจุสี่บวก (Mn^{4+}) ในสภาพดินด่างอาจพบแมงกานีสในรูป Mn^{3+} ในลักษณะสารประกอบออกไซด์ที่มีโมเลกุล

ของน้ำอยู่ด้วยคือ $Mn_2O_3.H_2O$ (Dion and Mann, 1946; Adam, 1965) ในสภาพของดินที่มีค่าพีเอชสูง คือตั้งแต่ 7.0 ขึ้นไป และดินที่มีศักยภาพที่จะเกิดการเพิ่มออกซิเจนได้ง่าย แมงกานีสส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป Mn^{4+} โดยพบตกตะกอนในรูปของสารประกอบออกไซด์ และแมงกานีสฟอสเฟต (Mulder and Gerretsen, 1952)

แมงกานีสเกี่ยวข้องระบบคะตะลิสต์และเอนไซม์ต่าง ๆ ในพืช และเมื่อแมงกานีสอยู่ร่วมกับเหล็ก จะเป็นตัวควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction) ของเซลล์พืช ถ้าปราศจากแมงกานีสเป็นคะตะลิสต์แล้ว การลดออกซิเจนเพื่อสร้างกรดอะมิโนต่าง ๆ จะไม่เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นได้น้อยมาก แม้แมงกานีสจะไม่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ แต่ก็มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการสร้างคลอโรฟิลล์ ดังนั้นเมื่อพืชขาดแมงกานีสจึงแสดงอาการคลอโรซิส โดยมักจะแสดงอาการที่ใบอ่อน ใบพืชที่แสดงอาการขาดแมงกานีสจะคล้าย ๆ กันกับใบพืชที่ขาดธาตุแมกนีเซียม สังกะสี และเหล็ก (สรสิทธิ์ และคณะ, 2527)

การใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักอยู่เสมอในดินที่มีปฏิกิริยาเป็นกลางหรือด่างอ่อน สามารถป้องกันการขาดแมงกานีสได้ แต่กรณีที่เกิดการขาดอย่างรุนแรง การแก้ไขต้องใส่แมงกานีสซัลเฟตโดยอาจใส่ร่วมกับปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมัก (สรสิทธิ์ และคณะ, 2527) นอกจากนี้ Plaster (1992) กล่าวถึงวิธีการจัดการขาดธาตุแมงกานีสในพืชว่า การใส่แมงกานีสซัลเฟตลงในดินร่วมกับการปรับค่าพีเอชของดินให้ต่ำลงโดยการใส่กำมะถัน จะช่วยทำให้พืชสามารถใช้ประโยชน์แมงกานีสได้

12. ระดับการสะสมธาตุอาหารในเนื้อเยื่อแตงกวาญี่ปุ่น

12.1 ไนโตรเจน

แตงกวาญี่ปุ่นที่เจริญปกติใบที่สามนับจากยอด (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร) จะมีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับ 50-60 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง หรือมีปริมาณ NO^{3-} 5-15 กรัมต่อกิโลกรัม ในใบอ่อนที่คลี่ออกเต็มที่ ส่วนพืชที่ขาดไนโตรเจนจะมีปริมาณไนโตรเจนในใบอ่อนและใบแก่ต่ำกว่า 30 และ 20 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งตามลำดับ (Roppongi, 1992) ในขณะที่ Jones *et al*. (1991) รายงานของว่า ค่าวิเคราะห์ของใบที่ห้าจากยอดของแตงกวาที่ทำการทดลองในประเทศอเมริกาในระยะตาดอกถึงผลอ่อน ปริมาณไนโตรเจนในใบพืชที่มีการเจริญเติบในระดับที่เหมาะสมควรมีปริมาณอยู่พิสัย 45-60 กรัมต่อกิโลกรัมในขณะที่ระยะผลแตงกวาเจริญเต็มที่ ค่าไนโตรเจนจะมีค่าเท่ากับ 43-60 กรัมต่อกิโลกรัมและระยะที่เป็นผลอ่อน

จนถึงระยะเก็บเกี่ยวค่าไนโตรเจนที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตนั้นควรอยู่พิสัย 40-55 กรัมต่อกิโลกรัม

12.2 ฟอสฟอรัส

ความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสซึ่งเป็นระดับที่คาดว่าเพียงพอสำหรับพืชทั่วไปควรอยู่ช่วง 2 กรัมต่อกิโลกรัมต่อน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ, 2546; Khamis *et al*., 1990) แต่ Roppongi (1992) กล่าวว่า ใบปกติจะมีปริมาณฟอสฟอรัสในเนื้อเยื่อประมาณ 6-13 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งสำหรับใบที่อยู่บนเถาหลัก ส่วนในพืชที่ขาดฟอสฟอรัสจะมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่า 3 และ 2 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งในใบแก่และใบอ่อนตามลำดับ ในขณะที่ Jones *et al*. (1991) กล่าวว่า ค่าวิเคราะห์ของใบที่ห้าจากยอดของแตงกวาที่ทำการทดลองในประเทศอเมริกาในระยะตาดอกถึงผลอ่อนค่าฟอสฟอรัสที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 3.4-12.5 กรัมต่อกิโลกรัมในขณะที่ระยะผลแตงกวาญี่ปุ่นเจริญเต็มที่ ค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่อยู่ในระดับที่พอเพียงเท่ากับ 3-10 กรัมต่อกิโลกรัมและระยะที่เป็นผลอ่อนจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ปริมาณฟอสฟอรัสในพืชที่มีการเจริญเติบโตในระดับปกตินั้นควรอยู่ในพิสัย 2.5-10 กรัมต่อกิโลกรัม

12.3 โพแทสเซียม

เมื่อวิเคราะห์แตงกวาญี่ปุ่นในระยะตาดอกถึงผลอ่อน ตำแหน่งใบที่ห้านับจากยอดซึ่งทดลองที่ประเทศสหรัฐอเมริกา แตงกวาที่มีการเจริญเติบโตที่เหมาะสม จะพบปริมาณโพแทสเซียมสะสมเท่ากับ 39-50 กรัมต่อกิโลกรัมส่วนในระยะผลแตงกวาเจริญเต็มที่ ค่าโพแทสเซียมจะอยู่ในพิสัย 31-55 กรัมต่อกิโลกรัมส่วนระยะที่เป็นผลอ่อนจนถึงระยะเก็บเกี่ยว ระดับการสะสมโพแทสเซียมในใบพืชที่มีการเจริญเติบโตปกตินั้นจะอยู่ในพิสัย 35-45 กรัมต่อกิโลกรัม (Jones *et al*., 1991) เช่นเดียวกับรายงานของ Roppongi (1992) ที่กล่าวว่า ใบพืชที่สมบูรณ์จะมีปริมาณโพแทสเซียมสะสมเท่ากับ 41 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง

12.4 แมกนีเซียม

แตงกวาญี่ปุ่นที่ปกติจะมีปริมาณแมกนีเซียมเท่ากับ 5-7 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งในใบอ่อนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ส่วนในใบแก่จะมีปริมาณสูงกว่า (5-9 กรัมต่อกิโลกรัมในใบอ่อนและ15-20 กรัมต่อกิโลกรัมในใบแก่ที่สมบูรณ์) พืชจะเริ่มแสดงอาการขาดแมกนีเซียมเมื่อมีปริมาณแมกนีเซียมต่ำกว่า 3.5 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งในใบอ่อนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร (Roppongi, 1992) ในขณะที่ Jones *et al*. (1991) รายงานว่า แตงกวาญี่ปุ่นในระยะตาดอกถึงผลอ่อน ซึ่งวิเคราะห์ใบที่ห้านับจากยอด ปริมาณแมกนีเซียมควรอยู่ในช่วง

3-10 กรัมต่อกิโลกรัมจะเป็นระดับการสะสมที่แสดงให้เห็นถึงการเจริญเติบโตที่เหมาะสม ในระยะติดผล แตงกวาเจริญเต็มที่จะมีปริมาณอยู่ในพิสัย 3.5-10 กรัมต่อกิโลกรัมส่วนระยะที่เป็นผลอ่อนจนถึงระยะเก็บเกี่ยวค่าแมกนีเซียมที่สะสมในใบที่ 5 ของแตงกวาญี่ปุ่นที่มีการเจริญเติบโตตามปกติจะอยู่ระหว่าง 3-12 กรัมต่อกิโลกรัม

12.5 แคลเซียม

ใบแตงกวาญี่ปุ่นที่สมบูรณ์จะประกอบด้วยแคลเซียมเท่ากับ 15 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งในใบอ่อนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร แต่จะมีปริมาณสูงในใบแก่คิดเป็น 50 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งในใบอ่อนที่คลี่ออกเต็มที่ พืชจะเริ่มแสดงอาการขาดแคลเซียมเมื่อมีปริมาณแคลเซียมต่ำกว่า 5 กรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ในใบอ่อนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร (Roppongi, 1992) นอกจากนี้รายงานของ Jones *et al*. (1991) ยังกล่าวว่า แตงกวาญี่ปุ่นในระยะตาดอกถึงผลอ่อนซึ่งเมื่อวิเคราะห์ปริมาณในใบที่ห้านับจากยอด การสะสมธาตุนี้ที่เพียงพอแก่การเจริญของพืชควรจะอยู่ในพิสัย 14-35 กรัมต่อกิโลกรัม

12.6 สังกะสี

ในแตงกวาญี่ปุ่นที่สมบูรณ์จะมีปริมาณสังกะสี 40-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งในใบที่5 ซึ่งคลี่ออกเต็มที่ พืชจะเริ่มแสดงอาการขาดเมื่อมีปริมาณสังกะสีสะสมต่ำกว่า 20-25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Roppongi, 1992) นอกจากนี้ยงยุทธ (2546) และ Epstien (1965) ยังกล่าวสอดคล้องกันว่า ความเข้มข้นของธาตุสังกะสีซึ่งเป็นระดับที่คาดว่าเพียงพอสำหรับพืชทั่วไปควรมีอยู่ประมาณ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ รายงานของ Jones *et al*. (1991) ยังกล่าวว่า แตงกวาญี่ปุ่นในระยะตาดอกถึงผลอ่อนซึ่งเมื่อวิเคราะห์ปริมาณในใบที่ห้านับจากยอด การสะสมธาตุนี้ที่เพียงพอแก่การเจริญของพืชควรจะอยู่ในพิสัย 25-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

12.7 ทองแดง

Roppongi (1992) รายงานว่า ในแตงกวาญี่ปุ่นที่สมบูรณ์จะมีปริมาณทองแดง 8-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งในใบที่ 5 ซึ่งคลี่ออกเต็มที่ พืชจะเริ่มแสดงอาการขาดเมื่อมีปริมาณทองแดงต่ำกว่า 7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและจะรุนแรงขึ้นเมื่อมีปริมาณต่ำกว่า 0.8-2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับการขาดธาตุทองแดงจะทำให้ผลผลิตลดต่ำลงได้ถึง 20-90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนรายงานของ Jones *et al*. (1991) ยังกล่าวว่า แตงกวาญี่ปุ่นในระยะตาดอกถึงผลอ่อนซึ่งเมื่อวิเคราะห์ปริมาณในใบที่ห้านับจากยอด การสะสมธาตุนี้ที่เพียงพอแก่การเจริญของพืชควรจะอยู่ในพิสัย 7-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

12.8 เหล็ก

Jones *et al*. (1991) กล่าวว่า แตงกวาญี่ปุ่นในระยะตาดอกถึงผลอ่อนซึ่งเมื่อวิเคราะห์ปริมาณในใบที่ห้านับจากยอด การสะสมธาตุนี้ที่เพียงพอแก่การเจริญของพืชควรจะอยู่ในพิสัย 50-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนรายงานของ Roppongi (1992) กล่าวว่า แตงกวาญี่ปุ่นที่สมบูรณ์จะมีปริมาณเหล็กในเนื้อเยื่อพืชประมาณ 100-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้งในใบที่ 5 นับจากยอดและใบที่คลี่ออกเต็มที่ ในกรณีที่มีปริมาณเหล็กต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือมีปริมาณเหล็กมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พืชก็อาจจะแสดงอาการขาดได้ เนื่องจากเหล็กอยู่ในรูปที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้

12.9 แมงกานีส

ปริมาณที่เหมาะสมในใบอ่อนของแตงกวาญี่ปุ่นประมาณ 30-60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในใบแก่ 100-250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อปริมาณแมงกานีสในพืชลดต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จะทำให้ผลผลิตลดลง หากต่ำกว่า 12-15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พืชจะแสดงอาการขาดธาตุแมงกานีสได้ (Roppongi, 1992) นอกจากนี้ รายงานของ Jones *et al*. (1991) ยังกล่าวว่า แตงกวาญี่ปุ่นในระยะตาดอกถึงผลอ่อนซึ่งเมื่อวิเคราะห์ปริมาณในใบที่ห้านับจากยอด การสะสมธาตุนี้ที่เพียงพอแก่การเจริญของพืชควรจะอยู่ในพิสัย 50-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดพันธุ์แตงกวาญี่ปุ่น (ชื่อทางการค้า Pretty Swallow)

2. ถาดหลุมเพาะต้นกล้า ขนาด 60 หลุม

3. วัสดุเพาะต้นกล้า (ขี้เถ้าแกลบ:ขุยมะพร้าว:ปุ๋ยคอกอัตราส่วน 1:1:1)

4. ปุ๋ยเคมี (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ปุ๋ยหลักในระบบชลประทานโดยแบ่งเป็น stock A และ stock B

stock A 100 ลิตร		stock B 100 ลิตร	
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	4 kg	KNO_3	9 kg
KNO_3	5 kg	$CuSO_4.5H_2O$	0.004 g
Fe-EDTA(13%)	0.3 g	KH_2PO_4	2 kg
$(NH_4)_2SO_4$	11 kg	$MnSO_4.4H_2O$	0.035 g
		$MgSO_4.7H_2O$	9 kg
		H_3BO3	0.038 g
		$ZnSO_4.7H_2O$	0.03 g
		$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$	0.002 g

5. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินและบดดิน ได้แก่ พลั่วมือ ถุงพลาสติก ครกบดดิน และตะแกรงร่อนดิน

6. pH meter

7. Spectrophotometer

8. Atomic Absorption Spectrophotometer

9. เครื่องบดตัวอย่างพืช

10. ตู้อบตัวอย่างพืช

11. เครื่องย่อยตัวอย่างพืช

12. เครื่องชั่ง

13. อุปกรณ์เครื่องแก้วและสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ดิน

วิธีการ

1. การวางแผนการทดลอง

การศึกษาหาอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตแตงกวาญี่ปุ่น วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCBD) จำนวน 10 ตำรับการทดลอง แต่ละตำรับดำเนินการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ แต่ละแปลงย่อยประกอบด้วยประชากรแตงกวาญี่ปุ่นจำนวน 10 ต้น รายละเอียดของตำรับทดลองมีดังนี้

ตำรับการทดลองที่ 1 ควบคุม

ตำรับการทดลองที่ 2 $MgSO_4.7H_2O$ อัตรา 1 กรัม/ต้น/สัปดาห์

ตำรับการทดลองที่ 3 $MgSO_4.7H_2O$ อัตรา 2 กรัม/ต้น/สัปดาห์

ตำรับการทดลองที่ 4 $MgSO_4.7H_2O$ อัตรา 3 กรัม/ต้น/สัปดาห์

ตำรับการทดลองที่ 5 $ZnSO_4.7H_2O$ อัตรา 0.1 กรัม/ต้น/สัปดาห์

ตำรับการทดลองที่ 6 $ZnSO_4.7H_2O$ อัตรา 0.2 กรัม/ต้น/สัปดาห์

ตำรับการทดลองที่ 7 $ZnSO_4.7H_2O$ อัตรา 0.3 กรัม/ต้น/สัปดาห์

ตำรับการทดลองที่ 8 $MgSO_4.7H_2O$ อัตรา 1 กรัม และ $ZnSO_4.7H_2O$ อัตรา 0.1 กรัม/ต้น/สัปดาห์

ตำรับการทดลองที่ 9 $MgSO_4.7H_2O$ อัตรา 2 กรัม และ $ZnSO_4.7H_2O$ อัตรา 0.2 กรัม/ต้น/สัปดาห์

ตำรับการทดลองที่ 10 $MgSO_4.7H_2O$ อัตรา 3 กรัม และ $ZnSO_4.7H_2O$ อัตรา 0.3 กรัม/ต้น/สัปดาห์

<u>หมายเหตุ</u> 1) ทุกตำรับการทดลองมีการให้ปุ๋ยหลักสูตรอัตราดังตารางที่ 1 แบบการให้น้ำชลประทาน (fertigation)

2) ตำรับที่ 2-10 แบ่งใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม สังกะสี ในอัตราที่กำหนดโดยใส่สัปดาห์ละ 6 วัน (เว้น 1 วัน) โดยปริมาณปุ๋ยที่ให้ร่วมกับน้ำชลประทาน

2. การปลูกและดูแลรักษา

สำหรับอุณหภูมิเฉลี่ยของการทดลองปลูกนั้นอยู่ในระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม โดยในเดือนมกราคมมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสและเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส ในเดือนกุมภาพันธ์มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 12 องศาเซลเซียส เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส และในเดือนมีนาคมมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 15 องศาเซลเซียสและเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส

ปลูกแตงกวาญี่ปุ่นในแปลงทดลองเมื่อวันที่ 26 มกราคม 2551 โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

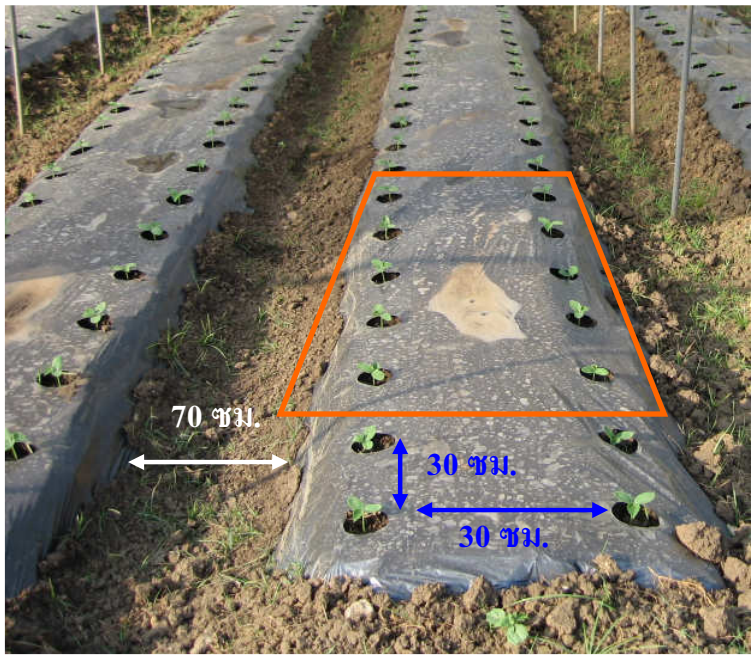
2.1 ใช้เมล็ดพันธุ์แตงกวาญี่ปุ่นที่มีความสมบูรณ์ ทดสอบร้อยละความงอกก่อนทำการเพาะกล้า ผลทดสอบได้เท่ากับร้อยละ 85 ขึ้นไป

2.2 การเตรียมดินเพาะกล้า ใช้อัตราส่วนขี้เถ้าแกลบ:ขุยมะพร้าว:ปุ๋ยคอก 1:1:1 คลุกให้เข้ากันแล้วบรรจุลงในถาดหลุมเพาะกล้าขนาด 60 หลุม นำเมล็ดแช่ในสารป้องกันโรค แมลง เช่น แคปเทน ผสมในอัตราส่วน 5 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร แช่เมล็ดนาน 30 นาที เพื่อทำลายเชื้อราที่ผิวเมล็ด จากนั้นนำมาแช่น้ำ 4 ชั่วโมง จึงนำเมล็ดที่บ่มไว้หยอดลงหลุมถาดเพาะกล้าหลุมละ 1 เมล็ดแล้วใช้วัสดุเพาะกล้ากลบบาง ๆ ประมาณ 1 เซนติเมตร หลังจากหยอดเมล็ดทำการให้น้ำทันที โดยการฉีดพ่นให้เป็นฝอยละเอียดที่สุดในปริมาณที่พอเหมาะ ตรวจดูความชื้นก่อนให้น้ำทุกครั้ง เก็บถาดเพาะกล้าไว้ในที่มีแดดไม่จัดและมีการใช้วัสดุกันแสงไม่ให้มากระทบต้นกล้ามากเกินไป เมื่อแตงกวาเริ่มงอกทำการตรวจดูความผิดปกติของต้นกล้าเป็นระยะ ๆ เพื่อป้องกันกำจัดการระบาดของแมลงหรือเมื่อต้นกล้ามีใบจริงประมาณ 3-4 ใบ หรืออายุประมาณ 10-12 วัน จึงย้ายไปปลูกในแปลง

2.3 การเตรียมแปลง ใช้จอบพรวนดินเพื่อการเตรียมพื้นที่ 1 ไร่ มีแปลงปลูก 64 แปลง แต่ละแปลงยาว 50 เมตร และกว้าง 60 เซนติเมตร ในหนึ่งแปลงสามารถปลูกแตงกวาญี่ปุ่นจำนวน 120 ต้น

2.4 วิธีการปลูก แปลงปลูกถูกคลุมด้วยพลาสติกสีเทา-ดำ ใช้ระยะปลูกระหว่างต้น 30 X 30 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างร่องประมาณ 70 เซนติเมตร (ภาพที่ 1) พื้นที่ 1 ไร่จะใช้ต้นกล้าประมาณ 8,000 ต้น หลังปลูกได้ระยะหนึ่งเมื่อต้นพืชสูงประมาณ 30 เซนติเมตร ทำค้างไว้สำหรับต้นแตงกวาเพื่อพยุงต้นไม่ให้โคนล้ม หลังปลูกประมาณ 20-30 วันหรือเมื่อแตงกวาญี่ปุ่นมีใบ

จำนวนประมาณ 22-25 ใบ จึงเริ่มเด็ดยอดแตงกวาญี่ปุ่นออก เพื่อให้เกิดการสมดุลในการสร้างและใช้อาหาร หลังปลูกประมาณ 40 วัน ก็ทำการเริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิต (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 1 การเตรียมแปลงสำหรับการทดลองศึกษาการทดสอบปุ๋ยสังกะสีและแมกนีเซียมเพื่อการปลูกแตงกวาญี่ปุ่น

ภาพที่ 2 การเจริญเติบโตของแตงกวาญี่ปุ่นที่อายุ 1-40 วัน

ก. เมื่ออายุ 1 วัน หลังการย้ายกล้าลงปลูกในแปลง

ข. แตงกวาญี่ปุ่นที่อายุอายุ 25 วัน

ค. แตงกวาญี่ปุ่นอายุ 40 วัน (เริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิต)

3. การให้ปุ๋ย

การให้ปุ๋ยหลักโดยผสมจาก stock A และ stock B (ตารางที่ 1) ในปริมาณเท่ากัน โดยใช้ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity: EC) ควบคุมปริมาณปุ๋ยที่ให้ตามอายุของแตงกวาญี่ปุ่น ดังนี้

สัปดาห์ที่ 1 ใช้ค่า EC เท่ากับ 1.5 เดซิซีเมนต่อเมตร (dS m^{-1})
สัปดาห์ที่ 2 ใช้ค่า EC เท่ากับ 2.0 เดซิซีเมนต่อเมตร (dS m^{-1})
สัปดาห์ที่ 3 ใช้ค่า EC เท่ากับ 2.5 เดซิซีเมนต่อเมตร (dS m^{-1})
ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 4 เป็นต้นไป ใช้ค่า EC เท่ากับ 3.0 เดซิซีเมนต่อเมตร (dS m^{-1})

4. การเก็บตัวอย่างดินและพืช

4.1 ศึกษาลักษณะดินตัวแทนของพื้นที่ (site characterization) และเก็บตัวอย่างดิน ทำการขุดหลุมในบริเวณที่กำหนดให้มีขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 2 เมตร ลึก 2 เมตร (เอิบ, 2542ก; 2542ข) ตกแต่งหน้าดินที่ทำการศึกษาและทำคำอธิบายหน้าตัดดินในแต่ละชั้น เก็บตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน (disturbed soil sample) ครอบคลุมอย่างน้อยร้อยละ 60 ของเนื้อที่ผิวแนวดิ่งแต่ละชั้น หนักประมาณ 1 กิโลกรัม ซึ่งใช้ข้อมูลที่ดำเนินการโดย นครินทร์ทิพย์ (2550) เนื่องจากพื้นที่ทดลองอยู่ในบริเวณเดียวกัน

การเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในแปลงทดลอง เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตรจากผิวดิน โดยสุ่มเก็บจำนวน 2 จุดต่อหนึ่งแปลงย่อย เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชในดิน

4.2 การเก็บตัวอย่างพืช เก็บตัวอย่างใบหลังจากย้ายกล้าปลูกอายุประมาณ 40 วัน และเก็บตัวอย่างผล นำมาชั่งน้ำหนักสดแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส บดให้ละเอียด นำไปย่อยสลายและวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ทั้งหมด สำหรับผลจะสุ่มเก็บตัวอย่างจากผลผลิตที่แบ่งได้ตามเกรดต่าง ๆ โดยใช้เกรดมาตรฐานของมูลนิธิโครงการหลวง ดังนี้

เกรด 1 ผลตรง มีความยาว 15-18 เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5-3 เซนติเมตร

เกรด 2 ผลงอเล็กน้อย มีความยาว 15-20 เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.0-3.5 เซนติเมตร

เกรด U นอกเหนือจากเกรด 1 และ 2 มักเป็นผลที่มีขนาดเล็ก มีลักษณะโค้งงอมาก หรือมีตำหนิเล็กน้อยที่เปลือกผล

5. การวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการ

5.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

5.1.1 วิเคราะห์การกระจายของอนุภาคดิน (particle size distribution) โดยวิธีไปเปต (pipette method) (Kilmer and Alexander, 1949) แล้วนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาแจกแจงประเภทเนื้อดิน โดยการเปรียบเทียบกับชั้นเนื้อดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (Soil Survey Division Staff, 1993)

5.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

5.2.1 ปฏิกิริยาดิน (soil reaction: pH) โดยใช้น้ำในอัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 และดินต่อสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ในอัตรา 1:1 (Soil Conservation Service, 1984; National Soil Survey Center, 1996) และวัดค่าโดยใช้เครื่องมือวัดค่าพีเอช (pH meter)

5.2.2 ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (organic matter) ใช้วิธี Walkley and Black (Walkey and Black, 1934)

5.2.3 ปริมาณไนโตรเจนรวม (total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method (ทัศนีย์และจงรักษ์, 2551; Jackson, 1958)

5.2.4 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorous) ใช้วิธี Bray II และวิเคราะห์ปริมาณโดยใช้วิธี colorimetric (Bray and Kurtz, 1945) และวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer

5.2.5 ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่สกัดได้ (extractable potassium, calcium, magnesium and sodium) โดยการสกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตตความเข้มข้น 1 M ที่เป็นกลาง (pH 7) (Pratt, 1965) และวัดปริมาณโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer โดยผลรวมของทั้งหมดเท่ากับปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ (total bases)

5.2.6 จุลธาตุประจุบวก ใช้น้ำยาสกัด 0.005M DTPA pH 7.3 (Lindsay and Norvell, 1978) นำสารละลายที่สกัดได้ไปวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก สังกะสี และทองแดง โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

5.2.7 ความเป็นกรดที่สกัดได้ (extractable acidity) โดยวิธี barium chloride-triethanolamine pH 8.2 (Peech, 1965)

5.2.8 ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity: CEC) โดยการชะละลายไอออนบวกด้วยแอมโมเนียมอะซิเตตที่เป็นกลาง และแทนที่แอมโมเนียมอะซิเตตด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10 % ในสภาพที่เป็นกรด กลั่นหาแอมโมเนียมไอออน แล้วคำนวณหาค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (Peech, 1945, 1965; Chapman, 1965)

5.2.9 อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (base saturation percentage) ได้โดยการคำนวณจากค่าของปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) (National Soil Survey Center, 1996) จากสูตร

$$\text{Base saturation percentage} = \frac{\text{Extractable bases}}{\text{Extractable Bases + Extractable Acidity}} \text{ X } 100$$

5.2.10 ปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ในดิน (soluble salts) โดยการวัดค่า electrical conductivity ในสารละลายดินอิ่มตัว (saturated paste) แล้ววัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินด้วยเครื่องมือ electrical conductivity bridge (Richards, 1954)

6. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช

การเตรียมตัวอย่างพืช นำตัวอย่างพืชใส่ถุงกระดาษอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างพืชแห้ง แล้วจึงนำมาบดจนละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช เก็บตัวอย่างพืชไว้ในถุงกระดาษ และอบตัวอย่างพืชอีกครั้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้จนเย็นใน desiccator นำมาชั่งเพื่อหาปริมาณความชื้นที่หลงเหลืออยู่ก่อนทำการวิเคราะห์พืช (Jones *et al*., 1990)

6.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) และวิเคราะห์หาปริมาณโดยวิธี Micro-Kjeldahl (Isaac and Johnson, 1976; Bremner and Mulvaney, 1982)

6.2 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphate) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย digestion mixture (H_2SO_4-Na_2SO_4-Se mixture) และวิเคราะห์หาปริมาณโดยวิธี Vanado-molybdate yellow color (Yoshida *et al*., 1971; Jones *et al*., 1990)

6.3 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) ย่อยสลายโดยใช้ H_2SO_4-$NaSO_4$-Se mixture และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2551; Mill and Jones, 1996)

6.4 ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และปริมาณจุลธาตุอาหารทั้งหมด (total Ca, Mg Zn, Mn, Fe, Cu) ทำการย่อยด้วย HNO_3-H_2SO_4-$HClO_4$ acid mixture digestion และวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (ทัศนีย์ และจงรักษ์, 2551; Mill and Jones, 1996)

7. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) เพื่อหาความแตกต่างของตำรับการทดลองต่าง ๆ หากข้อมูลใดแตกต่างในระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ขึ้นไป นำข้อมูลนั้นมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Duncan’s multiple range tests (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่สูงขึ้น

8. สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

8.1 สถานที่

8.1.1 การศึกษาภาคสนาม ใช้พื้นที่โรงเรือนของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยลึก ตำบลปิงโค้ง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่

8.1.2 การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ใช้ห้องปฏิบัติการของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

8.2 ระยะเวลาทำการวิจัย

เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ถึงเดือน สิงหาคม พ.ศ.2551

ผลและวิจารณ์

1. ลักษณะและสมบัติของดินในพื้นที่ทดลอง

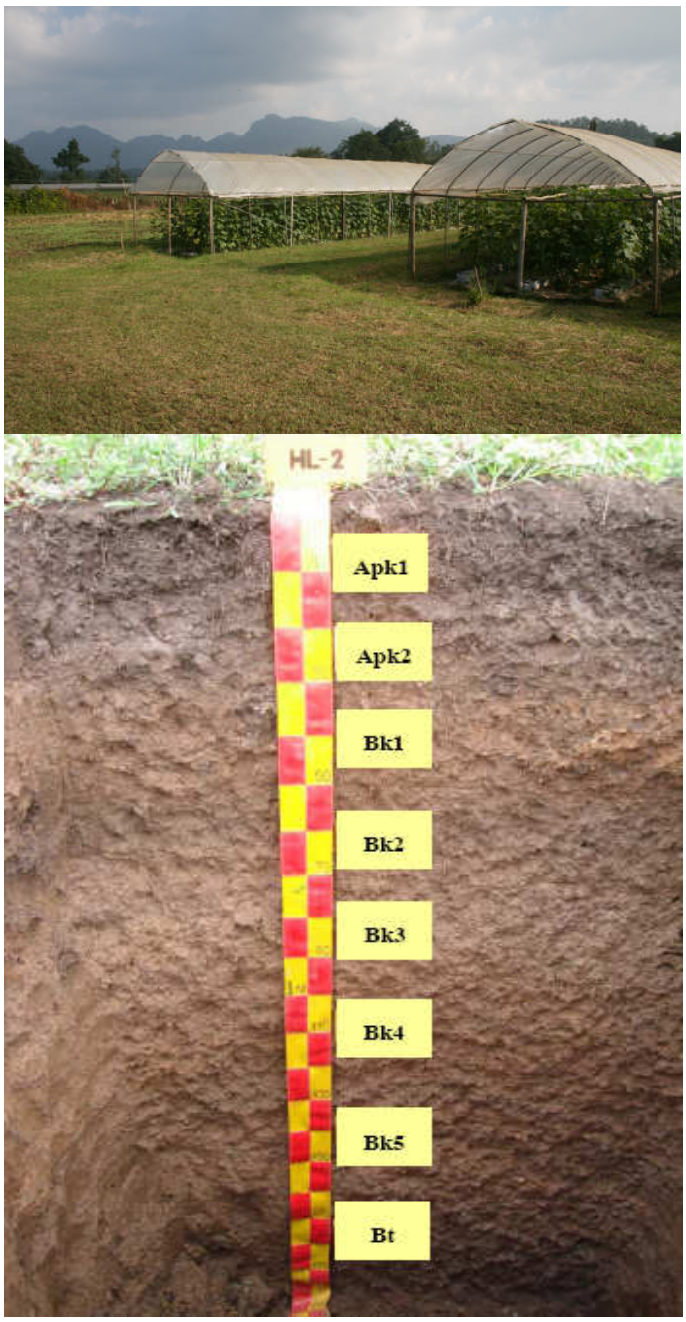
การศึกษาลักษณะของดินในพื้นที่ทดลอง ซึ่งอยู่ภายในบริเวณพื้นที่ของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยลึก หมู่บ้านไทยสามัคคี ตำบลปิงโค้ง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ มีดังนี้

1.1 ลักษณะทั่วไป

จากการศึกษาภาคสนาม ณ แปลงปลูกแตงกวาญี่ปุ่นภายในศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยลึก โดยทำการศึกษาหน้าตัดดินถึงระดับความลึก 2 เมตร พบว่า บริเวณดังกล่าวมีความสูงจากระดับทะเลปานกลาง 556 เมตร สัณฐานภูมิประเทศเป็นแบบ graded upper residual hill สภาพพื้นที่ค่อนข้างราบ มีความลาดเทของพื้นที่ร้อยละ 2 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,300 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิเฉลี่ย 27 องศาเซลเซียส ภูมิอากาศเป็นแบบทุ่งหญ้าเขตร้อน ดินที่ศึกษาเป็นดินลึก เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่สลายตัวจากหินแปรที่มีแคลไซด์หรือมีแคลเซียมคาร์บอเนตแทรกอยู่ร่วมกับหินอื่น ๆ เป็นดินเนื้อละเอียดมีสีน้ำตาล ดินมีการระบายน้ำดี การซาบซึมน้ำที่ผิวดินปานกลาง การไหลบ่าของน้ำช้า ระดับน้ำใต้ดินลึกกว่า 2 เมตร ปฏิกิริยาดินในสนามเป็นด่างจัด (field pH 8.5) ชั้นกำเนิดดินเป็นแบบ Apk-Bk-Bt (ภาพที่ 3)

1.2 สัณฐานวิทยาของดิน

ในพื้นที่ทดลองมีชั้นกำเนิดดินแบ่ง ออกเป็น 8 ชั้น ดังนี้ Apk1-Apk2-Bk1-Bk2-Bk3-Bk4-Bk5-Bt ดินบนลึก 33 เซนติเมตร มีสีเทาเข้มปนน้ำตาลไปจนถึงสีน้ำตาลปนเหลือง เนื้อดินเป็นดินเหนียว โครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนปะปนกับโครงสร้างที่เป็นก้อนเหลี่ยมมุมคม มีความแข็งแรงดี ส่วนดินล่างลึกตั้งแต่ 33 เซนติเมตรลงไป สีดินสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลปนเหลือง และชั้นล่างของหน้าตัดดินมีสีเทาเข้มปนน้ำตาลเนื้อดินเป็นดินเหนียวและดินเหนียวปนกรวดสลับกัน ระหว่างชั้นดินโครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมคม ค่าพีเอชดินเท่ากับ 8.5 ตลอดหน้าตัดดิน ขอบเขตระหว่างชั้นดินเป็นแบบเรียบและไม่ต่อเนื่อง (ตารางที่ 2)



ภาพที่ 3 สภาพพื้นที่และลักษณะหน้าตัดดินในพื้นที่ที่ทำการศึกษา บริเวณโรงเรือนปลูกผักศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยลึก อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่

ตารางที่ 2 สัณฐานวิทยาของดินตัวแทนของแปลงทดลองภายในบริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยลึก จังหวัดเชียงใหม่

Horizon	Depth (cm)	Soil Color	Texture	Structure	Consistence			pH	Boundary	Others
					Dry	Moist	Wet			
HL2-Udic Haplustept: Chiang dao district, Chiang Mai province										
Apk1	0-12	10YR 3/2	C	3 f-m SBK	S	F	MS and VP	8.5	C and S	
Apk2	12-33	10YR 3/4	C	3 m-c semi ABK	VH	VF	MS and VP	8.5	C and S	
Bk1	33-50	10YR 4/3	SGC	3 f-m SBK	SH	VF	MS and VP	8.5	C and S	
Bk2	50-71	10YR 4/3	C	3 f-m SBK	SH	SF	MS and VP	8.5	C and W	
Bk3	71-92	10YR 5/4	C	3 f-m SBK	SH	F	MS and VP	8.5	G and S	
Bk4	92-129	10YR 5/6	SGC	3 f-m SBK	SH	SF	MS and VP	8.5	G and S	
Bk5	129-165	10YR 5/7	SGC	3 f-m SBK	SH	SF	MS and VP	8.5	C and S	
Bt	165-210+	10YR 3/3	C	3 m-c SBK	H	F	MS and VP	8.5	-	

หมายเหตุ Texture: C = clay, SGC = slightly gravelly clay

Structure: 3 = strong, f = fine, m = medium, c = coarse, SBK = subangular blocky structure, ABK = angular blocky structure

Consistence: S = soft, SH = slightly hard, H = hard, VH = very firm, SF = slightly hard, F = firm, VF = very firm, MS = moderately sticky, VP = very plastic

Boundary: C = clear, G = gradual, S = smooth, W = wavy

1.3 สมบัติทางกายภาพและเคมี

ดินบนลึกประมาณ 33 เซนติเมตร ผลการวิเคราะห์การแจกกระจายชั้นอนุภาคดิน พบว่า ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ปฏิกิริยาของดินเป็นด่างจัด (strongly alkaline) มีค่าพีเอชเท่ากับ 8.5 ดินบนตอนล่างมีเนื้อเป็นดินเหนียว ดินเป็นด่างจัด มีค่าพีเอชเท่ากับ 8.5 ส่วนดินตอนล่างลึกตั้งแต่ 33 เซนติเมตรลงไป มีเนื้อดินเป็นดินเหนียวปนกรวด ปฏิกิริยาดินเป็นด่างจัดตลอดทุกชั้น ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.5 เช่นกัน ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของดิน แสดงให้เห็นว่า ดินตอนบนหนาซึ่งประมาณ 33 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรียวัตถุค่อนข้างสูงถึงสูง มีพิสัยอยู่ระหว่าง 31.9-43.0 กรัมต่อกิโลกรัม ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนค่อนข้างสูงถึงสูง (13.0-13.5 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงมาก (492.7-905.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงมาก (122.7-246.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนดินตอนล่างตั้งแต่ 33 เซนติเมตรลงไป มีปริมาณอินทรียวัตถุปานกลางถึงต่ำมาก (4.6-18.3 กรัมต่อกิโลกรัม) มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนปานกลางถึงสูง ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำถึงสูงและในระดับความลึกระหว่าง 165-210 เซนติเมตร พบว่า มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น ขณะที่โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำถึงสูงมาก (34.8-158.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) กล่าวโดยสรุป ดินที่ทำการศึกษานั้นมีปริมาณธาตุอาหารตามธรรมชาติสูง แต่สมบัติทางกายภาพอาจจะเป็นปัญหาต่อการชอนไชของรากพืชบ้างเนื่องจากมีเนื้อเป็นดินเหนียวซึ่งค่อนข้างแน่นทึบ (ตารางที่ 2, 3 และ 4)

ตารางที่ 3 การแจกกระจายขนาดอนุภาคต่าง ๆ และชั้นเนื้อดินของดินในพื้นที่ทดลอง

Horizon	Depth	Particle size distribution ($g\ kg^{-1}$)			Textural class
	(cm)	Clay	Silt	Sand	
Apk1	0-12	572	358	70	clay
Apk2	12-33	594	344	62	clay
Bk1	33-50	432	455	113	silty clay
Bk2	50-71	527	303	169	silty clay
Bk3	71-92	544	298	158	clay
Bk4	92-129	406	427	167	silty clay
Bk5	129-165	399	448	153	silty clay loam
Bt	165-210+	613	341	45	clay

ตารางที่ 4 พีเอชดินและสถานะธาตุอาหารของดินในพื้นที่ทดลอง

Horizon	Depth	Soil reaction (1:1)		Organic matter	Total N	Avail.P	Avail.K
	(cm)	H_2O	KCl	($g\ kg^{-1}$)	($g\ kg^{-1}$)	($mg\ kg^{-1}$)	($mg\ kg^{-1}$)
Apk1	0-12	7.8	6.8	42.7	3.2	905.4	246.2
Apk2	12-33	8.0	6.8	31.9	1.5	492.7	122.7
Bk1	33-50	8.2	7.7	7.7	1.1	36.4	146.1
Bk2	50-71	8.2	6.6	18.3	0.7	16.9	36.9
Bk3	71-92	8.3	7.1	9.1	1.4	6.7	85.6
Bk4	92-129	8.3	7.0	4.7	0.7	15.6	158.1
Bk5	129-165	8.4	7.1	6.3	0.6	15.8	98.1
Bt	165-210+	8.3	7.1	10.5	0.8	172.4	34.8

ตารางที่ 5 สมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ทดลอง

Horizon	Depth	Extractable base (EB)				Sum of	Ext.	CEC		BS (%)
	(cm)	Ca	Mg	K	Na	EB	Acidity	Sum	NH_4OAc	
		← cmol(+) kg^{-1} →								
Apk1	0-12	9.4	1.4	0.6	0.1	11.5	2.0	13.5	21.2	54.1
Apk2	12-33	9.5	1.2	0.3	0.0	11.0	2.0	13.0	20.5	53.9
Bk1	33-50	11.2	0.8	0.4	0.0	12.5	0.5	13.0	14.9	83.5
Bk2	50-71	7.5	0.8	0.1	0.0	8.4	0.5	8.9	17.8	47.4
Bk3	71-92	9.9	0.7	0.2	0.0	10.8	0.0	10.8	13.7	79.2
Bk4	92-129	5.8	0.6	0.4	0.0	6.8	0.0	6.8	11.2	60.9
Bk5	129-165	5.4	0.7	0.3	0.0	6.4	0.0	6.4	11.0	57.9
Bt	165-210+	5.3	0.6	0.1	0.0	6.0	2.5	8.5	21.7	27.6

1.4 หน่วยการจำแนกดิน

อันดับ (order): อินเซปทิซอลส์ (Inceptisol) เนื่องจากดินในบริเวณดังกล่าวเป็นดินที่เริ่มมีพัฒนาการโดยเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของวัตถุต้นกำเนิดดิน แต่ไม่มีชั้นสะสมใด ๆ ปรากฏในหน้าตัดดิน

อันดับย่อย (suborder): Ustept เนื่องจากดินในบริเวณที่ทำการศึกษาพบในเขตร้อนชื้นที่มีระบอบความชื้นแบบ ustic คือในรอบปีต้องมีช่วงแห้งต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 90 วันแต่ไม่เกิน 180 วัน ทั้งยังมีสภาพภูมิอากาศแบบอบอุ่นหรือมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 15-22 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิในฤดูร้อนและหนาวแตกต่างกันไม่เกิน 6 องศาเซลเซียส

กลุ่มดิน (great group): Haplustept เนื่องจากไม่มีลักษณะอื่นใดที่สามารถจัดจำแนกเข้าในกลุ่มดินอื่น ยกตัวอย่างเช่น ไม่พบชั้นดานแข็ง (duripan) ที่จัดเข้าอยู่ในกลุ่มดิน Durustepts ไม่พบชั้นดินล่างวินิจฉัยแคลซิก (calcic horizon) จึงไม่สามารถจำแนกได้เป็น Calciustepts และมีปริมาณอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบสสูงเกินที่จะจำแนกเข้าอยู่ในกลุ่มดิน Dystrustepts เป็นต้น

กลุ่มดินย่อย (subgroup): Udic Haplustept: เนื่องจากเมื่อไม่มีระบบชลประทาน บางชั้นดินหรือทุกชั้นดินบริเวณส่วนควบคุมความชื้นดิน (moisture control section) ไม่แห้งสะสมเกินกว่า 120 วันในรอบปีปกติ เมื่ออุณหภูมิที่ระดับความลึกต่ำกว่า 50 เซนติเมตรจากชั้นผิวดินสูงกว่า 8 องศาเซลเซียส

2. การศึกษาการทดสอบปุ๋ยสังกะสีและแมกนีเซียมในแตงกวาญี่ปุ่น

2.1 สมบัติของดินก่อนปลูก

ผลการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการของตัวอย่างดินในทุกตำรับการทดลองเก็บที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตร พบว่า ปฏิกิริยาของดินเป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.7-7.8) ปริมาณอินทรียวัตถุในดินจัดอยู่ในระดับสูงมาก ปริมาณไนโตรเจนรวมอยู่ในระดับสูงโดยมีปริมาณอยู่ระหว่าง 1.3-1.6 กรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์พบในปริมาณที่สูงมาก โดยอยู่ในพิสัย 750.2-859.3 มิลลิกรัมกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์พบในปริมาณที่สูงมากและมีปริมาณใกล้เคียงกันโดยอยู่ในพิสัย 461.2-469.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่แคลเซียมที่สกัดได้มีปริมาณสูง (5.3-11.2 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) แมกนีเซียมที่สกัดได้มีค่าใกล้เคียงกันทั้งในดินบนและดินล่าง (0.6-1.4 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) โดยมีปริมาณอยู่ในระดับสูง สำหรับโซเดียมที่สกัดได้มีค่าเท่ากันทั้งดินบนและดินล่าง (2.9 เซนติโมลต่อกิโลกรัม)ซึ่งอยู่ในระดับสูงมาก

ผลการวิเคราะห์จุลธาตุที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน พบว่า ปริมาณสังกะสีในชั้นดินบนมีค่าเท่ากับ 1.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชทั่วไป ส่วนในชั้นดินล่างนั้นมีค่าเท่ากับ 0.4 มิลลิกรัมกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤติ 0.5 มิลลิกรัมกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นระดับที่พืชปลูกจะแสดงอาการขาดได้ ขณะเดียวกันทั้งปริมาณทองแดง เหล็ก และแมงกานีสนั้น ทั้งในชั้นดินบนและดินล่าง พบว่าดินในพื้นที่ทดลองไม่ขาดธาตุเหล่านี้ โดยพบในพิสัยระหว่าง 2.0-1.0, 9.0-8.4 และ 13.7-16.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับดินบนและสำหรับดินล่างตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 1)

2.2. ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตแตงกวาญี่ปุ่นกับการใส่ปุ๋ยสังกะสีและแมกนีเซียม

ผลผลิตแตงกวาญี่ปุ่นคิดจากน้ำหนักสดรวมซึ่งได้จากการเก็บเกี่ยวในแต่ละวันจนกระทั่งไม่สามารถเก็บเกี่ยวได้อีกต่อไป ผลแตงกวาญี่ปุ่นแบ่งออกได้เป็น 3 เกรด ได้แก่ เกรด 1ยาว

15-18 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5-3 ซม. ผลตรง เกรด 2 ยาว 15-20 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 3.0-3.5 ซม. ผลงอเล็กน้อย และเกรด U มีขนาดเล็กกว่า งอมาก หรือมีตำหนิเล็กน้อย ตามการรับซื้อผลผลิตแตงกวาญี่ปุ่นของมูลนิธิโครงการหลวง ซึ่งจะรับซื้อแตงกวาญี่ปุ่นเฉพาะเกรด 1 และ 2 ที่ราคากิโลกรัมละ 20 บาทเท่านั้น ส่วนราคาเกรด U จะขึ้นอยู่กับราคาในท้องตลาดซึ่งส่วนใหญ่มีราคาต่ำอยู่ระหว่าง 2-5 บาทต่อกิโลกรัม ผลผลิตน้ำหนักผลสดแตงกวาญี่ปุ่นเกรดต่าง ๆ คำนวณจากแตงกวาญี่ปุ่นจำนวน 8,000 ต้นต่อไร่ แสดงไว้ในตารางที่ 6

1) อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมต่อผลผลิตน้ำหนักสดผลแตงกวาญี่ปุ่น

ผลผลิตเกรด 1

การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มเติมให้แก่แตงกวาญี่ปุ่นไม่ทำให้ผลผลิตน้ำหนักผลสดแตงกวาญี่ปุ่นเกรด 1 เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม โดยในตำรับควบคุมที่ไม่มีการเพิ่มเติมปุ๋ยแมกนีเซียมกลับให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 2,278 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่เมื่อมีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมให้กับพืช ผลผลิตกลับมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราปุ๋ยแมกนีเซียมที่ให้เพิ่มขึ้น โดยได้ผลผลิตเกรด 1 เรียงตามลำดับตามอัตราปุ๋ยแมกนีเซียมที่ใส่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 1,903, 1,589 และ 1,694 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ (ภาพที่ 4)

ผลผลิตเกรด 2

การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มเติมให้แก่แตงกวาญี่ปุ่นให้ผลแตกต่างกับเมื่อไม่ใส่ในกรณีของแตงกวาที่อยู่ในเกรด 2 โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ทำให้ได้ผลผลิตน้ำหนักผลสดแตงกวาญี่ปุ่นสูงสุดเท่ากับ 2,040 กิโลกรัมต่อไร่ซึ่งสูงกว่าในตำรับควบคุม (1,189 กิโลกรัมต่อไร่) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม เมื่อใส่ปุ๋ยนี้ในอัตราสูงขึ้นกลับมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตน้ำหนักผลสดในเกรดนี้ลดลง แต่ไม่แตกต่างกับผลผลิตที่ได้รับในกรณีของตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่ม

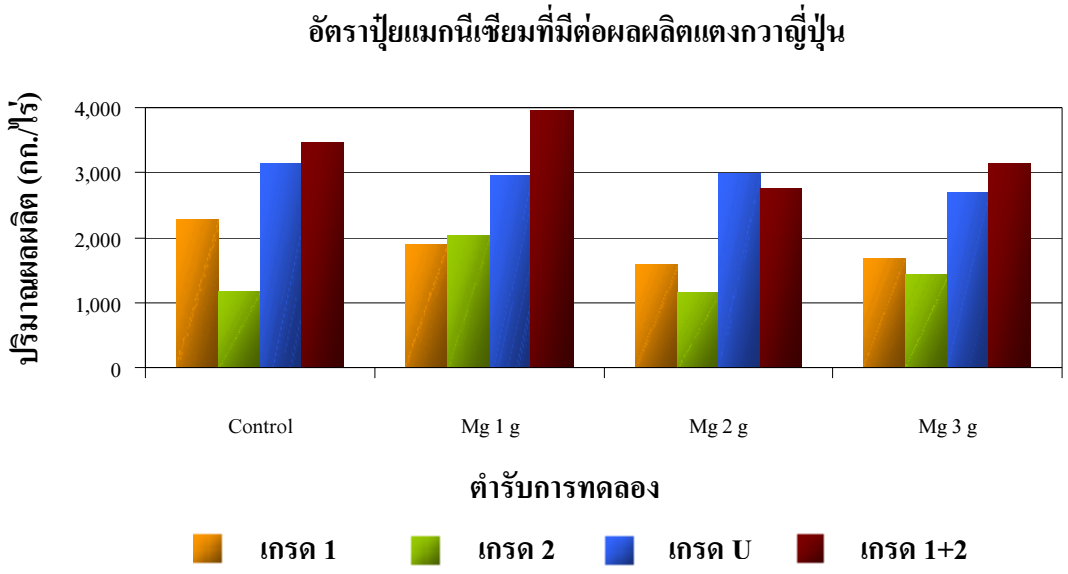
ผลผลิตเกรด U

การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมไม่ทำให้ผลผลิตเกรด U ซึ่งมีรูปทรงบิดเบี้ยว หรือไม่ได้ขนาดตามมาตรฐานของเกรด 1 และ 2 มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยนี้เพิ่มเติมมีแนวโน้ม

ให้ผลผลิตผลสดแตงกวาญี่ปุ่นเกรด U สูงสุดเท่ากับ 3,156 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาพที่ 4) ซึ่งสูงกว่าในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มเติมเล็กน้อย ทั้งนี้ ยังไม่สามารถสรุปแน่ชัดได้ว่า การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มเติมมีแนวโน้มทำให้คุณภาพด้านขนาดของผลสดดีกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยนี้เพิ่มเติม

ผลผลิตเกรด 1 และเกรด 2

เนื่องจากราคารับซื้อของผลผลิตทั้งสองเกรดเท่ากัน ดังนั้น เมื่อพิจารณาด้านผลตอบแทนทางเศรษฐกิจจึงไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผลแตงกวาญี่ปุ่นทั้งสองเกรด จากผลการทดลองการเพิ่มเติมแมกนีเซียม พบว่า การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ให้ผลผลิตทั้งสองเกรดรวมกันสูงสุดเท่ากับ 3,942 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าตำรับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตำรับควบคุมได้ผลผลิตน้ำหนักผลสดรองลงมาเท่ากับ 3,467 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่การเพิ่มปริมาณปุ๋ยแมกนีเซียมมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตทั้งสองเกรดลดลงตามปริมาณปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น โดยเมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยแมกนีเซียมเป็น 2 และ 3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ผลผลิตที่ได้รับลดลงเท่ากับ 2,736 และ 2,534 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบน้ำหนักผลสดของแตงกวาญี่ปุ่นเฉลี่ยตามเกรด (1, 2 และU) เมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตราต่าง ๆ เปรียบเทียบกับตำรับควบคุม

2) อิทธิพลของปุ๋ยสังกะสีต่อผลผลิตน้ำหนักสดผลแตงกวาญี่ปุ่น

ผลผลิตเกรด 1

การใส่ปุ๋ยสังกะสีเพิ่มเติมให้แก่แตงกวาญี่ปุ่นไม่ทำให้ผลผลิตน้ำหนักผลสดแตงกวาญี่ปุ่นเกรด 1 เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม โดยในตำรับควบคุมที่ไม่มีการเพิ่มเติมปุ๋ยสังกะสีกลับให้ผลผลิตน้ำหนักผลสดในเกรดนี้สูงสุดเท่ากับ 2,278 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่การใส่ปุ๋ยสังกะสีให้กับพืชในอัตรา 0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์มีแนวโน้มได้รับผลผลิตใกล้เคียงกับในตำรับควบคุม คือได้ผลผลิตเท่ากับ 2,266 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาพที่ 5) ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินที่ยังไม่เพียงพอจึงมีความเป็นไปได้ที่การให้ปุ๋ยสังกะสีอัตราตั้งแต่ 0.1-0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์นั้นไม่เพียงพอต่อการเพิ่มผลผลิต

ผลผลิตเกรด 2

การใส่ปุ๋ยสังกะสีเพิ่มเติมให้แก่แตงกวาญี่ปุ่นให้ผลเช่นเดียวกับผลผลิตน้ำหนักสดแตงกวาที่อยู่ในเกรด 1 โดยพบว่าการใส่ปุ๋ยสังกะสีในอัตรา 0.1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ให้ผลผลิตในเกรดนี้ต่ำสุดเท่ากับ 687 กิโลกรัมต่อไร่ แต่การเพิ่มปุ๋ยนี้เป็น 0.2 และ 0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์มีแนวโน้มทำให้ผลผลิตในเกรดนี้เพิ่มสูงขึ้นซึ่งมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับผลผลิตในเกรด 1

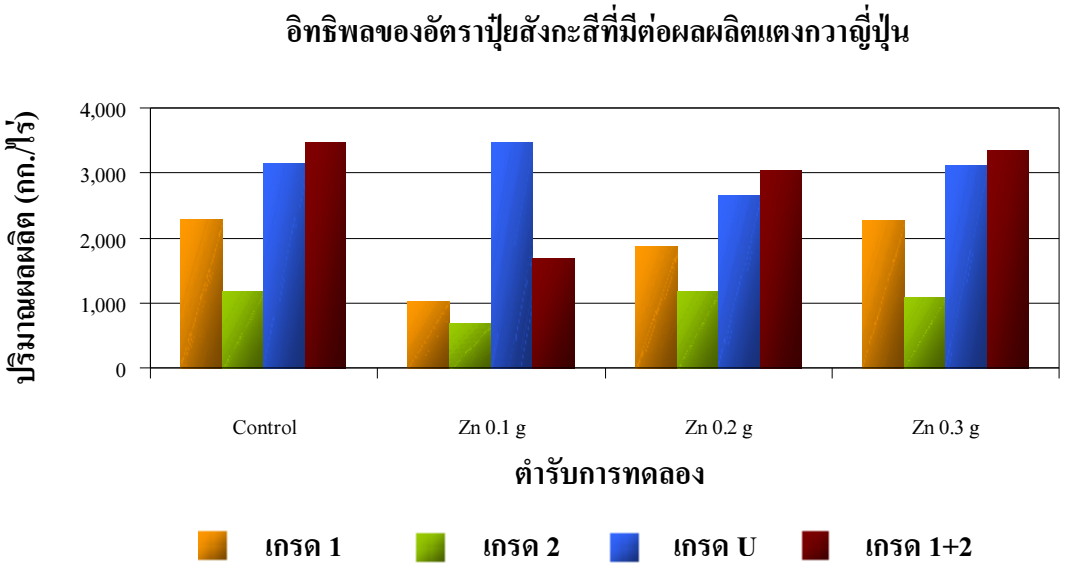
ผลผลิตเกรด U

การใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 0.1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ ทำให้ได้ผลผลิตในเกรด U สูงสุดเท่ากับ 3,470 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาพที่ 5) แต่ไม่แตกต่างกับในตำรับควบคุมและตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสีในอัตราที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ปริมาณผลผลิตเกรด U มีแนวโน้มลดลง

ผลผลิตเกรด 1 และเกรด 2

การใส่ปุ๋ยสังกะสีในอัตราต่าง ๆ ไม่ทำให้ผลผลิตน้ำหนักผลสดแตงกวาญี่ปุ่นเกรด 1 และเกรด 2 สูงกว่าผลผลิตที่ได้รับจากตำรับควบคุม โดยตำรับควบคุมนั้นให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 3,467 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตาม เมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ได้ผลผลิต

น้ำหนักผลสดแตงกวาญี่ปุ่นในเกรด 1 และเกรด 2 รวมกันเพิ่มสูงขึ้นจาก 1,694 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อใส่ปุ๋ยนี้ในอัตรา 0.1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์เป็น 3,354 กิโลกรัมต่อไร่เมื่อใส่ในอัตรา 0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบน้ำหนักผลสดของแตงกวาญี่ปุ่นเฉลี่ยตามเกรด (1, 2 และU) เมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในอัตราต่าง ๆ เปรียบเทียบกับตำรับควบคุม

3) อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับปุ๋ยสังกะสีต่อผลผลิตน้ำหนักสดผลแตงกวาญี่ปุ่น

ผลผลิตเกรด 1

การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับปุ๋ยสังกะสีเพิ่มเติมให้แก่แตงกวาญี่ปุ่นไม่ทำให้ผลผลิตน้ำหนักผลสดแตงกวาญี่ปุ่นเกรด 1 เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม โดยในตำรับควบคุมที่ไม่มีการเพิ่มเติมปุ๋ยทั้งสองชนิดกลับให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 2,278 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่เมื่อมีการใส่ปุ๋ยสังกะสีให้กับพืช ผลผลิตที่ได้รับค่อนข้างแปรผัน โดยการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับปุ๋ยสังกะสีอัตรา 2:0.2 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ได้ผลผลิตในเกรด 1 เท่ากับ 2,148 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งใกล้เคียงกับเมื่อใส่ในอัตรา 3:0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ (2,144 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่งสูงกว่าการใส่ในอัตราต่ำสุด (1,844 กิโลกรัมต่อไร่) (ภาพที่ 6)

ผลผลิตเกรด 2

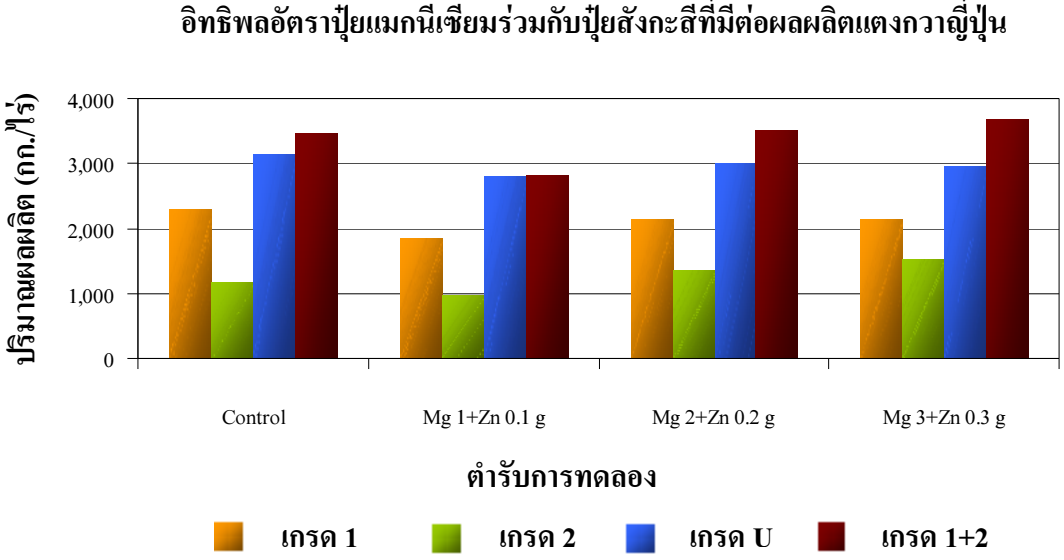
การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับปุ๋ยสังกะสีเพิ่มเติมให้แก่แตงกวาญี่ปุ่นให้ผลผลิตอัตราต่าง ๆ และตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยดังกล่าว ปรากฏว่าผลผลิตน้ำหนักผลสดแตงกวาญี่ปุ่นที่ได้รับไม่มีความแตกต่างกัน แต่การใส่ปุ๋ยทั้งสองชนิดในอัตราสูงสุด (3:0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์) มีแนวโน้มให้ผลผลิตในเกรด 2 สูงสุดค่าเท่ากับ 1,522 กิโลกรัมต่อไร่ซึ่งสูงกว่าที่ได้รับจากตำรับควบคุม (1,189 กิโลกรัมต่อไร่) ขณะที่การใส่ปุ๋ยทั้งสองร่วมกันในอัตราที่ต่ำกว่ามีแนวโน้มให้ผลผลิตในเกรดนี้ต่ำกว่าตำรับควบคุม

ผลผลิตเกรด U

การใส่ปุ๋ยทั้งสองชนิดร่วมกันมีแนวโน้มทำให้ผลผลิตเกรด U มีปริมาณใกล้เคียงกันถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มอัตราปุ๋ยที่ใส่ โดยมีปริมาณน้ำหนักผลสดเท่ากับ 2,778, 2,996, 2,962 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับของการใส่ปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณผลผลิตดังกล่าวต่ำกว่าที่ได้รับจากการไม่ใส่ปุ๋ยเลยซึ่งมีค่าเท่ากับ 3,156 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาพที่ 6)

ผลผลิตเกรด 1 และเกรด 2

การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับปุ๋ยสังกะสีเพิ่มเติมให้แก่แตงกวาญี่ปุ่นให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยทั้งสองชนิดในอัตราสูงสุด (3:0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์) เท่ากับ 3,666 กิโลกรัมต่อไร่ซึ่งไม่แตกต่างกันกับตำรับควบคุมซึ่งให้ผลผลิตต่ำกว่าเล็กน้อย โดยมีปริมาณเท่ากับ 3,467 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณปุ๋ยทั้งสองมีแนวโน้มทำให้ได้รับผลผลิตน้ำหนักผลสดแตงกวาญี่ปุ่นในเกรด 1 และ 2 รวมกันเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบน้ำหนักผลสดของแตงกวาญี่ปุ่นเฉลี่ยตามเกรด (1, 2 และU) เมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับปุ๋ยสังกะสีในอัตราต่าง ๆ เปรียบเทียบกับตำรับควบคุม

จากการผลการทดลองผลผลิตต่อไร่ของน้ำหนักสดผลแตงกวาญี่ปุ่น พบว่า ในตำรับควบคุมได้ผลผลิตน้ำหนักสดของผลแตงกวาญี่ปุ่นที่อยู่ในเกรด 1 และ 2 รวมกันเท่ากับ 3,467 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 0.1 กรัมทำให้ผลผลิตเกรด 1 และ 2 เพิ่มสูงสุดเท่ากับ 3,942 กิโลกรัมต่อไร่ โดยเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 0.1 กรัมต่อต้นกลับให้ผลผลิตต่ำสุดเท่ากับ 1,694 กิโลกรัมต่อไร่ อย่างไรก็ตามเมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับปุ๋ยสังกะสีอัตราต่าง ๆ ไม่ทำให้ผลผลิตเกรด 1 และ 2 แตกต่างกัน (ตารางที่ 6) จากการศึกษาของผลผลิตแตงกวาญี่ปุ่นแสดงให้เห็นว่าผลผลิตของเกรด 1และเกรด 2 นั้นเมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตราต่ำสุดทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ นครินทร์ทิพย์ (2550) ซึ่งเป็นทดสอบการลดปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสในการปลูกแตงกวาญี่ปุ่น การใส่ปุ๋ยในอัตรา ½ ของตำรับเปรียบเทียบซึ่งใช้ปุ๋ยสูตรมูลนิธิโครงการหลวงที่แนะนำในขณะนั้น มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 1,876 กิโลกรัมต่อไร่ซึ่งต่ำกว่าการศึกษาครั้งนี้ ที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ ซึ่งให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับกับ 3,942 กิโลกรัมต่อไร่

เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างเกรด 1, 2 และ เกรด U พบว่า ผลผลิตในเกรด U ค่อนข้างใกล้เคียงเมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตที่อยู่ในเกรด 1 และเกรด 2 (ตารางที่ 6) โดยเป็นที่น่าสังเกตว่า เมื่อให้ปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตรา 2 กรัมต่อต้น แตงกวาญี่ปุ่นมีแนวโน้มให้ผลผลิตเกรด U สูงกว่าเกรด 1 และเกรด 2 แสดงให้เห็นว่า ผลแตงกวามีลักษณะที่บิดเบี้ยวมากกว่าผลตรงที่มีคุณภาพ

ตามที่ตลาดรับซื้อ ประกอบกับผลผลิตในเกรด 1 และเกรด 2 ก็มีแนวโน้มตามอัตราปุ๋ยแมกนีเซียมที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้น การเพิ่มเติมปุ๋ยแมกนีเซียมให้กับแตงกวาญี่ปุ่นที่ปลูกในดินนี้จะไม่เกิดผลดีต่อการให้ผลผลิตแต่อย่างใด

ขณะที่ในตำรับอื่น ๆ ที่มีผลผลิตในเกรด U สูง น่าจะมีสาเหตุมาจากปัจจัยอื่น เช่น การให้น้ำมากเกินไป ดังการรายงานของนิพนธ์ (2543) ที่กล่าวว่า แตงกวาเป็นพืชที่ต้องการน้ำมากสำหรับการเจริญเติบโตของลำต้นและผล แต่การให้น้ำมากเกินไปจะทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตลดลงเนื่องจากน้ำจะชะล้างปุ๋ยไนโตรเจน ส่วนสุปราณี (2545) ศึกษาการให้ปุ๋ยทางดินสูตร 15-15-15 อัตรา 30 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่ เปรียบเทียบกับการให้ปุ๋ยทางน้ำสูตร Enshi ความเข้มข้น 2.4 เดซิซีเมนต่อเมตร ให้ทุกวัน ความเข้มข้น 4.8 เดซิซีเมนต่อเมตร ให้วันเว้นวัน และทุกวันในแตงกวา พบว่า ความเข้มข้นของปุ๋ยที่ให้ทางน้ำที่ให้นั้นสูงเกินไป ทำให้เกิดผลที่บิดเบี้ยวและผิดรูปร่างเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตระหว่างการให้ปุ๋ยทางดินและการให้ปุ๋ยทางน้ำไม่แตกต่างกัน และนภาพร (2546) ศึกษาการให้ปุ๋ยทางดินสูตร 15-15-15 ในปริมาณธาตุไนโตรเจนเท่ากับปุ๋ยทางน้ำสูตร Enshi ความเข้มข้น 1.2 เดซิซีเมนต่อเมตร ให้วันเว้นวัน และ 1.8 เดซิซีเมนต่อเมตร ให้ทุกวัน เปรียบเทียบกับการให้ปุ๋ยทางน้ำสูตร Enshi ความเข้มข้น 1.2 เดซิซีเมนต่อเมตร ให้ทุกวันและวันเว้นวัน และความเข้มข้น 1.8 เดซิซีเมนต่อเมตร ให้ทุกวันและวันเว้นวัน พบว่าการให้ปุ๋ยทางน้ำที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของแตงกวาดีกว่าการให้ปุ๋ยทางดิน และความเข้มข้นที่เหมาะสมในการทดลอง คือ 1.8 เดซิซีเมนต่อเมตร ให้ทุกวัน นอกจากนี้ผลผลิตและคุณภาพของแตงกวาจะขึ้นอยู่กับการผสมเกสรของแมลง ถ้าหากมีแมลงช่วยในการผสมเกสรมาก จะทำให้มีเกสรตัวผู้ไปผสมกับเกสรตัวเมียมากทำให้ผลสมบูรณ์ ในทางตรงกันข้ามถ้าหากเกสรตัวเมียได้รับเกสรตัวผู้น้อยผลจะไม่สมบูรณ์หรือผิดปกติ

ตารางที่ 6 อิทธิพลของปุ๋ยต่อผลผลิตผลสดแตงกวาญี่ปุ่น

Treatment	Fresh fruit yield (kg rai^{-1})				
	grade1	grade 2	grade 1+2	grade U	grade 1+2+U
Control	2,278	1,189 ab	3,467 abc	3,156	6,623
Mg 1 g	1,903	2,040 c	3,942 c	2,952	6,894
Mg 2 g	1,589	1,157 ab	2,746 ab	2,994	5,740
Mg 3 g	1,694	1,442 abc	3,136 ab	2,696	5,832
Zn 0.1 g	1,007	687 a	1,694 a	3,470	5,164
Zn 0.2 g	1,879	1,183 ab	3,062 ab	2,652	5,714
Zn 0.3 g	2,266	1,088 ab	3,354 ab	3,116	6,470
Mg 1 g+Zn 0.1 g	1,844	980 ab	2,824 ab	2,788	5,612
Mg 2 g+Zn 0.2 g	2,148	1,357 abc	3,505 abc	2,996	6,501
Mg 3 g+Zn 0.3 g	2,144	1,522 bc	3,666 bc	2,962	6,628
F test	ns	*	*	ns	ns
CV (%)	34.7	36.4	25.4	18.5	18.3

หมายเหตุ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดย DMRT

2.3 อิทธิพลของอัตราปุ๋ยต่อน้ำหนักแห้ง ปริมาณเยื่อใย จำนวนและขนาดของผลแตงกวาญี่ปุ่น (เกรด 1 และ 2)

ผลการทดลอง พบว่า ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 0.2 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ มีแนวโน้มให้น้ำหนักแห้งผลแตงกวาญี่ปุ่นสูงสุดเท่ากับ 116 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาได้แก่ ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับสังกะสีอัตรา 1:0.1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ที่ให้น้ำหนักแห้งผลแตงกวาญี่ปุ่นเท่ากับ 112 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ตำรับที่ให้ผลผลิตน้ำหนักผลสดแตงกวาญี่ปุ่นสูงสุดเท่ากับ 3,942 กิโลกรัมต่อไร่ (ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์) กลับมีแนวโน้มให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งน้อยกว่า (106 กิโลกรัมต่อไร่) เนื่องจากปริมาณเยื่อใยของ 2 ตำรับแรกที่ได้กล่าวถึงมีแนวโน้มของปริมาณเยื่อใยสูงสุดเท่ากับร้อยละ 3.8 และ 4.0 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ตำรับที่ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง ดังเช่นในตำรับที่ 2 มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ (3,942 กิโลกรัมต่อไร่) ตำรับที่ 9 และ 10 ที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับสังกะสีอัตรา 2:0.2 และ 3:0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ (3,505 และ 3,666 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ) และตำรับควบคุม (3,467 กิโลกรัมต่อไร่) ผลสดแตงกวาญี่ปุ่นมีลักษณะอวบน้ำมากกว่าจึงได้น้ำหนักสดผลแตงกวาญี่ปุ่นสูงกว่าในตำรับอื่น

เมื่อพิจารณาจำนวนผลที่ได้ขนาดในเกรด 1 และ 2 เปรียบเทียบระหว่างตำรับการทดลอง พบว่า ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับสังกะสีมีแนวโน้มทำให้แตงกวาญี่ปุ่นมีจำนวนผลสูงสุดเท่ากับ 25,400 ผลต่อไร่ รองลงมาได้แก่ตำรับควบคุม (23,000 ผลต่อไร่) และตำรับที่ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ (21,200 ผลต่อไร่) สำหรับตำรับที่มีจำนวนผลน้อยที่สุดได้แก่ ตำรับที่ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 2 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ (15,200 ผลต่อไร่) และตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 0.1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ที่มีจำนวนผลมากกว่าเล็กน้อยมีค่าเท่ากับ 17,200 ผลต่อไร่ เมื่อพิจารณาขนาดน้ำหนักของผลเฉลี่ย พบว่า ตำรับที่ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ซึ่งให้ผลผลิตน้ำหนักผลสดสูงสุดมีแนวโน้มขนาดผลสดหนักที่สุด โดยเฉลี่ยแต่ละผลหนักประมาณ 185.9 กรัม แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมพืชมีแนวโน้มให้ผลที่มีขนาดเล็กลงรวมทั้งจำนวนผลต่อพื้นที่ด้วย ขณะที่เมื่อมีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับสังกะสีกลับพบว่า จำนวนผลต่อพื้นที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น แต่ขนาดผลมีแนวโน้มของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผลต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะเมื่อใส่ที่อัตรา 1 และ 2 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับสังกะสีในอัตราสูงมีแนวโน้มทำให้พืชมีผลดก ขณะที่การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มเล็กน้อยมีแนวโน้มทำให้ผลแตงกวามีขนาดใหญ่ ค่อนข้างอวบน้ำ และให้ผลผลิตน้ำหนักผลสดต่อพื้นที่สูงสุด

ตารางที่ 7 อิทธิพลของอัตราปุ๋ยต่อขนาดผล น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผลแตงกวาญี่ปุ่น (เกรด 1 และ 2)

Treatment	Fresh fruit yield	Dry fruit yield	Crude fibre	Number of fruit	Fruit size
	kg rai^{-1}	kg rai^{-1}	(%)	per rai	g fruit^{-1}
Control	3,467 abc	92.8	2.7	23,000	150.7
Mg 1 g	3,942 c	105.6	2.7	21,200	185.9
Mg 2 g	2,746 ab	95.8	3.5	15,200	180.7
Mg 3 g	3,136 ab	96.1	3.1	20,000	156.8
Zn 0.1 g	1,694 a	53.1	3.1	17,200	98.5
Zn 0.2 g	3,062 ab	116.4	3.8	20,800	147.2
Zn 0.3 g	3,354 ab	93.0	2.8	20,200	166.0
Mg 1 g+Zn 0.1 g	2,824 ab	112.0	4.0	19,600	144.1
Mg 2 g+Zn 0.2 g	3,505 abc	94.1	2.7	20,200	173.5
Mg 3 g+Zn 0.3 g	3,666 bc	96	2.6	25,400	144.3
F test	*	ns	ns	ns	-
CV (%)	25.4	34.1	31.2	28.3	

หมายเหตุ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดย DMRT

พื้นที่ 1 ไร่ ปลูกแตงกวาญี่ปุ่นจำนวน 8,000 ต้น

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชกับปุ๋ยแมกนีเซียมและสังกะสี

ตัวอย่างพืชที่เก็บมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมประกอบด้วย ตัวอย่างใบโดยเก็บจากใบที่ 5 จากยอดของแตงกวาญี่ปุ่นและผล ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 2, 3 และ 4

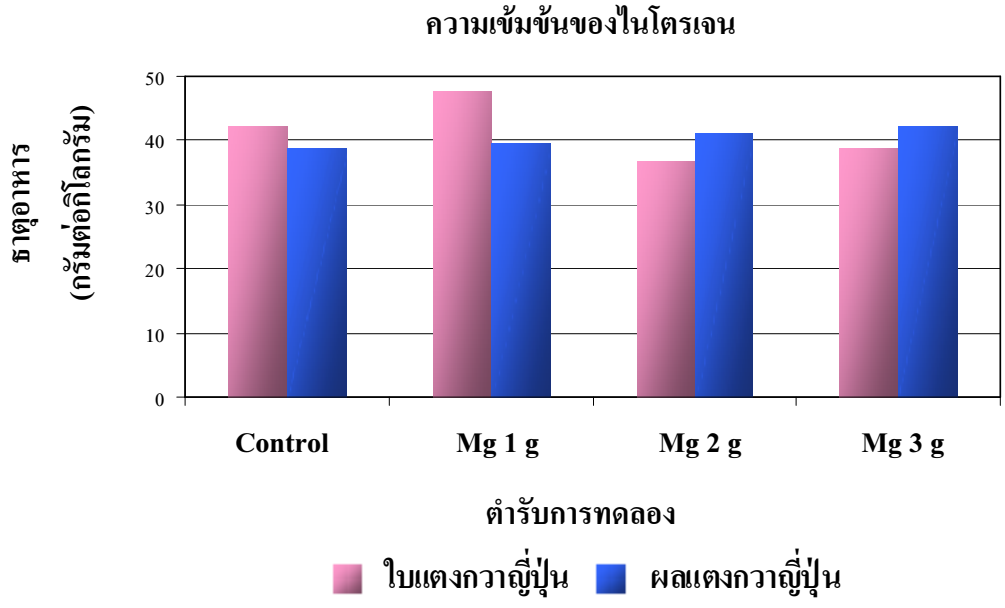
1) อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุปุ๋ยในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ผลวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่สะสมในใบและผลของแตงกวาญี่ปุ่น พบว่า เมื่อมีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตราต่าง ๆ ความเข้มข้นไนโตรเจนทั้งหมดขึ้นไปสะสมในใบที่ 5 และผลไม่มีความแตกต่างกันกับการไม่ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มเติม เมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ มีผลทำให้ธาตุไนโตรเจนสะสมในใบที่ 5 อยู่ในระดับ 47.7 กรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม เมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นพืชมีแนวโน้มดูดใช้ไนโตรเจนขึ้นไปสะสมยังใบที่ 5 ลดลง ส่วนการสะสมไนโตรเจนในผล พบว่า มีการสะสมสูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 3 กรัม โดยมีปริมาณความเข้มข้นเท่ากับ 42.3 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 7)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนที่สะสมในใบที่ 5 พบว่า เฉพาะในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ ซึ่งให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 3,942 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีการสะสมไนโตรเจนในใบที่ 5 เท่ากับ 47.7 กรัมต่อกิโลกรัมซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติที่มีพิสัยอยู่ระหว่าง 45-60 กรัมต่อกิโลกรัม (Jones *et al*., 1991) และยังอยู่ในเกณฑ์ที่ Mill *et al.* (1996) เคยรายงานไว้เช่นเดียวกันว่าไนโตรเจนที่เหมาะแก่การเจริญเติบโตของแตงกวาญี่ปุ่นควรอยู่ในระดับ 43-60 กรัมต่อกิโลกรัม ขณะที่ตำรับอื่น ๆ แตงกวาญี่ปุ่นมีความเข้มข้นไนโตรเจนขึ้นไปสะสมในใบที่ 5 ต่ำกว่าเกณฑ์ทั้งสิ้น การที่ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมแล้วมีผลทำให้การสะสมไนโตรเจนในใบที่ 5 เพิ่มขึ้นนั้นสอดคล้องกับ Marschner (1995) ที่รายงานว่า การใส่ธาตุแมกนีเซียมทำให้มีอัตราการตรึงไนโตรเจนลดลง อีกทั้งยงยุทธ (2546) และ Marschner (1995) ได้กล่าวอีกว่า พืชตระกูลถั่วที่ขาดแมกนีเซียมจะเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตไปเลี้ยงรากได้น้อยกว่าปกติ อัตราการดึงไนโตรเจนจึงลดลงด้วย และรายงานของ Maurya (1987) ได้กล่าวอีกว่า แตงกวานั้นขาดธาตุไนโตรเจนได้ง่าย ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะรูปร่างของผลแตงกวา

ถึงแม้ว่าพืชตระกูลแตงเป็นพืชที่ต้องการน้ำมากสำหรับการเจริญของลำต้นและผล แต่การให้น้ำมากเกินไปจะทำให้การเจริญและผลผลิตลดลง เนื่องจากน้ำจะชะล้างปุ๋ยไนโตรเจน (นิพนธ์, 2543) และมุกดา (2544) กล่าวว่า ไนโตรเจนไม่มีอิทธิพลต่อขนาดของผล แต่มีอิทธิพลต่อปริมาณของผลที่เพิ่มขึ้น การให้ไนโตรเจนมากเกินไปจะทำให้ผลมีขนาดเล็กลงเพราะติดผลมากเกินไป อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า อัตราปุ๋ยแมกนีเซียมเท่ากับ 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์น่าจะเพียงพอต่อความต้องการของแตงกวาญี่ปุ่น เมื่อพิจารณาจากผลผลิตน้ำหนักผลสด และปริมาณความเข้มข้นไนโตรเจนขึ้นไปสะสมยังใบที่ 5 เพราะการเพิ่มปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตราที่สูงขึ้นไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น ทั้งยังมีแนวโน้มทำให้พืชนี้มีค่าความเข้มข้นไนโตรเจนสะสมในใบได้น้อยลงด้วย จึงสามารถสรุปได้ค่อนข้างชัดเจนว่า แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของผลผลิตน้ำหนักผลสดแตงกวาญี่ปุ่นมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบที่ 5 โดยการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มเติมในอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ ช่วยทำให้ได้ผลผลิตน้ำหนักผลสดแตงกวาญี่ปุ่นสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตราที่สูงขึ้น การใส่ปุ๋ยสังกะสีทุกอัตรา และการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับสังกะสีในอัตรา 1:0.1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ และพืชมีแนวโน้มการสะสมไนโตรเจนในใบที่ 5 สูงสุดเมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมในอัตราดังกล่าว

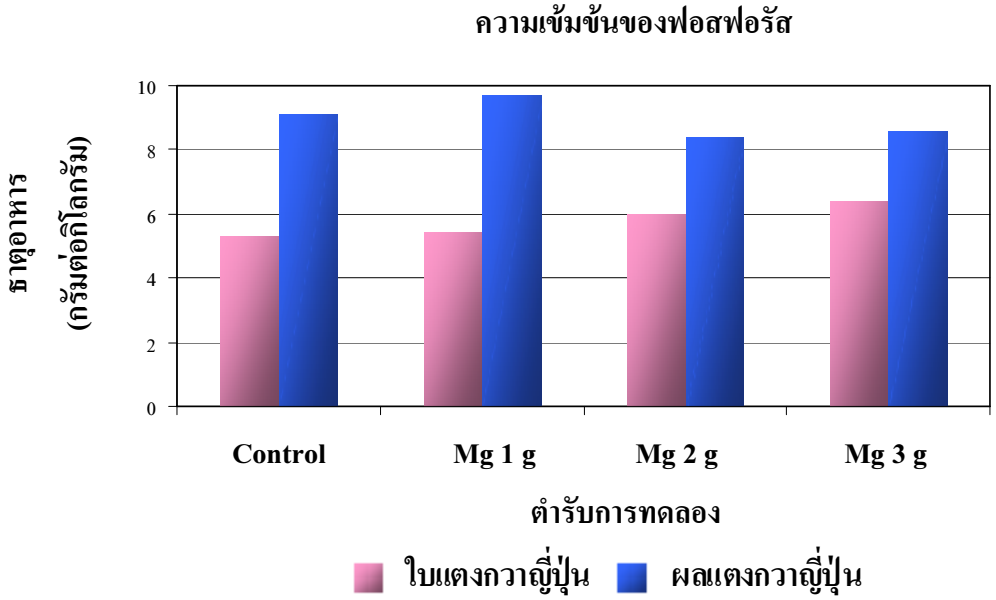


ภาพที่ 7 อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมที่มีต่อความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นฟอสฟอรัส พบว่า ตำรับควบคุมนั้นมีปริมาณฟอสฟอรัสสะสมในใบที่ 5 เท่ากับ 5.3 กรัมต่อกิโลกรัมและเมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 3 กรัม จะทำให้พืชสะสมฟอสฟอรัสในใบที่ 5 สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 6.4 กรัมต่อกิโลกรัมอาจเป็นไปได้ว่าความเข้มข้นธาตุฟอสฟอรัสของพืชนั้นดีขึ้นก็ต่อเมื่อมีแมกนีเซียมในปริมาณที่เพียงพอ แต่ถ้าขาดแมกนีเซียมพืชก็จะรับฟอสฟอรัสได้น้อย ขณะที่ค่าที่วิเคราะห์ได้ในผลนั้นความเข้มข้นฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน โดยพบอยู่ในปริมาณ 8.4-9.7 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 8)

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นฟอสฟอรัสทั้งหมดที่สะสมในใบและผล พบว่าเมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตราต่าง ๆ ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่สะสมในใบนั้นมีปริมาณที่อยู่ระหว่าง 5.4-6.4 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมตรงกับรายงานของ Jones *et al*. (1991) และ Mill *et al.* (1996) ที่กล่าวว่าแตงกวาญี่ปุ่นที่เจริญเติบโตดีจะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในระดับ 3-10 กรัมต่อกิโลกรัมอาจเป็นไปได้ว่าการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัสของพืชได้ดีต่อเมื่อมีแมกนีเซียมในปริมาณที่เพียงพอ แต่ถ้าขาดแมกนีเซียมพืชก็จะรับฟอสฟอรัสได้น้อยถึงแม้จะมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์หลงเหลืออยู่ในดินในปริมาณมากก็ตาม ในทางกลับกัน ฟอสฟอรัสจะส่งเสริมการดูดซึมธาตุแมกนีเซียมมากขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) และยังมีรายงานกล่าวไว้อีกว่าฟอสฟอรัสจะช่วยส่งเสริมให้พืชมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมและแคลเซียมเพิ่มขึ้น (Reinbott and Blevins, 1991; 1994)



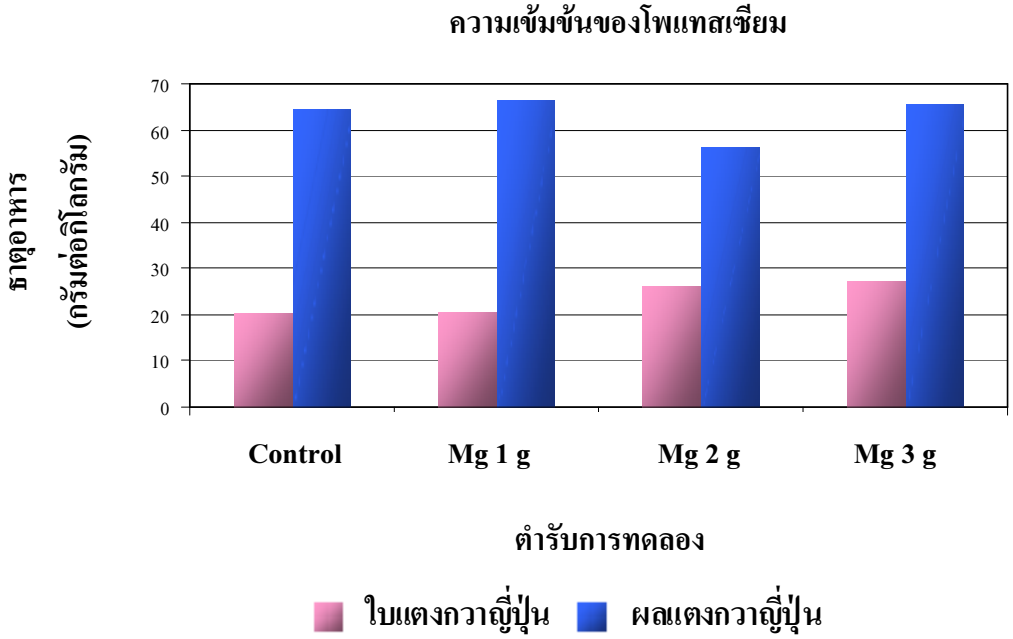
ภาพที่ 8 อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมที่มีต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

ปริมาณโพแทสเซียมในใบที่ 5 ที่วิเคราะห์ได้ (ภาพที่ 9) นั้นคล้ายคลึงกับแนวโน้มความเข้มข้นฟอสฟอรัส โดยตำรับควบคุมมีความเข้มข้นโพแทสเซียมทั้งหมดขึ้นไปสะสมเท่ากับ 20.2 กรัมต่อกิโลกรัมและเมื่อเพิ่มปริมาณปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 3 กรัม ทำให้พืชมีความเข้มข้นโพแทสเซียมสะสมในใบสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 27.2 กรัมต่อกิโลกรัมเมื่อเทียบกับตำรับควบคุม ส่วนปริมาณความเข้มข้นโพแทสเซียมทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ในผล พบว่าตำรับควบคุมและการเพิ่มปริมาณแมกนีเซียม พืชมีความเข้มข้นโพแทสเซียมขึ้นไปสะสมในผลในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นโพแทสเซียมทั้งหมดในใบและผล พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่วิเคราะห์ได้ในใบต่ำกว่าระดับ 30-50 กรัมต่อกิโลกรัมซึ่งเป็นเกณฑ์ที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติตามรายงานของ Jones *et al*. (1991)และ Mill *et al.* (1996) ซึ่งไม่สอดคล้องกับศุภมาศและคณะ (2545) ที่พบว่า การใส่แมกนีเซียมให้กับข้าวที่ปลูกในดินเค็ม มีผลทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นเนื่องจากการใส่แมกนีเซียมทำให้สมดุลระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินดีขึ้น ดังนั้นการใส่แมกนีเซียมมากเกินไปจึงมีผลทำให้พืชมีการสะสมโพแทสเซียมในใบลดลง (Mengel and Kirkby, 1982) ส่วนปริมาณโพแทสเซียมในผลซึ่งมีค่าสูงอยู่

ที่พิสัย 56.5-66.6 กรัมต่อกิโลกรัมซึ่งสอดคล้องกับ Havlin *et al.* (1999) ที่กล่าวว่า การสะสมธาตุโพแทสเซียมได้รับผลโดยตรงจากปริมาณโพแทสเซียมที่มีอยู่ในดิน คือ พืชจะสะสมโพแทสเซียมได้มากจนถึงระดับมากเกินพอ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณโพแทสเซียมที่มีอยู่ในดินและเป็นไปในลักษณะของการดูดใช้แบบฟุ่มเฟือย (luxury consumption)



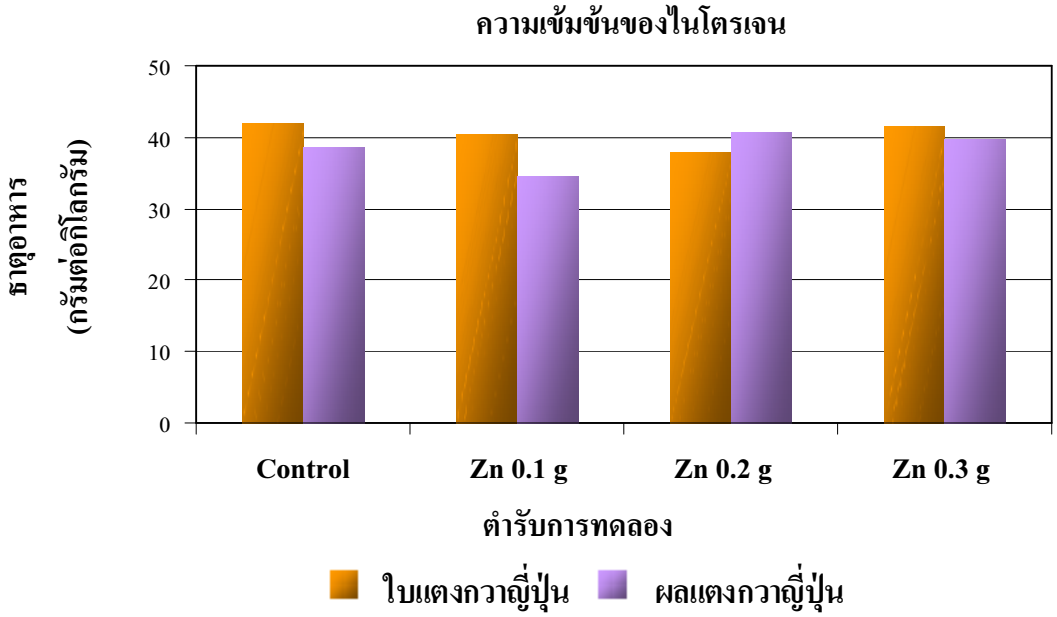
ภาพที่ 9 อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมที่มีต่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น

2) อิทธิพลของปุ๋ยสังกะสีต่อความเข้มข้นของธาตุปุ๋ยในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่สะสมในใบที่ 5 (ภาพที่ 10) พบว่า การใส่ปุ๋ยสังกะสีทั้งสามอัตราไม่ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนขึ้นไปสะสมในใบที่ 5 มีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุนี้ในผล โดยปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบที่ 5 พบอยู่ในพิสัย 38.0-41.5 กรัมต่อกิโลกรัมซึ่งใกล้เคียงกับความเข้มข้นในผลที่พบอยู่ในพิสัย 34.6-40.6 กรัมต่อกิโลกรัมอย่างไรก็ตาม ปริมาณไนโตรเจนที่สะสมในใบดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าปริมาณที่อยู่ในเกณฑ์ที่พืชมีการเจริญเติบโตตามปกติ ซึ่งควรอยู่ในระดับ 45-60

กรัมต่อกิโลกรัม (Jones *et al.*, 1991) และจากการทดลองของนครินทร์ทิพย์ (2550) ซึ่งศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจนอัตราต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นธาตุอาหารขึ้นไปสะสมในเนื้อเยื่อพืชของแตงกวาญี่ปุ่น พบว่า การเพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นไนโตรเจนของแตงกวาญี่ปุ่น แสดงให้เห็นว่า ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ให้กับพืชในการทดลองนี้อาจจะไม่ใช่ปัจจัยที่จำกัดการดูดใช้ไนโตรเจนโดยพืช และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่สะสมในเนื้อเยื่อพืชไม่มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มปริมาณปุ๋ยสังกะสี แต่จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณปุ๋ยแมกนีเซียมที่ใส่ในอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



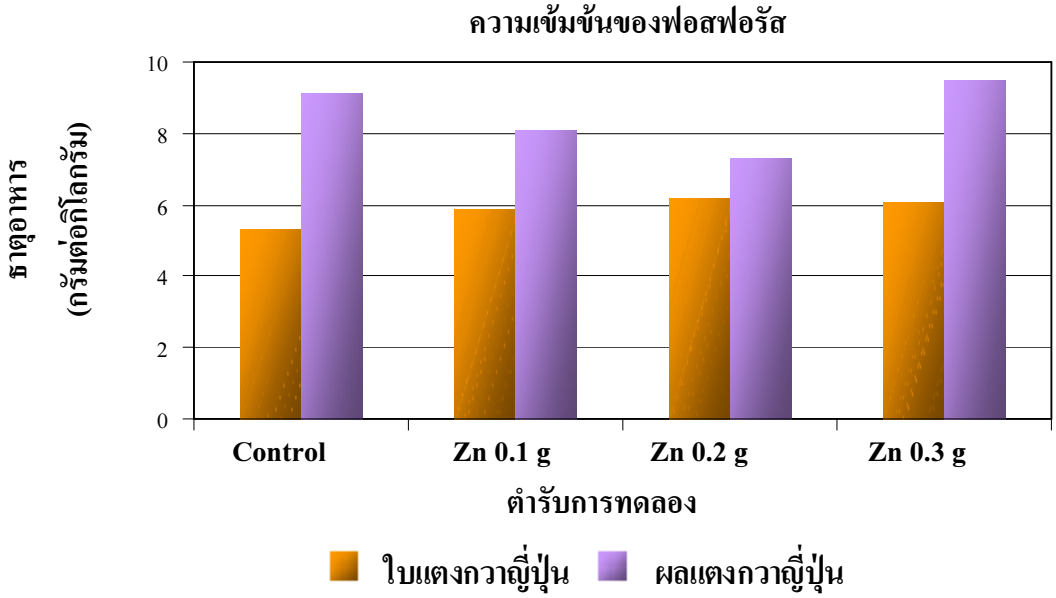
ภาพที่ 10 อิทธิพลของปุ๋ยสังกะสีที่มีต่อความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นฟอสฟอรัสขึ้นไปสะสมในใบและผล (ภาพที่ 11) พบว่า การใส่ปุ๋ยสังกะสีในอัตราต่าง ๆ ไม่มีผลต่อความเข้มข้นฟอสฟอรัสขึ้นไปสะสมในเนื้อเยื่อพืชทั้งสอง โดยมีค่าการสะสมอยู่ในพิสัย 59-62 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีแนวโน้มสูงกว่าตำรับควบคุม (53 กรัมต่อกิโลกรัม) เล็กน้อย ส่วนการสะสมในผล พบว่า การใส่ปุ๋ยสังกะสีในอัตรา 0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ทำให้พืชสะสมฟอสฟอรัสในผลสูงสุดเท่ากับ 95 กรัมต่อกิโลกรัมแต่ไม่แตกต่างกับตำรับอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ดินที่ใช้ปลูกแตงกวาญี่ปุ่นในการทดลองนี้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่

เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่สูงมาก (750.2-859.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) จึงทำให้ค่าที่วิเคราะห์ได้นั้นไม่แตกต่างกัน เนื่องจากพืชสามารถดูดใช้ฟอสฟอรัสขึ้นไปได้ตลอดเวลา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่สะสมในใบที่ 5 พบว่า มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่พืชสามารถเจริญได้ตามปกติซึ่งควรอยู่ในพิสัย 3-13 กรัมต่อกิโลกรัม (Jones *et al.*, 1991; Mill *et al.*, 1996) มาก ประมาณ 4-5 เท่า โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยสังกะสีมีแนวโน้มทำให้พืชดูดใช้ฟอสฟอรัสขึ้นไปสะสมในใบเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า สังกะสีมีหน้าที่กระตุ้นเอนไซม์บางชนิดที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายฟอสเฟต (Jahiruddin and Cresser, 1991) แต่เนื่องจากในดินมีปริมาณฟอสฟอรัสตกค้างสูงมาก จึงไม่ทำให้ความเข้มข้นฟอสฟอรัสของพืชมีความแตกต่างกัน



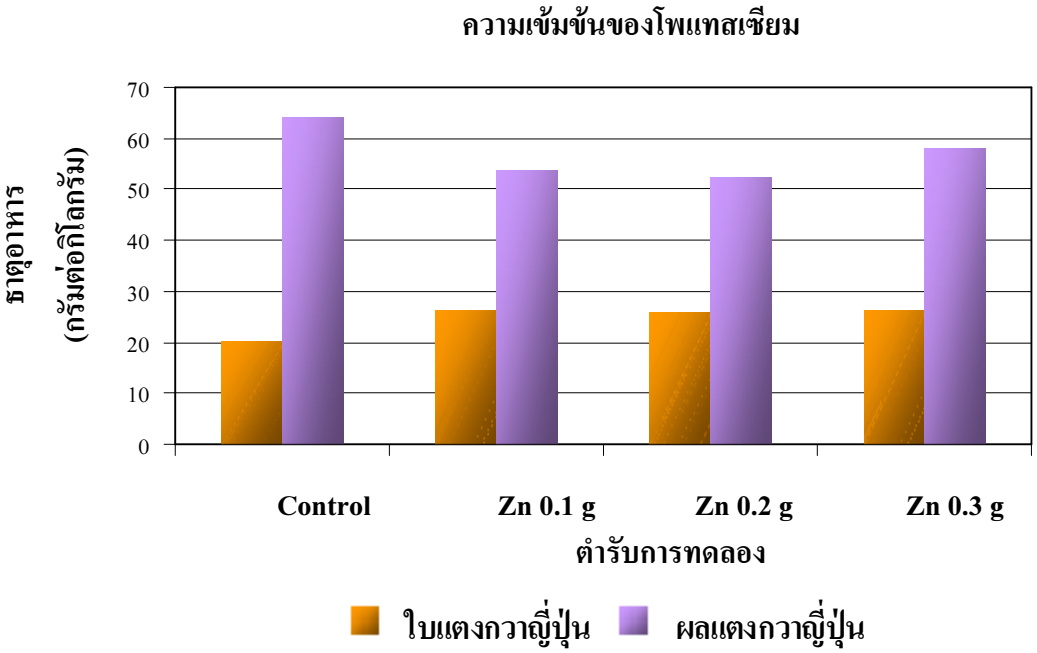
ภาพที่ 11 อิทธิพลของปุ๋ยสังกะสีที่มีต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในแตงกวาญี่ปุ่นที่วิเคราะห์ได้ในใบและผล (ภาพที่ 12) พบว่า การใส่ปุ๋ยสังกะสีมีผลทำให้พืชสามารถดูดใช้โพแทสเซียมขึ้นไปสะสมในใบที่ 5 สูงกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยไม่มีความแตกต่างกันระหว่างอัตราปุ๋ยสังกะสีที่ใส่ ซึ่งทำให้มีการสะสมโพแทสเซียมอยู่ในพิสัย 25.8-26.3 กรัมต่อกิโลกรัมขณะที่ในตำรับควบคุมการสะสมโพแทสเซียมในใบที่ 5 มีค่าเท่ากับ 20.2 กรัมต่อกิโลกรัมอย่างไรก็ตาม ปริมาณการสะสมโพแทสเซียมที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ

ซึ่งควรมีค่าอยู่ในพิสัย 39-50 กรัมต่อกิโลกรัม (Jones *et al.*, 1991; Mill *et al.*, 1996) ทั้งที่ดินมีปริมาณโพแทสเซียมตกค้างอยู่สูงมาก (461.2-469.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของนครินทร์ทิพย์ (2550) กลับพบว่า การสะสมโพแทสเซียมในใบมีค่าสูงสุดในตำรับที่ใช้อัตราปุ๋ย ½ ของตำรับเปรียบเทียบ (145.17-19.84-185.17 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่) มีค่าเท่ากับ 69.1 กรัมต่อกิโลกรัมซึ่งในการทดลองนี้มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟตร่วมในน้ำชลประทานถึง 9 กิโลกรัม ขณะที่การศึกษาของนครินทร์ทิพย์ (2550) ไม่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟต ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าแมกนีเซียมอาจไปยับยั้งการดูดใช้โพแทสเซียมของพืช (Taiz and Zeiger 1998)

สำหรับความเข้มข้นโพแทสเซียมขึ้นไปสะสมในผล พบว่า เมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีในอัตราต่าง ๆ ทำให้แตงกวาญี่ปุ่นมีแนวโน้มดูดใช้โพแทสเซียมขึ้นไปสะสมในผล (52.5-58.1 กรัมต่อกิโลกรัม) ต่ำกว่าในตำรับควบคุม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 64.3 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 12)



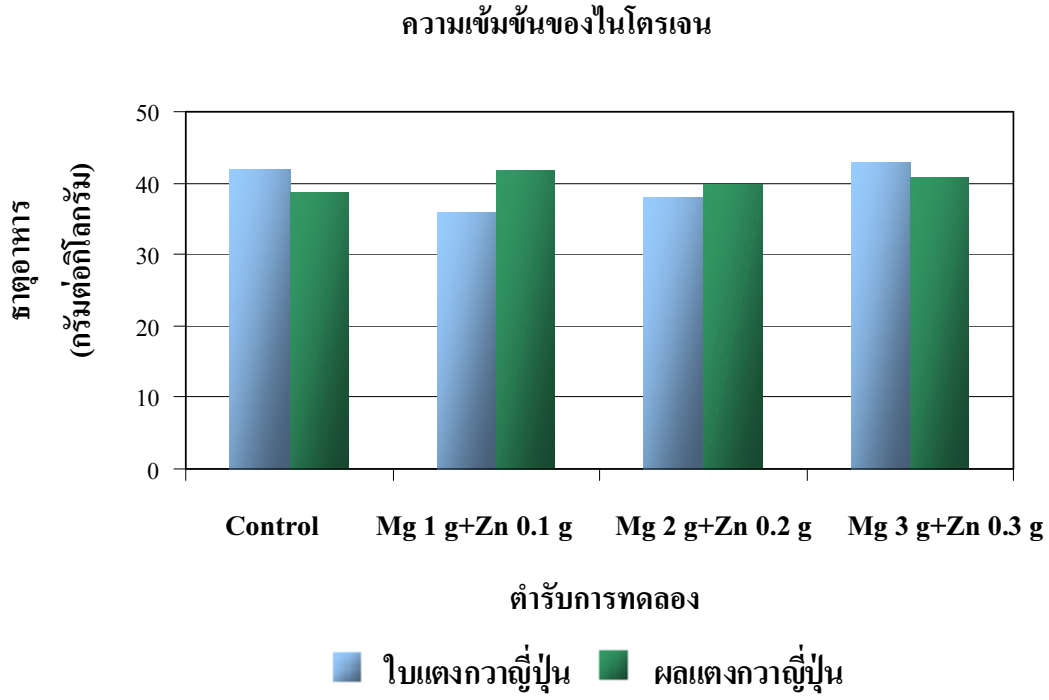
ภาพที่ 12 อิทธิพลของปุ๋ยสังกะสีที่มีต่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น

3) อิทธิพลร่วมของปุ๋ยแมกนีเซียมปุ๋ยสังกะสีต่อความเข้มข้นของธาตุปุ๋ยในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นไนโตรเจนที่สะสมในใบที่ 5 พบว่า เมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับปุ๋ยสังกะสี มีแนวโน้มทำให้พืชมีความเข้มข้นไนโตรเจนที่สะสมในใบที่ 5 เพิ่มขึ้นตามอัตราปุ๋ยที่เพิ่มขึ้นโดยเพิ่มจาก 36.0 เป็น 42.9 กรัมต่อกิโลกรัม แต่การใส่ปุ๋ยทั้งสามอัตราทำให้พืชมีความเข้มข้นธาตุนี้ไม่แตกต่างกับตำรับควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยทั้งสอง ขณะที่การสะสมไนโตรเจนในผล พบว่า พืชมีแนวโน้มการสะสมสูงกว่าตำรับควบคุมเล็กน้อย (ภาพที่ 13)

จากรายงานของ Jones *et al*. (1991) นั้น ค่าการความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เหมาะแก่การเจริญเติบโตนั้นควรอยู่พิสัย 45-60 กรัมต่อกิโลกรัม จากค่าวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นไนโตรเจนที่สะสมในใบนั้นยังต่ำกว่ารายงานดังกล่าว เมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีร่วมกับปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 0.1 และ 1 กรัม ตามลำดับนั้น ทำให้ความเข้มข้นไนโตรเจนในใบนั้นมีการสะสมน้อยสุด แต่กลับไปสะสมที่ผลมากสุด สอดคล้องกับการทดลองของ Tanemura *et al*. (2008) ที่ศึกษาการดูดซับและการเคลื่อนย้ายธาตุไนโตรเจนในแตงกวา พบว่า ความเข้มข้นไนโตรเจนในใบและลำต้นมีแนวโน้มลดลงหลังจากการเก็บเกี่ยวครั้งแรก สอดคล้องกับ Yanai (1975) ซึ่งรายงานว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบและลำต้นลดลงหลังจากพืชเริ่มออกผล ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในดิน จะต้องเป็นรูปที่พืชสามารถดูดกินได้จะต้องอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมหรือสมดุลความต้องการของพืช (ไม่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป) ไม่เช่นนั้นผลผลิตและคุณภาพของพืชจะผิดปกติหรือไม่ดีเท่าที่ควร (ถวิล, 2540)

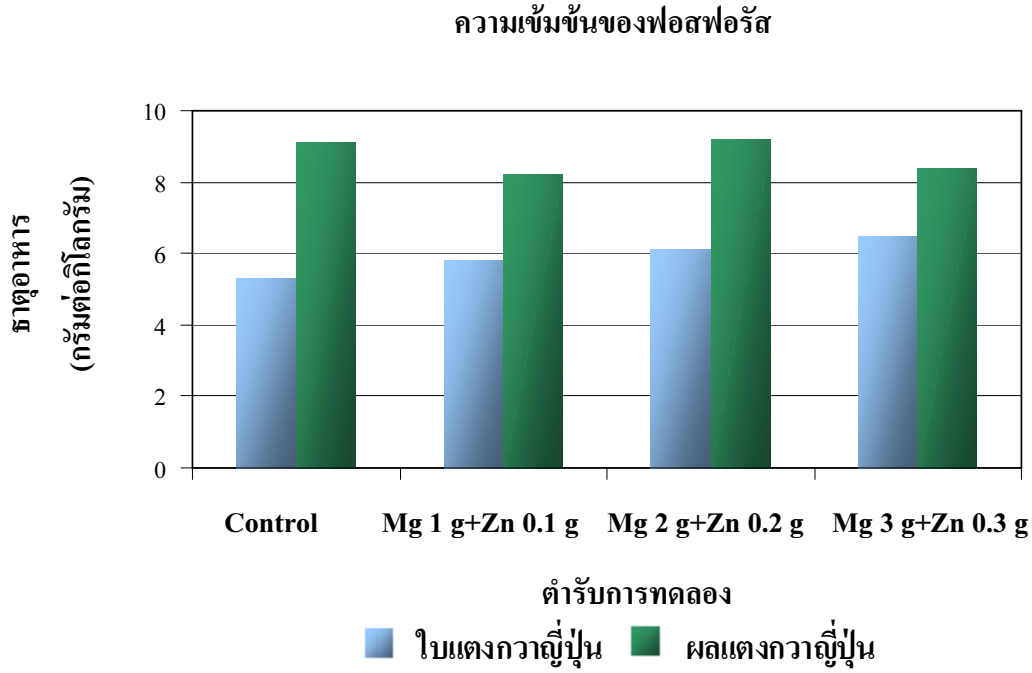


ภาพที่ 13 อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมและปุ๋ยสังกะสีที่มีต่อความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นฟอสฟอรัสที่สะสมในใบที่ 5 และผล (ภาพที่ 14) พบว่า ตำรับควบคุมนั้นมีปริมาณความเข้มข้นฟอสฟอรัสเท่ากับ 5.3 กรัมต่อกิโลกรัมซึ่งต่ำกว่าการสะสมที่เกิดจากการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมและสังกะสีอัตรา 3:0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ ซึ่งทำให้พืชมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสะสมในใบดังกล่าวสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 6.5 กรัมต่อกิโลกรัมส่วนการสะสมฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้ในผลนั้น มีค่าไม่แตกต่างกัน

ผลการวิเคราะห์ พบว่า เมื่อใช้อัตราปุ๋ยทั้งสองเพิ่มขึ้นแล้วทำให้ปริมาณการสะสมฟอสฟอรัสในใบที่ 5 เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากสังกะสีนั้นมีความสำคัญต่อการสร้างฮอร์โมนและเอนไซม์ต่าง ๆ ในพืชช่วยการดูดใช้ธาตุอาหารอื่น (McElroy and Nason, 1954)



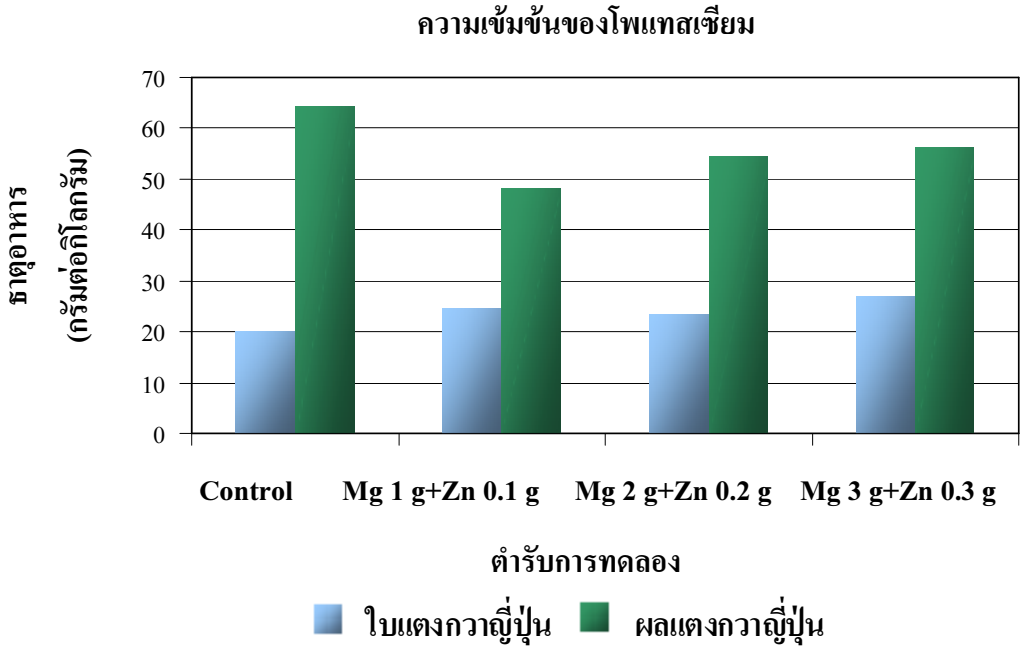
ภาพที่ 14 อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมและปุ๋ยสังกะสีที่มีต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นโพแทสเซียมที่สะสมในใบที่ 5 และผล พบว่า การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับสังกะสีอัตรา 3:0.1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ ทำให้แตงกวาญี่ปุ่นมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสะสมในใบสูงสุดเท่ากับ 26.9 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าในตำรับควบคุม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20.2 กรัมต่อกิโลกรัมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนปริมาณความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมที่ไปสะสมในผลนั้น ตำรับควบคุมกลับมีการสะสมธาตุนี้สูงกว่าการใส่ปุ๋ยทั้งสองทั้งสามอัตราอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่าเท่ากับ 64.3 กรัมต่อกิโลกรัมเมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยทั้งสองที่มีแนวโน้มการสะสมเพิ่มขึ้นตามปริมาณปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 48.3-56.3 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 15)

ผลวิเคราะห์ความเข้มข้นโพแทสเซียมนั้น พบว่า การสะสมปริมาณโพแทสเซียมนั้นมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนปริมาณในผลนั้นมีปริมาณที่สูงเกินกว่าระดับที่เคยรายงานไว้เท่ากับ 39-50 กรัมต่อกิโลกรัม (Jones *et al*., 1991; Mill *et al.,* 1996) แต่ความเข้มข้นในใบนั้นยังอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะแก่การเจริญเติบโตซึ่งอยู่ในช่วง 39-50 กรัมต่อกิโลกรัม (Jones *et al*., 1991)

แสดงให้เห็นว่า การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับสังกะสีมีผลทำให้พืชมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่สะสมในใบที่ 5 เพิ่มขึ้น แต่ไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กับผลผลิตน้ำหนักผลสดที่ได้รับ เนื่องจากการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ทำให้พืชมีการสะสมโพแทสเซียมในใบเท่ากับ 20.6 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางผนวกที่ 2) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตำรับควบคุม แต่กลับให้ผลผลิตน้ำหนักผลสดสูงสุด

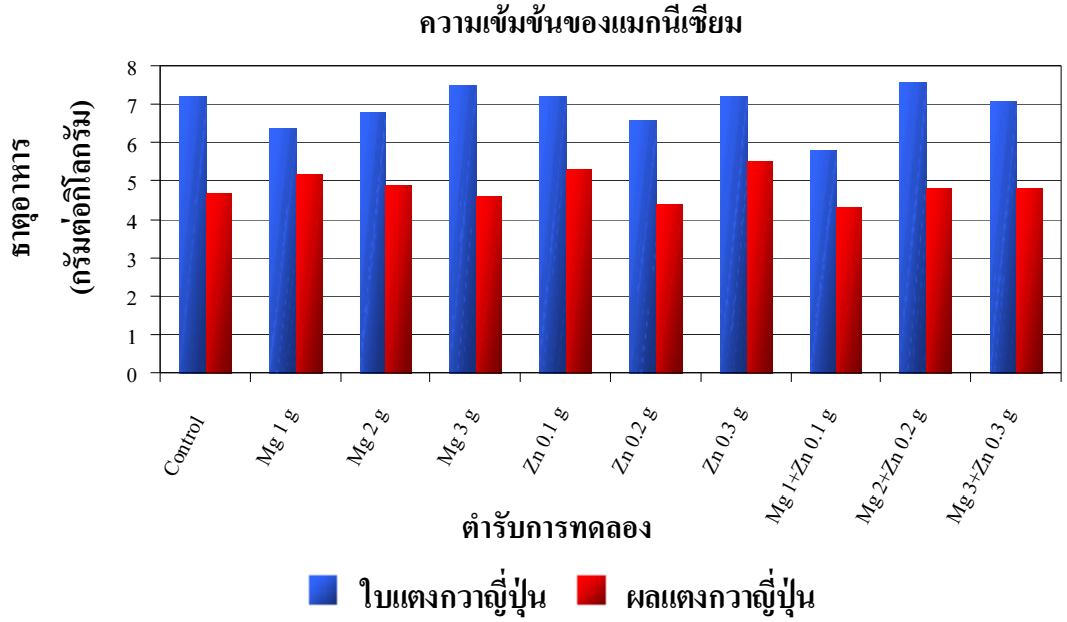


ภาพที่ 15 อิทธิพลของปุ๋ยแมกนีเซียมและปุ๋ยสังกะสีที่มีต่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น

4) ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบและผลของแตงกวาญี่ปุ่น

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นแมกนีซียมทั้งหมดขึ้นไปสะสมในใบที่ 5 และผลพบว่า ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่สะสมทั้งในใบและผลไม่มีความแตกต่างกันระหว่างตำรับการทดลอง และปริมาณการสะสมไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างชนิดและปริมาณปุ๋ยที่ใส่ โดยค่าความเข้มข้นในใบมีค่าอยู่ในพิสัย 6.4-7.6 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในผลมีค่าอยู่ในพิสัย 4.3-5.5 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 16) แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยโดยเฉพาะแมกนีเซียมไม่ส่งผลต่อความเข้มข้นธาตุนี้ขึ้นไปสะสมในเนื้อเยื่อพืชแต่อย่างใด โดยปริมาณการสะสมแมกนีเซียมทั้งหมดซึ่งควรมีค่าอยู่ในพิสัย 3-10 กรัมต่อกิโลกรัม ตามรายงานของ Jones *et al.* (1991) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า ปุ๋ยที่ให้ไป

กับน้ำชลประทาน (stock B) มีปุ๋ยแมกนีเซียมซัลเฟตอยู่ถึง 9 กิโลกรัม ขณะเดียวกันผลผลิตน้ำหนักผลสดแตงกวาญี่ปุ่น (เกรด 1 และ 2) ที่ได้รับจากการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ แสดงให้เห็นว่า ปุ๋ยแมกนีเซียมที่ใส่เพิ่มเติมไม่มีผลต่อการสะสมธาตุนี้ แต่น่าจะมีผลต่อการดูดใช้หรือความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารอื่นมากกว่าจึงทำให้ได้รับผลผลิตน้ำหนักผลสดแตงกวาญี่ปุ่นสูงสุด



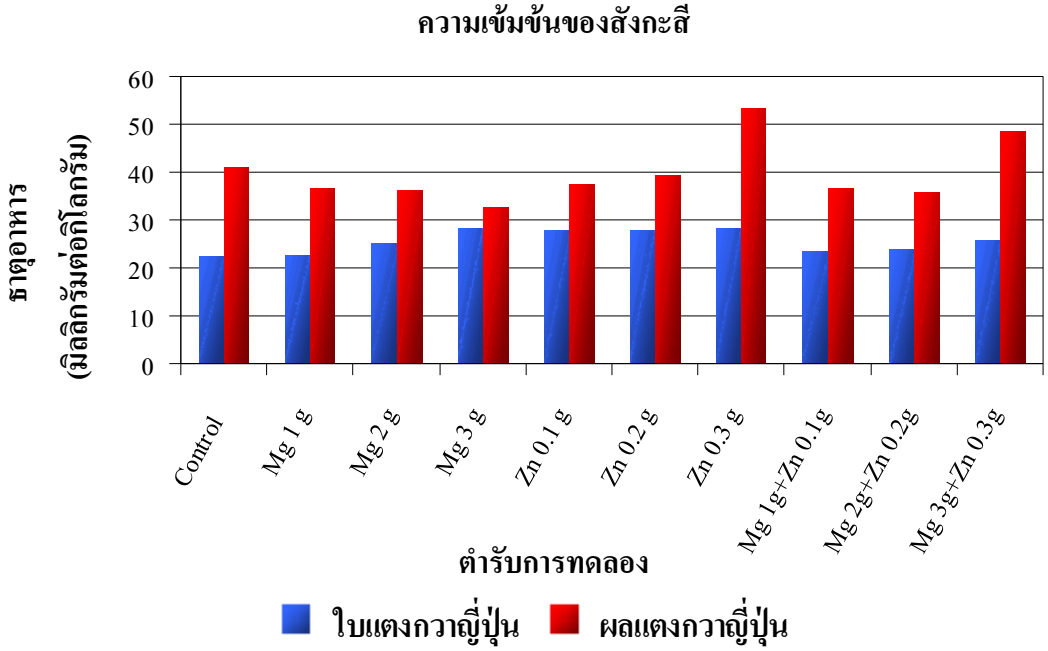
ภาพที่ 16 อิทธิพลของปุ๋ยในตำรับต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อพืช

5) ความเข้มข้นของสังกะสีในใบและผลของแตงกวาญี่ปุ่น

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นสังกะสีทั้งหมดในใบที่ 5 และในผล (ภาพที่ 17) พบว่า การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม สังกะสี และการใส่ปุ๋ยทั้งสองชนิดร่วมกัน เช่นเดียวกับในตำรับควบคุมไม่ทำให้การสะสมธาตุสังกะสีในใบที่ 5 มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณการสะสมสังกะสีที่แตงกวาญี่ปุ่นสามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติที่รายงานโดย Jones *et al.* (1991) ซึ่งควรอยู่ในพิสัย 25-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ส่วนใหญ่ค่าการสะสมอยู่ในพิสัยล่างหรือต่ำกว่าพิสัยดังกล่าว โดยการใส่ปุ๋ยสังกะสีที่อัตราต่าง ๆ มีแนวโน้มทำให้พืชมีความเข้มข้นของสังกะสีที่สะสมใบที่ 5 สูงกว่าการใส่ปุ๋ยในตำรับอื่น ๆ และตำรับควบคุมโดยพบอยู่ในพิสัย 27.9-28.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

สำหรับความเข้มข้นของสังกะสีในผล พบว่า การใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ ทำให้แตงกวาญี่ปุ่นมีค่าความเข้มข้นของสังกะสีที่สะสมในผลสูงสุดเท่ากับ 53.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าในตำรับอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับสังกะสีในอัตรา 3:0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ซึ่งมีค่าความเข้มข้นเท่ากับ 48.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

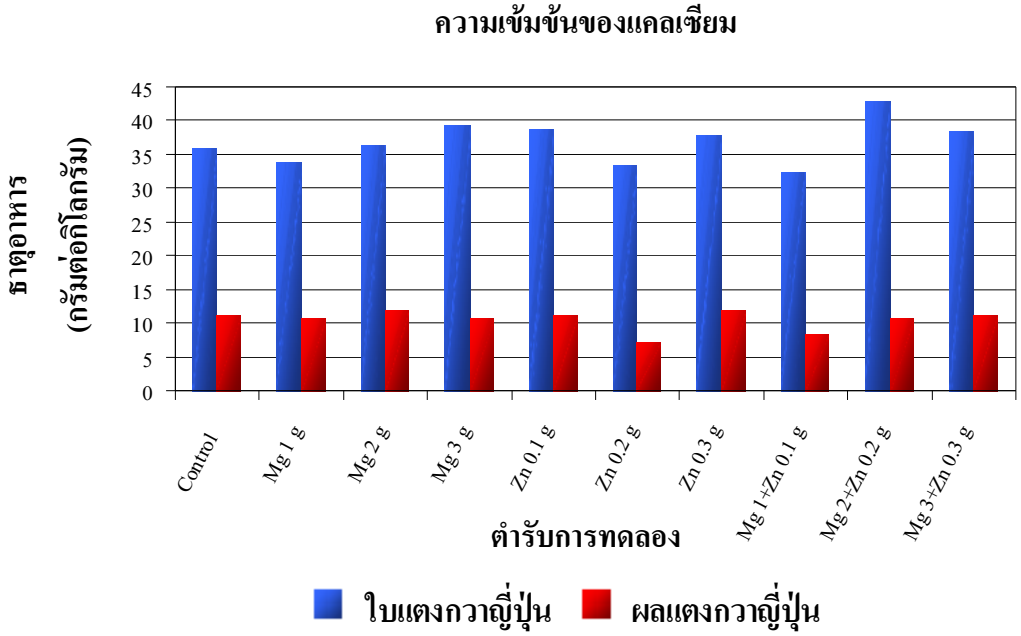
การใส่ปุ๋ยสังกะสีในงานทดลองนี้ไม่มีผลทำให้พืชมีความเข้มข้นสังกะสีที่สะสมในใบที่ 5 มีความแตกต่างกันกับตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยนี้ อาจเนื่องจาก ปุ๋ยสังกะสีที่ใส่ลงไปในดินอาจถูกยับยั้งโดยฟอสฟอรัสที่ตกค้างสูงในดิน โดยการเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ (Loneragan *et al*., 1982) นอกจากนี้การทดลองของสุรศักดิ์ (2516) ที่ศึกษาอิทธิพลร่วมของสังกะสีและฟอสฟอรัสในดินต่อการเจริญ เติบโตของข้าวโพด ผลปรากฏว่าปริมาณทั้งหมดของสังกะสีในข้าวโพดเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใส่ปุ๋ยสังกะสีในอัตราที่มากขึ้น แต่จะลดลงเมื่อมีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสร่วมด้วยในอัตราที่มากขึ้น ซึ่งแสดงว่าฟอสฟอรัสขัดขวางการดูดและการเคลื่อนย้ายสังกะสีในข้าวโพด ดังนั้น ควรจะมีการศึกษาฉีดพ่นทางใบเพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นธาตุนี้เปรียบเทียบกับการให้ทางดินเพื่อให้ทราบผลที่ชัดเจนต่อไป



ภาพที่ 17 อิทธิพลของปุ๋ยในตำรับต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของสังกะสีในเนื้อเยื่อพืช

6) ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบและผลของแตงกวาญี่ปุ่น

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุแคลเซียมทั้งหมดขึ้นไปสะสมในใบที่ 5 และผล พบว่า การสะสมในใบไม่มีความแตกต่างกันระหว่างตำรับควบคุม และตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมและสังกะสีเพิ่มเติม โดยทั้งหมดมีค่าการสะสมแคลเซียมอยู่ในพิสัยแคบ ๆ เท่ากับ 32.5-42.9 กรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าการสะสมค่อนข้างแปรปรวนเมื่อพิจารณาจากอัตราปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 18) อย่างไรก็ตาม อาจกล่าวได้ว่าเมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้พืชสะสมแคลเซียมในใบที่ 5 เพิ่มขึ้น ส่วนค่าที่วิเคราะห์ได้ในผลนั้น ความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดในผลไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีปริมาณอยู่ในพิสัย 10.7-11.8 กรัมต่อกิโลกรัม จากรายงานของ Jones *et al.* (1991) เกณฑ์ที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตนั้น ปริมาณแคลเซียมที่สะสมในใบที่ 5 ของพืชควรอยู่ในช่วง 14-35 กรัมต่อกิโลกรัม จากผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณแคลเซียมที่อยู่ในดินซึ่งพบอยู่ในพิสัย 21.2-21.3 เซนติโมลต่อกิโลกรัมร่วมกับปุ๋ยแคลเซียมไนเทรตที่มีอยู่ใน stock A เท่ากับ 4 กิโลกรัมนั้นเพียงพอต่อความต้องการของพืช เนื่องจากปริมาณการสะสมทั้งหมดอยู่ในพิกัดบนหรือสูงกว่าเกณฑ์ทั้งสิ้น

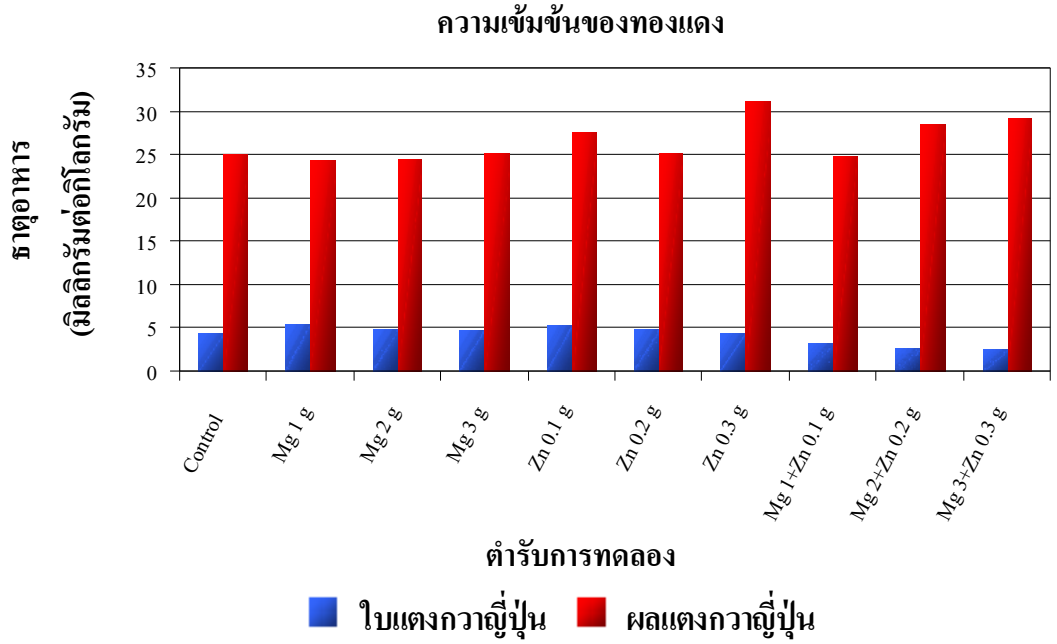


ภาพที่ 18 อิทธิพลของปุ๋ยในตำรับต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของแคลเซียมในเนื้อเยื่อพืช

7) ความเข้มข้นของทองแดงในใบและผลของแตงกวาญี่ปุ่น

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นทองแดงในใบที่ 5 และผล (ภาพที่ 19) พบว่า ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ และปุ๋ยสังกะสีอัตรา 0.1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ทำให้แตงกวาญี่ปุ่นมีค่าความเข้มข้นทองแดงสะสมในใบที่ 5 สูงสุดเท่ากับ 5.4 และ 5.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ โดยสูงกว่าค่าความเข้มข้นในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับสังกะสีทุกอัตราอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่จากรายงานของ Jones *et al.* (1991) เกณฑ์ที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตนั้นควรอยู่ในช่วง 7-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจากการศึกษานี้ พบว่าในทุกตำรับการทดลอง ความเข้มข้นทองแดงมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ดังกล่าว

ส่วนการสะสมในผลนั้นให้ผลที่แตกต่างกัน โดยเมื่อใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 0.3 กรัมต่อสัปดาห์ต่อต้นทำให้มีการสะสมทองแดงในผลสูงสุดเท่ากับ 31.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งแตกต่างกับการสะสมธาตุทองแดงในตำรับอื่น ๆ ส่วนใหญ่อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่มีแนวโน้มของความเข้มข้นใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับสังกะสีในอัตรา 2:0.2 และ 3:0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์

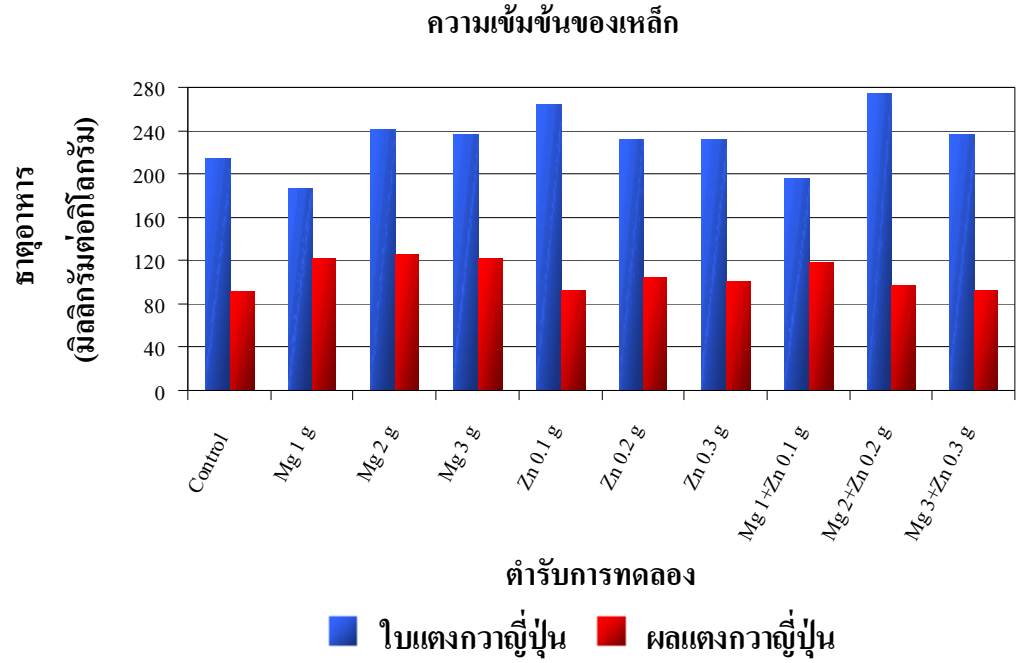


ภาพที่ 19 อิทธิพลของปุ๋ยในตำรับต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของทองแดงในเนื้อเยื่อพืช

8) ความเข้มข้นของเหล็กในใบและผลของแตงกวาญี่ปุ่น

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุเหล็กในใบที่ 5 และผล (ภาพที่ 20) พบว่า ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับปุ๋ยสังกะสีอัตรา 2:0.2 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ทำให้แตงกวาญี่ปุ่นมีค่าความเข้มข้นเหล็กที่สะสมในใบที่ 5 สูงสุดเท่ากับ 273.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยสูงกว่าค่าความเข้มข้นในตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนการให้ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 2 และ 3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ ทำให้ความเข้มข้นธาตุเหล็กมีแนวโน้มสูงขึ้นจากตำรับควบคุมเท่ากับ 240.3 และ 236.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และการใส่ปุ๋ยสังกะสีในอัตราที่สูงขึ้นกลับทำให้การสะสมธาตุเหล็กนั้นมีปริมาณลดลงมีค่าระหว่าง 231.9-263.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่ง Jones *et al*. (1991) รายงานไว้ว่าเกณฑ์ที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตนั้นอยู่ในช่วง 50-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

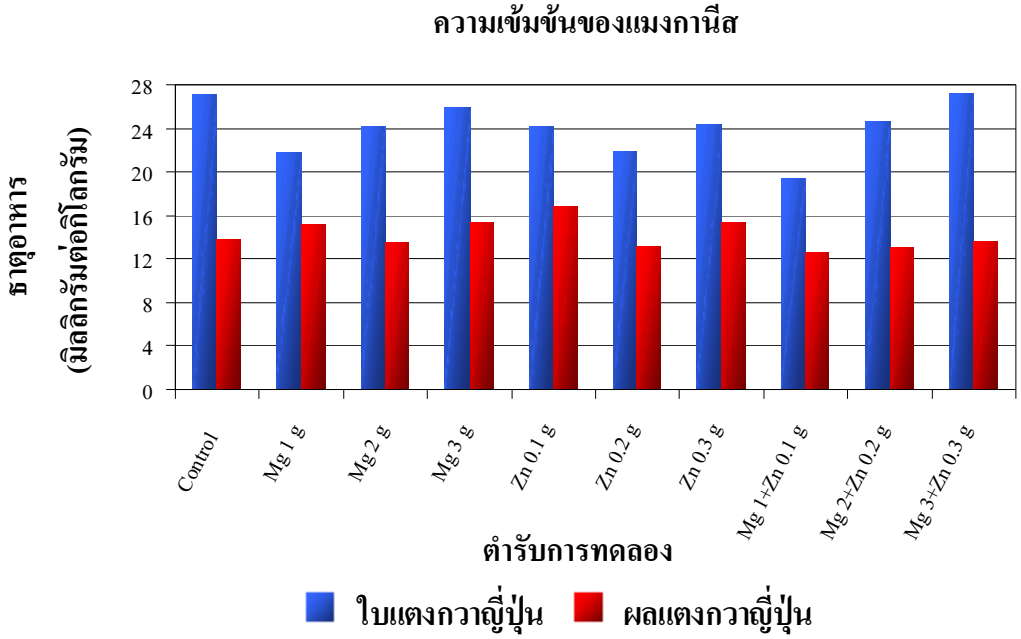
ส่วนการสะสมธาตุเหล็กในผลนั้นตำรับควบคุมมีปริมาณเท่ากับ 92.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 2 กรัมนั้นทำให้การสะสมธาตุเหล็กนั้นเพิ่มขึ้นสูงสุด (126.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม ส่วนการให้ปุ๋ยสังกะสี และปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับปุ๋ยสังกะสีนั้นทำให้การสะสมธาตุเหล็กมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกัน จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การที่ปริมาณเหล็กที่สะสมทั้งในใบและผลนั้นมีปริมาณเพียงพอต่อการเจริญเติบโตนั้น อาจเนื่องมาจากปริมาณเหล็กที่มีอยู่ดินก่อนปลูกทั้งดินบนและดินล่างนั้นมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของพืชโดยมีพิสัย 8.4-9.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม



ภาพที่ 20 อิทธิพลของปุ๋ยในตำรับต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของเหล็กในเนื้อเยื่อพืช

9) ความเข้มข้นของแมงกานีสในใบและผลของแตงกวาญี่ปุ่น

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุแมงกานีสทั้งหมดขึ้นไปสะสมในใบที่ 5 และผล พบว่า การสะสมในใบไม่มีความแตกต่างกันระหว่างตำรับควบคุม และตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมและสังกะสีเพิ่มเติม โดยทั้งหมดมีค่าการสะสมแมงกานีสอยู่ในพิสัยเท่ากับ 19.4-27.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีค่าการสะสมค่อนข้างแปรปรวนเมื่อพิจารณาจากอัตราปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 21) ซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้นั้นมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เช่นเดียวกับค่าที่วิเคราะห์ได้ในผล ซึ่งมีค่าการสะสมค่อนข้างแปรปรวนและมีพิสัยค่อนข้างแคบมีค่าระหว่าง 12.6-16.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่ง Jones *et al.* (1991) รายงานไว้ว่าเกณฑ์ที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตนั้นอยู่ในช่วง 50-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สาเหตุที่น่าจะทำให้ปริมาณแมงกานีสไม่เพียงพอนั้นอาจเนื่องมาจากอันตรกิริยาระหว่างธาตุเหล็กและแมงกานีส ซึ่ง Tottingham and Beck (1916) และ Somers and Shive (1942) กล่าวสอดคล้องกันว่า การขาดธาตุแมงกานีสเกี่ยวข้องกันกับปริมาณเหล็กที่มีอยู่ในพืชและในสารละลาย เนื่องจากเมื่อลดความเข้มข้นของเหล็กหรือเพิ่มความเข้มข้นของแมงกานีสในสารละลาย ทำให้พืชที่ปลูกนั้นสามารถเจริญเติบโตได้ดี



ภาพที่ 21 อิทธิพลของปุ๋ยในตำรับต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของแมงกานีสในเนื้อเยื่อพืช

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การทดสอบปุ๋ยสังกะสีและแมกนีเซียมเพื่อการปลูกแตงกวาญี่ปุ่นในดิน Udic Haplustept ที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างสูง ทดลองในพื้นที่โรงเรือนของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยลึก ตำบลปิงโค้ง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการสะสมธาตุสังกะสีและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นธาตุปุ๋ยและผลผลิตของแตงกวาญี่ปุ่น ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมและสังกะสีหรือไม่ใส่ปุ๋ยทั้งสองเพิ่มเติม ไม่ทำให้ผลผลิตน้ำหนักผลสดแตงกวาญี่ปุ่นในเกรด 1 แตกต่างกัน โดยตำรับควบคุมมีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 2,278 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งใกล้เคียงกับตำรับที่ใส่ปุ๋ยสังกะสีเพิ่ม 0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ และสูงกว่าตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับสังกะสีในอัตรา 2:0.2 และ 3:0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์เล็กน้อย

2. การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ให้ผลผลิตในเกรด 2 สูงสุดเท่ากับ 2,040 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าตำรับอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นในบางตำรับที่การใส่แมกนีเซียมในอัตราดังกล่าวมีแนวโน้มการให้ผลผลิตน้ำหนักสดในเกรดนี้สูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งประกอบด้วยตำรับที่ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ และตำรับที่ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับสังกะสีในอัตรา 2:0.2 และ 3:0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์

3. ผลผลิตรวมในเกรด 1 และ 2 สูงสุดเท่ากับ 3,942 กิโลกรัมต่อไร่ได้จากตำรับที่ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่ม 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ ซึ่งมีแนวโน้มสูงกว่าตำรับควบคุม ตำรับที่ใส่ปุ๋ยชนิดเดียวกันอัตรา 3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ และตำรับที่ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับสังกะสีในอัตรา 2:0.2 และ 3:0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ ขณะที่ผลผลิตดังกล่าวมีปริมาณสูงกว่าตำรับที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4. การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมและสังกะสีเพิ่มในอัตราต่าง ๆ ไม่มีผลทำให้ความเข้มข้นไนโตรเจนขึ้นไปสะสมในเนื้อเยื่อพืช (ใบที่ 5 และผล) แตกต่างกัน แต่เมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์และปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับปุ๋ยสังกะสีอัตรา 3:0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ มีผลทำให้ปริมาณความเข้มข้นฟอสฟอรัสในใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณความเข้มข้นธาตุฟอสฟอรัสในผลนั้นไม่แตกต่างกัน ขณะที่ปริมาณความเข้มข้นโพแทสเซียมในใบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมและปุ๋ยสังกะสีเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อการสะสมธาตุนี้ในผล

5. การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมและปุ๋ยสังกะสีไม่ทำให้ปริมาณความเข้มข้นธาตุแมกนีเซียมและแคลเซียมในเนื้อเยื่อพืชมีความแตกต่างกัน

6. การใส่ปุ๋ยสังกะสีอัตรา 0.3 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ มีผลทำให้ปริมาณความเข้มข้นของธาตุสังกะสีในผลสูงกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมร่วมกับปุ๋ยสังกะสีอัตรา 2:0.2 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์ทำให้ปริมาณความเข้มข้นเหล็กในใบสูงสุด และเมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 2 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์เพียงอย่างเดียวนั้นทำให้ความเข้มข้นธาตุนี้สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ใส่ปุ๋ยต่าง ๆ นั้นไม่ทำให้ปริมาณความเข้มข้นธาตุทองแดงและแมงกานีสในเนื้อเยื่อพืชอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดว่าพอเพียงต่อการเจริญเติบโตของแตงกวาญี่ปุ่น

7. ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ในอัตราต่าง ๆ ไม่แสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของธาตุอาหารต่าง ๆ ในใบและผลแตงกวาญี่ปุ่น เช่นดียวกับผลผลิตน้ำหนักสด แม้ว่าการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มในอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์จะให้ผลผลิตเกรด 1 และเกรด 2 สูงสุด แต่ปริมาณไนโตรเจน แคลเซียมและแมงกานีสในผลนั้นยังไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต ส่วนปริมาณโพแทสเซียม สังกะสี ทองแดง และแมงกานีสในใบนั้นก็ยังมีปริมาณที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้น่าจะเป็นผลจากความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดินบางธาตุ และอาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นที่มีผลต่อการให้ผลผลิตของแตงกวาญี่ปุ่น อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ยร่วมกับน้ำชลประทานตามสูตรที่ใช้ในงานทดลองร่วมกับการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์น่าจะเหมาะสมที่สุดสำหรับการปลูกแตงกวาญี่ปุ่นบนดินที่ทำการศึกษานี้

ข้อเสนอแนะ

การปลูกแตงกวาญี่ปุ่นในดิน Udic Haplustept ที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมตกค้างอยู่สูงมากในดินค่อนข้างมีปัญหาต่อการจัดการปุ๋ยเป็นอย่างมาก เนื่องจากเกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารอื่น และส่งผลต่อสรีรวิทยาของพืชหากมีการดูดใช้มากเกินไปโดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัส ซึ่งแก้ไขได้ยากมาก เพราะฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่ตกค้างในดินนาน โดยถูกตรึงไว้ในรูปต่าง ๆ และปลดปล่อยออกมาเมื่อสภาพแวดล้อมเหมาะสม ในกรณีของโพแทสเซียมอาจจะมีปัญหาน้อยกว่า เนื่องจากพืชสามารถดูดใช้ได้เกินความต้องการ ถึงแม้ว่าจะไม่มีผลเสียต่อสรีรวิทยาของพืช แต่อาจส่งผลด้านลบต่อการขัดขวางของการดูดใช้ธาตุอาหารอื่นได้ นอกจากนี้ดินมีปฏิกิริยาเป็นด่าง และมีธาตุแคลเซียมอยู่สูง อาจไปยับยั้งการดูดใช้แมกนีเซียมของพืชเช่นเดียวกับลดความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุอาหารด้วย

การปลูกแตงกวาญี่ปุ่นบนดินนี้ สามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเนื่องจากผลวิเคราะห์ยืนยันว่ามีตกค้างอยู่ในปริมาณที่สูงมาก การใช้ปุ๋ยร่วมกับน้ำชลประทานตามสูตรที่ใช้ในงานทดลองนี้ร่วมกับการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมอัตรา 1 กรัมต่อต้นต่อสัปดาห์น่าจะเหมาะสมในระดับหนึ่ง แต่ควรจะมีการทดลองต่อไปในกรณีของสังกะสีหรือจุลธาตุอาหารอื่น โดยเป็นการศึกษาการให้ปุ๋ยเหล่านี้ทางใบ ซึ่งพืชอาจแสดงการตอบสนองได้ดีกว่าเนื่องจากการใส่ทางดินอาจประสบปัญหาด้านการตรึงธาตุเหล่านี้ให้อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถดูดใช้ได้ แต่จะต้องระมัดระวังเมื่อมีการใช้ในอัตราสูง เพราะอาจทำให้พืชมีอาการใบไหม้ได้

นอกจากนี้ ควรจะมีการปรับปรุงสูตรปุ๋ยที่ให้ไปกับน้ำชลประทานเนื่องจากในปุ๋ยดังกล่าวยังคงมีการใช้ปุ๋ยที่มีแคลเซียม ($Ca(NO_3)_2.4H_2O$) ฟอสฟอรัส (KH_2PO_4) และโพแทสเซียม (KNO_3, KNO_3 และ KH_2PO_4) ซึ่งมีสะสมอยู่ในดินในปริมาณสูงมากอยู่แล้ว โดยเปลี่ยนมาใช้ปุ๋ยไนโตรเจนรูปอื่นที่ไม่มีธาตุทั้งสามผสมอยู่ เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต เป็นต้น ขณะที่ปุ๋ยยูเรียอาจจะไม่ค่อยเหมาะสมเนื่องจากมีการศึกษาว่ามีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืชตระกูลแตงกวา ขณะที่อีกแนวทางหนึ่งที่ควรมีการศึกษาก็คือ การปรับปรุงดินโดยการลดค่าพีเอชดิน เช่น การใส่ปุ๋ยหมักซึ่งส่วนใหญ่มีปฏิกิริยาเป็นกรด การใช้กำมะถันผงคลุกเคล้าในดินก่อนปลูก หรือปุ๋ยไนโตรเจนบางชนิดที่ใส่ลงดินแล้วมีฤทธิ์เป็นกรด โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมให้แก่พืช ซึ่งน่าจะช่วยลดปัญหาการที่ดินมีแคลเซียมสูงเกินไป และเพิ่มความเป็นประโยชน์ของจุลธาตุอาหาร แต่อาจพบปัญหาฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงซึ่งคาดว่ามีอยู่สูงมากในดินนี้เปลี่ยนมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์มากขึ้นอีก และก่อให้เกิดปัญหาความไม่สมดุลของธาตุอาหารเพิ่มขึ้นก็เป็นได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กิตตินันท์ ธีระวรรณวิไล. 2542. **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปุ๋ยและปัจจัยที่เกี่ยข้องกับการใช้ปุ๋ย**. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชวนพิศ แดงสวัสดิ์. 2544. **สรีรวิทยาของพืช**. ภาควิชาชีววิทยา สถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์, เพชรบูรณ์

ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2530. ธาตุอาหารพืช, น. 445-508. *ใน* **เอกสารประกอบการสอนชุดวิชาเกษตรทั่วไป 4: ดิน น้ำ และปุ๋ย**. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

ถวิล ครุฑกุล. 2540. **เกษตรยั่งยืน การใช้ดิน-ปุ๋ย**. ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัตตะนันท์ และจงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2551. **คู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดิน และพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นครินทร์ทิพย์ พุทธสิทธิ์. 2550. **การลดปริมาณการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในการปลูกแตงกวาญี่ปุ่น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นภาพร ตันครองศิล. 2546. **ผลของอิทธิพลการให้ปุ๋ยทางดิน และทางน้ำต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของแตงกวา**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นวรัตน์ อุดมประเสริฐ. 2541. **สรีรวิทยาของการผลิตพืช**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิพนธ์ ชัยมงคล. 2543. **แตงกวา**. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. 2530. **เคมีดิน**. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. **ความอุดมสมบูรณ์ดิน**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. **ธาตุอาหารพืช**. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เล็ก มอญเจริญ. 2548. **รายงานเบื้องต้นสถานภาพการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับพืชผักในพื้นที่โครงการหลวง.** เอกสารเสนอต่อฝ่ายวิจัยโครงการหลวง, เชียงใหม่.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข และชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2545. การใช้วัสดุเหลือใช้จากการผลิตเยื่อกระดาษเป็นปุ๋ยและปรับปรุงดิน. *ใน* **รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ทุนอุดหนุนวิจัย มก. ประจำปี 2540-2543.**

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, ถวิล ครุฑกุล, ไพบูลย์ ประพฤติธรรม และ อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2527. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุเทวี ศุขปราการ. 2522. **ผักฤดูร้อน**. เอกสารประกอบการสอน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุปราณี กาญจนโพธิ์. 2545. **อิทธิพลของการให้ปุ๋ยทางดินและทางน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของแตงกวา**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรศักดิ์ เสรีพงศ์. 2516. **การศึกษาอิทธิพลร่วมของสังกะสีและฟอสฟอรัสในดินเลยต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวพันธ์ รัตนะรัต, ชลวุฒิ ละเอียด, สมพงษ์ ดิษฐ์สันเทียะ, สำเนา เพชรฉวี, ปรีดา พากเพียร และเฉลียว ดิษฐ์สันเทียะ. 2528. แนวทางการแก้ไขอาการขาดธาตุเหล็กของถั่วลิสงที่ปลูกในดินเหนียวสีดำ. **วารสารดินและปุ๋ย** 4: 56-78.

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2533. **ดินของประเทศไทย**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2542ก. **การสำรวจดิน : มโนทัศน์ หลักการและแนวคิด**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2542ข. **คู่มือปฏิบัติการ การสำรวจดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Adam, F. 1965. Manganese, pp. 1011-1018. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis: Part II**. Amer. Soc. of Agron., Inc., Madison, Wisconsin.

Anderson, C.A. 1982. The effect of high pH and P on the development of lime-chlorosis in two seedling populations of Eucalyptus obliqua L' Herit. **Plant and Soil** 69: 199-212.

Andres, C. and N. Edgardo. 2002. Mineral composition of asparagus green spear and their relation to their post harvest life, pp. 353-355. *In* A. Uragami. **Proc. 10th on Asparagus.** Acta Hort. No. 589.

Atsmon D. and E. Galun. 1960. A morphogenetic study of staminate, pistillate and hermaphrodite flowers in *Cucumis sativus* L. **Phytomorphology**. 10:110–115.

Bakker, J.C., G.W.H. Welles and J.A.M. Van. 1987. The effect of day and night humidity on yield and quality of glasshouse cucumbers. **J. Hortic. Sci**. 62: 361-368.

Blair, G.J., J.R. Freney and J.K. Park. 1990. Effect of sulfur, silicon, and trace metal interactions in determining the dynamics of phosphorus in agricultural systems, pp. 269-280. *In* **Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania**. IRRI, Manila.

Brady, N.C. and R.R. Weil. 2002. **The Nature and Properties of Soils**. 13th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

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

Bremner, J.M. and C.S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total, pp. 595-624. *In* A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney, eds. **Methods of Soil Analysis: Part II, Chemical and Microbiological Properties. Monogr. No. 9**. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Cakmak, I., A. Yilmaz, M. Kalayci, H. Ekiz, B. Torun, B. Erenoglu, and H.J. Braun. 1996. Zn deficiency as a critical problem in wheat production in central Anatolia. **Plant and Soil**. 180: 165-172.

Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891-901. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis: Part II, Chemical microbiological properties. Monogr. No. 9**. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Chen, Y. and P. Barak. 1982. Iron nutrition of plants in Calcareous soil. **Advances in Agron**. 35: 217-240.

Clarkson, D.T. and J.B. Hanson. 1980. The Mineral Nutrition of Higher Plants. Am. Rev. **Plant Physiol.** 31: 239-298.

Curtin, D., J. Ryan and R.A. Chaudhury. 1980. Manganese adsorption and desorption in calcareous Lebanese Soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 44: 447-450.

Davies, B.E. 1980. Trace element pollution, pp. 287-351. *In* B.E. Daviies, ed. **Applied Soil Trace Element**. John Wiley& Sons Ltd., New York.

Decotean, D.R. 2000. **Vegetable Crops**. Prentice-Hall Inc., New Jersey. USA.

Devlin, R.M. and F.H. Witham. 1983. **Plant Physiology**. Wadsworth Publishing Company, California.

Dion, H.G. and P.J.G. Mann. 1946. Three-valent manganese in soils. **J. agric. Sci**. 36: 239-245.

Ekiz, H., S.A. Bagci, A.S. Kiral, S. Eker, I. Giiltekin, A. Alkan and I. Cakmak. 1998. Effects of zinc fertilization and irrigation on gain yield and zinc concentration of various cereals gown in zinc deficient calcareous soils. **J. Plant Nutr.** 21: 2245-2256.

Epstien, E. 1965. Mineral metabolism, pp. 438-461. *In* J. Bonner and J.E. Varner, eds. **Plant Biochemistry**. Academic press, New York.

Elizabeth M.L., L.S. Nicole and J.C. Daniel. 2001. **Beit Alpha Cucumber: A New Greenhouse Crop for Florida**. Dept. Hort. Sci., Florida.

Frederick R.T. and M.T. Louis. 2005. **Soils and Soil Fertility.** 6th ed. Blackwell Publishing. 2121 State Avenue, USA.

Fujieda, K. 1994. Cucumber, pp. 69-72. *In* K. Konishi, S. Iwahori, H. Kitagawa and T. Yakuwa, eds. **Horticulture in Japan**. Asakura Publishing Co., Ltd. Tokyo (In Japanese).

Goldschmidt, V.M. 1954. **Geochemistry**. Clarendon Press, Oxford.

Graifenberg, A., D. Linardakis and I. Arzilli. 1986. Growth and uptake of plant food by mulched cucumbers grown under field conditions. **Hort. Abst.** 56(11): 941.

Grimme, H. 1974. Potassium release in relation to crop production, pp. 131-136. *In* **Proc. 10th Congr. Int. Potash Inst**., Worblaufen-Bern, Switzerland.

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

Heming, S.D. and J.F. Hollis. 2008. Magnesium availability from kieserite and calcined magnesite on five soils of different pH. **Soil Use and Manage.** 11(3): 105-109.

Hesse, P.R. 1971. **A Textbook of Soil Chemical Analysis**. John Murray, London.

Isaac, R.A. and W.C. Johnson. 1976. Determination of total nitrogen in plant tissue, using ablock digester. **J. Assoc. of. Anal. Chem.** 59: 98-100.

Jackson, M.L. 1958. **Soil Chemical Analysis**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

Jahiruddin, M. and M.S. Cresser. 1991. Solubility of Zn as affected by Fe, Al and P concentrations in relation to pH. **J. Indian** 39: 153-155.

Jayaram, D. and V.B. Allen. 1994. Potassium Fractions with Other Nutrients in Crop: A Review Focusing on the Topics. **J. Plant Nutr.** 17(11): 1859-1886.

Jones, J.B., Jr. and V.W. Case. 1990. Sampling, handling, and analyzing plant tissue sample, pp. 389-427. *In* R.L. Westerman, ed. **Soil Testing and Plant Analysis**. Soil. Sci. Soc. Amer. Inc., Madison, Wisconsin.

Jones, Jr., J.B., B. Wolf and H.A. Mills. 1991. **Plant Analysis Handbook**. Micro-Macro Publishing, Inc., Georgia, USA.

Katyal, J.C., S.K. Das, K.L. Sharman and N.Saharan. 1992. Interaction of Zn in soil and their management. **Fertility News** 37(4): 27-33.

Kevin, D., J. O'Brien, L. Voet and T. Edwards. 2003. Metalosate zinc in plant nutrition. **Alboin.** 4(2): 1-4.

Khamis, S., S. Chaillou and T. Lamare. 1990. CO_2 assimilation and partitioning of carbon in maize plants deprived of orthophosphate. **J. Exp. Bot.** 41: 1619-1625.

Kilmer, V.J. and L.T. Alexander. 1949. Method of making mechanical analysis of soils. **Soil Sci.** 68: 15-24.

Knezek, B.D. and B.G. Ellis. 1980. Essential micronutrients, copper, Iron, Manganese and Zinc, pp. 259-286. *In* B.E. Davies, ed. **Applied Soil Trace Elements**. John Wiley & Sons Ltd., New York.

Leggett, J.E. and W.A. Gilbert. 1969. Magnesium uptake by soybeans. **Plant Physiol.** 44: 1182-1186.

Linn, H.C., and T.C. Chang. 1972. Study on the mineral nutrition of *Asparagus officinalis* L. Dept. Agr. **Chem. Nat.**, Taiwan. Univ. Abstr.

Lindsay, W.L. 1972. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils, 41 p. *In* J.J. Mortvedt, P.M. Giordano and W.L. Lindsay, eds. **Micronutrients in Agriculture**. Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin.

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

Liu, X.B., Q. Yang, T.D. Chu, S.H. Wang, S.R. Li and X.F. Wu. 1993. Effect of Zinc application on corn. **Acta Pedol Sinica** 30: 153-162. (in Chinese).

Liu, Z. 1996. **Microelements in Soils of China**. Jiangsu Science and Technology Press, Nanjing, China. (in Chinese).

Loneragan, J.F., D.L. Grunes, R.M. Welch, A.E. Aduayi, A.Tengah, V.A. Lazer and F.E. Cary. 1982. Phosphorus accumulation on toxicity in leaves in relation to zinc supply. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 46: 345-352.

Marschner, H. 1995. **Mineral Nutrition of Plants**. 2nd ed. Academic Press, New York.

Maurya, K.R. 1987. Effect of nitrogen and Boron on sex ratio, yield, protein and ascorbic acid content of cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Indian J. Hort.** 44: 239-240.

McBride, M.B. 1979. Chemosorption and precipitation of Mn^{3+} at $CaCO_3$ surfaces. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 43: 693-698.

McElroy, W.D. and A. Nason. 1954. Mechanisms of action of micronutrient elements in enzyme systems. Ann. Rev. **Plant Physiol.** 5: 1-30.

Mehta, S.C., S.R. Poonia and P. Raj. 1984. Adsorption and immobilization of Zinc and Calcium and Sodium-Saturated Soils from a semiarid region, India. **Soil Sci.** 137: 108-114.

Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1982. **Principles of Plant Nutrition.** Potash Inst. Bern.

Mill, H.A. and J.B. Jones, Jr. 1996. **Plant Analysis Handbook II: A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide**. Micro Macro Publing Inc., USA.

Moraghan, J.T. and H.J. Mascagni. 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities, pp. 371-425. *In* J.J. Mortvedt, F.R. Cox, L.M. Shuman and R.M. Welch, eds. **Micronutrients in Agriculture**. 2nd ed. Soil Sci. Soc. of Amer. Madison, Wisconsin.

Mortvedt, J.J. 1988. Micronutrient in crop production, pp. 5-8. *In* **Symposium on Micronutrient Fertilizer and Their Use, October 20-22, 1987**. Sarasota, Florida.

Mulder, D. 1950. Magnesium deficiency in fruit trees on sandy and clay soils in Holland. **Plant and Soil** 2: 145-157.

Mulder, E.G. and F.C. Gerretsen. 1952. Soil manganese in relation to plant growth. **Advances Agron.** 4: 221-275.

National Soil Survey Center. 1996. **Soil Survey Laboratory Methods Manual**. Soil Survey investigations Report No. 42, Version 3.0. Natural Conservation Service, USDA.

Nonnecke, L. 1989. **Vegetable Production**. Van Nostrand Reinhold Publ., New York.

Oberson, A. and E.J. Joner. 2005. Microbial turnover of phosphorus in soil, pp. 133-164. *In* B.L. Turner, E. Frossard and D.S. Bladwin, eds. **Organic Phosphorus in the Environment**. CAB International, Wallingford, UK.

Ohsens Enke Co., 1991. **Growing Cucumber in Greenhouse**. Roskildevej 325A, TAASTRUP, Denmark.

Olson, R.A., D.D. Stukenholtz and C.A. Hooker. 1965. Phosphorus-zinc relations in corn and sorghum production. **Better Crops with Plant Food** 49: 19-24.

Orto, D.M. and L. Brancadoro. 2000. Use biochemical parameter to select grapevine genotypes resistant to iron-chlorosis. **J. Plant Nutr.** 15: 2063-2083.

Papadopoulos, A.P. 1994. **Growing greenhouse seedless cucumber in soil and soilless media**. Agriculture and Agri-Food, Canada.

Pearce, R.C., Y. Li and L.P. Bush. 1999. Calcium and bicarbonate effects on the growth and nutrient uptake of burley tobacco seedlings: hydroponic culture. **J. Plant Nutr.** 22: 1069-1078.

Peech, M. 1945. Determination of exchangeable cation and exchange capacity of soil rapid micromethod utilizing centrifuge and spectrophotometer. **Soil Sci.** 59:25-28.

_____. 1965. Exchange acidity, pp. 905-913. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis: Part II, Chemical and Microbiological Properties. Monogr. No. 9**. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin.

Peet, M.M., S.C. Huber and D.T. Patterson. 1986. Acclimation to high CO_2 in monoecious cucumbers. **J. Plant Physiol.** 80: 63-67.

Plaster, E.J. 1992. **Soil science and Management**. Albany. New York, USA.

Prasad, R., S.N. and J.F. Power. 1997. **Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture**. Boca Raton, Fla. Lewis.

Pratt, P.E. 1965. Potassium, pp. 1022-1030. *In* C.A. Black, ed. **Methods of soil Analysis: Part II, Chemical and Microbiological Properties. Monogr. No. 9**. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Price, C.A., H.E. Clark and E.A. Funkhouser. 1972. Function of micronutrient in plants, pp. 231-242. *In* J.J. Mortvedt, P.M. Giordano and W.L. Lindsay, eds. **Micronutrients in Agriculture**. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison, Wisconsin.

Reinbott, T.M. and D.G. Blevins. 1991. Phosphate interaction with uptake and leaf concentration of magnesium, calcium, and potassium in winter wheat seedlings. **Agron J**. 83: 1043-1046.

_____ and_____. 1994. Phosphorus and temperature effects on magnesium, calcium, and potassium in wheat and tall fescue leaves. **Agron. J.** 86: 523-529.

Rending, V.V. and H.M. Taylor. 1989. **Principle of Soil-Plant Interrelationships**. McGraw-Hill Publishing Company, New York.

Richards, L.A. 1954. Diagnostic and improvement of saline and alkaline soils, pp. 60-160. *In* **U.S. Salinity Laboratory**. U.S. Dept. Agr. Hbk.

Romera, F.J., E. Alcantara and M.D. Guardia. 1991. Characterization of the tolerance to iron chlorosis in different peach rootstocks grown in nutrient solution effect of bicarbonate and phosphate. **Plant and Soil** 130: 119-155.

Romheld, V. 2000. The chlorosis paradox: Fe inactivation as a secondary event in chlorotic leaves of grapevine. **J. Plant Nutr.** 23: 1629-1643.

Roorda, J.P.N.L. and K.W. Smith. 1981. **Nutritional Disorders in Glasshouse Tomatoes, Cucumbers and Lettuce**. Wageningen, Netherlands.

Roppongi, K. 1992. Studies of nutritional diagnosis in fruit vegetable: I. Diagnosis of nitrogen nutrition in cucumber through the nitrate petiole juice. **Hort. Abst.** 62: 252.

Sander, D.C. 1999. Nitrogen-Potassium interactions in asparagus, pp. 421-425. *In* A. Uragami. **Proc. 10th on Asparagus**. Acta Hort. No. 589.

Sanz, M., J. Cavero and J. Abadia. 1992. Iron chlorosis in the Ebro river basin, Spain. **J.Plant Nutr.** 15: 1971-1981.

Scott, B.J. and A.D. Robson. 1990(a). Changes in the content and form of magnesium in the first trifoliate leaf of subterranean clover under altered or constant root supply. **Aust. J. Agric. Res.** 41: 511-519.

_____ and_____. 1990(b). Distribution of Magnesium in Subterranean Clover in Relation to Supply. **Aust. J. Agric. Res.** 41: 499-510.

Shenker, M. and Y. Chen. 2005. Increasing iron availability to crops : fertilizers, organo - fertilizers, and biological approaches. **Soil Sci. Plant Nutr.** 51(1): 1-17.

Sillanpaa, M. 1972. Trace element in soil and agriculture, pp. 41-44. *In* **FAO Soil Bulletin No. 17**. Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.

Soil Conservation Service. 1984. **Procedures for Collecting Soil Samples and Method of Analysis for Soil Survey Investigation**, **No.1 (revised)**. U.S. Dep. Agron., Washington D.C.

Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil Survey Manual**. USDA, Handbook No. 18. U.S. Gov. Print. Off., Washington, DC.

Somers, I.I. and J.W. Shive. 1942. The iron-manganese relation in plant metabolism. **Plant Physiol.** 17: 582.

Swietlik, D. 1989. Zinc Stress on Citrus. **J. Rio Grande Valley Hort. Soc**. 42: 87-95.

Taiz, L. and E. Zeiger. 1998. **Plant Physiology**. 2nd ed. Sinauer Assoc. Inc. Publ., Sunderland, Massachusetts.

Tanemura, R., H. Kurashima, N. Otake, K. Sueyoshi and T. Ohyama. 2008. Absorption and translocation of nitrogen in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants using the ^{15}N tracer technique. **Soil Sci. Plant Nutr.** 54: 108-117.

Tisdale, S.L. and W.L. Nelson. 1963. **Soil Fertility and Fertilizer**. 4th ed. MacMillan Pub. Co., New York.

_____and J.D. Beaton. 1985. Soil and fertilizer potassium, pp.249-291. *In* S.L Tisdale, W.L. Nelson and J.D. Beaton, eds. **Soil Fertility and Fertilizers**. 4th ed. MacMillan Pub. Co., New York.

Tottingham, W.E. and A.J. Beck. 1916. Antagonism between manganese and iron in the growth of wheat. **Plant World** 19: 359.

Tsui, C. 1948. The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant. **Amer. J. Bot.** 35: 172-179.

Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter: a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Sci.** 37: 29-35.

Waskom, R.M., T. Bauder, J.G. Davis and G.E. Cardon. 2003. **Diagnosing Saline and Sodic Soil Problems No. 0.521**. Colorado State University Cooperative Extension.

Weaver, J.E. and W.E. Bruner. 1927. **Root Development of Vegetable Crops**. Mc Graw-Hill Book Co., Inc. New York.

Wu, W., J. Peters and G.A. Berkowitz. 1991. Surface change-mediated effects of Mg^{2+} and K^{+} flux across the chloroplast envelope are associated with regulation of stromal pH and photosynthesis. **Plant Physiol.** 97: 580-587.

Yamaguchi, M. 1983. **World Vegetables: Principles of Production and Nutritive Values**. van Nastrand Reinhold Company Inc., New York.

Yanai, T. 1975. Effect of nitrogenous fertilizer on the growth of cucumber plants in relation to soil type and application method in a vinyl house. Bull. Koshi Inst. **Agr. Forest Sci.** 7: 29-41.

Yoshida, S., D.A. Forno and J.H. Cook. 1971. **Laboratory Manure for Physiological Studies of Rice.** Int. Rice Res. Inst., Los Banos, Laguna, Philippines.

Yu, J.O., Y.H. Zhou, L.F. Huang and D.J. Allen. 2002. Chill-induced inhibition of photosynthesis: genotype variation within *Cucumis sativus*. **J. Plant and Cell Physiol.** 43(10): 1182-1188.

ภาคผนวก

SOIL PROFILE DESCRIPTION

I Information on the site

Profile symbol	: HL-2
Classification	: Udic Haplustept
Date of examination	: 25 May 2006
Described by	: Irb Kheoruenromne, Somchai Anusornpornperm, Nakarintip Putthasit, Suphicha Thanachit, Nattapol Chittamart, Worachart Wisawapipat, Kosol Khenta and Salisa Sungviset.
Location	: Ban Thai Samakkee, Tambon Ping Kong, Amphoe Chiangdao, Changwat Chiang Mai
Elevation	: Approximately 556 m (MSL)
Map sheet number	: None Coordination: 47 0506424 E, 21 59394N
Landform	
1. Physiographic position	: Graded upper residual hill
2. Surrounding land form	: Nearly flat
3. Slope on which profile site	: 2% Aspect: 92 Azi
Land use	: Vegetables
Annual rainfall	: Approximately 1,300 mm
Mean temperature	: Approximately 27 ^{o}C
Climate	: Tropical Savanna

II General information on the soil

Parent material	: Local alluvium over residuum derived from calcite bearing rocks
Drainage	: Well drained
Permeability	: Rapid
Runoff	: Slow
Depth of groundwater	: Deeper than 210 cm at time of sampling

III Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
Apk1	0-12	Very dark grayish brown (10YR 3/2); clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; soft dry, firm moist, moderately sticky and very plastic; very few very fine, fine and medium vesicular and few fine simple tubular pores; many very fine and very few fine roots; few fine cracks, few traces of dead roots, very few fine variegated sand; strongly alkaline (field pH 8.5); clear, smooth boundary to Apk2
Apk2	12-33	Dark yellowish brown (10YR 3/4); clay; moderate medium and coarse semi-angular blocky structure; very hard dry, very firm moist, moderately sticky and very plastic; few faint clay coats on faces of peds and pore walls; few very fine, very few fine, medium vesicular and few fine simple tubular pores; very few very fine roots; few traces of dead roots; few fine cracks; few faint pressure faces; strongly alkaline (field pH 8.5); clear, smooth boundary to Bk1
Bk1	33-50	Brown (10YR 4/3); slightly gravelly clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, slightly firm moist, moderately sticky and very plastic; common faint clay coats on faces of peds and pore walls; common very fine, few fine, very few medium vesicular and few fine simple dendritic tubular pores; practical no roots; few fine angular calcite bearing rock fragment; strongly alkaline (field pH 8.5); clear, smooth boundary to Bk2
Bk2	50-71	Dark yellowish brown (10YR 4/3); clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, firm moist, moderately sticky and very plastic; common faint clay coats on faces of peds and pore walls; common very fine, few fine medium vesicular and few fine simple tubular pores;

		practical no roots; few broken mollusk shell fragments; strongly alkaline (field pH 8.5); clear, smooth boundary to Bk3
Bk3	71-92	Yellowish brown (10YR 5/4); clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, slightly firm moist, moderately sticky and very plastic; common faint clay coats on ped faces and pore walls; very few very fine, common fine, few medium vesicular, very fine simple and dentritic tubular pores; practical no roots; few broken mollusk shell fragments; few traces of dead roots; few quartz fragments; strongly alkaline (field pH 8.5); gradual, smooth boundary to Bk4
Bk4	92-129	Yellowish brown (10YR 5/6); slightly gravelly clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, slightly firm moist, moderately sticky and very plastic; common faint clay coats on faces of peds and pore walls; common very fine, fine, few medium vesicular, common very fine, fine simple and dendritic tubular pores; practical no roots; few large calcite bearing rock fragments; strongly alkaline (field pH 8.5); gradual, smooth boundary to Bk5
Bk5	129-165	Yellowish brown (10YR 5/6); slightly gravelly clay; moderate fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, slightly firm moist, moderately sticky and very plastic; common distinct clay coats on pore walls; few very fine, common fine, few medium vesicular and common very fine simple tubular pores; practical no roots; common calcite bearing rock fragments with various sizes ranging from 1-5 cm.; few faint pressure faces; strongly alkaline (field pH 8.5); clear, smooth boundary to Bt
Bt	165-210+	Very dark grayish brown(10YR 3/3); clay; moderate medium and coarse subangular blocky structure; hard dry, firm moist, moderately sticky and very plastic; common distinct clay coats

on faces of peds and pore walls; very few very fine, fine, medium vesicular and fine simple tubular roots; practical no roots; few fine cracks; few trace of dead roots; few faint pressure faces; strongly alkaline (field pH 8.5).

ตารางผนวกที่ 1 แสดงสมบัติดินบางประการ ก่อนการทดลองปลูกแตงกวาญี่ปุ่น

Depth	Horizon	pH	EC	OM	Total N	Avail. P	Avail. K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Fe	Mn
(cm)			(dS m^{-1})	(← g kg^{-1} →)		(← mg kg^{-1} →)		(← cmol(+) kg^{-1} →)			(← mg kg^{-1} →)			
0-15	Topsoils	7.8	1.5	56.6	1.6	859.3	461.2	21.2	5.5	2.9	1.8	2.0	9.0	13.7
15-30	Sub soil	7.7	1.0	50.5	1.3	750.2	469.6	21.3	5.5	2.9	0.4	1.0	8.4	16.7

1/ วัดโดย pH meter 1:1 H_2O

2/ วัดโดย electrical conductivity bridge 1:1 H_2O

3/ Walkley and Black method

4/ Kjeldahl method

5/ Bray II

6/ สกัดด้วย 1 N NH_4OAc pH 7.0

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณความเข้มข้นธาตุปุ๋ยที่สะสมในใบและผล เมื่อมีการใส่ปุ๋ย

Treatment	Nitrogen (g kg^{-1})		Phosphorus (g kg^{-1})		Potassium (g kg^{-1})	
	Leaf	Fruit	Leaf	Fruit	Leaf	Fruit
Control	42.1	38.7	5.3 a	9.1	20.2 a	64.3 bcd
Mg 1 g	47.7	39.6	5.4 ab	9.7	20.6 a	66.6 d
Mg 2 g	36.8	41.1	6.0 abc	8.4	26.4 b	56.5 a-d
Mg 3 g	38.9	42.3	6.4 c	8.6	27.2 b	65.6 cd
Zn 0.1 g	40.5	34.6	5.9 abc	8.1	26.3 b	53.7 abc
Zn 0.2 g	38.0	40.6	6.2 bc	7.3	25.8 b	52.5 ab
Zn 0.3 g	41.5	39.8	6.1 abc	9.5	26.3 b	58.1 a-d
Mg 1 g+Zn 0.1 g	36.0	41.8	5.8 abc	8.2	24.6 b	48.3 a
Mg 2 g+Zn 0.2 g	38.0	39.8	6.1 abc	9.2	23.4 ab	54.4 a-d
Mg 3 g+Zn 0.3 g	42.9	40.8	6.5 c	8.4	26.9 b	56.3 a-d
F-test	ns	ns	*	ns	**	*
CV (%)	23.8	21.3	8.7	16.8	9.7	12.9

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในคอลัมน์เดียวกันที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกัน ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณธาตุแมกนีเซียมและแคลเซียมทั้งหมดที่สะสมในใบและผล เมื่อมีการใส่ปุ๋ย

Treatment	Magnesium (g kg^{-1})		Calcium (g kg^{-1})	
	Leaf	Fruit	Leaf	Fruit
Control	7.2	4.7	35.9	11.1
Mg 1 g	6.4	5.2	33.9	10.7
Mg 2 g	6.8	4.9	36.3	11.8
Mg 3 g	7.5	4.6	39.3	10.8
Zn 0.1 g	7.2	5.3	38.7	11.2
Zn 0.2 g	6.6	4.4	33.3	7.3
Zn 0.3 g	7.2	5.5	37.8	11.8
Mg 1 g+Zn 0.1 g	5.8	4.3	32.5	8.3
Mg 2 g+Zn 0.2 g	7.6	4.8	42.9	10.8
Mg 3 g+Zn 0.3 g	7.1	4.8	38.5	11.2
F test	ns	ns	ns	ns
CV (%)	13.3%	12.4%	11.8%	20.9%

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในคอลัมน์เดียวกันที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกัน ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT
** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์
ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณจุลธาตุอาหารทั้งหมดที่สะสมในใบและผล เมื่อมีการใส่ปุ๋ย

Treatment	Zinc ($mg\ kg^{-1}$)		Copper ($mg\ kg^{-1}$)		Iron ($mg\ kg^{-1}$)		Manganese ($mg\ kg^{-1}$)	
	Leaf	Fruit	Leaf	Fruit	Leaf	Fruit	Leaf	Fruit
Control	22.5	41.1 ab	4.4 bc	25.0 a	214.8 ab	92.1 a	27.2 c	13.8
Mg 1 g	22.9	36.5 a	5.4 c	24.3 a	187.5 a	122.3 ab	21.8 ab	15.2
Mg 2 g	25.2	36.1 a	4.9 bc	24.5 a	240.3 abc	126.7 b	24.2 abc	13.5
Mg 3 g	28.1	32.9 a	4.8 bc	25.3 ab	236.3 abc	122.2 ab	26.0 bc	15.4
Zn 0.1 g	28.1	37.6 a	5.2 c	27.5 abc	263.6 bc	93.0 a	24.2 abc	16.8
Zn 0.2 g	27.9	39.2 a	4.9 bc	25.3 ab	232.2 abc	104.1 ab	21.9 ab	13.2
Zn 0.3 g	28.2	53.6 c	4.4 bc	31.3 d	231.9 abc	100.8 ab	24.4 abc	15.4
Mg 1 g+Zn 0.1 g	23.6	36.4 a	3.2 ab	24.8 a	196.5 a	118.9 ab	19.4 a	12.6
Mg 2 g+Zn 0.2 g	23.8	35.9 a	2.7 a	28.4 bcd	273.8 c	97.1 ab	24.7 bc	13.1
Mg 3 g+Zn 0.3 g	25.7	48.6 bc	2.5 a	29.1 cd	235.9 abc	92.3 a	27.3 c	13.7
F test	ns	**	**	**	*	*	*	ns
CV (%)	10.9	13.4	24.7	8.0	14.0	16.9	13.0	19.0

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในคอลัมน์เดียวกันที่ตามหลังด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

* ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 5 แสดงค่าวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในแตงกวาญี่ปุ่น (*Cucummis sativus* L.)

Nutrient	Growth Stage	Plant Part	Concentration range			Country
			Deficient	Adequate	High	
Nitrogen (g kg^{-1})	Flower bud to small fruit	5th Bud from tip	38.0-44.9	45.0-60.0	>60.0	USA
Phosphorus (g kg^{-1})	Flower bud to small fruit	5th Bud from tip	2.8-3.4	3.4-12.5	>12.5	USA
Potassium (g kg^{-1})	Flower bud to small fruit	5th Bud from tip	32.0-38.9	39.0-50.0	>50.0	USA
Cacium (g kg^{-1})	Flower bud to small fruit	5th Bud from tip	9.0-13.9	14.0-35.0	>35.0	USA
Magnesium (g kg^{-1})	Flower bud to small fruit	5th Bud from tip	2.2-2.9	3.0-10.0	>10.0	USA
Zinc (mg kg^{-1})	Flower bud to small fruit	5th Bud from tip	15.0-24.0	25.0-100.0	>100.0	USA
Copper (mg kg^{-1})	Flower bud to small fruit	5th Bud from tip	4.0-6.0	7.0-20.0	>20.0	USA
Iron (mg kg^{-1})	Flower bud to small fruit	5th Bud from tip	30.0-49.0	50.0-300.0	>300.0	USA
Manganese (mg kg^{-1})	Flower bud to small fruit	5th Bud from tip	20.0-49.0	50.0-300.0	>300.0	USA

ที่มา: Jones *et al.* (1991)

ตารางผนวกที่ 6 ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมีของดิน (เอิบ, 2542ก; Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993)

1. ปฏิกิริยาของดิน (Soil reation), pH (ดิน : น้ำ = 1:1)

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)	< 3.5
เป็นกรดรุนแรงมาก (extremely acid)	3.5-4.4
เป็นกรดจัดมาก (very strongly acid)	4.5-5.0
เป็นกรดจัด (strongly acid)	5.1-5.5
เป็นกรดปานกลาง (moderately acid)	5.6-6.0
เป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid)	6.1-6.5
เป็นกลาง (neutral)	6.6-7.3
เป็นด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)	7.4-7.8
เป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9-8.4
เป็นด่างจัด (strongly alkaline)	8.5-9.0
เป็นด่างจัดมาก (very strongly alkaline)	> 9.0

2. อินทรียวัตถุ (organic matter)

ระดับ (rating)	พิสัย ($g\ kg^{-1}$)
ต่ำมาก (VL)	< 5
ต่ำ (L)	5-10
ค่อนข้างต่ำ (ML)	10-15
ปานกลาง (M)	15-25
ค่อนข้างสูง (MH)	25-35
สูง (H)	35-45
สูงมาก (VH)	> 45

3. ปริมาณไนโตรเจนรวม (total nitrogen)

ระดับ (rating)	พิสัย ($g\ kg^{-1}$)
ต่ำมาก (VL)	< 1.0
ต่ำ (L)	1.0-2.0
ปานกลาง (M)	2.0-5.0
สูง (H)	5.0-7.5
สูงมาก (VH)	> 7.5

4. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) (Bray II)

ระดับ (rating)	พิสัย (mg kg^{-1})
ต่ำมาก (VL)	< 3
ต่ำ (L)	3-6
ค่อนข้างต่ำ (ML)	6-10
ปานกลาง (M)	10-15
ค่อนข้างสูง (MH)	15-25
สูง (H)	25-45
สูงมาก (VH)	> 45

5. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available K) (NH_4OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย (mg kg^{-1})
ต่ำมาก (VL)	< 30
ต่ำ (L)	30-60
ปานกลาง (M)	60-90
สูง (H)	90-120
สูงมาก (VH)	> 120

6. เบสรวมที่สกัดได้ (extractable bases) (NH_4OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย (cmol(+) kg^{-1})				
	extr.Ca	extr.Mg	extr.K	extr.Na	extr.bases
ต่ำมาก (VL)	< 2.0	< 0.3	< 0.2	< 0.1	< 2.6
ต่ำ (L)	2-5	0.3-1.0	0.2-0.3	0.1-0.3	2.6-6.6
ปานกลาง (M)	5-10	1.0-3.0	0.3-0.6	0.3-0.7	6.6-14.3
สูง (H)	10-20	3.0-8.0	0.6-1.2	0.7-2.0	14.3-31.2
สูงมาก (VH)	> 20	> 8.0	> 1.2	> 2.0	> 31.2

หมายเหตุ

VL = ต่ำมาก (very Low)

L = ต่ำ (Low)

ML = ค่อนข้างต่ำ (Moderately Low)

M = ค่อนข้างต่ำ (Moderately Low)

MH = ค่อนข้างสูง (Moderate High)

H = สูง (High)

VH = สูงมาก (very Low)

7. ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)

ระดับ (rating)	พิสัย (cmol(+) kg^{-1})
ต่ำมาก (VL)	<3
ต่ำ (L)	3-5
ค่อนข้างต่ำ (ML)	5-10
ปานกลาง (M)	10-15
ค่อนข้างสูง (MH)	15-20
สูง (H)	20-30
สูงมาก (VH)	>30

8. อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (base saturation)

ระดับ (rating)	พิสัย (%)
ต่ำ (L)	<35
ปานกลาง (M)	35-75
สูง (H)	>75

9 เกณฑ์การแบ่งระดับสภาพกรดแลกเปลี่ยนได้

ระดับ (rating)	พิสัย (cmol(+) kg^{-1})
ต่ำมาก	<1.0
ต่ำ	1.0-2.0
ปานกลาง	2.0-5.0
ค่อนข้างสูง	5.0-10.0
สูง	10.0-20.0
สูงมาก	>20.0

10. เกณฑ์การแบ่งระดับความหนาแน่นรวมของดิน

ระดับ (rating)	พิสัย (mg m^{-1})
ต่ำมาก	<1.2
ต่ำ	1.2-1.4
ปานกลาง	1.4-1.6
ค่อนข้างสูง	1.6-1.8
สูง	1.8-2.0
สูงมาก	>2.0

11. ระดับชั้นของค่าสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว

ระดับชั้น	ค่าสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว ($cm\ hr^{-1}$)
ช้ามาก (very slow)	< 0.125
ช้า (slow)	0.125-0.50
ช้าปานกลาง (moderately slow)	0.50-2.00
ปานกลาง (moderate)	2.00-6.25
เร็วปานกลาง (moderately rapid)	6.25-12.50
เร็ว (rapid)	12.50-25.00
เร็วมาก (very rapid)	> 25.00

ตารางผนวกที่ 7 ค่าเปรียบเทียบระหว่าง non SI unit เป็น SI unit

Quantity	SI unit	Conversion equation
Electrical conductivity	dS m^{-1}	1 mS/cm = dS m^{-1}
		1 μ/cm = 0.001 dS m^{-1}
Cation exchange capacity	cmol (+) kg^{-1}	1 meq/100g = cmol (+) kg^{-1}
Anion exchange capacity	cmol (-) kg^{-1}	1 meq/100g = cmol (-) kg^{-1}
Exchange cation	cmol (+) kg^{-1}	1 meq/100g = cmol (+) kg^{-1}
Mass ratio	g kg^{-1}	1% = 10 g kg^{-1}
	mg kg^{-1}	1 ppm = 1 mg kg^{-1}
		1 mg/100g = 10 mg kg^{-1}
	μg kg^{-1}	1 ppb = 1 μg kg^{-1}
	mg kg^{-1}	1 ppt = 1 ng kg^{-1}
Mass concentration	g L^{-1}	1% = 10 g L^{-1}
	mg L^{-1}	1 ppm = 1 mg L^{-1}
	μg L^{-1}	1 ppb = 1 μg L^{-1}
Density	Mg m^{-3}	1g/cm^3 = 1 Mg m^{-3}
Specific surface	m^2 kg^{-1}	1 m^2/g = 1000 m^2 kg^{-1}
Pressure	kPa, Mpa	1 bar = 0.1 Mpa
Radioactivity	Bq	1 Ci = 3.7 x 10^{10}
Rate, Yield	kg ha^{-1}	1 kg/10a = 10 kg ha^{-1}
	Mg ha^{-1}	1t/10a = 10 Mg ha^{-1}

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวนฤเนตร เกียรติเสริมขจร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 7 มิถุนายน 2526
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์เกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน