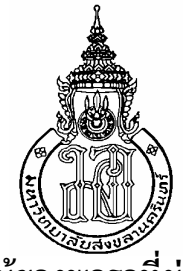


การใช้น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน เพื่อการปลูกพืช

Using of Wastewater Treated with Fenton Reaction from Rubber Wood Factories for Planting

เจษฎา จิตรหลัง

Jetsada Chitlang

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Soil Resources Management
Prince of Songkla University
2551

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันเพื่อการปลูกพืช

ผู้เขียน นายเจษฎา จิตรหลัง

สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยรัตน์ นิลนนท์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ มณีพงศ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันเพื่อการปลูกพืช

ผู้เขียน นายเจษฎา จิตรหลัง

สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราหลังผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน พบว่า มีธาตุ โบรอน กำมะถัน และแคลเซียม ปริมาณ 509, 790 และ 410 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มีประโยชน์สำหรับพืช จึงได้ทำการศึกษาเพื่อนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืช โดยแบ่งออกเป็น 4 การทดลอง คือ

1.) ศึกษาผลของน้ำเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยปลูกต้นกล้ามะเขือเทศอายุ 30 วัน ในดินคอหงส์ 5 กก. และให้น้ำเสียในอัตราต่างๆ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) มี 6 ตำรับการทดลอง 4 ซ้ำ คือ ให้น้ำเสียปริมาตร 0, 5, 10, 20, 40 และ 100 มล./กระถาง โดยนำน้ำเสียตามตำรับการทดลองมาเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรรวม 500 มล. แล้วแบ่งรดมะเขือเทศ 2 ครั้ง

2.) ศึกษาธาตุที่ทำให้เกิดความเป็นพิษ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD มี 6 ตำรับการทดลอง 4 ซ้ำ คือ ไม่ให้น้ำเสีย (Control) ให้น้ำเสีย 100 มล. (+WW) และให้ธาตุอาหารที่ใช้ทดสอบมีปริมาณธาตุเท่ากับในน้ำเสีย 100 มล. คือ โบรอน (+B), กำมะถัน (+S), แคลเซียม (+Ca) และโซเดียม (+Na)

3.) ศึกษาผลของธาตุโบรอนต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD มี 13 ตำรับการทดลอง 4 ซ้ำ คือ ไม่ใส่โบรอน และใส่โบรอนจากน้ำเสียเปรียบเทียบกับโบรอนจากกรดบอริก ที่อัตรา 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 มก.โบรอน/กก.ดิน

4.) ศึกษาผลของน้ำเสียที่มีโบรอน 509 มก./ล. นำมาเติมแคลเซียมเพื่อใช้แทนปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD มี 8 ตำรับการทดลอง 4 ซ้ำ คือ ควบคุม, ฉีดพ่นโบรอน (20 มก./ล.), ฉีดพ่นแคลเซียม (60 มก./ล.), ฉีดพ่นน้ำเสีย+แคลเซียม (โบรอน : แคลเซียม = 20 : 60 มก./ล.), ฉีดพ่นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน (โบรอน : แคลเซียม = 20 : 60 มก./ล.), ใส่โบรอนทางดิน (0.5 มก./กก.ดิน), ใส่แคลเซียมทางดิน (1.5 มก./กก.ดิน), และใส่น้ำเสีย+แคลเซียมทางดิน (โบรอน : แคลเซียม = 0.5 : 1.5 มก./กก.ดิน) ทำการทดลองในชุดดินคอหงส์และชุดดินบาเจาะ ทั้งวิธีการฉีดพ่นและใส่ทางดินให้ตำรับการทดลองทุก 7 วัน 5 ครั้ง เมื่อมะเขือเทศอายุ 30 วันหลังจากปลูก

ผลการทดลองพบว่า การให้น้ำเสียที่ปริมาตรเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะการให้น้ำเสีย 40 และ 100 มล. ทำให้ใบมะเขือเทศมีอาการไหม้และพืชตาย โดยมีโบรอนในพืชมากถึง 1,171 และ 2,265 มก./กก. ตามลำดับ และการให้ +WW และ +B ทำให้ต้นมะเขือเทศมีอาการขอบใบไหม้และตายในลักษณะเดียวกันกับการให้น้ำเสีย 100 มล. (การทดลองที่ 1) และมีโบรอนในพืชถึง 1,804 และ 1,867 มก./กก. ตามลำดับ ในขณะที่ตำรับการทดลอง +S, +Ca และ +Na การเจริญเติบโตของพืช ทั้งน้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และโบรอนในพืชใกล้เคียงกับไม่ให้น้ำเสีย

การให้โบรอนทั้งจากกรดบอริกและน้ำเสียที่ความเข้มข้นโบรอน 0.5 มก./กก.ดิน มีแนวโน้มทำให้น้ำหนักผลผลิตเพิ่มขึ้นที่ 67.43 และ 52.23 กรัม/ต้น ตามลำดับ และจำนวนผลเพิ่มขึ้นที่ 20 และ 19 ผล/ต้น ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับควบคุม ที่ 57.48 กรัม/ต้น และ 14.50 ผล/ต้น ตามลำดับ และการให้โบรอนที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 2.5 มก./กก.ดิน ต้นมะเขือเทศเริ่มแสดงอาการใบไหม้ โดยการให้ในอัตราที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความรุนแรงของอาการเพิ่มขึ้น การให้โบรอนในอัตราสูงกว่า 0.5 มก./กก.ดิน ของทั้งกรดบอริกและน้ำเสียทำให้น้ำหนักผลและจำนวนผลผลิตลดลงอย่างชัดเจน แต่การให้อัตราโบรอนที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้อาการก้นเน่าของมะเขือเทศลดลง และการให้น้ำเสียที่เติมแคลเซียมทำให้มะเขือเทศตอบสนองเช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยแคลเซียมโบรอน ดังนั้นการใช้น้ำเสียที่เติมแคลเซียมฉีดพ่นพืช ก็สามารถใช้ทดแทนปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนได้ แต่หากนำน้ำเสียมาใช้กับการปลูกมะเขือเทศ ควรใช้น้อยกว่า 4 มล./กก. ดิน ซึ่งจะทำให้มีโบรอนไม่เกิน 2 มก./กก. ดิน หากใช้ในปริมาณมากจะทำให้เกิดปัญหาความเป็นพิษเนื่องจากโบรอนได้

Thesis Title	Use of Wastewater Treated with Fenton Reaction from Rubber Wood Factories for Planting
Author	Mr. Jetsada Chitlang
Major Program	Soil Resources Management
Academic Year	2007

ABSTRACT

After wastewater from rubber wood factories was treated by Fenton reaction, it still contains the plant nutrients boron (B), sulphur (S) and calcium (Ca) 509, 790 and 410 mg L^{-1}. A greenhouse experiment was conducted to determine if this wastewater could be used as a nutrient source for plants. There were 4 experiments.

1) To study the effect of wastewater on growth of tomato. 30-day tomato seedlings were planted in 5 kg of Kohong soil in plastic pots. The experiment was arranged in a completely randomized design (CRD) with 4 replicates and composed of 6 treatments: application of wastewater at the levels of 0, 5, 10, 20, 40 and 100 mL pot^{-1}, respectively. The wastewater sample was augmented with distilled water to a final volume of 500 mL, and applied two times to the plant, in 250 mL aliquots.

2) To study the level at which certain nutrients cause toxicity. The experiment was arranged in a CRD with 4 replicates and composed of 6 treatments: without wastewater (Control), 100 mL wastewater (+WW), adding boron (+B), adding sulphur (+S), adding calcium (+Ca) and adding sodium (+Na) as equivalent in 100 mL wastewater.

3) To study the effect of boron on tomato growth. The experiment was arranged in a CRD with 4 replicates and composed of 13 treatments: without boron (Control), and adding boric acid at the rates of 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 and 10.0 mg B kg^{-1} soil, and adding wastewater at the same rate of boron as boric acid.

4) To study the addition of calcium to the wastewater as calcium borate fertilizer. The experiment was arranged in a CRD with 4 replicates and composed of 8 treatments: control (without calcium and boron application), foliar boron (20 mg L^{-1}), foliar calcium (60 mg L^{-1}), foliar added to calcium wastewater (B:Ca = 20:60 mg L^{-1}), foliar calcium-boron fertilizer (B:Ca = 20:60 mg L^{-1}), adding boron to the soil (0.5 mg kg^{-1}), adding calcium to the soil (1.5 mg kg^{-1}), and adding added calcium wastewater

(B:Ca = 0.5:1.5 mg kg^{-1}) to the soil. This experiment was conducted in Kohong and Bacho soil series and tomato was used as the test crop. Both foliar and soil applications of nutrients were done every 7 days for 5 times beginning 30 days following transplanting.

It was found that applying a high amount of wastewater, especially 40 and 100 mL pot^{-1}, decreased tomato growth, and caused the plants to die. Plant boron concentrations derived from the two treatments was up to 1,171 and 2,265 mg kg^{-1} respectively. This was consistent with the growth of tomato in the +WW and +B treatment that caused margin leaf necrosis, which was similar to applying 100 mL of wastewater (experiment 1), and plant B was up to 1,804 and 1,867 mg kg^{-1}, respectively. However, dry matter, leaf number and boron in plants of the +S, +Ca and +Na treatments were not significantly different compared with the control treatment.

Using boron at 0.5 mL kg^{-1} soil from either boric acid or wastewater tented to increase fruit weight to 67.43 and 52.23 g pot^{-1}, and number of fruits to 20 and 19 fruits pot^{-1} respectively, but it was not significantly different from the control. Using more than 2.5 mg kg^{-1} of boron in the soil caused leaf necrosis which increased according to the amount of boron. Applying more than 0.5 mg kg^{-1} of boron to the soil, either as boric acid or wastewater, sharply decreased fruit weight and number of fruits. In contrast, the number of abnormal fruits decreased when a high rate of boron was applied. Because of the similar response in all parameters between foliar added calcium wastewater and calcium-borate fertilizer, it can be concluded that the addition of calcium wastewater can be used as a substitute for calcium-borate fertilizer. However, when using wastewater from rubber wood factories as a nutrient source for tomato, the rate of application should be less than 4 mL kg^{-1}, which results in an effective rate of B less than 2 mg kg^{-1}. A high amount of wastewater is toxic to tomato because of high B.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง ประธานคณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาเสียสละเวลา ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ ด้วยการให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อคิดในด้านต่าง ๆ ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไข จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ และสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์ และรองศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา เพ็งหนู กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างยิ่ง ที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยรัตน์ นิลนนท์ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ มณีพงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแก้ไขข้อบกพร่องในด้านการเขียนวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาธรณีศาสตร์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ และวิชาการด้านต่าง ๆ ขอขอบคุณภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ ที่กรุณาให้การสนับสนุนในด้านสถานที่ทำวิจัย ขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาธรณีศาสตร์ทุกท่าน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในด้านงานธุรการ ด้านอุปกรณ์ และขอขอบคุณ คุณสมเกียรติ เกื้อหนุน คุณมณฑญ แซ่อ๋อง คุณพิรุณ ติระพัฒน์ และคุณณัยงค์ ปล้องอ่อน ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำงานทดลอง คุณอำมาตย์ ไชยทวีวงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้ยานพาหนะ คุณพนม สินวรพันธุ์ คุณพิศณุพงษ์ นกแก้ว และน้อง ๆ คณะทรัพยากรธรรมชาติทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บและเตรียมตัวอย่างดินเพื่อใช้เป็นวัสดุปลูก

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสิรภพ คุณแม่ละไมย จิตรหลัง รวมถึงทางครอบครัวทุกท่าน ผู้ซึ่งสนับสนุนให้มีโอกาสทางการศึกษา ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจตลอดมา ส่งผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เจษฎา จิตรหลัง

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการตารางภาคผนวก	(10)
รายการรูป	(11)
รายการรูปภาคผนวก	(12)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	14
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	15
วัสดุ	15
อุปกรณ์	16
วิธีการวิจัย	16
3. ผลการทดลอง	26
4. วิจารณ์ผลการทดลอง	44
5. สรุป และข้อเสนอแนะ	52
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก	59
ประวัติผู้เขียน	78

รายการตาราง

ตารางที่ หน้า

1. สารเคมีที่ใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารและอัตราการใช้..... 18
2. สมบัติทางเคมีบางประการของน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราหลังผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน..... 26
3. สมบัติทางเคมีบางชนิดของดินหลังการทดลองการตอบสนองของมะเขือเทศ ต่อการใช้น้ำเสีย..... 27
4. ผลของน้ำเสียอัตราต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ..... 28
5. สมบัติทางเคมีบางชนิดของดินหลังการทดลองศึกษาอิทธิพลของธาตุในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของมะเขือเทศ..... 30
6. ผลของธาตุในน้ำเสียต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ..... 31
7. ผลของโบรอนต่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศ 42 วัน หลังให้ตำรับการทดลอง 36
8. ผลของโบรอนต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมะเขือเทศตำแหน่งใบที่ 5 อายุ 35 วันหลังให้ตำรับการทดลอง..... 36
9. สมบัติทางเคมีบางประการของชุดดินคอหงส์หลังการทดลองใช้น้ำเสียเป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกับมะเขือเทศ..... 39
10. การเจริญเติบโตและผลผลิตมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินคอหงส์หลังการทดลองใช้น้ำเสียเป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกับมะเขือเทศ..... 40
11. สมบัติทางเคมีบางประการของชุดดินบาเจาะหลังการทดลองใช้น้ำเสีย เป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกับมะเขือเทศ..... 42
12. การเจริญเติบโตและผลผลิตมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินบาเจาะหลังการทดลองใช้น้ำเสียเป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกับมะเขือเทศ..... 43

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ หน้า

1. การเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารของต้นมะเขือเทศอายุ 51 วัน หลังจากให้น้ำเสียอัตราต่าง ๆ 21 วัน..... 60
2. สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารบางชนิดของดินหลังการทดลองการตอบสนองของพืชต่อการใช้น้ำเสีย..... 61
3. การเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศอายุ 44 วัน หลังการทดลองศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของพืช เมื่อให้ธาตุอาหารที่ใช้ทดสอบ 14 วัน. 63
4. ปริมาณธาตุอาหารของต้นมะเขือเทศอายุ 44 วัน หลังการทดลองศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของพืช เมื่อให้ธาตุอาหารที่ใช้ทดสอบ 14 วัน. 64
5. สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารบางชนิดของดินหลังการทดลองศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของพืช..... 65
6. การเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศอายุ 72 วัน หลังจากให้ธาตุโบรอนจากกรดบอริกและจากน้ำเสียที่มีโบรอนอัตราต่าง ๆ เป็นเวลา 42 วัน..... 67
7. คุณภาพและผลผลิตต้นมะเขือเทศอายุ 72 วัน หลังจากให้ธาตุโบรอนจากกรดบอริกและจากน้ำเสียที่มีโบรอนอัตราต่าง ๆ เป็นเวลา 42 วัน..... 69
8. การเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินคอหงส์หลังการทดลองให้โบรอนจากน้ำเสียและปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน..... 72
9. ผลผลิตและปริมาณธาตุอาหารบางชนิดของต้นมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินคอหงส์หลังการทดลองให้โบรอนจากน้ำเสียและปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน..... 73
10. สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารบางชนิดของชุดดินคอหงส์หลังการทดลองให้โบรอนจากน้ำเสียและปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน..... 74
11. การเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินบาเจาะหลังการทดลองให้โบรอนจากน้ำเสียและปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน..... 75
12. ผลผลิตและปริมาณธาตุอาหารบางชนิดของต้นมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินบาเจาะหลังการทดลองให้โบรอนจากน้ำเสียและปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน..... 76
13. สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารบางชนิดของชุดดินบาเจาะหลังการทดลองให้โบรอนจากน้ำเสียและปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน..... 77

รายการรูป

รูปที่ หน้า

1. ผลของน้ำเสียอัตราต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศอายุ 21 วัน หลังให้ตำรับการทดลอง 28
2. ผลของน้ำเสียอัตราต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของโบรอนและโซเดียมในส่วนเหนือดินของมะเขือเทศ..... 29
3. ผลของธาตุในน้ำเสียต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ 14 วัน หลังให้ตำรับการทดลอง..... 31
4. ความเข้มข้นของ ซัลเฟอร์ แคลเซียม และโซเดียม ในส่วนเหนือดินของมะเขือเทศหลังการทดลองศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของมะเขือเทศ..... 32
5. ความเข้มข้นของธาตุโบรอนในส่วนเหนือดินของมะเขือเทศหลังการทดลองศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของมะเขือเทศ..... 32
6. ลักษณะของใบมะเขือเทศตำแหน่งใบที่ 5 ที่ได้รับโบรอนจาก (A) กรดบอริก (B) น้ำเสีย35 วันหลังให้ตำรับการทดลอง..... 34
7. ผลของโบรอนจากกรดบอริก (A) จากน้ำเสีย (B) ต่อการเจริญเติบโตของพืช 42 วัน หลังให้ตำรับการทดลอง..... 35
8. ผลของโบรอนจากกรดบอริกและจากน้ำเสียต่อน้ำหนักผลสด (A) จำนวนผล (B) และอาการก้นเน่าของผล (C) ของต้นมะเขือเทศ..... 37
9. ความเข้มข้นของโบรอนและแคลเซียมในมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินคอหงส์หลังการทดลองใช้น้ำเสียเป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกับมะเขือเทศ..... 39
10. ความเข้มข้นของโบรอนและแคลเซียมในมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินบาเจาะหลังการทดลองใช้น้ำเสียเป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกับมะเขือเทศ..... 42

รายการรูปภาคผนวก

รูปที่ หน้า

1. ต้นมะเขือเทศหลังจากได้รับน้ำเสียอัตราต่างๆ ที่อายุ 7 วัน และ 14 วัน..... 62
2. ต้นมะเขือเทศก่อนให้ธาตุอาหารที่ใช้ทดสอบ และหลังให้ธาตุอาหารที่ใช้ทดสอบ แล้ว 14 วัน..... 66
3. ผลของโบรอนจากกรดบอริก (A) และ จากน้ำเสีย (B) ต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ 42 วันหลังให้ตำรับการทดลอง และ ลักษณะของใบมะเขือเทศตำแหน่งใบที่ 5 ที่ได้รับโบรอนจากกรดบอริก (C) และ จากน้ำเสีย (D) 35 วันหลังให้ตำรับการทดลอง..... 71

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ซึ่งประเทศไทยสามารถผลิตยางพาราได้มากที่สุดในโลก คือประมาณปีละ 2.5 ล้านตัน คิดเป็น 1 ใน 3 ของผลผลิตทั้งโลก (ไพโรจน์ และคณะ, 2548) ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกเป็นอันดับสองของโลกประมาณ 12.5 ล้านไร่ พื้นที่ปลูกยางพาราส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้ โดยส่วนมากเกษตรกรที่ปลูกยางพาราจะทำการโค่นต้นยางเมื่อต้นยางมีอายุประมาณ 25–30 ปี เนื่องจากต้นยางจะเริ่มให้ผลผลิตต่ำ ตั้งแต่ปี 2540 เป็นต้นมามีการโค่นต้นยางพาราในอัตราปีละ 200,000 ไร่ เนื้อไม้จากต้นยางที่ถูกตัดโค่นสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ประมาณไร่ละ 38 ลูกบาศก์เมตร เมื่อคิดรวมเป็นเนื้อไม้ยางพาราที่ตัดโค่นเพื่อเปลี่ยนใหม่มีปริมาณไม้ถึง 7 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (สถาบันวิจัยการยาง, 2547ก) ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราจึงเกิดขึ้นมากมาย โรงงานเหล่านี้มีการนำสารเคมีมาใช้ในกระบวนการผลิต และอัดน้ำยาเคมีเข้าไปในเนื้อไม้เพื่อฆ่าเชื้อราและแมลง เรียกน้ำยาเคมีชนิดนี้ว่าน้ำยาอัดขาว ซึ่งมีสารประกอบโบรอนเป็นส่วนผสม คือกรดบอริก (H_3BO_3) และสารบอแร็กซ์ ($Na_2B_4O_7 \bullet 10H_2O$) เมื่อใช้ติดต่อกันหลายครั้งน้ำยาจะเสื่อมสภาพ ทำให้น้ำยามีสีเปลี่ยนไป เป็นสีน้ำตาลจนถึงสีดำ โดยเกิดจากแทนนิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ของเนื้อไม้ หากนำน้ำยาที่เสื่อมสภาพมาใช้ จะส่งผลต่อสีของเนื้อไม้ที่จะอัดในครั้งต่อไป ดังนั้นโรงงานจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนน้ำยาใหม่ โดยน้ำยาที่เสื่อมสภาพถูกปล่อยทิ้งไปในลักษณะของน้ำเสียซึ่งมี สารประกอบอินทรีย์ สารอนินทรีย์ ตกค้างอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อน้ำเสียแพร่ลงสู่ดินหรือแหล่งน้ำสาธารณะจะก่อให้เกิดการสะสมในดิน สร้างมลพิษต่อสภาวะแวดล้อม ส่งผลให้เกิดความเป็นพิษกับพืช และมีผลต่อระบบประสาทของสัตว์ชั้นสูงและมนุษย์ด้วย

เพื่อป้องกันอันตรายจากสารเคมีที่มีในน้ำเสียต่อสิ่งมีชีวิต ก่อนปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ และพื้นดินตามธรรมชาติ จึงจำเป็นต้องนำน้ำเสียมาบำบัดเสียก่อน เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่หรือนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น การบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถบำบัดสีน้ำเสียได้ ซึ่งสารประกอบอินทรีย์ในน้ำทิ้งถูกออกซิไดซ์ในสภาวะกรดที่มีไอออนของเหล็กอยู่ การแยกเอาไอออนของเหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำสภาพเป็นกรดทำได้โดยวิธีการตกตะกอนเมื่อสารละลายมีสภาพเป็นกลางหรือเบส น้ำเสียหลังผ่านการบำบัดมีธาตุอาหารบาง

ชนิด เช่น โบรอน แคลเซียม ซัลเฟตอยู่สูง (ลือพงศ์, 2547) ซึ่งธาตุเหล่านี้จัดเป็นธาตุอาหารพืช แต่การนำน้ำเสียไปใช้กับพืชนั้น ต้องพิจารณาความเข้มข้นของธาตุอาหาร เพราะหากมีความเข้มข้นสูงเกินไปจะเกิดความเป็นพิษกับพืชได้ง่าย เช่น ธาตุโบรอน รวมทั้งสมบัติด้านอื่น ๆ อาจมีข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น สภาพการนำไฟฟ้าของดินที่แสดงถึงความเค็ม ดังนั้นการนำน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเพื่อการปลูกพืช เป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาการปนเปื้อนของสารประกอบอินทรีย์ สารอนินทรีย์ในดินและแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นพิษกับพืชที่ปลูกในบริเวณใกล้โรงงาน จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพื่อนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันสำหรับใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช

2. การตรวจเอกสาร

2.1 สถานการณ์การปลูกยางพาราและโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราในประเทศไทย

ปัจจุบันประเทศผู้ใช้ยางพารารายใหญ่ในตลาดโลก ได้แก่ จีน สหรัฐ ญี่ปุ่น อินเดีย ต่างมีความต้องการใช้ยางพาราเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ภาวะราคาซื้อขายยางพาราอยู่ในเกณฑ์สูง ส่งผลให้เกษตรกรจำนวนมากในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สนใจที่จะขยายพื้นที่การปลูกยางพาราเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน

2.1.1 สถานการณ์การปลูกยางพารา

ยางพารา เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ และประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์ยางและผลิตภัณฑ์จากไม้ยางพารามากเป็นอันดับ 1 ของโลกตั้งแต่ปี 2534 จนถึงปัจจุบัน ในปี 2547ประเทศไทยมีรายได้จากการส่งออกยาง ผลิตภัณฑ์ยาง และผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา จำนวน 245,354 ล้านบาท สูงกว่าปี 2546 ร้อยละ 20.07 แบ่งเป็นมูลค่าการส่งออกยางในรูปวัตถุดิบ (ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น และอื่น ๆ) 137,605 ล้านบาท ผลิตภัณฑ์ยาง 78,659 ล้านบาท และผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา 29,090 ล้านบาท (สถาบันวิจัยยาง, 2547ข) และในปัจจุบันราคายางพาราในตลาดโลกเพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราในประเทศเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และรัฐบาลก็ให้การสนับสนุน ด้วยการขยายพื้นที่ปลูกยางพารา 1 ล้านไร่ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือระหว่าง ปี 2547-2549 ซึ่งได้รับความสนใจจากเกษตรกรเป็นอย่างมาก ปรากฏว่ามีเกษตรกรเข้าร่วมโครงการมากกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้

พื้นที่ปลูกยางพาราของประเทศกระจายอยู่ในภาคต่าง ๆ จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 TM ปี 2546 ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรร่วมกับสถาบันวิจัยยาง ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพารา 12,618,792 ไร่ อยู่ในภาคใต้ 10,621,131 ไร่ ภาค

ตะวันออกรวมภาคกลาง 1,388,979 ไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 590,313 ไร่ และภาคเหนือ 18,369 ไร่ (สถาบันวิจัยยาง, 2547ก)

2.1.2 การใช้ประโยชน์จากไม้ยางพารา

จากกรณีการบุกรุกทำลายป่าไม้ ในพื้นที่ที่มี ไม้เนื้อแข็ง เช่น ไม้สัก ไม้มะค่า เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พื้นที่ป่าไม้ของประเทศลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นทางภาครัฐจึงได้หันมาอนุรักษ์พื้นที่ดังกล่าวโดยการปิดป่าเพื่อลดการสูญเสียป่าไม้ ทำให้เกิดการขาดแคลนวัตถุดิบไม้ที่มีคุณภาพและราคาถูกเพื่อที่จะใช้ในกิจการผลิตเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ นอกจากนั้นทางภาครัฐได้หันมาสนับสนุนการใช้ไม้ที่ปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจทดแทนการใช้ไม้ธรรมชาติ พืชชนิดหนึ่งที่ได้รับสนใจคือ ยางพารา นอกจากจะได้น้ำยางที่ให้คุณค่าทางเศรษฐกิจแล้ว ไม้ยางพาราที่ได้จากการโค่นเพื่อปลูกแทนยังเป็นไม้ที่มีคุณภาพทางกายภาพหลายประการใกล้เคียงกับไม้สัก ไม้ยางพารามีสีขาวนวล มีลวดลายที่สวยงาม ชาวต่างประเทศเรียกกันทั่วไปว่า ไม้สักขาว ทั้งนี้ยังสามารถ ย้อมสีได้ตกแต่งง่าย น้ำหนักเบา และมีราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ชนิดอื่น

ปัจจุบันการผลิตไม้ยางพาราจากการโค่นสวนยางเก่าเพื่อเปลี่ยนเป็นยางพันธุ์ใหม่ ระหว่างปี 2542-2546 มีอัตราการโค่นยางปลูกแทนปีละประมาณ 200,000 ไร่ เนื้อไม้จากต้นยางพาราที่ถูกตัดโค่นสามารถนำมาใช้ประโยชน์ ได้ประมาณไร่ละ 38 ลูกบาศก์เมตร เมื่อคิดรวมเป็นเนื้อไม้ยางพาราที่ตัดโค่นเพื่อเปลี่ยนใหม่มีปริมาณไม้ถึง 7 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี การส่งออกเฟอร์นิเจอร์และชิ้นส่วนไม้ยางพารา ทำรายได้ให้ประเทศประมาณ 30,000 ล้านบาท ในปี 2546 (สถาบันวิจัยยาง, 2547ก) ซึ่งไม้ยางพาราที่ถูกตัดโค่นนั้นสามารถนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้มากมาย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ (2543) ได้สรุปว่าผลผลิตเนื้อไม้ยางพาราที่มีความเหมาะสมนำไปทำการแปรรูปแยกเป็น วัตถุดิบในการผลิตเครื่องเรือนร้อยละ 30-50 ใช้ทำไม้เสาเข็มประมาณร้อยละ 12 เศษไม้และไม้ฟืนประมาณร้อยละ 53 ของปริมาณไม้ที่นำออกมาใช้ประโยชน์ทั้งหมดตามลำดับ เนื่องจากอุตสาหกรรมไม้ยางพาราขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม้ท่อนจากสวนยางพารามีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ไม้ เป็นที่นิยมของทั้งในและนอกประเทศแยกออกได้ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราได้แก่ เครื่องเรือนไม้ ของเล่น แผ่นชิ้นไม้อัด แผ่นใยไม้อัด พื้นไม้ปาร์เกต์ กรอบรูป และเครื่องครัว เป็นต้น
2. ไม้เสาเข็มงานก่อสร้าง
3. ล้อไม้สำหรับม้วนสายไฟฟ้าขนาดใหญ่
4. เชื้อเพลิงในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ฟืน ถ่าน
5. ทำลังใส่ปลา

2.1.3 โรงงานแปรรูปไม้ยางพารา

เฟอร์นิเจอร์ ไม้ของไทยเป็นเฟอร์นิเจอร์ที่ผลิตจากไม้ยางพาราร้อยละ 60 ผลิตจากไม้เนื้อแข็งร้อยละ 10 และที่เหลืออีกร้อยละ 30 เป็นการผลิตจากไม้แผ่นเรียบ และปัจจุบันการใช้ไม้ยางพาราแพร่หลายในทั่วทุกภาคของประเทศ ทำให้มีโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราเกิดขึ้นมากมายส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้เนื่องจากพื้นที่ปลูกยางประมาณร้อยละ 85 ของประเทศอยู่ในภาคใต้ โดยโรงงานแปรรูปอัดอบน้ำยาไม้ยางพาราในภาคใต้มีจำนวนถึง 379 โรง (เศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2542 อ้างโดย พาณิช, 2544)

ในอดีตไม้ยางพาราที่ถูกตัดโค่นไม่สามารถใช้ในการก่อสร้างหรือผลิตเฟอร์นิเจอร์ได้เนื่องจากเป็นไม้เนื้ออ่อนทำให้เกิดราและมอดเข้าทำลายเนื้อไม้ได้ง่าย จึงถูกนำไปใช้ทำเป็นฟืนเผาถ่าน หรือเผาทำลายทิ้ง เนื่องจากขาดเทคโนโลยีในการรักษาเนื้อไม้ และเทคนิคการผลิตที่จะสร้างมูลค่าเพิ่ม ทำให้ไม้ยางพาราถูกทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ แต่ในปัจจุบันได้ทำการค้นคว้าทดลองและประสบผลสำเร็จในการถนอมเนื้อไม้ โดยการนำไม้ยางพาราที่ถูกตัดโค่นขนส่งมายังโรงงาน ซึ่งต้องอัดน้ำยาภายใน 72 ชั่วโมงหลังจากตัดโค่น มาผ่านการอัดน้ำยาโดยวิธีสุญญากาศจะใช้เวลา 2 ชั่วโมง เพื่อรักษาเนื้อไม้จากการทำลายของแมลง และเชื้อรา โดยก่อนการอัดน้ำยาทำการคัดแยกไม้ดีและไม้เสีย และเลื่อยเปิดปีกแปรรูปตามต้องการ หลังจากนั้นนำไม้ที่ผ่านการอัดน้ำยาเข้าโรงอบเพื่อไล่ความชื้นให้ไม้แห้งโดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ และพัดลมช่วยกระจายความร้อน ใช้เวลา 8–10 วัน ซึ่งไม้ยางพาราที่อบแห้งแล้วจะถูกส่งไปจำหน่ายยังโรงงานประกอบเครื่องเรือนเพื่อผลิตเฟอร์นิเจอร์ต่อไป (วีระศักดิ์, 2540 อ้างโดย พาณิช, 2544)

2.2 น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา

น้ำเสีย (wastewater) หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์แล้วระบายทิ้งลงมา โดยมีสิ่งเจือปนซึ่งอาจเป็นสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์หรือสารพิษต่าง ๆ ทำให้น้ำไม่เหมาะสมสำหรับใช้งาน ถ้าปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติจะทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำเน่าเสียได้ โรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราเป็นโรงงานอีกประเภทหนึ่งที่มีการปล่อยน้ำเสีย สร้างปัญหาความเดือดร้อนรำคาญให้กับชุมชนที่อยู่ใกล้เคียง โดยปัญหาเกิดจากการจัดการน้ำเสียของโรงงาน ที่มีโอกาสก่อให้เกิดมลพิษทั้งทางดินและทางน้ำ หากมีการจัดการน้ำเสียที่ไม่มีประสิทธิภาพ โดยน้ำเสียอาจมีการปนเปื้อนของธาตุหรือสารพิษต่าง ๆ ออกสู่สภาพแวดล้อมได้ โรงงานแปรรูปไม้ยางพาราเป็นโรงงานอีกประเภทหนึ่งที่มีการทิ้งน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม ในขณะเดียวกันน้ำเสียที่ถูกปล่อยทิ้งยังคงมีสมบัติต่าง ๆ ที่สามารถก่อมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

2.2.1 กระบวนการเกิดน้ำเสีย

กระบวนการผลิตของโรงงานแต่ละประเภทมีการใช้สารเคมีที่แตกต่างกันไป โดยที่โรงงานแปรรูปไม้ยางพารามีการใช้สารเคมีอัดเข้าไปในเนื้อไม้เพื่อฆ่าเชื้อราและแมลงโดยเรียกว่า น้ำยาอัดขาว ประกอบด้วยสารประกอบโบรอน คือ กรดบอริก (H_3BO_3) และสารบอแร็กซ์ ($Na_2B_4O_7 \bullet 10H_2O$) โดยเมื่อใช้ซ้ำกันหลาย ๆ ครั้งทำให้น้ำยาเปลี่ยนสี ไม่สามารถนำไปใช้ได้อีก เนื่องจากส่งผลต่อสีของเนื้อไม้ที่จะอัดในครั้งต่อไป จึงต้องทิ้งไปในรูปของน้ำเสียทั้งที่มีสารเคมีบางชนิดตกค้างอยู่ น้ำเสียเหล่านี้จะมีสีน้ำตาลจนถึงสีดำ โดยเกิดจากแทนนิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ที่ให้สีน้ำตาล (พรรณนิภา, 2545 อ้างโดย ลือพงศ์, 2547) และเป็นสารพอลิเมอร์ของสารพวกอะโรมาติกโพลีฟีนอล โดยสารประกอบฟีนอลนี้มีผลต่อระบบประสาทของปลา รวมทั้งสัตว์ชั้นสูงและมนุษย์ด้วย โดยจะทำลายระบบไขสันหลังทำให้เป็นอัมพาตได้ถ้าหากร่างกายได้รับสารเหล่านี้ในปริมาณที่สูง (กฤษณล, 2528) มีรายงานการศึกษาสมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกเยื่อกระดาษในจังหวัดขอนแก่นที่มีน้ำเสียเกิดขึ้นจากกระบวนการฟอกเยื่อกระดาษประมาณ 25,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จากการตรวจสอบสรุปได้ว่า การตายของปลาและสัตว์น้ำ เกิดจากการปนเปื้อนของสารลิกนิน-แทนนิน เข้มข้น (ยรรยงค์, 2541) ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวมีลักษณะเดียวกันกับน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา นอกจากนั้นสมบัติในด้านอื่นของน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา คือ มีปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำ มีค่า 720 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) มีค่า 8.5 ซึ่งปริมาณออกซิเจนทั้งหมดมีค่าสูงกว่า ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีค่าไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างแล้วแต่ละประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (กระทรวงวิทยาศาสตร์, 2539)

2.2.2 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหลังจากผ่านกระบวนการต่าง ๆ ในการผลิตก่อนปล่อยทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องผ่านการบำบัดเสียก่อน น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราก็เป็นอีกประเภทหนึ่งที่ต้องผ่านการบำบัดก่อน ซึ่งเป็นการบำบัดสีน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วของสารประกอบอินทรีย์ในสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับเฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) ซึ่งก่อให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล ($OH^{\bullet}$) ดังนี้

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \longrightarrow Fe^{3+} + OH^- + OH^{\bullet} \quad \text{..... (1)}$$

ปฏิกิริยาต่อมาคือ อนุมูลไฮดรอกซิลจะทำปฏิกิริยากับไอออนของเฟอรัสแล้วให้ไอออนเฟอริก (Fe^{3+})

$$OH^{\bullet} + Fe^{2+} \longrightarrow Fe^{3+} + OH^- \quad \text{..... (2)}$$

หรือในเวลาเดียวกันอนุมูลไฮดรอกซิลทำปฏิกิริยากับสารละลายดังนี้

$$OH^{\bullet} + \text{organic compounds} \longrightarrow \text{oxidized products} \quad \text{..... (3)}$$

โดยสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidized product) จะง่ายต่อการสลายทางชีวภาพ ซึ่งพิสูจน์ได้จากการตรวจสอบค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ และวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่มีผลกระทบจากสารเคมีตกค้างน้อย เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันถูกกระทำด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ซึ่งไม่ตกค้างในน้ำ โดยสารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสียถูกออกซิไดซ์ในสภาวะกรดที่มีไอออนของเหล็กละลายอยู่ การแยกเอาไอออนของเหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำสภาพเป็นกรดทำได้โดยวิธีการตกตะกอนเมื่อสารละลายมีสภาพเป็นเบส โดยการเติมแคลเซียมออกไซด์ (Bandara *et al*., 2001 อ้างโดย ลือพงศ์, 2547)

2.2.3 สมบัติของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

สารเคมีที่อัดเข้าไปในเนื้อไม้เพื่อฆ่าเชื้อราและแมลงในโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราเมื่อใช้ซ้ำกันหลาย ๆ ครั้งทำให้น้ำยาเปลี่ยนสีส่งผลต่อสีของเนื้อไม้ที่จะอัดในครั้งต่อไป ดังนั้นจึงนำน้ำเสียมาผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน และตรวจสอบปริมาณสารเคมีที่ตกค้างเพื่อต้องการบำบัดสารที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำต่อไป โดยในกระบวนการบำบัดมีการใช้สารเคมีตั้งต้นคือ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์, เฟอรัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต, กรดซัลฟิวริกเข้มข้น และทำให้สารเคมีบางชนิดตกตะกอนในสภาวะเบสโดยการเติมแคลเซียมออกไซด์ ดังนั้นน้ำเสียหลังการบำบัดจึงเป็นสารละลายใส pH ประมาณ 7 มีความเข้มข้นของสารต่าง ๆ เช่น โบรอน (509 มิลลิกรัมต่อลิตร) แคลเซียม (410 มิลลิกรัมต่อลิตร) และซัลเฟต (790 มิลลิกรัมต่อลิตร) อยู่สูง (ลือพงศ์, 2547)

2.3 แนวทางการนำน้ำทิ้งมาใช้เพื่อการเกษตร

แม้ว่าในน้ำเสียจะมีธาตุอาหารพืชอยู่ค่อนข้างสูงแต่การนำน้ำเสียมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแหล่งน้ำและธาตุอาหารให้กับพืช จำเป็นต้องศึกษาถึงสมบัติของน้ำเสีย เพื่อจะได้รู้ถึงแนวทางการใช้ประโยชน์ได้เหมาะสมที่สุด และการใช้ประโยชน์ของน้ำเสียในกรณีที่น้ำเสียมีความเข้มข้นของสารต่าง ๆ เกินกว่าค่ามาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทานและทางน้ำที่ต่อเชื่อม

กับทางชลประทานซึ่งกำหนดไว้สำหรับใช้เพื่อการเกษตรอย่างปลอดภัย ให้คำนึงถึงการเจือจางอัตราสารต่างๆ ให้เหมาะสมกับพืชเพราะธาตุบางชนิดหากพืชได้รับมากเกินไปก็อาจเป็นพิษกับพืชและทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง ธาตุดังกล่าวอาจเป็นพิษโดยตรงต่อพืช หรือไปรบกวนการทำหน้าที่ของธาตุอื่นๆ และนอกจากนี้ในน้ำเสียอาจมีโลหะหนักซึ่งเมื่อพืชดูดเข้าไปก็อาจสะสมในต้นพืชและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้ อย่างไรก็ตามมีการศึกษาการนำน้ำเสียมาใช้ประโยชน์กับพืช พบว่าทำให้ผลผลิตของพืชดีขึ้น โดย สายัณห์ และคณะ (2548) ได้นำน้ำเสียจากโรงอบ/รมยางที่ผ่านการบำบัด เพื่อใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารแก่พืช และทำการเจือจางในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า ทำให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบของต้นผักกวางตุ้งมีปริมาณเพิ่มขึ้น และได้ศึกษาความต้องการปริมาณธาตุในแต่ละชนิด วิธีการให้ และช่วงเวลาที่พืชต้องการด้วย พบว่าการให้น้ำเสียกับต้นข้าวในช่วงก่อนออกดอก ให้น้ำเสียช่วงออกรวง และให้น้ำเสียช่วงข้าวติดเมล็ดทำให้น้ำหนักรวงของข้าวในแต่ละช่วงเวลาให้ผลผลิตไม่เท่ากัน โดยการให้ในช่วงก่อนออกดอกจะมีน้ำหนักรวงมากสุดที่ 59.74 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาการใช้น้ำเสียเพื่อเพิ่มผลผลิตพืช จากการทดลองของ Sonetra และคณะ (2002) ได้ศึกษาการใช้ปุ๋ยที่สามารถให้ไนโตรเจนได้ 3 ชนิดคือ ปุ๋ยเคมี มูลวัว และน้ำเสียจากโรงงานผลิตยางแผ่นดิบ โดยกำหนดให้มีระดับไนโตรเจนเท่ากันพบว่า การใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตยางแผ่นดิบทำให้ผลผลิตของผักบุ้งสูงกว่าการใช้มูลวัวอย่างเห็นได้ชัด และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมีโดยที่ไม่พบความแตกต่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95เปอร์เซนต์ และนอกจากนี้ Chaiprapat และ Sdoodee (2004) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตน้ำยางระหว่างแปลงยางพาราที่มีการให้น้ำเสียและแปลงยางพาราที่อาศัยน้ำฝน พบว่า การให้น้ำเสียกับแปลงยางพาราไม่มีผลกับเปอร์เซ็นต์น้ำยาง โดยที่เปอร์เซ็นต์น้ำยางจากทั้ง 2 แปลงทดลองให้ผลใกล้เคียงกัน แต่จะมีผลทำให้ได้ปริมาณน้ำยางสดจากแปลงยางที่ได้รับน้ำเสียมีปริมาณมากกว่าแปลงที่ไม่ได้รับน้ำเสีย

น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน เป็นน้ำทิ้งที่มีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์สำหรับพืช เช่น แคลเซียมและโบรอนตกค้างอยู่สูง ดังนั้นการนำน้ำทิ้งมาใช้กับพืช จึงอาจใช้เป็นแหล่งแคลเซียมและโบรอนได้ แต่การให้น้ำทิ้งกับพืชต้องระมัดระวังเป็นพิเศษเนื่องจากมีโบรอนอยู่สูงมากและเป็นพิษกับพืชได้ง่าย ซึ่งหากมีการจัดการในด้านต่างๆ เช่น อัตราการเจือจาง ช่วงเวลาที่ให้พืช ชนิดของดินที่ใช้ปลูกพืช ชนิดพืชที่ปลูก และศึกษาความต้องการธาตุอาหารแต่ละชนิดของพืชที่ปลูก เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารที่มีมากเป็นพิเศษในน้ำทิ้งนั้น ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่จะนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์ และสามารถลดปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อมได้

2.4 โบรอนในดินและความต้องการโบรอนของพืช

ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชแต่ละชนิดจะมีปัจจัยต่าง ๆ หลายประการด้วยกัน ดินที่มีธาตุอาหารที่สามารถเป็นประโยชน์สำหรับพืชมากนั้นก็ไม่ได้ดีเสมอไป เนื่องจากพืชมีความต้องการธาตุอาหารเพียงจำกัด หากได้รับมากเกินความต้องการทำให้เกิดความเป็นพิษกับพืชได้

2.4.1 โบรอนในดิน

ธาตุโบรอนเป็นหนึ่งในบรรดาธาตุอาหารจุลภาค โดยความเป็นประโยชน์ของโบรอนในดินจะมีปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

2.4.1.1 สภาพกรด-ด่าง เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดต่อความเป็นประโยชน์ของโบรอนในดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพีเอชของดินสูงกว่า 6.3-7.4 ทำให้โบรอนมีความเป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยลงแต่การเปลี่ยนแปลงของพีเอชในช่วงที่ต่ำกว่า 6.3 นั้นไม่คอยมีผลกระทบต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุนี้มากนัก เพิ่มพูน (2543) กล่าวว่า การใส่ปูนสามารถลดความเป็นประโยชน์ของโบรอน เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ดูดซับโบรอนแล้วตกตะกอน ซึ่งการดูดซับจะเกิดสูงที่พีเอชเท่ากับ 7

2.4.1.2 อินทรียวัตถุ อินทรียวัตถุเป็นแหล่งโบรอนที่สำคัญเนื่องจากอินทรียวัตถุมีโบรอนเป็นองค์ประกอบซึ่งจะค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุโบรอนออกมาเมื่อสลายตัว และอินทรียวัตถุสามารถดูดซับกรดบอริก และบอเรตไอออนไว้ได้จึงลดการสูญหายโดยการชะล้าง แต่กลับปลดปล่อยออกมาให้พืชอย่างช้า ๆ การเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดิน เช่น การเติมปุ๋ยหมักจะมีโบรอนประมาณ 14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (เพิ่มพูน, 2546) และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อย่างสม่ำเสมอจะช่วยให้ดินไม่ขาดแคลนโบรอน

2.4.1.3 เนื้อดิน ดินเนื้อละเอียดมีโบรอนที่เป็นประโยชน์มากกว่า ดินเนื้อหยาบหากใส่ปุ๋ยโบรอนลงไปในดินทั้งสองประเภทนี้อย่างละเท่า ๆ กัน พืชจะใช้ประโยชน์จากปุ๋ยในดินเนื้อละเอียดได้มากกว่า เนื่องจากโบรอนบางส่วนถูกดูดซับกับแร่ดินเหนียวและอินทรียวัตถุ ซึ่งกลับมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้อีก (เพิ่มพูน, 2543)

2.4.1.4 ความชื้นในดิน ความชื้นในดินมีอิทธิพลต่อความเป็นประโยชน์ของโบรอน ยิ่งกว่าธาตุอื่น ๆ กล่าวคือ พืชมักขาดโบรอนในฤดูร้อนหรือเมื่อดินมีความชื้นต่ำ เนื่องจากการเคลื่อนย้ายของโบรอนในดินแบบกลุ่มก้อนเกิดขึ้นน้อยและการแพร่กระจายของธาตุนี้ในดินก็ต่ำด้วย นอกจากนั้นอัตราการคายน้ำของพืชต่ำ จากการศึกษาความสามารถของพืชในการใช้โบรอนจากปุ๋ยที่ใส่ในดินซึ่งมีความชื้นต่างกันพบว่า เมื่อความชื้นของดินเหมาะสมพืชดูดโบรอนสะสมในใบได้ 162-312 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ถ้าดินแห้งในบริเวณที่หว่านปุ๋ย ใบพืชจะมีโบรอนเพียง 87-135 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (เพิ่มพูน, 2546)

2.4.1.5 ปฏิกิริยาของธาตุอื่น ๆ มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของโบรอน ซึ่งเมื่อดินมีแคลเซียมและเกลือคาร์บอเนตในดินเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของโบรอนในใบพืชหลายชนิดลดลง บางพืชถึงกับขาดโบรอนและแสดงอาการอย่างเด่นชัด เนื่องจากแคลเซียมทำให้ในดินมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของโบรอนลดลง นอกจากนี้การใช้แมกนีเซียมอัตราสูงก็มีผลให้ใช้โบรอนจากดินได้น้อยลงเช่นกัน (เพิ่มพูน, 2546)

2.4.2 บทบาทและหน้าที่ของโบรอนต่อการเจริญเติบโตของพืช

โบรอนเป็นธาตุอาหารจุลภาค ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยโบรอนเป็นธาตุที่มีบทบาทในการสังเคราะห์ผนังเซลล์และโครงสร้างเซลล์ ในการบูรณภาพของเยื่อ การเคลื่อนย้ายน้ำตาล และการเจริญพันธุ์ ซึ่งบทบาทต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อส่วนที่เป็นดอกและเมล็ดจึงมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของพืช นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการสลายโปรตีน สร้างฮอร์โมนพืช ส่งเสริมการสุกแก่ของผล และควบคุมการคายน้ำของผล (จักรพงษ์ และคณะ, 2537)

น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพารานั้นมีธาตุอาหารที่มีปริมาณสูง ได้แก่ โบรอน ซึ่งอาจจะนำมาใช้เป็นแหล่งโบรอนให้กับพืชได้ พืชที่ขาดโบรอนหรือได้รับโบรอนไม่เพียงพอกับความต้องการ พืชนั้นก็ไม่สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ ซึ่งบทบาทของโบรอนมีทั้งด้านสรีระและชีวเคมีที่เด่นชัดได้แก่

2.4.2.1 โบรอนกับการสังเคราะห์ผนังเซลล์และโครงสร้างของผนังเซลล์ กรดบอริกมีสมบัติพิเศษสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบที่มีหมู่ ซีส-ไฮดรอกซิล สองหมู่ ได้สารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งมีเสถียรภาพและทำปฏิกิริยาได้สารประกอบบอเรตเชิงซ้อน การที่โบรอนเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนบอเรตกับกลุ่ม ซีส-ไดออล ขององค์ประกอบของผนังเซลล์ โบรอนที่อยู่ในผนังเซลล์นี้แลกเปลี่ยนและเคลื่อนย้ายได้น้อยมาก ดังนั้นการขาดโบรอนทำให้ผนังเซลล์เจริญเติบโตผิดปกติ ผนังเซลล์ primary cell wall ของเซลล์ที่ขาดโบรอนมีลักษณะไม่เรียบ และนอกจากผนังเซลล์แล้ว โบรอนยังมีบทบาทในเยื่อ membrane ถ้าขาดโบรอนจะทำให้เยื่อทำหน้าที่บกพร่อง โดยเยื่อมีความสามารถลดลงในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร และสารในกระบวนการสร้างและสลายของสาร จากกระบวนการเมแทบอลึซึม (metabolism) เมื่อขาดโบรอนจึงมีผลทำให้เกิดการสะสมออกซิน และสารฟีนอล ผนังเซลล์เป็นส่วนซึ่งสะสมสารที่มีโครงสร้างแบบซีส-ไดออล ไว้มากจึงพบโบรอนอยู่ในผนังเซลล์เป็นส่วนใหญ่ พืชที่ขาดโบรอนมีลักษณะผิดปกติอย่างเด่นชัด เช่น ผนังเซลล์คอลเลงคิมา (collenchyma) ส่วนมุมไม่หนา ส่วนผนังเซลล์พาเรงคิมาก็มีการจัดเรียงของไมโครไฟบริล (microfibrils) อย่างหลวม ๆ นอกจากนี้ความหนาของผนังเซลล์ก็ไม่สม่ำเสมอด้วย จึงเชื่อว่าโบรอนมิได้มีบทบาทในการสังเคราะห์สารที่เป็นผนังเซลล์แต่ช่วยให้สารเหล่านั้นจัดเรียงกันอย่างเหมาะสมและแน่น เพื่อให้โครงสร้างผนังแข็งแรงพอที่จะควบคุมรูปทรงของเซลล์ไว้ได้ (ยงยุทธ, 2543)

2.4.2.2 โบรอนกับการบูรณภาพของเยื่อ บูรณภาพของเยื่อ(membrane integrity) หมายถึง สภาพเยื่อของสิ่งมีชีวิตที่มีโครงสร้างสมบูรณ์ต่อเนื่องเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน และทำหน้าที่ได้อย่างเหมาะสม โบรอนเป็นธาตุหนึ่งที่มีความสำคัญในเรื่องนี้ กล่าวคือเมื่อพืชขาดจะมีผลให้ฟลักซ์ของไอออนผิดเพี้ยนไปอย่างรวดเร็ว เช่น อัตราการดูดรูบิเดียมของปลายรากถั่วปากอ้าลดลง รากดูดฟอสเฟตได้น้อยแต่มีอัตราการดูดธาตุนี้สูงขึ้นมากเพียงหนึ่งชั่วโมงภายหลังจากได้รับโบรอน และโบรอนมีบทบาทในการควบคุมบูรณภาพของเยื่อดังนี้ โดยโบรอนทำปฏิกิริยาของอินทรียสารอันเป็นองค์ประกอบของเยื่อ เช่น ไกลโคโปรตีนและไกลโคลิพิด ซึ่งมีหมู่ซีส-ไดออล ทำให้เยื่อมีโครงสร้างมั่นคง การที่โบรอนมีอิทธิพลต่อกิจกรรมของ ATPase ซึ่งอยู่กับเยื่อ และการให้โบรอนก็สามารถช่วยแก้ไขข้อบกพร่องเรื่องการดูดไอออนได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เชื่อว่าธาตุนี้มีบทบาทเกี่ยวข้องกับการควบคุมช่องทางผ่านของไอออนในเยื่อด้วย และโบรอนควบคุมมิให้มีการสะสมสารฟีนอลิกและควิโนนมากจนเป็นอันตรายต่อเซลล์ นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณของอนุมูลอิสระได้แก่ ออกซิเจนรูปที่เป็นพิษและมีฤทธิ์ทำลายโครงสร้างของเยื่อเมื่อพืชได้รับแสงความเข้มสูง (ยงยุทธ, 2543)

2.4.2.3 การเคลื่อนย้ายน้ำตาล พืชที่ได้รับโบรอนเพียงพอ จะมีการเคลื่อนย้ายของน้ำตาลทั้งระยะใกล้และระยะไกลได้ดีขึ้น จึงเชื่อว่าธาตุนี้มีบทบาทในการเคลื่อนย้ายอินทรียสารโดยน้ำตาลรวมกับบอเรตได้สารเชิงซ้อนซึ่งสามารถซึมผ่านเยื่อของท่ออาหาร (phoem) ได้ง่าย กว่าน้ำตาลที่ไม่ได้เป็นสารเชิงซ้อน และโบรอนเป็นองค์ประกอบในเยื่อหุ้มเซลล์ของท่ออาหาร และบริเวณของเยื่อซึ่งมีโบรอนที่เป็นโมเลกุลของน้ำตาลผ่านเข้าออกได้สะดวก อย่างไรก็ตามขณะที่พืชขาดโบรอนกิจกรรมด้านการเจริญเติบโตที่เนื้อเยื่ออ่อน เช่น ปลายยอดหรือปลายรากต่ำมาก เมื่อขาดแคลนรุนแรงเนื้อเยื่อส่วนนั้นก็ตาย จึงไม่ทำหน้าที่เป็นที่รองรับอาหารจากที่จ่ายคือใบอีกต่อไป อัตราการเคลื่อนย้ายน้ำตาลทางท่ออาหารจึงต่ำ (ยงยุทธ, 2543) และจากการศึกษาของ Gauch และ Dugger (1952) พบว่า โบรอนมีบทบาทหน้าที่สำคัญในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลซูโครส (sucrose) นอกจากนี้การสะสมคาลลอส (callose) บริเวณแผ่นตะแกรง (sieve plate) ในท่ออาหารของพืชที่ขาดโบรอนก็อาจเป็นอุปสรรคของการเคลื่อนย้ายน้ำตาลได้เช่นกัน (Venter and Currier, 1977)

2.4.2.4 การเจริญพันธุ์ การขาดโบรอนของพืชมีผลกระทบต่อระยะการเจริญพันธุ์ (reproductive stage) มากกว่าระยะวัฒนภาค (vegetative stage) ดังนั้นผลผลิตอาจจะลดลง โดยที่พืชไม่ได้แสดงอาการขาดโบรอน เนื่องจากการขาดแคลนธาตุนี้ก่อให้เกิดผลเสียหายในช่วงการออกดอก ติดผล และการพัฒนาของเมล็ดมากเป็นพิเศษ ผลทางอ้อมของโบรอนต่อการถ่ายละอองเรณู คือ ช่วยเพิ่มความเข้มข้นของน้ำหวาน และปรับชนิดของน้ำตาลในน้ำหวานให้เหมาะแก่การล่อแมลงเข้ามาช่วยถ่ายเรณู ส่วนผลทางตรงได้แก่ การช่วยให้อับเรณู (anther) ผลิตเรณูที่สมบูรณ์และมีชีวิต และช่วยให้ละอองเรณูงอกและมีหลอดเรณูที่แข็งแรง (ยงยุทธ, 2543) โดยจากการศึกษาของ Gunes และคณะ (2003) ได้ทำการทดลองศึกษาผลของปุ๋ยโบรอนต่อ

ผลผลิตของข้าวสาลี 2 สายพันธุ์ คือ Bezostaja และ Kiziltan ซึ่งปลูกในแปลงทดลองโดยให้โบรอนในระดับ 0, 1, 2, 3, 4, และ 5 กิโลกรัมโบรอนต่อเฮกตาร์ พบว่า จำนวนเมล็ดต่อรวงของข้าวสาลีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้ง 2 สายพันธุ์ คือ 34.85 เมล็ดต่อรวงเมื่อไม่มีการใส่โบรอน เพิ่มเป็น 42.60 เมล็ดต่อรวงเมื่อให้ระดับ 3 กิโลกรัมโบรอนต่อเฮกตาร์ ของพันธุ์ Bezostaja และ 36.35 เมล็ดต่อรวงเมื่อไม่มีการใส่โบรอน เพิ่มเป็น 48.20 เมล็ดต่อรวง เมื่อให้ระดับ 2 กิโลกรัมโบรอนต่อเฮกตาร์ ของพันธุ์ Kiziltan นอกจากนี้ยังมีบทบาทต่อคุณภาพไม้ผล เช่น ในต้นมะกอกพบว่าถ้าปริมาณโบรอนไม่เพียงพอทำให้การติดผลน้อยลง (Perica *et al*., 2001)

2.4.3 ความต้องการและการตอบสนองโบรอนของพืช

ธาตุโบรอนเคลื่อนย้ายโดยผ่านท่อน้ำ (xylem) จะพบปริมาณของโบรอนในส่วนล่างของพืชมากกว่าส่วนบน นอกจากนี้ปริมาณโบรอนสมบูรณ์ปกติแปรปรวนในระหว่างสกุล (genus) ของพืช โดยทั่วไปจะอยู่ในระดับ 15-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตาม ช่วงที่เพียงพอยังมีความแปรปรวนขึ้นอยู่กับชนิดพืชทั้งการขาดหรือการเป็นพิษของโบรอน

2.4.3.1 พืชล้มลุก พืชจะตอบสนองต่อธาตุโบรอนในหลายรูปแบบ คือด้านผลผลิตหรือคุณภาพผลผลิตหรืออาการอื่นที่แสดงให้เห็นว่าขาดธาตุอาหารนั้น ๆ จากการศึกษาของนักวิจัยหลายท่านแสดงให้เห็นว่าโบรอนมีการตอบสนองต่อพืชอย่างเด่นชัด โดยจากการทดลองในผักกินใบของ ดวงรัตน์ (2544) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของธาตุโบรอนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของบร็อคโคลี ในการทดลองนี้ได้ทำการฉีดพ่นโบรอนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 0, 0.1, 0.3, 0.7 และ 1 เปอร์เซนต์ ผลการทดลองพบว่า การฉีดพ่นโบรอนที่ 0.3 เปอร์เซนต์ จะให้น้ำหนักสดทั้งหมดสูงสุด รองลงมา 0.7 เปอร์เซนต์ และจากการศึกษาการเจริญเติบโตของมะเขือเทศโดย Johnston และ Dore (1992) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของโบรอนต่อองค์ประกอบและการเจริญเติบโตของ มะเขือเทศ โดยปลูกมะเขือเทศและให้สารละลายโบรอนที่อัตรา 0.00-5.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน พบว่า การให้โบรอน 0.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ทำให้ความสูงและน้ำหนักแห้งของต้นมะเขือเทศเพิ่มขึ้นสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นในต้นมะเขือเทศพบว่า ทั้งในส่วนของใบ ลำต้น และราก มีปริมาณเพิ่มขึ้นจากต้นที่ไม่ให้โบรอน โดยความเข้มของโบรอนในต้นสูงกว่าในใบและราก โดยโบรอนส่วนใหญ่จะเพิ่มขึ้นในต้นและรากมากกว่าในใบ สอดคล้องกับการทดลองของ Asad และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษา หาน้ำหนักแห้งและความเข้มข้นโบรอนของเนื้อเยื่อในช่วงการเจริญเติบโตทางกิ่งใบและช่วงให้ผลผลิตของ Canola และ ทานตะวัน ที่ปลูกในสารละลาย และให้โบรอนที่ระดับ 0.8-53 ไมโครโมล พบว่า การให้โบรอนเพิ่มขึ้นทำให้นำหนักแห้งเพิ่มขึ้น นอกจากนั้น จารุนันท์ และคณะ (2537) ทำการปลูกทานตะวันพันธุ์ Hysun 33 ในดินชุดหางดง ใส่ปุ๋ย NPK 6-6-6 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นปุ๋ยรองพื้น และใส่สารโบแรกซ์อัตราต่าง ๆ คือ 66, 132, และ 264 กรัมโบรอนต่อไร่ ตามลำดับ พบว่า การใส่โบรอนทำให้ผลผลิต น้ำหนักเมล็ด และ การเจริญเติบโต

ของทานตะวันเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของอัตราโบรอนที่ใส่ลงไปในดิน ผลผลิตสูงสุด 398.57 กิโลกรัมต่อไร่ ได้จากแปลงซึ่งใส่โบแรกซ์อัตรา 264 กรัม โบรอนต่อไร่ เช่นเดียวกับ เพิ่มพูน และประเทือง (2531) รายงานว่าการใส่โบรอนในอัตรา 0.5 กิโลกรัมโบรอนต่อเฮกตาร์ ทำให้ผลผลิตถั่วลิสงเพิ่มขึ้น 85 เปอร์เซนต์ เมื่อเปรียบเทียบกับไม่ใส่โบรอน และจากการทดลองของ Smith และ Clark (1989) ให้ปุ๋ยโบรอนแก่ต้น กีวี่ (kiwi) พบว่า การเพิ่มระดับโบรอนสูงขึ้น มีแนวโน้มทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงขึ้น คือจาก 6 เปอร์เซนต์ เป็น 13.5 เปอร์เซนต์ โดยเกิดจากโบรอนที่มีบทบาทเปลี่ยนแปลง กรดอินทรีย์ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต จากกระบวนการเมแทบอลิซึม

2.4.3.2 พืชยืนต้น การให้โบรอนในพืชส่วนใหญ่นิยมให้ในระยะติดผลมากกว่าให้ในช่วงการเจริญเติบโตทางกิ่งใบ ซึ่งจะช่วยเพิ่มคุณภาพภายนอกของผลผลิต โดยพืชที่ได้รับโบรอนเพิ่มในอัตราที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มทั้งปริมาณ ขนาดผลผลิตและลักษณะผิวได้ โดยพืชที่ได้รับโบรอนในอัตราที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มการติดผลซึ่งมีรายงานในพืชหลายชนิด จากการศึกษาของ Perica และคณะ (2001) ได้ทำการทดลองในมะกอก โดยพ่นโบรอน 3 ระดับ คือ 246, 491 และ737 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพ่นก่อนดอกบาน 3 สัปดาห์ พบว่า การพ่นโบรอนทำให้การติดผลของมะกอกเพิ่มขึ้น จากเปอร์เซ็นต์การติดผล 2.37 เป็น 3.46, 3.37 และ 3.63 ตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของ Hanson (1991) ทำการพ่นโบรอน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร แก่ต้นเชอรี่ 3.8 ลิตรต่อต้น พบว่า ทำให้เปอร์เซ็นต์การติดผลเพิ่มขึ้นจาก 23.5 เปอร์เซนต์ เป็น 31.5 เปอร์เซนต์ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง เนื่องจากโบรอนอาจช่วยให้อับเรณูผลิตเรณูที่สมบูรณ์และมีชีวิต ซึ่งทำให้ละอองเรณูงอกและมีหลอดเรณูที่แข็งแรง

นอกจากนี้การศึกษาของ Maurer และ Taylor (1999) ได้ทำการศึกษาผลของการฉีดพ่นโบรอนทางใบต่อปริมาณและคุณภาพของผลผลิตส้มพันธุ์ Navel ซึ่งโดยปกติในส้มแสดงอาการขาดโบรอน เมื่อความเข้มข้นของโบรอนในใบส้มต่ำกว่า 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใบจะแสดงอาการเป็นฝ่า และเส้นใบจะเหลืองในใบอายุมาก รากตายและกิ่งย่อยแห้งตาย มียางไหลตามข้อปล้องของต้นและกิ่ง ในส้มอาการขาดโบรอนปรากฏในเปลือกผลมากกว่าในใบ ซึ่งจะแสดงอาการในช่วงออกดอกและช่วงติดผล การขาดโบรอนทำให้ปริมาณน้ำตาลลดลง และทำให้ไม่ติดผล การทดลองแบ่งตำรับออกเป็น 2 ตำรับการทดลอง คือ ฉีดพ่นก่อนออกดอกที่ความเข้มข้นของโบรอน 0, 250, 500, 750 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร และฉีดพ่นหลังการออกดอกที่ความเข้มข้นเดียวกัน ผลการทดลองพบว่า การฉีดพ่นโบรอนทางใบมีผลทำให้ระดับโบรอนในใบเพิ่มขึ้นตามอัตราที่เพิ่มขึ้น และการฉีดพ่นหลังการออกดอกทำให้โบรอนในใบสูงกว่าก่อนออกดอก ส่วนปริมาณและคุณภาพผลผลิต พบว่าการเพิ่มระดับโบรอนทำให้น้ำหนักของผลรวมในส้มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คือ น้ำหนักผลรวมจาก 133 ปอนด์ เป็น 162 ปอนด์ เนื่องจากโบรอนอาจช่วยส่งเสริมการแบ่งเซลล์ ขยายขนาดของเซลล์ และช่วยในการสะสมอาหารพืช ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Koo (1988) ทำการพ่นโบรอนให้กับส้มเช่นกัน พบว่าในตำรับที่มีการพ่น

โบรอนให้กับส้มมีน้ำหนักผลเพิ่มสูงกว่า ตำรับที่ไม่มีการพ่นโบรอน คือจาก 185 กรัมต่อผล เป็น 195 กรัมต่อผล

โบรอนยังมีบทบาทในการลดผลผิดรูปและอาการผลแตกซึ่งเป็นคุณภาพภายนอก ที่เกิดจากการเจริญเติบโตของพืชและขยายขนาดของเซลล์รวดเร็วทำให้ผนังเซลล์ไม่แข็งแรง เซลล์อวบน้ำ หรือมีปริมาณธาตุอาหารไม่เหมาะสม ซึ่งจากการศึกษาของ Dunlap และ Thompson (1959) ได้พ่นโบรอนให้กับแอปเปิ้ล โดยพ่นโบรอน 2 ระดับ คือ 25, 45 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการเพิ่มระดับโบรอนทำให้แอปเปิ้ลมีผลผิดรูปและอาการผลแตกของผลลดลง คือ ผลผิดรูปลดลงจาก 59 เปอร์เซนต์ เป็น 19 เปอร์เซนต์ และอาการผลแตกของผลลดลงจาก 58 เปอร์เซนต์ เป็น 27 เปอร์เซนต์ สาเหตุเกิดจากโบรอนเป็นองค์ประกอบภายในของผนังเซลล์ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนและเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร ถ้ามีปริมาณโบรอนไม่เพียงพอต่อพืช ในมะละกอให้ผลผลิตต่ำ ผิวไม่เรียบ และผลบิดเบี้ยว ซึ่งเกิดจากเยื่อของผนังเซลล์มีความสามารถลดลง ในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารและกระบวนการสร้างและสลายของสาร จากกระบวนการเมแทบอลิซึม (มงคล และคณะ, 2547)

คุณภาพภายในที่สำคัญมากในการพิจารณาของผู้บริโภค คือ รสชาติ ดัชนีที่เป็นเกณฑ์ในการบอกรสชาตินอกจากการชิมแล้ว คือ กรดที่ไทเทรตได้ ปริมาณกรดบอกถึงรสเปรี้ยว ซึ่งพบว่าถ้าพืชได้รับธาตุอาหารในระดับที่เหมาะสมจะช่วยลดปริมาณกรด อย่างไรก็ตามการทดลองของ Koo (1988) ทำการพ่นโบรอนแก่ส้ม พบว่ามีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เพราะโบรอนอาจไม่ใช่องค์ประกอบหลักในการสร้างแป้ง และน้ำตาล สอดคล้องกับการทดลองของ Maurer และ Taylor (1999) ทำการพ่นโบรอนในระดับต่าง ๆ หลังแทงช่อดอกแก่ส้มเช่นกัน พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นโบรอนไม่ทำให้มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้แตกต่างกันทางสถิติ คือ มีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ 0.83, 0.79, 0.85, 0.78 และ 0.75 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ คุณภาพภายในอีกชนิดหนึ่งคือ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ในน้ำคั้นของผลไม้ซึ่งส่วนใหญ่คือ น้ำตาล ซึ่งมีผลต่อความหวานของผลไม้ ในไม้ผลหลายชนิดหากได้รับโบรอนที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มของแข็งที่ละลายน้ำได้ และจากการทดลองของ Smith และ Clark (1989) ให้ปุ๋ยโบรอนแก่ต้นกีวี่ พบว่า การเพิ่มระดับโบรอนสูงขึ้น มีแนวโน้มทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงขึ้น คือจาก 6 เปอร์เซนต์ เป็น 13.5 เปอร์เซนต์ อาจเกิดจากโบรอนมีบทบาทเปลี่ยนแปลง กรดอินทรีย์ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต จากกระบวนการเมแทบอลิซึม

2.4.4 ปัญหาและความเป็นพิษของโบรอน

โบรอนเป็นธาตุอาหารพืช หน้าที่ทางชีวเคมีพิเศษของโบรอนยังไม่ทราบแน่ชัด แต่อาจจะมีส่วนร่วมในกระบวนการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตและการสังเคราะห์ในส่วนประกอบของผนังเซลล์ (สัมฤทธิ์, 2538) ซึ่งพืชต้องการโบรอนในปริมาณเพียงเล็กน้อย และพืชแต่ละชนิดมีความต้องการโบรอนที่แตกต่างกันและแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่และดินปลูก ดินที่

ปลูกพืชซ้ำซากมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำพืชจะขาดโบรอน ผลผลิตอาจลดลงได้ โดยที่พืชไม่ได้แสดงการขาดโบรอน (ดวงรัตน์, 2544) อย่างไรก็ตามพืชแต่ละชนิดมีความทนทานต่อความเข้มข้นของโบรอนในสารละลายดินแตกต่างกัน โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ไม่ทน ซึ่งทนต่อค่าความเข้มข้นของโบรอนระดับสูงสุดในสารละลายดินที่ระดับความชื้นไร่นา (Field capacity) ในช่วง 0.3-1.0 มิลลิกรัมโบรอนต่อลิตร เช่น มะนาว องุ่น ส้ม กระเทียม กลุ่มที่ทนปานกลาง พืชทนได้อยู่ในช่วง 1.0-4.0 มิลลิกรัมโบรอนต่อลิตร เช่น แตงกวา กะหล่ำปลี ข้าวโพด และกลุ่มที่ทนได้ดี พืชทนได้อยู่ในช่วง 3.7-13.9 มิลลิกรัมโบรอนต่อลิตร เช่น ข้าวฟ่าง หน่อไม้ฝรั่ง มะเขือเทศ ในกรณีที่พืชได้รับโบรอนมากเกินไปก็ก่อให้เกิดความเป็นพิษ

ลักษณะอาการเป็นพิษของโบรอนโดยเบื้องต้น ได้แก่ขอบใบและปลายใบมีสีเหลืองแล้วค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล แห้งตายและร่วงหล่นไปในที่สุด ใบที่เกิดอาการเป็นพิษก่อนเป็นใบที่อยู่ด้านล่างของลำต้น (เพิ่มพูน, 2546) หรือในบางครั้งพบว่าทำให้ผลผลิตลดลง จากการทดลองของ Ferran และคณะ (1997) ทำการศึกษาการพ่นโบรอนให้กับผลฮาเซลนัท (hazelnut) ในอัตรา 0.6 และ 1.2 กรัมต่อต้น พบว่า การติดผลและการพัฒนาผลลดลงเนื่องจากเป็นพิษต่อพืช จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าธาตุโบรอนเป็นพิษกับพืชได้ง่าย หากธาตุโบรอนจากโรงงานเหล่านี้แพร่ออกสู่สิ่งแวดล้อมย่อมเกิดปัญหาทำให้เกิดความเป็นพิษกับพืชได้

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

3.1 ศึกษาปัญหาและข้อจำกัดของน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด ต่อการเจริญเติบโตของพืช
3.2 ศึกษาการตอบสนองของพืชต่อน้ำทิ้งเมื่อปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่างกัน
3.3 ศึกษาการนำน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัด มาใช้เป็น ปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน สำหรับพืช

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุและสารเคมี

1.1 เมล็ดมะเขือเทศพันธุ์สีดา

1.2 กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid : 98% w/w H_2SO_4)

1.3 กรดเพอร์ครอริก (Perchloric acid : 70% w/w $HClO_4$)

1.4 กรดไนทริก (Nitric acid : 65% w/w HNO_3)

1.5 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid : 37% w/w HCl)

1.6 กรดบอริก (Boric acid : H_3BO_3)

1.7 ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide : 30% w/w H_2O_2)

1.8 แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (Ammonium floride : NH_4F)

1.9 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide : NaOH)

1.10 แมกนีเซียมออกไซด์ (Megnesium oxide: MgO)

1.11 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide : 25% w/w NH_4OH)

1.12 แอมโนเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate : $(NH_4)_6Mo_7O_{24}\cdot 4H_2O$)

1.13 แอนทิโมนีโพแทสเซียมทาร์เทรต

(Antimony potassium tartrate : $K(SbO)C_4H_4O_6\cdot 0.5H_2O$)

1.14 แอมโมเนียมเมทตาวานาเดท (Ammonium metavanadate : NH_4VO_3)

1.15 สทรอนเทียมคลอไรด์ (Strontium choride : $SrCl_2\cdot 6H_2O$)

1.16 แลนทานัมคลอไรด์ (Lanthanum chloride : 99.9% w/w $LaCl_3\cdot xH_2O$)

1.17 โบรโมกรีซอลกรีน (Bromocresol green)

1.18 เมททิลเรด (Methyl red)

1.19 แอมโมเนียมไนเทรต (Ammonium nitrate : NH_4NO_3)

1.20 โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride : KCl)

1.21 แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride : $CaCl_2$)

1.22 แมกนีเซียมคลอไรด์ (Megnesium chloride : $MgCl_2$)

1.23 โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate : Na_2SO_4)

1.24 ซิงค์คลอไรด์ (Zinc chloride : $ZnCl_2$)

1.25 คอปเปอร์คลอไรด์ (Copper chloride : $CuCl_2\cdot 2H_2O$)

1.26 แมงกานีสคลอไรด์ (Manganese chloride : $MnCl_2 \cdot 4H_2O$)

1.27 เหล็ก (0.1 M Fe-EDTA)

2. อุปกรณ์

2.1 พลั่วตักดิน

2.2 ถุงพลาสติกสำหรับปลูกพืชขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว

2.3 ตู้อบตัวอย่างพืช (Hot Air Oven)

2.4 เครื่องย่อยตัวอย่าง (Digestion Block)

2.5 เครื่องเขย่า (Table Rotary Shaker)

2.6 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)

2.7 เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH Meter)

2.8 เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Conductivity Meter)

2.9 เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Nitrogen Distillation Apparatus)

2.10 เครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ (Visible Spectrophotometer)

2.11 เครื่องเฟลมโฟโทมิเตอร์ (Flame Photometer)

2.12 เครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทโฟโทมิเตอร์ (Atomic Absorption-Spectrophotometer)

2.13 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

2.14 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

2.15 เครื่องบดตัวอย่างพืช

3. วิธีการวิจัย

ศึกษาปัญหาและข้อจำกัดของน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราหลังผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน ต่อการเจริญเติบโตของพืช และแนวทางความเป็นไปได้ในการใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาเป็นแหล่งธาตุอาหารให้แก่พืช การวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 การทดลองคือ

3.1 การตอบสนองของพืชต่อการใช้น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

3.1.1 การเตรียมปลูก

สุ่มเก็บตัวอย่างดิน โดยเลือกชุดดินคอหงส์ (Kho Hong : Coarse-Loamy, Kaolinitic, Isohyperthermic Typic Kandiudults) ซึ่งเป็นตัวแทนดินที่ใช้ทำการเกษตรทั่วไป พบมากในพื้นที่ภาคใต้มากกว่า 5,386 ตารางกิโลเมตร เป็นดินร่วนหยาบ ลึกมาก ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย มีสีน้ำตาล ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง (pH 5.0-6.0) ดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลือง อาจพบดินร่วนเหนียวปนทรายในดินล่างชั้นถัดไป ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด (pH 4.5-5.5) (เอิบ, 2533) จากแปลงปลูกยางพาราของเกษตรกรบ้านน้ำน้อย ต.น้ำน้อย อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร นำมากระจายผึ่งลมให้แห้ง เก็บเศษซากพืชออก และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 เซนติเมตร แล้วนำตัวอย่างดินไปบรรจุลงถุงพลาสติกสำหรับปลูกพืชขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ถุงละ 5 กิโลกรัม จำนวน 24 ถุง หลังจากนั้นจึงเพาะเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์สีดาของบริษัท แปซิฟิกเมล็ดพันธุ์ จำกัด ในถาดเพาะเมล็ด โดยใช้ดินผสมปุ๋ยคอกเป็นวัสดุปลูกในถาดเพาะเมล็ด เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วันหลังเพาะเมล็ด จึงย้ายกล้าปลูกลงในถุงพลาสติกที่เตรียมไว้ โดยก่อนย้ายกล้าให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต ในรูปของสารละลายและผสมคลุกเคล้ากันให้ทั่ว หมักดินไว้ 7 วันก่อนปลูก สารเคมีที่ใช้เป็นธาตุอาหาร ให้ใช้ในอัตราที่กำหนด (ตารางที่ 1) ปริมาณสารเคมีที่ใช้ให้คำนวณปริมาณสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ทั้งหมด แล้วนำไปละลายน้ำโดยให้มีเนื้อสารที่ใช้ในแต่ละกระถางเท่ากับ 10 มิลลิลิตร โดยสารแต่ละชนิด N, P, K, Ca, Mg และ S เตรียมเป็นสารละลายแยก แล้วดูดใช้อย่างละ 10 มิลลิลิตร ยกเว้น N ใช้ครั้งละ 5 มิลลิลิตรห่างกัน 15 วัน ส่วน Zn, Cu, Mn, Mo และ Fe เตรียมเป็นสารละลายรวมกัน ดูดมาใช้ 10 มิลลิลิตร เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วันหลังจากปลูก รดด้วยน้ำเสียตามตำรับการทดลอง 2 ครั้ง ครั้งละ 250 มิลลิลิตร ห่างกัน 2 วัน

3.1.2 จัดตำรับการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) 4 ซ้ำ

ตำรับการทดลองที่ 1 ควบคุม (ให้น้ำปกติ) 500 มิลลิลิตร
ตำรับการทดลองที่ 2 น้ำเสีย 5 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำเป็น 500 มิลลิลิตร
ตำรับการทดลองที่ 3 น้ำเสีย 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำเป็น 500 มิลลิลิตร
ตำรับการทดลองที่ 4 น้ำเสีย 20 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำเป็น 500 มิลลิลิตร
ตำรับการทดลองที่ 5 น้ำเสีย 40 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำเป็น 500 มิลลิลิตร
ตำรับการทดลองที่ 6 น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำเป็น 500 มิลลิลิตร

3.1.3 การบันทึกข้อมูล

โดยบันทึกการเจริญเติบโต สังเกตอาการและถ่ายรูปทุกสัปดาห์

(1) จำนวนใบ และความสูงของต้น ทุกสัปดาห์ตั้งแต่เริ่มให้ตำรับการทดลอง

(2) น้ำหนักแห้งของต้นมะเขือเทศ เก็บต้นมะเขือเทศเมื่ออายุ 60 วันหลังจากปลูก

(3) ความเข้มข้นธาตุอาหารในต้นมะเขือเทศ นำต้นมะเขือเทศที่ผ่านการอบ วิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช โซเดียม และ โบรอน

(4) สมบัติบางประการของดิน เก็บดินหลังจากเก็บเกี่ยวมะเขือเทศแล้ว ไปวิเคราะห์ค่า พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และ โบรอนที่สกัดได้

ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารและอัตราการใช้

ธาตุ	สารเคมี	อัตราธาตุ (กก./เฮกตาร์)	อัตราธาตุต่อดิน 5 กก. (กรัม/กระถาง)
N	NH_4NO_3	400	1.026
P	$NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$	250	0.641
K	KCl	200	0.513
Ca	$CaCl_2$	40	0.103
Mg	$MgCl_2$	6	0.015
S	Na_2SO_4	4	0.010
Zn	$ZnCl_2$	6	0.015
Cu	$CuCl_2 \cdot 2H_2O$	4	0.010
Mn	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	5	0.012
Mo	$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0.4	0.001
Fe	0.1 M Fe-EDTA	5	0.012

ที่มา : ดัดแปลงจาก (ชัยรัตน์และคณะ, 2538)

3.2 อิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของมะเขือเทศ

3.2.1 การเตรียมปลูก

สุ่มเก็บตัวอย่างดิน โดยเลือกชุดดินคอหงส์ (เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1) เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร นำมากระจายผึ่งลมให้แห้งเก็บเศษซากพืชออกและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 เซนติเมตร แล้วนำตัวอย่างดินไปบรรจุลงถุงพลาสติกสำหรับปลูกพืชขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ถุงละ 5 กิโลกรัม จำนวน 24 ถุง หลังจากนั้นจึงเพาะเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์สีดาของบริษัท แปซิฟิกเมล็ดพันธุ์ จำกัด ในถาดเพาะเมล็ด โดยใช้ดินผสมปุ๋ยคอกเป็นวัสดุปลูกในถาดเพาะเมล็ด เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วันหลังเพาะเมล็ด จึงย้ายกล้าปลูกลงใน

ถุงพลาสติกที่เตรียมไว้ โดยก่อนย้ายกล้าให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต ในรูปของสารละลายและผสมคลุกเคล้ากันให้ทั่ว หมักดินไว้ 7 วันก่อนปลูก สารเคมีที่ใช้เป็นธาตุอาหาร ให้ใช้ในอัตราที่กำหนด (ตารางที่ 1) ปริมาณสารเคมีที่ใช้ให้คำนวณปริมาณสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ทั้งหมด แล้วนำไปละลายน้ำโดยให้มีเนื้อสารที่ใช้ในแต่ละกระถางเท่ากับ 10 มิลลิลิตร โดยสารแต่ละชนิด N, P, K, Ca, Mg และ S เตรียมเป็นสารละลายแยก แล้วดูดใช้อย่างละ 10 มิลลิลิตร ยกเว้น N ใช้ครั้งละ 5 มิลลิลิตรห่างกัน 15 วัน สำหรับโพแทสเซียมลดปริมาณลงเนื่องจากธาตุที่ใช้ทดสอบในตำรับการทดลองที่ 4 มีโพแทสเซียมเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย แล้วนำมาคำนวณเพื่อให้ได้อัตราเท่าเดิมตามที่กำหนดไว้ (ตารางที่ 1) ส่วน Zn, Cu, Mn, Mo และ Fe เตรียมเป็นสารละลายรวมกัน ดูดมาใช้ 10 มิลลิลิตร เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วันหลังจากปลูก จึงให้ตำรับการทดลองโดยกำหนดให้ธาตุที่ใช้ทดสอบแต่ละธาตุ มีปริมาณธาตุนั้นเท่ากับในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร (มีโบรอน 509 มิลลิกรัมต่อลิตร) นำธาตุอาหารดังกล่าวมาละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร แล้วรดให้กับพืชเพียงครั้งเดียว เมื่อมะเขือเทศอายุ 30 วันหลังจากปลูก

3.2.2 จัดตำรับการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) 4 ซ้ำ

ตำรับการทดลองที่ 1 ควบคุม (ให้น้ำปกติ) 100 มิลลิลิตร

ตำรับการทดลองที่ 2 ให้น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร

ตำรับการทดลองที่ 3 ให้ B จาก H_3BO_3 มีปริมาณ B 50.9 มิลลิกรัม

ตำรับการทดลองที่ 4 ให้ S จาก K_2SO_4 มีปริมาณ S 79 มิลลิกรัม

ตำรับการทดลองที่ 5 ให้ Ca จาก $CaCl_2$ มีปริมาณ Ca 41 มิลลิกรัม

ตำรับการทดลองที่ 6 ให้ Na จาก NaCl มีปริมาณ Na 63 มิลลิกรัม

3.2.3 การบันทึกข้อมูล

โดยบันทึกการเจริญเติบโต สังเกตอาการและถ่ายรูปทุกสัปดาห์

(1) จำนวนใบ และความสูงของต้น ทุกสัปดาห์ตั้งแต่เริ่มให้ตำรับการทดลอง

(2) น้ำหนักแห้งของต้นมะเขือเทศ เมื่ออายุ 50 วันหลังจากปลูก และนำไปอบ

(3) ปริมาณธาตุอาหารในต้นมะเขือเทศ นำต้นมะเขือเทศที่ผ่านการอบเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช แคลเซียม โซเดียม ซัลเฟอร์ และ โบรอน

(4) สมบัติบางประการของดิน เก็บดินหลังจากเก็บเกี่ยวมะเขือเทศแล้ว ไปวิเคราะห์ค่า พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ กำมะถันที่เป็นประโยชน์ และ โบรอนที่สกัดได้

3.3 ผลของโบรอนต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ

3.3.1 การเตรียมปลูก

สุ่มเก็บตัวอย่างดิน ชุดดินคอหงส์ แล้วทำการเตรียมตัวอย่างดิน (เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และ 2) และนำตัวอย่างดินไปบรรจุลงถุงพลาสติกสำหรับปลูกพืชขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ถุงละ 5 กิโลกรัม จำนวน 52 ถุง หลังจากนั้นจึงเพาะเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์สีดาของบริษัท แปซิฟิกเมล็ดพันธุ์ จำกัด ในถาดเพาะเมล็ด โดยใช้ดินผสมปุ๋ยคอกเป็นวัสดุปลูกในถาดเพาะเมล็ด เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วันหลังเพาะเมล็ด จึงย้ายกล้าปลูกลงในถุงพลาสติกที่เตรียมไว้ โดยก่อนย้ายกล้าให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต ในรูปของสารละลายและผสมคลุกเคล้ากันให้ทั่ว หมักดินไว้ 7 วันก่อนปลูก สารเคมีที่ใช้เป็นธาตุอาหาร (ตารางที่ 1) ปริมาณสารเคมีที่ใช้ให้คำนวณปริมาณสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ทั้งหมด แล้วนำไปละลายน้ำโดยให้มีเนื้อสารที่ใช้ในแต่ละกระถางเท่ากับ 10 มิลลิลิตร โดยสารแต่ละชนิด N, P, K, Ca, Mg และ S เตรียมเป็นสารละลายแยก แล้วดูดใช้อย่างละ 10 มิลลิลิตร ยกเว้น N ใช้ครั้งละ 5 มิลลิลิตร ห่างกัน 15 วัน ส่วน Zn, Cu, Mn, Mo และ Fe เตรียมเป็นสารละลายรวมกัน ดูดมาใช้ 10 มิลลิลิตร เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วันหลังปลูก จึงให้ตำรับการทดลอง โดยใช้โบรอนจาก 2 แหล่ง คือ จากน้ำเสีย และจากกรดบอริก คำนวณให้ได้โบรอนตามปริมาณที่ต้องการ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 200 มิลลิลิตร รดให้กับพืชครั้งละ 100 มิลลิลิตร เมื่อพืชอายุ 30วัน และ 32 วันหลังจากปลูก

3.3.2 จัดตำรับการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) 4 ซ้ำ

ตำรับการทดลองที่ 1 (ควบคุม) ไม่ใส่โบรอน
ตำรับการทดลองที่ 2 โบรอนอัตรา 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (ในรูปของน้ำเสีย)
ตำรับการทดลองที่ 3 โบรอนอัตรา 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (ในรูปของน้ำเสีย)
ตำรับการทดลองที่ 4 โบรอนอัตรา 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (ในรูปของน้ำเสีย)
ตำรับการทดลองที่ 5 โบรอนอัตรา 5.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (ในรูปของน้ำเสีย)
ตำรับการทดลองที่ 6 โบรอนอัตรา 7.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (ในรูปของน้ำเสีย)
ตำรับการทดลองที่ 7 โบรอนอัตรา 10.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (ในรูปของน้ำเสีย)
ตำรับการทดลองที่ 8 โบรอนอัตรา 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (ในรูปของกรดบอริก)
ตำรับการทดลองที่ 9 โบรอนอัตรา 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (ในรูปของกรดบอริก)
ตำรับการทดลองที่ 10 โบรอนอัตรา 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (ในรูปของกรดบอริก)
ตำรับการทดลองที่ 11 โบรอนอัตรา 5.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (ในรูปของกรดบอริก)
ตำรับการทดลองที่ 12 โบรอนอัตรา 7.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (ในรูปของกรดบอริก)
ตำรับการทดลองที่ 13 โบรอนอัตรา 10.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (ในรูปของกรดบอริก)

3.3.3 การบันทึกตัวอย่าง

โดยบันทึกการเจริญเติบโต สังเกตอาการและถ่ายรูปทุกสัปดาห์

(1) จำนวนใบ จำนวนใบไหม้ และความสูง ทุกสัปดาห์ตั้งแต่เริ่มให้ตำรับการทดลอง

(2) น้ำหนักแห้งของต้นมะเขือเทศ เก็บต้นมะเขือเทศหลังหมดผลผลิต

(3) น้ำหนักผลผลิต โดยเก็บทุกสัปดาห์หลังจากผลสุกจนหมดผลผลิต

(4) จำนวนผล และจำนวนผลผิดปกติ (ก้นเน่าสีดำ) ทุกสัปดาห์ตั้งแต่เริ่มให้ตำรับการทดลอง

(5) ปริมาณธาตุอาหารในใบมะเขือเทศตำแหน่งใบที่ 5 นำใบมะเขือเทศที่ผ่านการอบ วิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และ โบรอน

3.4 การใช้น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราเป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกับมะเขือเทศ

3.4.1 การเตรียมปลูก

การเก็บตัวอย่างดิน เลือกชุดดินคอหงส์ ซึ่งเป็นตัวแทนดินที่ใช้ทำการเกษตรทั่วไปในภาคใต้ จากแปลงปลูกยางพาราของเกษตรกรบ้านน้ำน้อย ต.น้ำน้อย อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา และชุดดินบาเจาะ (Bacho: Coated, Isohyperthermic, Typic Quartzipsamments) จากบริเวณพื้นที่สันทราย หาดแก้ว อ.สิงหนคร จ.สงขลา ซึ่งเป็นตัวแทนดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เป็นดินลึกมาก มีการระบายน้ำมากเกินไป เนื้อดินตลอดหน้าตัดดินเป็นดินทรายปนดิน ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดเล็กน้อย (pH 4.5-6.5) ดินล่างมีสีเหลืองปนน้ำตาลถึงเหลืองปนแดง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.0-6.5) (เอิบ, 2533) เก็บตัวอย่างดินทั้ง 2 ชุดดิน ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร นำมากระจายผึ่งลมให้แห้ง เก็บเศษซากพืชออก และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 เซนติเมตร แล้วนำตัวอย่างดิน แต่ละชุดดินไปบรรจุลงถุงพลาสติกสำหรับปลูกพืชขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ถุงละ 5 กิโลกรัม จำนวน 32 ถุง หลังจากนั้นจึงเพาะเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์สีดาของบริษัท แปซิฟิกเมล็ดพันธุ์ จำกัด ในถาดเพาะเมล็ด โดยใช้ดินผสมปุ๋ยคอกเป็นวัสดุปลูกในถาดเพาะเมล็ด เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วันหลังเพาะเมล็ด จึงย้ายกล้าปลูกลงในถุงพลาสติกที่เตรียมไว้ โดยก่อนย้ายกล้าให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต ในรูปของสารละลายและผสมคลุกเคล้ากันให้ทั่ว หมักดินไว้ 7 วันก่อนปลูก สารเคมีที่ใช้เป็นธาตุอาหาร ให้ใช้ในอัตราที่กำหนด (ตารางที่ 1) ปริมาณสารเคมีที่ใช้ให้คำนวณปริมาณสารเคมีแต่ละชนิดที่ใช้ทั้งหมด แล้วนำไปละลายน้ำโดยให้มีเนื้อสารที่ใช้ในแต่ละกระถางเท่ากับ 10 มิลลิลิตร โดยสารแต่ละชนิด N, P, K, Ca, Mg และ S เตรียมเป็นสารละลายแยก แล้วดูดใช้อย่างละ 10 มิลลิลิตร ยกเว้น N ใช้ครั้งละ 5 มิลลิลิตรห่างกัน 15 วัน ส่วน Zn, Cu, Mn, Mo และ Fe เตรียมเป็นสารละลายรวมกัน ดูดมาใช้ 10 มิลลิลิตร เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วันหลังปลูก จึงให้ตำรับการทดลอง เหมือนกันทั้ง 2 ชุดดิน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างปุ๋ยแคลเซียมโบรอนที่มีขายใน

ท้องตลาด และปุ๋ยจากน้ำเสียที่มีโบรอนและทำการเติมแคลเซียม เพื่อให้ได้อัตราแคลเซียมต่อโบรอนเท่ากับปุ๋ยที่มีขาย และให้ปุ๋ยสองวิธี คือ การฉีดพ่น โดยนำตำรับการทดลองที่ 2, 3, 4และ 5 มาคำนวณให้ได้อัตราส่วนตามที่ต้องการแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร สำหรับการใส่ทางดิน นำตำรับการทดลองที่ 6, 7 และ 8 มาคำนวณให้ได้อัตราตามที่ต้องการ แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ทุกตำรับการทดลอง และให้ตำรับการทดลองเมื่อมะเขือเทศอายุ 30, 37, 44, 51, 58 วัน โดยให้ครั้งละ 20 มิลลิลิตรทั้งการฉีดพ่นและใส่ทางดิน

3.4.2 จัดตำรับการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD แต่ละชุดดินมี 8 ตำรับการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ

ตำรับการทดลองที่ 1 ควบคุม (ไม่ให้น้ำเสีย)

ตำรับการทดลองที่ 2 พ่นโบรอน จาก H_3BO_3 20 มิลลิกรัมโบรอนต่อลิตร

ตำรับการทดลองที่ 3 พ่นแคลเซียม จาก $CaCl_2$ 60 มิลลิกรัมแคลเซียมต่อลิตร

ตำรับการทดลองที่ 4 พ่นน้ำเสีย+แคลเซียมอัตราส่วน B 20 : Ca 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตำรับการทดลองที่ 5 พ่นปุ๋ยแคลเซียม โบรอนอัตราส่วน B 20 : Ca 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตำรับการทดลองที่ 6 ใส่โบรอนจาก H_3BO_3 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน

ตำรับการทดลองที่ 7 ใส่แคลเซียม จาก $CaCl_2$ 1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน

ตำรับการทดลองที่ 8 ใส่น้ำเสีย+แคลเซียมอัตราส่วน 0.5 :1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน

3.4.3 การบันทึกข้อมูล

โดยบันทึกการเจริญเติบโต สังเกตอาการและถ่ายรูปทุกสัปดาห์

(1) จำนวนใบ จำนวนใบไหม้ และความสูง ทุกสัปดาห์ตั้งแต่เริ่มให้ตำรับการทดลอง

(2) น้ำหนักแห้งของต้นมะเขือเทศ เก็บต้นมะเขือเทศทั้งต้น ไปอบ

(3) น้ำหนักผลผลิต โดยเก็บเกี่ยวทุกสัปดาห์หลังจากผลสุกจนหมดผลผลิต

(4) จำนวนผล และจำนวนผลผิดปกติ (ก้นเน่าสีดำ) ทุกสัปดาห์ตั้งแต่เริ่มให้ตำรับการทดลอง

(5) ปริมาณธาตุอาหารในต้นมะเขือเทศ นำต้นมะเขือเทศที่ผ่านการอบ วิเคราะห์ธาตุอาหารในพืช แคลเซียม โซเดียม ซัลเฟอร์ และ โบรอน

(6) สมบัติบางประการของดิน เก็บดินหลังจากเก็บเกี่ยวมะเขือเทศแล้ว ไปวิเคราะห์ค่า พีเอช ค่าการนำไฟฟ้า แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ กำมะถันที่เป็นประโยชน์ และ โบรอนที่สกัดได้

3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน, พืช และน้ำเสีย

การวิเคราะห์สมบัติน้ำเสีย ดิน ธาตุอาหารในดินและพืชตามวิธีในคู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)

3.5.1 การวิเคราะห์สมบัติบางประการและธาตุอาหารในดิน

จากตัวอย่างดินที่ทำการเก็บมาผึ่งลมให้แห้ง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร นำมาวิเคราะห์สมบัติของดินบางประการและธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชดังนี้

1. ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) นำตัวอย่างดินผสมกับน้ำสัดส่วน 1: 5 วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์

2. สภาพการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) โดยนำดินมาเติมน้ำลงไป โดยใช้สัดส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 นำไปวัดค่าการนำไฟฟ้าโดยใช้เครื่องคอนดักทิวิทีมิเตอร์

3. โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable sodium) สกัดตัวอย่างดิน ด้วยสารละลาย 1 โมลาร์ แอมโมเนียมอะซีเทต พีเอช 7 อัตรา 1 : 5 นำสารละลายที่สกัดได้ไปวัดด้วยเครื่องเฟลมโฟโทมิเตอร์

4. แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable calcium) สกัดตัวอย่างดินด้วยสารละลาย 1 โมลาร์แอมโมเนียมอะซีเทต พีเอช 7 อัตรา 1 : 5 นำสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ไปวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 422 และ 285 นาโนเมตร ตามลำดับ

5. โบรอนในดิน วิเคราะห์โดยวิธี Hot-Water Method และทำให้เกิดสีด้วยวิธีอะโซมีธีนเฮช และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร (Soil and Plant Analysis Council, 1999)

6. กำมะถันที่เป็นประโยชน์ในดิน (available sulfate) สกัดตัวอย่างดินด้วยสารละลายแคลเซียมเททราไฮโดรเจนฟอสเฟตไดออโทฟอสเฟตโมโนไฮเดรต 0.01 โมลาร์ แล้ววิเคราะห์ด้วยวิธีเทอบิดีเมตริก และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร

3.5.2 การวิเคราะห์ธาตุอาหารในตัวอย่างพืช

นำตัวอย่างพืชที่ผ่านการอบมาชั่งน้ำหนัก และย่อยตัวอย่างด้วยกรดซัลฟิวริก-ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ สำหรับวิเคราะห์ ไนโตรเจน และย่อยด้วยกรดผสมไนทริกเพอร์คลอริกสำหรับวิเคราะห์ โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และกำมะถัน และเผาเป็นเถ้าเพื่อวิเคราะห์โบรอน นำตัวอย่างที่ได้ไปปรับปริมาตรและนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหาร

1. วิเคราะห์ไนโตรเจน โดยวิธีนำไปกลั่นด้วยเครื่องกลั่นทำให้เกิดแอมโมเนียมโดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จับแอมโมเนียมโดยกรดบอริก แล้วน้ำไปไทเทรตหาแอมโนเนียมด้วยกรดซัลฟิวริก

2. วิเคราะห์ฟอสฟอรัส นำสารละลายตัวอย่างไปปรับสีด้วยวิธีเยลโลโมลิบโดวาเนโดฟอสฟอริกแอซิด แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร

3. วิเคราะห์โพแทสเซียมและโซเดียม นำสารละลายตัวอย่างไปวัดโพแทสเซียมและโซเดียม โดยใช้เครื่องเฟลมโฟโทมิเตอร์

4. วิเคราะห์แคลเซียม นำสารละลายตัวอย่างไปวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ โดยใช้ความยาวคลื่น 422 และ 285 นาโนเมตรตามลำดับ

5. วิเคราะห์โบรอนในพืช ที่เผาให้เป็นเถ้า และทำให้เกิดสีด้วยวิธีอะโซมีธีนเฮช วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร

6. วิเคราะห์กำมะถันในพืช ด้วยวิธีเทอบิดีเมตริก และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร

3.5.3 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการของน้ำเสีย

นำน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการและธาตุที่เป็นส่วนประกอบในน้ำเสีย

1. ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) นำน้ำเสียวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์

2. วิเคราะห์แคลเซียม นำตัวอย่างน้ำไปวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ โดยใช้ความยาวคลื่น 422 และ 285 นาโนเมตรตามลำดับ

3. วิเคราะห์โบรอน และทำให้เกิดสีด้วยวิธีอะโซมีธีนเฮช วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร

4. วิเคราะห์กำมะถัน ด้วยวิธีเทอบิดีเมตริก และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลผลการทดลองในแต่ละการทดลอง เช่น ข้อมูลสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของดิน สภาพการนำไฟฟ้า โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โบรอนที่สกัดได้ในดิน และกำมะถันที่เป็นประโยชน์ในดิน ข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูง จำนวนใบ น้ำหนักแห้ง น้ำหนักผลผลิต และจำนวนผล ข้อมูลความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม กำมะถัน และโบรอน นำข้อมูลในแต่ละประเภทมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนของข้อมูล และค่าความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS for window version 10.0 (กัลยา, 2542)

บทที่ 3

ผลการทดลอง

1. สมบัติทางเคมีบางประการของน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราหลังจากบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

สารเคมีที่อัดเข้าไปในเนื้อไม้เพื่อฆ่าเชื้อราและแมลงในโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา เมื่อนำมาบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน และตรวจสอบปริมาณสารเคมีที่ตกค้าง เพื่อต้องการบำบัดสารที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำต่อไป โดยในกระบวนการบำบัดมีการใช้สารเคมีตั้งต้นคือ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์, เฟอรัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต, กรดซัลฟิวริกเข้มข้น และแคลเซียมออกไซด์ ดังนั้นน้ำเสียหลังการบำบัดจึงเป็นสารละลายใส และมีธาตุอาหารที่ตกค้างอยู่ในนำเสีย คือ โบรอน, แคลเซียม, เหล็ก และซัลเฟต (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีบางประการของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

สมบัติทางเคมีบางประการ	ความเข้มข้น
pH	6.8
Fe	115 (mg L^{-1})
S	790 (mg L^{-1})
Ca	410 (mg L^{-1})
B	509 (mg L^{-1})

2. การตอบสนองของมะเขือเทศต่อการใช้น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

การให้น้ำเสียเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะตำรับการทดลองที่ให้น้ำเสีย 40 และ 100 มิลลิลิตร ทำให้มีโบรอนสะสมในดินสูงขึ้น คือ 5.55 และ 5.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) กับไม่ให้น้ำเสีย คือ 1.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน อย่างไรก็ตามการให้น้ำเสียในระดับที่สูงขึ้น ไม่ส่งผลต่อค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าของดิน แต่การให้น้ำเสียเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้โซเดียมตกค้างในดินเพิ่มขึ้นด้วยจนถึง 0.19

เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม สูงกว่าในตำรับการทดลองที่ไม่ให้น้ำเสีย 0.10 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3)

การให้น้ำเสียตั้งแต่ 20 มิลลิลิตร ขึ้นไป ใบมะเขือเทศเริ่มแสดงอาการผิดปกติ โดยมีขอบใบไหม้ โดยเฉพาะตำรับการทดลองที่ให้น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ต้นมะเขือเทศตายหลังจากให้น้ำเสีย 14 วัน (รูปที่ 1) จึงทำให้มีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1.79 กรัมต่อต้น ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม (4.99 กรัมต่อต้น) นอกจากนั้นตำรับการทดลองที่ให้น้ำเสีย 100 มล. มีความสูงต่ำกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ คือ 39.90 เซนติเมตร แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) กับตำรับการทดลองอื่น ๆ และมีจำนวนใบต่ำสุด คือ 14.25 ใบต่อต้น แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 4)

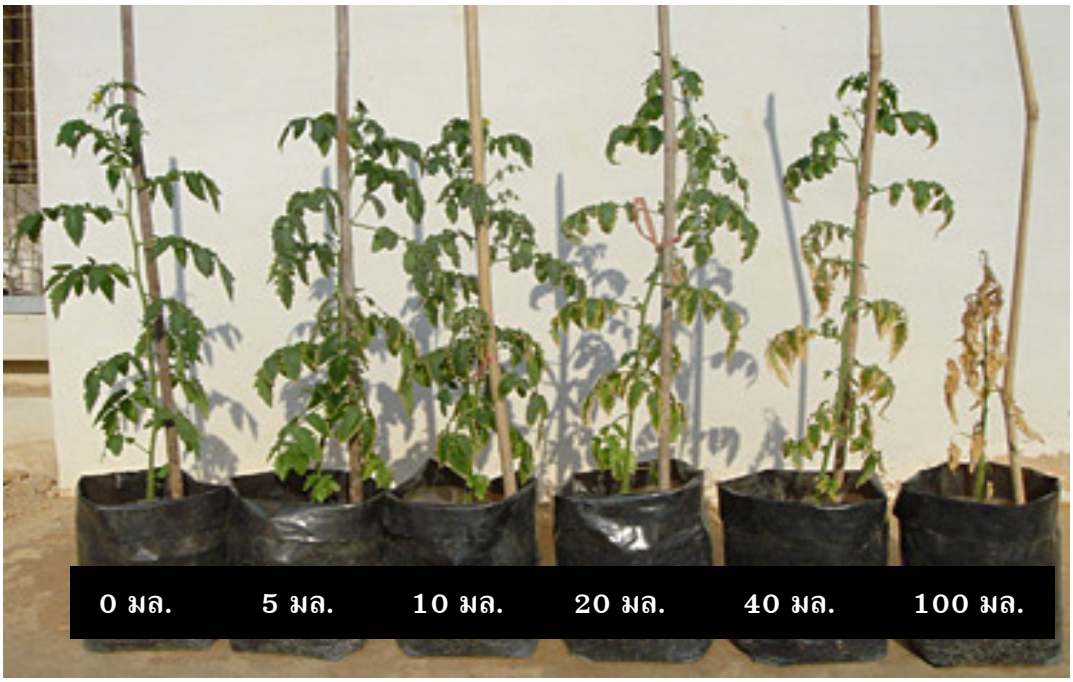
เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของธาตุอาหารในมะเขือเทศ พบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมในมะเขือเทศไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยในตำรับการทดลองที่ให้น้ำเสีย 40 และ 100 มิลลิลิตร และการให้น้ำเสียที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้มะเขือเทศมีความเข้มข้นของโบรอนมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะตำรับการทดลองที่ให้น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร มีค่าสูงสุด คือ 2,265 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และรองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ให้น้ำเสีย 40 มิลลิลิตร มีค่า 1,171มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) กับควบคุม คือ 44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (รูปที่ 2)

ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีบางชนิดของดินหลังการทดลองการตอบสนองของมะเขือเทศ ต่อการใช้น้ำเสีย

ตำรับการทดลอง	pH (ดิน:น้ำ,1:5)	EC (ดิน:น้ำ,1:5) dS m^{-1}	Na $cmol_c$ kg^{-1}	B mg kg^{-1}
น้ำเสีย 0 มล.	4.81	0.16	0.10	1.17 c
น้ำเสีย 5 มล.	4.89	0.16	0.14	0.87 c
น้ำเสีย 10 มล.	4.73	0.18	0.12	1.47 c
น้ำเสีย 20 มล.	4.65	0.18	0.16	2.66 b
น้ำเสีย 40 มล.	4.72	0.19	0.15	5.55 a
น้ำเสีย 100 มล.	4.77	0.21	0.19	5.60 a
F-test	NS	NS	NS	**
C.V. (%)	3.64	25.41	37.77	20.35

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$



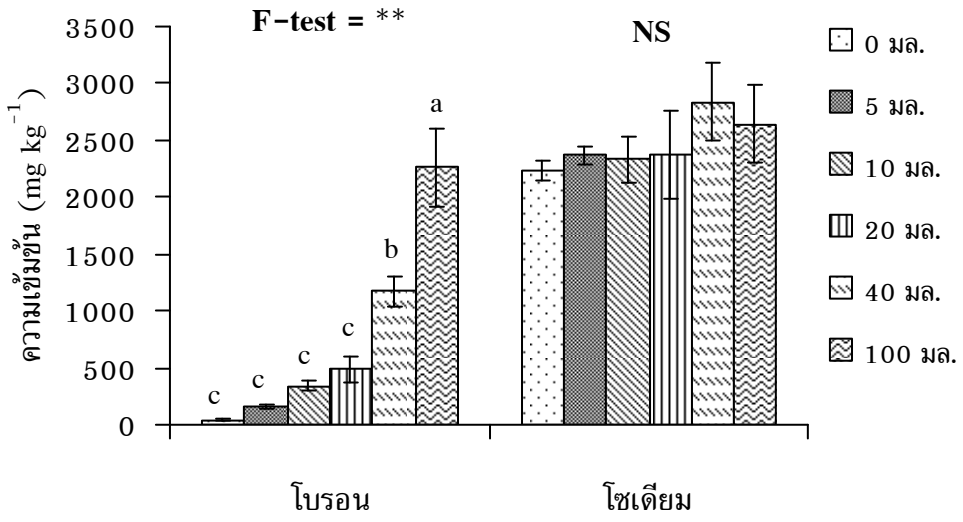
รูปที่ 1 ผลของน้ำเสียอัตราต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศอายุ 21 วัน หลังให้ตำรับการทดลอง

ตารางที่ 4 ผลของน้ำเสียอัตราต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ

ตำรับการทดลอง	น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อต้น)	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนใบ (ใบ)
น้ำเสีย 0 มล.	4.99 a	55.80 ab	28.00
น้ำเสีย 5 มล.	4.82 a	55.30 ab	20.25
น้ำเสีย 10 มล.	4.90 a	50.86 b	24.00
น้ำเสีย 20 มล.	4.35 a	55.25 a	23.75
น้ำเสีย 40 มล.	3.57 a	59.38 a	25.75
น้ำเสีย 100 มล.	1.79 b	39.90 c	14.25
F-test	**	**	NS
C.V. (%)	25.03	9.20	32.80

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT
NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.01

รูปที่ 2 ผลของน้ำเสียอัตราต่าง ๆ ต่อความเข้มข้นของโบรอนและโซเดียมในส่วนเหนือดินของมะเขือเทศ

3. อิทธิพลของธาตุในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของมะเขือเทศ

เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินหลังการทดลอง พบว่า ปริมาณกำมะถัน โซเดียม พีเอช และค่าการนำไฟฟ้า ในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ อย่างไรก็ตามในตำรับการทดลอง +Na ถึงแม้ว่าจะมีแคลเซียมตกค้างในดินสูงสุด 0.20 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05) กับไม่ให้น้ำเสีย คือ 0.16 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม แต่ก็อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันทุกตำรับการทดลอง และในตำรับการทดลอง +WW และ +B มีปริมาณโบรอนตกค้างในดินสูงเท่ากับ 4.58 และ 4.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.01) กับตำรับการทดลองอื่น ๆ โดยตำรับควบคุมมีโบรอนในดิน 0.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (ตารางที่ 5)

ต้นมะเขือเทศในตำรับการทดลอง +WW และ +B หลังจากให้น้ำเสีย 14 วัน มีอาการขอบใบไหม้และมะเขือเทศตายในลักษณะเดียวกันทั้งสองตำรับการทดลอง(รูปที่ 3) จึงทำให้น้ำหนักแห้งทั้งสองตำรับการทดลองมีค่าต่ำสุด คือ 1.10 และ 1.31 กรัมต่อต้น ตามลำดับ แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.01) กับตำรับการทดลองที่ไม่ให้น้ำเสีย คือ 2.37 กรัมต่อต้น และในทั้งสองตำรับการทดลองนี้มีความสูงต่ำกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ แต่ไม่มีความ

แตกต่างทางสถิติ และมีจำนวนใบต่ำสุดคือ 9.5 ใบต่อต้น ทั้งสองตำรับการทดลอง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองอื่น ๆ แต่ก็ไม่ได้แตกต่างกันมาก โดยตำรับควบคุมมีค่า 11.25 ใบต่อต้น (ตารางที่ 6)

เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของธาตุอาหารในมะเขือเทศ พบว่า ตำรับการทดลองที่ให้โซเดียมมีความเข้มข้นของโซเดียมในมะเขือเทศสูงสุด คือ 1,608 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.01$) กับตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างไรก็ตามการให้น้ำเสียและธาตุที่ใช้ทดลอง ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของกำมะถันและแคลเซียมในมะเขือเทศ โดยมีค่าใกล้เคียงกันในทุกตำรับการทดลอง (รูปที่ 4) ในขณะเดียวกันตำรับการทดลอง +WW และ +B มีผลตรงกันข้าม คือ มีโบรอนสะสมในมะเขือเทศมากเท่ากับ 1,804 และ 1,867 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตำรับการทดลองอื่น ๆ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน (รูปที่ 5)

ตารางที่ 5 สมบัติทางเคมีบางชนิดของดินหลังการทดลองศึกษาอิทธิพลของธาตุในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของมะเขือเทศ

ตำรับการทดลอง	pH (ดิน:น้ำ,1:5)	EC (ดิน:น้ำ,1:5) dS m^{-1}	Ca $cmol_c\ kg^{-1}$	Na $cmol_c\ kg^{-1}$	B mg kg^{-1}	S mg kg^{-1}
Control	4.53	0.15	0.16 bc	0.73	0.60 b	31.74
+WW	4.63	0.12	0.15 c	0.60	4.58 a	41.83
+B	4.65	0.13	0.18 abc	0.62	4.47 a	36.62
+S	4.50	0.13	0.19 ab	0.59	0.30 b	20.76
+Ca	4.43	0.16	0.19 ab	0.68	0.43 b	28.86
+Na	4.60	0.15	0.20 a	0.74	0.48 b	25.39
F-test	NS	NS	*	NS	**	NS
C.V. (%)	3.54	22.91	9.79	23.47	37.67	39.35

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

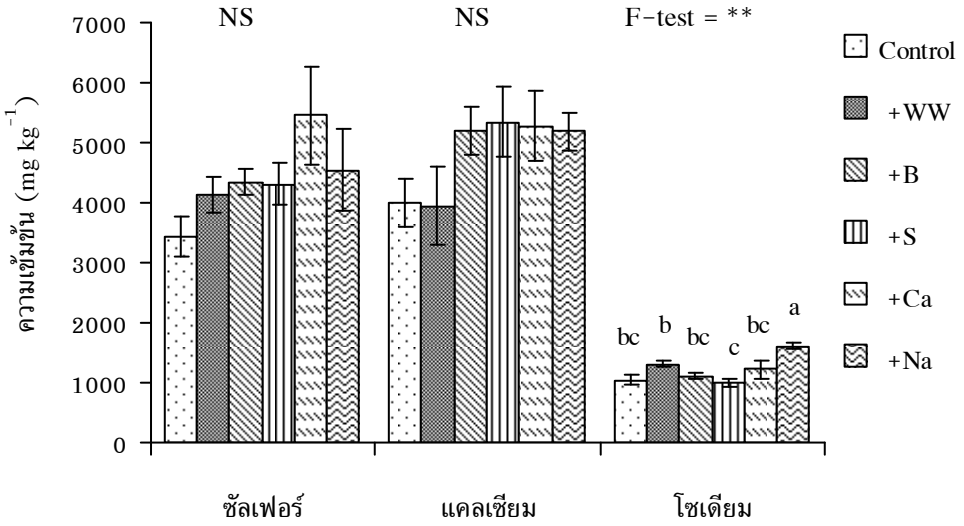
รูปที่ 3 ผลของธาตุในน้ำเสียต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ 14 วัน หลังให้ตำรับการทดลอง

ตารางที่ 6 ผลของธาตุในน้ำเสียต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ

ตำรับการทดลอง	น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อต้น)	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนใบ (ใบ)
Control	2.37 a	48.40	11.25 ab
+WW	1.31 c	43.08	9.50 c
+B	1.10 c	41.25	9.50 c
+S	2.28 a	51.63	12.00 a
+Ca	2.23 ab	47.95	11.75 a
+Na	1.64 ab	42.40	10.66 ab
F-test	**	NS	*
C.V. (%)	22.16	12.89	11.19

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT

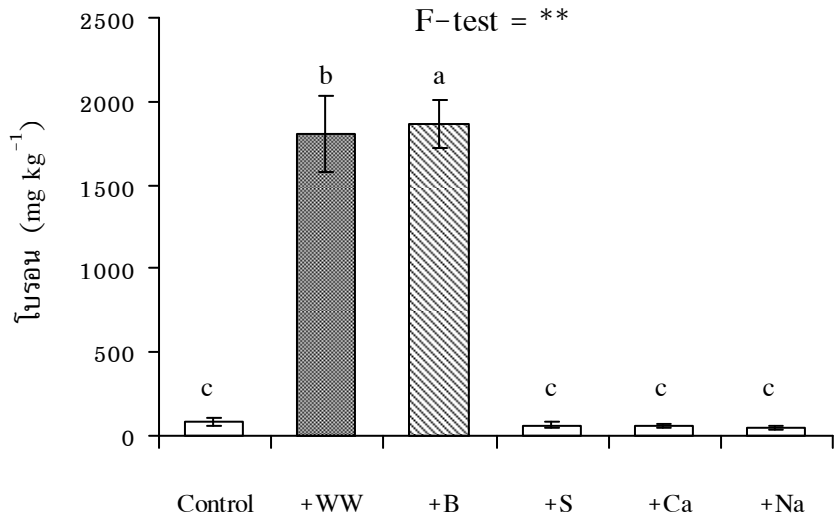
NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.01

รูปที่ 4 ความเข้มข้นของ ซัลเฟอร์ แคลเซียม และโซเดียม ในส่วนเหนือดินของมะเขือเทศหลังการทดลองศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของมะเขือเทศ



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.01

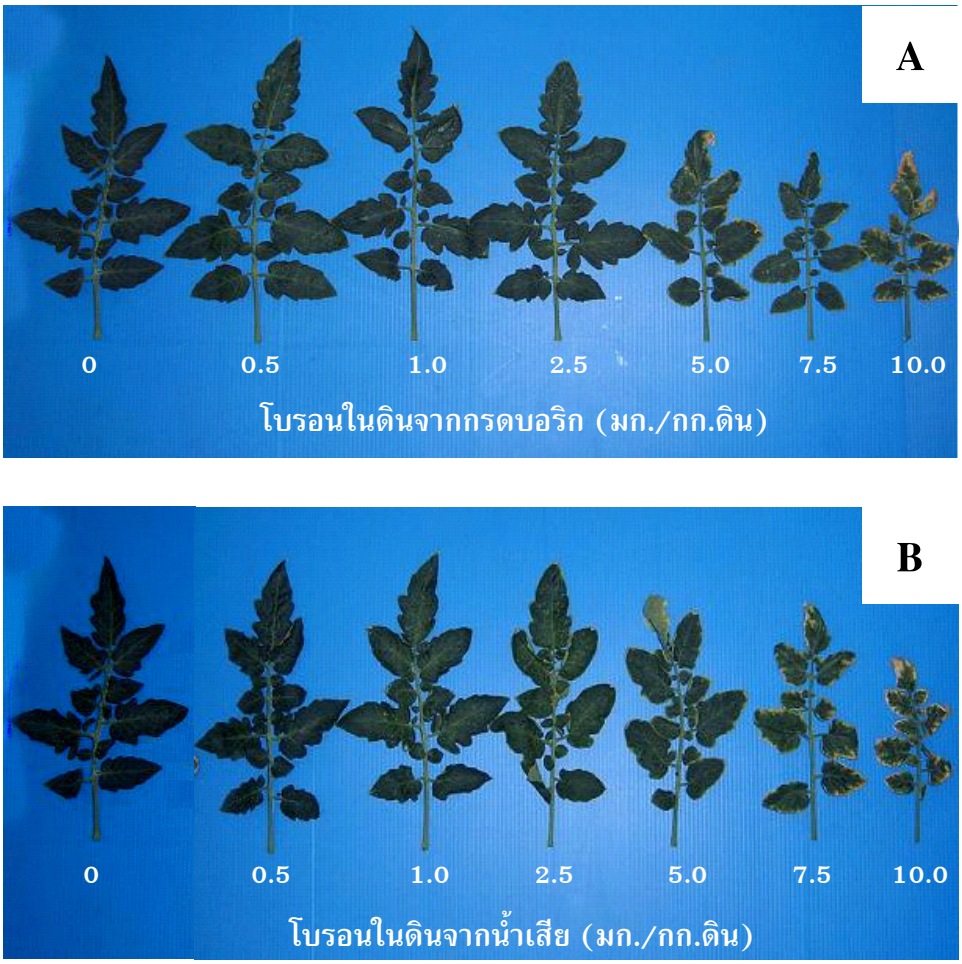
รูปที่ 5 ความเข้มข้นของธาตุโบรอนในส่วนเหนือดินของมะเขือเทศหลังการทดลองศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของมะเขือเทศ

4. ผลของโบรอนต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ

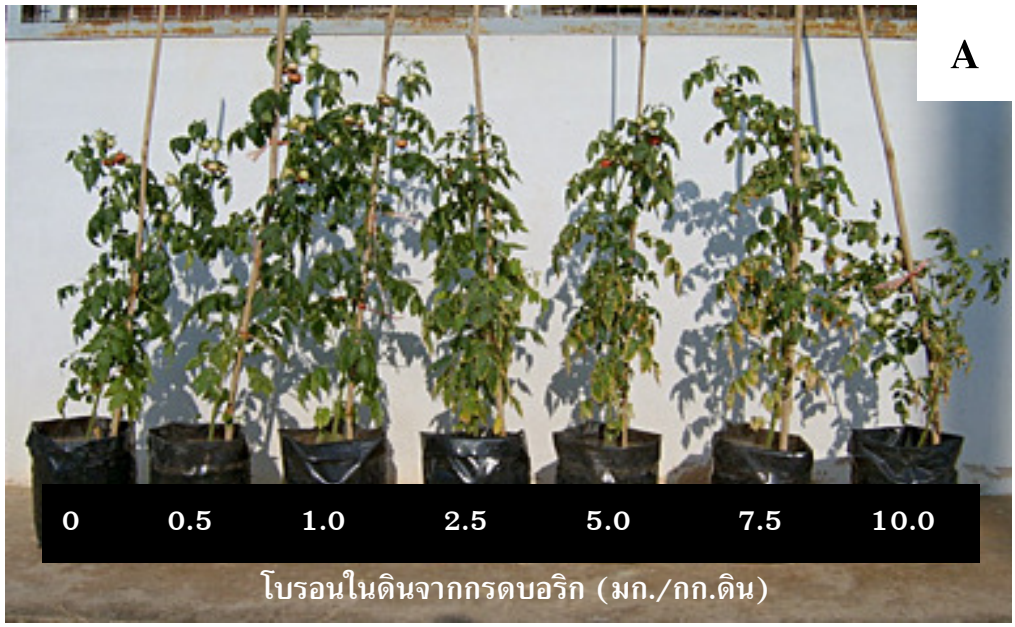
เมื่อต้นมะเขือเทศอายุ 44 วันหลังย้ายกล้าปลูก พบว่า การให้โบรอนจากกรดบอริกและจากน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของโบรอน 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (T2, T3, T8, T9) ทำให้ความสูงต้นมะเขือเทศมีค่า 71.75, 67.75, 72.50 และ 69.67 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีแนวโน้มสูงกว่าตำรับการทดลองที่ไม่ให้โบรอน (T1) 69.00 เซนติเมตร แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ในขณะที่ตำรับการทดลองที่ได้รับโบรอนความเข้มข้นของตั้งแต่ 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินขึ้นไป ทั้งจากกรดบอริกและจากน้ำเสีย ทำให้ความสูงของต้นมะเขือเทศมีค่าต่ำกว่า ตำรับควบคุมอย่างชัดเจน ในส่วนของ น้ำหนักแห้งและจำนวนใบ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่พบว่า มีแนวโน้มทำให้น้ำหนักแห้งลดลง เมื่อได้รับโบรอนความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนั้นการให้โบรอนจากกรดบอริกและน้ำเสียที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินขึ้นไป ทำให้ต้นมะเขือเทศแสดงอาการใบไหม้ แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง กับตำรับการทดลองที่ไม่ให้โบรอนและให้โบรอนเพียง 0.5 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน โดยพบว่าการให้โบรอนในอัตราที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความรุนแรงของอาการเพิ่มขึ้น (รูปที่ 6,7) โดยเฉพาะตำรับการทดลองที่ได้รับโบรอน 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ทำให้มีใบไหม้สูง (ตารางที่ 7)

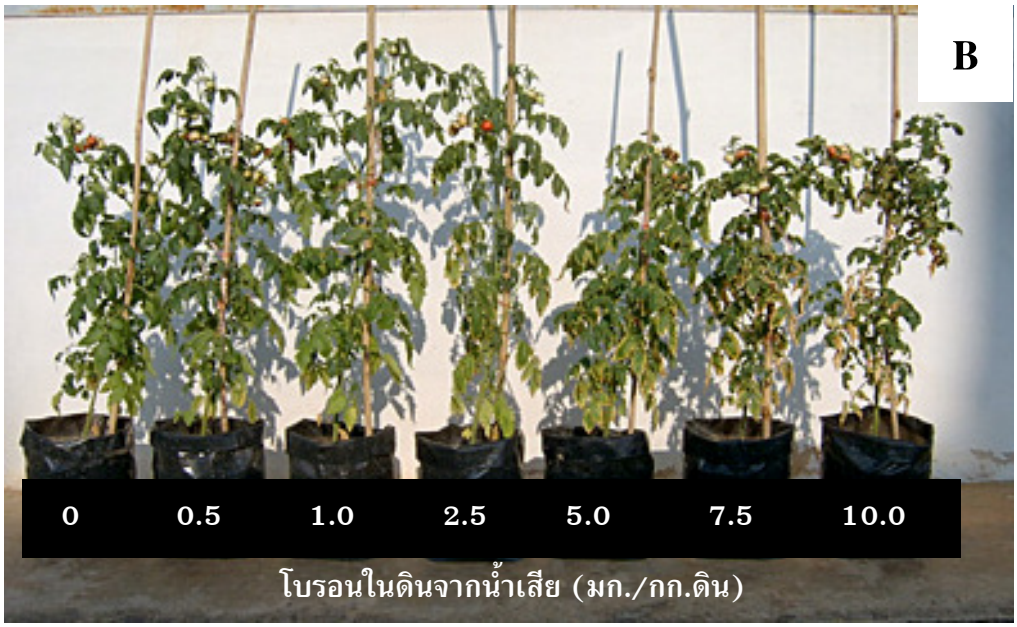
เมื่อพิจารณาที่ผลผลิตของมะเขือเทศพบว่า การให้โบรอนจากกรดบอริกในอัตรา 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (T2) ทำให้น้ำหนักผลผลิตและจำนวนผลสูงสุด 67.43 กรัมต่อถุง และ 20 ผลต่อถุง แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ไม่ให้โบรอน 57.48 กรัมต่อถุง และ 14.50 ผลต่อต้น โดยการให้โบรอนในอัตราสูงกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน จากทั้งกรดบอริกและน้ำเสียทำให้น้ำหนักผลและจำนวนผลผลิตลดลงอย่างชัดเจน (รูปที่ 8 A B) แต่การให้อัตราโบรอนที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้อาการผลผิดปกติลดลง (รูปที่ 8 C)

เมื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบของมะเขือเทศตำแหน่งใบที่ 5 พบว่า ความเข้มข้นของ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และโบรอน มีแนวโน้มสะสมในใบมะเขือเทศเพิ่มขึ้นตามอัตราโบรอนที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะความเข้มข้นของโบรอนในมะเขือเทศ พบว่า การให้โบรอนที่อัตรา 10.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน จากทั้งกรดบอริกและน้ำเสีย ทำให้ความเข้มข้นโบรอนในใบสูงถึง 2,012 และ 2,192 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นสูงกว่าตำรับควบคุม ที่มีค่า 39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ชัดเจนมาก



รูปที่ 6 ลักษณะของใบมะเขือเทศตำแหน่งใบที่ 5 ที่ได้รับโบรอนจาก (A) กรดบอริก (B) น้ำเสีย 35 วันหลังให้ตำรับการทดลอง





รูปที่ 7 ผลของโบรอนจากกรดบอริก (A) จากน้ำเสีย (B) ต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ 42 วันหลังให้ตำรับการทดลอง

ตารางที่ 7 ผลของโบรอนต่อการเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศ 42 วัน หลังให้ตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	ความสูง (เซนติเมตร)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม)	จำนวนใบ (ใบ)	จำนวนใบไหม้ (ใบ)	ใบไหม้ (%)
Control (T1)	69.00	8.36	35.00	0.00 c	0.00 c
0.5 H_3BO_3 (T2)	71.75	8.76	40.75	0.00 c	0.00 c
1.0 H_3BO_3 (T3)	67.75	8.05	35.75	0.00 c	0.00 c
2.5 H_3BO_3 (T4)	62.13	9.49	45.67	20.67 b	45.42 b
5.0 H_3BO_3 (T5)	66.38	8.59	42.25	32.25 ab	75.57 a
7.5 H_3BO_3 (T6)	60.88	6.73	37.00	31.75 ab	84.58 a
10.0 H_3BO_3 (T7)	61.50	7.11	45.25	38.25 a	84.67 a
0.5 WW (T8)	72.50	9.02	38.75	0.00 c	0.00 c
1.0 WW (T9)	69.67	9.55	35.00	0.00 c	0.00 c
2.5 WW (T10)	64.38	8.24	36.75	20.25 b	57.82 b
5.0 WW (T11)	62.75	9.23	48.00	40.25 a	83.34 a
7.5 WW (T12)	61.88	7.87	41.75	36.50 a	87.44 a
10.0 WW (T13)	62.25	6.90	47.67	40.00 a	83.79 a
F-test	NS	NS	NS	**	**
C.V. (%)	14.00	4.50	24.29	41.99	23.79

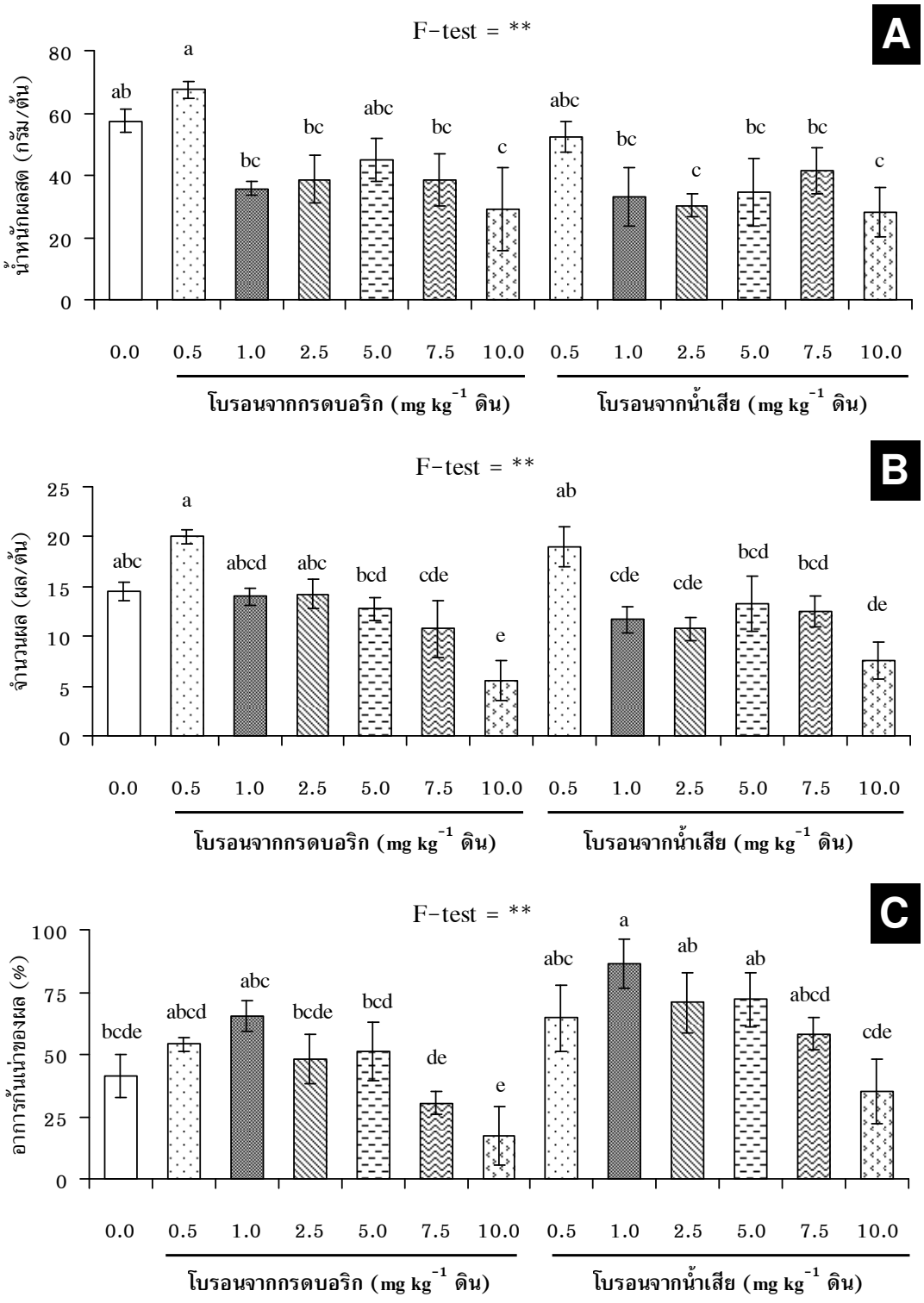
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

ตารางที่ 8 ผลของโบรอนต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมะเขือเทศตำแหน่งใบที่ห้า อายุ 35 วัน หลังให้ตำรับการทดลอง

โบรอน	N (ก./กก.)		P (ก./กก.)		K (ก./กก.)		B (มก./กก.)	
มล./กก.	H_3BO_3	WW	H_3BO_3	WW	H_3BO_3	WW	H_3BO_3	WW
0	26.49	26.49	3.74	3.74	22.13	22.13	39.09	39.09
0.5	27.66	27.77	3.85	3.73	23.95	29.21	85.23	82.40
1.0	26.71	28.22	3.42	3.89	27.36	28.25	127.37	133.22
2.5	30.07	29.37	4.66	4.54	27.95	33.94	385.44	400.72
5.0	30.38	29.83	4.67	4.54	28.75	34.25	852.94	985.50
7.5	32.23	28.91	5.79	4.58	35.30	35.87	1493.60	1478.23
10.0	29.05	28.26	5.61	5.69	45.86	39.35	2012.00	2192.26

หมายเหตุ : นำใบมะเขือเทศตำแหน่งใบที่ 5 ของแต่ละซ้ำในตำรับการทดลองเดียวกันรวมเป็นตัวอย่างเดียวกัน จึงไม่สามารถวิเคราะห์ค่าทางสถิติได้



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในกราฟเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT
NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

รูปที่ 8 ผลของโบรอนจากกรดบอริกและจากน้ำเสียต่อน้ำหนักผลสด (A) จำนวนผล (B) และอาการก้นเน่าของผล (C) ของต้นมะเขือเทศ

4. การใช้น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราเป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกับมะเขือเทศ

4.1 ผลการทดลองในชุดดินคอหงส์

สมบัติทางเคมีของดินหลังการทดลอง พบว่า ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (pH, EC, Ca) ของดินในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และในทุกดัชนีชี้วัดมีค่าใกล้เคียงกันทุกตำรับการทดลอง เมื่อพิจารณาที่ปริมาณโบรอนที่สกัดได้ด้วยน้ำร้อนในดิน พบว่า ในตำรับการทดลองที่ใส่โบรอนทางดินมีค่าสูงที่สุด 0.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินและรองลงมาคือตำรับการทดลองใส่น้ำเสียที่เติมแคลเซียมทางดิน 0.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน มีค่าแตกต่างทางสถิติกับตำรับควบคุม 0.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ที่ระดับ $P \leq 0.01$ ซึ่งเป็นตำรับการทดลองที่มีปริมาณโบรอนที่สกัดได้น้อยที่สุด (ตารางที่ 9)

เมื่อพิจารณาด้านการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ พบว่า ค่าความสูง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ประมาณ 100.00 เซนติเมตร ในทุกตำรับการทดลอง) แต่ในตำรับควบคุมมีความสูง (76.30 เซนติเมตร) ต่ำกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ อย่างชัดเจน และยังพบว่า จำนวนใบ และ จำนวนดอก ก็ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และในตำรับควบคุมมีค่าต่ำกว่าในตำรับการทดลองอื่นๆ อย่างชัดเจนเช่นเดียวกัน (26.67 ใบต่อต้น และ 24.67 ดอกต่อต้น) ในส่วนของจำนวนผล พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่แคลเซียมทางดินมีค่าสูงสุด 22.67 ผลต่อต้น รองลงมาคือ ตำรับการทดลองใส่น้ำเสียที่เติมแคลเซียมทางดิน 22.50 ผลต่อต้น และแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งมีค่าต่ำสุดคือ 12 ผลต่อต้น อย่างไรก็ตามน้ำหนักผลผลิตไม่ได้แตกต่างทางสถิติ และมีแนวโน้มว่าตำรับควบคุมและฉีดพ่นแคลเซียมมีค่าต่ำกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ 90.05 และ 90.85 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และตำรับการทดลองที่ฉีดพ่นปุ๋ยแคลเซียมโบรอนมีค่าสูงสุด 153.99 กรัมต่อต้น รองลงมา คือ ตำรับการทดลองใส่น้ำเสียที่เติมแคลเซียมทางดิน 140.49 กรัมต่อต้น นอกจากนั้นน้ำหนักแห้งในตำรับควบคุมก็มีค่า 11.98 กรัมต่อต้น ซึ่งต่ำกว่าตำรับการทดลองอื่นและแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$ เช่นเดียวกัน และจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าในทุกตำรับการทดลองที่ให้โบรอนและให้น้ำเสียที่มีโบรอนไม่ว่าจะให้ทางการฉีดพ่นหรือให้ทางดินก็ทำให้ดัชนีชี้วัดทุกตัวมีค่าสูงกว่าตำรับควบคุม (ตารางที่ 10)

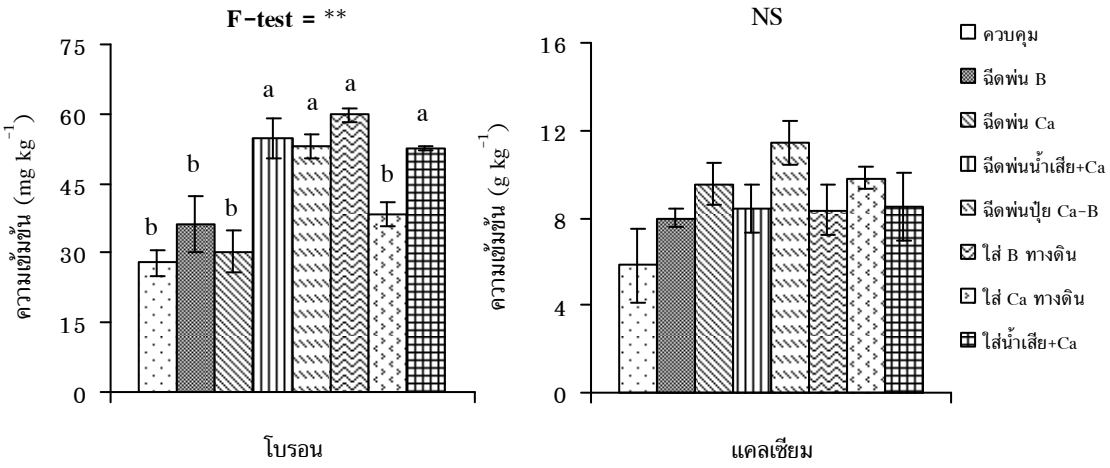
นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาที่ธาตุอาหารในมะเขือเทศ พบว่า ปริมาณโบรอนในมะเขือเทศมีค่าแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง และมีแนวโน้มว่าในทุกตำรับการทดลองที่ได้รับโบรอน ไม่ว่าจากการฉีดพ่นหรือใส่ทางดิน จะมีปริมาณโบรอนเพิ่มสูงขึ้นกว่าควบคุม โดยเฉพาะตำรับที่ใส่โบรอนทางดินมีค่าสูงสุด 59.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สูงกว่าตำรับควบคุม (27.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อย่างชัดเจน และแคลเซียมในมะเขือเทศ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และในทุกตำรับการทดลองที่ได้รับแคลเซียมก็มีค่าสูงกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ (รูปที่ 9)

ตารางที่ 9 สมบัติทางเคมีบางประการของชุดดินคอหงส์หลังการทดลองใช้น้ำเสียเป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกับมะเขือเทศ

ตำรับการทดลอง	pH (ดิน:น้ำ,1:5)	EC (ดิน:น้ำ,1:5) dS m^{-1}	B mg kg^{-1}	Ca $cmol_c$ kg^{-1}
ควบคุม	4.27	0.09	0.16 c	0.39
ฉีดพ่น B	4.19	0.09	0.20 bc	0.36
ฉีดพ่น Ca	4.11	0.13	0.21 bc	0.42
ฉีดพ่น น้ำเสีย+Ca	3.95	0.13	0.17 bc	0.33
ฉีดพ่นปุ๋ย Ca-B	4.24	0.10	0.31 bc	0.38
ใส่ B ทางดิน	4.36	0.09	0.53 a	0.37
ใส่ Ca ทางดิน	4.33	0.11	0.22 bc	0.40
ใส่น้ำเสีย+Ca	4.37	0.12	0.32 b	0.34
F-test	NS	NS	**	NS
C.V.(%)	5.29	29.31	29.23	14.63

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, ** = แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.01



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในกราฟเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, ** = แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.01

รูปที่ 9 ความเข้มข้นของโบรอนและแคลเซียมในมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินคอหงส์หลังการทดลองใช้น้ำเสียเป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกับมะเขือเทศ

ตารางที่ 10 การเจริญเติบโตและผลผลิตมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินคอหงส์หลังการทดลองใช้น้ำเสียเป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกับมะเขือเทศ

ตำรับการทดลอง	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนใบ (ใบ/ต้น)	จำนวนดอก (ดอก/ต้น)	จำนวนผล (ผล/ต้น)	น้ำหนักผล (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม/ต้น)
ควบคุม	76.30	26.67	24.67	12.00 c	90.05	11.98 c
ฉีดพ่น B	103.90	34.00	31.00	13.33 bc	109.95	12.42 c
ฉีดพ่น Ca	105.10	53.33	42.00	19.00 ab	90.85	16.25 abc
ฉีดพ่น น้ำเสีย+Ca	98.80	51.67	46.33	18.00 abc	129.18	23.61 a
ฉีดพ่นปุ๋ย Ca-B	98.73	42.33	39.33	17.00 abc	153.99	14.06 bc
ใส่ B ทางดิน	98.10	53.00	40.67	18.67 ab	122.59	20.46 ab
ใส่ Ca ทางดิน	103.73	53.00	46.00	22.67 a	134.29	23.10 a
ใส่น้ำเสีย+Ca	100.30	46.33	46.67	22.50 a	140.49	15.55 bc
F-test	NS	NS	NS	*	NS	*
C.V. (%)	11.60	25.29	22.93	17.40	24.19	23.14

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

4.2 ผลการทดลองในชุดดินบาเจาะ

สมบัติทางเคมีของดินหลังการทดลอง พบว่า ค่าพีเอช และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (pH, Ca) ของดินในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และในทุกดัชนีชี้วัดมีค่าใกล้เคียงกันทุกตำรับการทดลอง เมื่อพิจารณาที่ปริมาณโบรอนที่สกัดได้ด้วยน้ำร้อนในดิน พบว่า ในตำรับการทดลองที่ใส่โบรอนทางดินมีค่าสูงที่สุด 0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินและรองลงมาคือตำรับการทดลองใส่น้ำเสียที่เติมแคลเซียมทางดินมีค่า 0.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ซึ่งมีค่าแตกต่างทางสถิติกับตำรับควบคุม (0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน) ที่ระดับ $P \leq 0.01$ ขณะเดียวกันค่าการนำไฟฟ้า ของตำรับการทดลองใส่น้ำเสียที่เติมแคลเซียมก็มีค่าสูงสุดที่ 0.07 เดซิซีเมนต่อเมตร (เมื่อคิดเป็นค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะมีค่า EC_e = 0.42 เดซิซีเมนต่อเมตร) ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับควบคุม (EC = 0.01 เดซิซีเมนต่อเมตร หรือ EC_e = 0.06 เดซิซีเมนต่อเมตร) ที่ระดับ $P \leq 0.05$ (ตารางที่ 11)

เมื่อพิจารณาด้านการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ พบว่า ค่าความสูงในตำรับการทดลองที่ฉีดพ่นปุ๋ยแคลเซียมโบรอนมีความสูงต่ำสุดที่ 82.33 เซนติเมตร อย่างไรก็ตามไม่มีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเทียบกับควบควบคุม (100.33 เซนติเมตร) และยังพบว่า จำนวนดอกก็ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยตำรับการทดลองฉีดพ่นน้ำเสียที่เติมแคลเซียมมีค่าสูงสุดที่ 79.00 ดอกต่อต้น และในตำรับการทดลองใส่แคลเซียมทางดินมีค่าต่ำสุด 52.33 ดอกต่อต้น ในส่วนของจำนวนใบ ตำรับการทดลองที่ใส่โบรอนทางดินมีค่าสูงสุดที่ 63.67 ใบต่อต้น และแตกต่างทางสถิติกับตำรับควบคุม (30.67 ใบต่อต้น) ที่ระดับ $P \leq 0.05$ และยังพบว่าตำรับการทดลองใส่น้ำเสียที่เติมแคลเซียมทางดิน มีค่าจำนวนผลและน้ำหนักผลสูงสุดที่ 35.00 ผลต่อต้น และ 290.04 กรัมต่อต้น รองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ใส่โบรอนทางดิน 34.33 ผลต่อต้น และ 263.07 กรัมต่อต้น โดยทั้งสองตำรับการทดลองมีค่าแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.01$) กับตำรับควบคุม (16.33 ผลต่อต้น และ 161.28 กรัมต่อต้น) ซึ่งเป็นตำรับการทดลองที่มีค่าต่ำสุดทั้งสองดัชนีชี้วัด นอกจากนั้นตำรับการทดลองใส่โบรอนทางดินมีค่าน้ำหนักแห้งสูงสุด 31.51 กรัมต่อต้น รองลงมาคือ ตำรับการทดลองใส่น้ำเสียที่เติมแคลเซียมทางดิน 29.68 กรัมต่อต้น และมีค่าแตกต่างทางสถิติกับตำรับควบคุม (17.40 กรัมต่อต้น) ที่ระดับ $P \leq 0.05$ (ตารางที่ 12) และเมื่อพิจารณาในภาพรวมของตำรับการทดลองที่ให้โบรอนและน้ำเสียที่เติมแคลเซียมไม่ว่าจะให้ทางการฉีดพ่นหรือใส่ทางดินก็ทำให้ จำนวนใบ จำนวนผล น้ำหนักผล และน้ำหนักแห้งต้น มีค่าสูงกว่าควบคุมอย่างเห็นได้ชัด

นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาที่ธาตุอาหารในมะเขือเทศ พบว่า ปริมาณโบรอนในมะเขือเทศ ของตำรับการทดลองใส่น้ำเสียที่เติมแคลเซียมทางดินมีค่าสูงสุดและรองลงมาคือตำรับการทดลองใส่โบรอนทางดิน ซึ่งมีค่า 185.12 และ 145.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และ

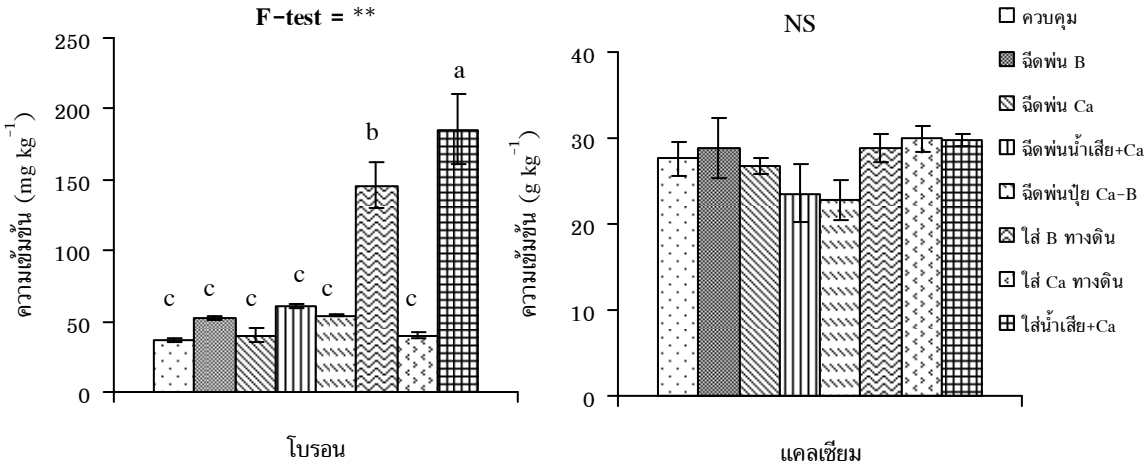
แตกต่างทางสถิติที่ระดับ P≤0.01 กับตำรับการทดลองอื่น ๆ โดยเฉพาะควบคุมมีค่าต่ำสุด 36.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตามแคลเซียมในมะเขือเทศก็ไม่แตกต่างทางสถิติ (รูปที่ 10)

ตารางที่ 11 สมบัติทางเคมีบางประการของชุดดินบาเจาะหลังการทดลองใช้น้ำเสีย เป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกับมะเขือเทศ

ตำรับการทดลอง	pH (ดิน:น้ำ,1:5)	EC (ดิน:น้ำ,1:5) dS m^{-1}	B mg kg^{-1}	Ca $cmol_c$ kg^{-1}
ควบคุม	6.46	0.02 b	0.06 c	0.25
ฉีดพ่น B	6.23	0.03 b	0.06 c	0.27
ฉีดพ่น Ca	6.25	0.04 ab	0.12 ab	0.24
ฉีดพ่น น้ำเสีย+Ca	6.44	0.02 b	0.12 ab	0.28
ฉีดพ่นปุ๋ย Ca-B	6.11	0.05 ab	0.09 bc	0.27
ใส่ B ทางดิน	6.20	0.05 ab	0.15 a	0.29
ใส่ Ca ทางดิน	6.43	0.02 b	0.08 c	0.27
ใส่น้ำเสีย+Ca	6.05	0.07 a	0.14 a	0.32
F-test	NS	*	**	NS
C.V. (%)	2.98	53.62	19.36	16.38

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.01



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในกราฟเดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, ** = แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.01

รูปที่ 10 ความเข้มข้นของโบรอนและแคลเซียมในมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินบาเจาะหลังการทดลองใช้น้ำเสียเป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกับมะเขือเทศ

ตารางที่ 12 การเจริญเติบโตและผลผลิตมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินบาเจาะหลังการทดลองใช้น้ำเสียเป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกับมะเขือเทศ

ตำรับการทดลอง	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนใบ (ใบ/ต้น)	จำนวนดอก (ดอก/ต้น)	จำนวนผล (ผล/ต้น)	น้ำหนักผล (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม/ต้น)
ควบคุม	100.33	30.67 c	59.67	16.33 b	161.28 d	17.40 c
ฉีดพ่น B	95.70	39.33 bc	53.67	23.50 b	208.93 bcd	19.42 c
ฉีดพ่น Ca	105.70	49.00 abc	68.67	21.33 b	178.20 cd	23.85 abc
ฉีดพ่น น้ำเสีย+Ca	96.63	50.67 abc	79.00	24.50 ab	237.47 abc	24.05 abc
ฉีดพ่นปุ๋ย Ca-B	82.33	37.00 bc	58.33	26.00 ab	233.99 abc	21.30 bc
ใส่ B ทางดิน	110.60	63.67 a	73.67	34.33 a	263.07 ab	31.51 a
ใส่ Ca ทางดิน	92.63	42.33 abc	52.33	22.00 b	211.07 bcd	20.33 c
ใส่น้ำเสีย+Ca	103.00	57.67 abc	66.67	35.00 a	290.04 a	29.68 ab
F-test	NS	*	NS	**	**	*
C.V. (%)	12.22	24.57	29.84	20.33	15.36	19.35

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในคอลัมน์เดียวกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี DMRT

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. การตอบสนองของมะเขือเทศต่อการใช้น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในพื้นที่ใกล้เคียง ทำให้พืชในบริเวณใกล้เคียงโรงงานมีอาการใบไหม้และยืนต้นตาย และคาดว่าน่าจะเกิดจากความเป็นพิษของสารประกอบในน้ำเสีย ดังนั้นจึงได้นำน้ำเสียมาบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน หลังจากผ่านการบำบัดพบว่า ยังมีธาตุ โบรอน ซัลเฟอร์ และแคลเซียม (ลือพงศ์, 2547) ซึ่งเป็นธาตุที่มีประโยชน์สำหรับพืชจึงได้นำน้ำเสียหลังบำบัดมาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืช โดยให้น้ำเสียอัตราต่าง ๆ เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งการใส่น้ำเสียที่เพิ่มขึ้น ไม่ได้ทำให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลง แต่ค่าการนำไฟฟ้า และโซเดียมที่แลกเลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่าการนำไฟฟ้า และโซเดียมที่แลกเลี่ยนได้ ซึ่งมีค่าสูงสุดในตำรับการทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร มีค่าการนำไฟฟ้า 0.21 เดซิซีเมนต่อเมตร เมื่อคิดเป็นค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะมีค่า EC_e = 1.26 เดซิซีเมนต่อเมตร ก็อยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสูงต่ำของค่าวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน คือ ต่ำกว่า 2 เดซิซีเมนต่อเมตร และโซเดียมที่แลกเลี่ยนได้มีค่า 0.19 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ก็อยู่ในเกณฑ์ต่ำ คือ 0.1-0.3 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม (เอิบ, 2544) และคาดว่าไม่ได้มีผลต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ อย่างไรก็ตาม พบว่า ปริมาณโบรอนสะสมในดินเพิ่มสูงขึ้นตามน้ำเสียที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยเฉพาะในตำรับทดลอง ที่ให้น้ำเสีย 40 และ 100 มิลลิลิตร มีค่าสูงถึง 5.55 และ 5.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (ตารางที่ 3) ซึ่งถือว่ามีค่าเกินระดับความเข้มข้นของโบรอนในดินที่เหมาะสมกับพืชที่มีค่าอยู่ในช่วง 1-3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน เท่านั้น (Hesse, 1971)

การเจริญเติบโตของมะเขือเทศในตำรับการทดลองที่ได้รับน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น ทำให้การเจริญเติบโตและน้ำหนักแห้งของมะเขือเทศลดลง และขอบใบมีอาการไหม้ โดยเฉพาะตำรับการทดลองที่ได้รับน้ำเสีย 100 มิลลิตร ทำให้ต้นมะเขือเทศตาย และเมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในมะเขือเทศ ก็เห็นได้ชัดว่ามะเขือเทศมีความเข้มข้นของโบรอนมากขึ้นตามปริมาณน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะตำรับการทดลองที่ให้น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร มีค่าสูงสุด คือ 2,265 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และรองลงมาคือ ตำรับการทดลองที่ให้น้ำเสีย 40 มิลลิลิตร มีค่า 1,171มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (รูปที่ 2) ซึ่งความเข้มข้นของโบรอนในปริมาณข้างต้น มีค่าเกินระดับที่เหมาะสมในมะเขือเทศ โดยมะเขือเทศมีระดับเพียงพอที่ 34-96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

(เพิ่มพูน, 2546) และจากลักษณะอาการเป็นพิษของมะเขือเทศ ซึ่งอาการดังกล่าวมีลักษณะเหมือนกับอาการเป็นพิษของโบรอน จึงคาดว่าอาการเป็นพิษดังกล่าวน่าจะเกิดจากธาตุโบรอน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการที่มะเขือเทศได้รับโบรอนมากเกินไป ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของโบรอนในมะเขือเทศ และปริมาณของโบรอนที่เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณน้ำเสียที่ได้รับเพิ่มขึ้น

2. อิทธิพลของธาตุในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของมะเขือเทศ

จากการทดลองการตอบสนองของมะเขือเทศต่อน้ำเสีย (การทดลองที่ 1) ถึงแม้ว่ามะเขือเทศได้รับน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้น แต่ ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินและโซเดียมในมะเขือเทศ ไม่ได้เพิ่มสูงจนถึงระดับที่เป็นพิษ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของโบรอนในดินและในมะเขือเทศ เพิ่มสูงขึ้น ตามน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น และอาการเป็นพิษของมะเขือเทศก็เพิ่มขึ้นเมื่อได้รับน้ำเสียเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งคาดว่าอาการเป็นพิษน่าจะเกิดจากธาตุโบรอน ดังนั้นเพื่อยืนยันว่าอาการเป็นพิษเกิดจากธาตุโบรอน จึงได้ทำการทดลองหาอิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของมะเขือเทศ โดยกำหนดให้ธาตุที่มีมากในน้ำเสียเป็นธาตุที่ใช้ทดสอบและให้ธาตุที่ใช้ทดสอบแต่ละธาตุ มีปริมาณธาตุนั้นเท่ากับในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร และเมื่อได้ทำการทดสอบ พบว่า การเจริญเติบโตของมะเขือเทศในตำรับการทดลอง (+Ca), (+Na) และ (+S) ไม่มีความผิดปกติ และการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับตำรับควบคุม ส่วนตำรับการทดลองที่ให้น้ำเสีย (+WW) และให้โบรอนเท่ากับในน้ำเสีย (+B) ทำให้การเจริญเติบโตของมะเขือเทศลดลง และทำให้มะเขือเทศตายเฉพาะสองตำรับการทดลองนี้เท่านั้น (รูปที่ 3) โดยอาการเบื้องต้น เริ่มจากขอบใบและปลายใบมีสีเหลืองโดยเริ่มที่ใบล่างก่อน จากนั้นค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและแห้งตายในที่สุด ซึ่งอาการเป็นพิษดังกล่าว คล้ายกับอาการของมะเขือเทศที่ได้รับน้ำเสีย 100 มิลลิลิตรจากการทดลองที่ 1 และเมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในมะเขือเทศ พบว่า แคลเซียมและซัลเฟอร์ในต้นมะเขือเทศ ในแต่ละตำรับการทดลองก็อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งคาดว่าไม่น่าจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ ยกเว้นโซเดียมที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ก็ไม่น่าจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของโบรอนในต้นมะเขือเทศในตำรับการทดลอง (+WW) และ (+B) พบว่า มีค่า 1,804 และ 1,867 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 5) ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก และโดยทั่วไปแล้วมะเขือเทศจะเป็นพิษเมื่อมีโบรอนมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เท่านั้น (เพิ่มพูน, 2546) นอกจากนั้นปริมาณโบรอนที่สะสมในดินในตำรับการทดลองดังกล่าว ก็มีอยู่สูงและมีค่า 6.86 และ 4.47 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ซึ่งถือว่ามีค่าเกินระดับความเข้มข้นของโบรอนในดินที่เหมาะสมกับพืชที่มีค่าอยู่ในช่วง 1–3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน เท่านั้น (Hesse, 1971)

จากอาการเป็นพิษของมะเขือเทศที่ได้รับน้ำเสียซึ่งมีอาการเหมือนกับอาการเป็นพิษของโบรอนในมะเขือเทศ และปริมาณโบรอนในมะเขือเทศและตกค้างในดินในทั้งสองการ

ทดลอง ก็มีค่าสูงเกินกว่าระดับที่เหมาะสมในมะเขือเทศ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าธาตุอาหารจากน้ำเสียที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษกับมะเขือเทศ คือ ธาตุโบรอน

3. ผลของโบรอนต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ

จากการทดลองการตอบสนองของธาตุอาหารจากน้ำเสีย (การทดลองที่ 2) พบว่า ธาตุที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษกับมะเขือเทศ คือ ธาตุโบรอน โดยเมื่อให้น้ำเสียปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ทำให้มะเขือเทศแสดงอาการเป็นพิษเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม การทดลองการตอบสนองของมะเขือเทศต่อการใช้น้ำเสียอัตราต่าง ๆ (การทดลองที่ 1) พบว่า เมื่อให้น้ำเสียปริมาณน้อย ๆ ทำให้มะเขือเทศเจริญเติบโตดีขึ้น จึงทำการทดลองผลของโบรอนต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ โดยให้โบรอนตั้งแต่อัตรา 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน และค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นจนถึง 10.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน และเปรียบเทียบกันระหว่างแหล่งโบรอนจากน้ำเสีย และแหล่งโบรอนจากกรดบอริก พบว่า การเจริญเติบโต ของตำรับการทดลองที่ให้โบรอนอัตราน้อย ๆ (0.5 มก./กก.ดิน) ทั้งจากกรด บอริกและจากน้ำเสีย ทั้งความสูง จำนวนใบ และน้ำหนักแห้ง มีค่าเพิ่มสูงขึ้นกว่าตำรับควบคุมเล็กน้อย แต่มีค่าไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม ในตำรับการทดลองข้างต้นนี้ กลับส่งผลให้น้ำหนักผลสด และจำนวนผล เพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน สอดคล้องกับการทดลองของ Johnston และ Dore (1929) ที่ทำการศึกษาอิทธิพลของโบรอนต่อองค์ประกอบและการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ โดยปลูกมะเขือเทศและให้สารละลายโบรอนที่อัตรา 0.00–5.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน พบว่า การให้โบรอน 0.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ทำให้น้ำหนักแห้งของต้นมะเขือเทศเพิ่มขึ้นสูงสุด และการให้โบรอนที่อัตราตั้งแต่ 2.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ทำให้มะเขือเทศแสดงอาการเป็นพิษ ซึ่งแสดงอาการคลอโรซิสในใบมะเขือเทศและมีอาการเหมือนกันกับการทดลองที่ 1 และ 2 ในขณะเดียวกันยังสอดคล้องกับข้อมูลความเข้มข้นของโบรอนในใบมะเขือเทศ ซึ่งพบว่า ค่าโบรอนในใบที่เพิ่มสูงขึ้นจะสัมพันธ์กับการให้โบรอนที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 127–2,692 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดว่าสูงมาก โดยในมะเขือเทศทั่วไปหากมีระดับโบรอนเกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดว่าอยู่ในระดับที่เป็นพิษ (Bennett, 1993) และทำให้ยืนยันได้ว่า อาการเป็นพิษของมะเขือเทศนั้นเกิดจากธาตุโบรอน นอกจากนั้นการให้โบรอนเพิ่มสูงขึ้นยังมีผลต่อความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในใบมะเขือเทศ เช่นเดียวกัน คือ การให้โบรอนที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นตามอัตราโบรอนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากขนาดใบที่เล็กลง นอกจากนั้นการให้โบรอนสูงกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ก็ทำให้น้ำหนักผลผลิตมะเขือเทศลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากโบรอนสามารถเป็นพิษกับพืชได้ง่าย และในตำรับการทดลองเดียวกันนี้ มีอาการผลผิดปกติมากที่สุด โดยเริ่มที่ปลายผลปรากฏเป็นจุดสีน้ำตาล ต่อมาสีของแผลจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ซึ่งมีอาการเหมือนกับมะเขือเทศขาดแคลเซียม และสามารถแก้ไขได้โดยการพ่นสารละลายแคลเซียม

คลอไรด์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (สัมฤทธิ์, 2538) จึงส่งผลต่อผลผลิตมะเขือเทศด้วย การใช้โบรอนเพียงเล็กน้อย (0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน) กับพืชที่มีความต้องการโบรอนสูง เช่น มะเขือเทศ จึงมีความเป็นไปได้ แต่ต้องระวังปัญหาความเป็นพิษ หากใช้เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจต้องพิจารณาตามชนิดดินและพืชด้วย

นอกจากนั้นก็ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับแนวทางการลดพิษของโบรอนจากน้ำเสียและดินที่ปนเปื้อนโบรอนด้วย ซึ่งก็มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น การยกระดับค่า พีเอช ดินให้อยู่ในช่วง 8-9 ซึ่งความเป็นประโยชน์ของโบรอนจะลดลงเมื่อ พีเอช ดินสูงขึ้น (Goldberg *et. al*., 1993) และการใส่สารที่มีประจุบวกเพิ่มลงไปในดินก็สามารถลดปริมาณโบรอนในดินได้ เช่น สารประกอบออกไซด์ของเหล็กและอลูมินัม และสารอินทรีย์ ต่าง ๆ (Toner, 1993) ในขณะเดียวกันการใช้ซีโอไลต์ ซึ่งเป็นสารที่มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง (เกษสุดา, 2548) ก็น่าจะดูดยึดโบรอนไว้ และคาดว่าจะทำให้โบรอนลดลงได้

4. การใช้น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราเป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกับมะเขือเทศ

การศึกษาผลของโบรอนต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ (การทดลองที่ 3) พบว่า เมื่อมะเขือเทศได้รับโบรอนจากน้ำเสียที่อัตรา 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ทำให้มีค่าน้ำหนักผลสดและจำนวนผลสูงสุด แสดงให้เห็นว่าสามารถนำน้ำเสียมาใช้เพื่อเป็นแหล่งโบรอนให้กับพืชได้อย่างไรก็ตามลักษณะผลของมะเขือเทศยังพบอาการก้นเน่าสีดำ ซึ่งเป็นอาการของมะเขือเทศที่ขาดธาตุแคลเซียม (สัมฤทธิ์, 2538) ดังนั้นเพื่อเป็นการยืนยันว่าน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราสามารถนำมาใช้ทดแทนปุ๋ยโบรอนได้ และแก้ไขอาการผิดปกติของผลมะเขือเทศ จึงได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนที่มีขายในท้องตลาด (ชื่อการค้า บี-พลัส ของบริษัท เทพวัฒนา จำกัด) กับน้ำเสียที่มีโบรอน แล้วนำมาเติมแคลเซียม เพื่อให้ได้ความเข้มข้นเท่ากัน และนำแหล่งปุ๋ยจากทั้ง 2 แหล่ง มาให้มะเขือเทศโดยการฉีดพ่นและรดทางดิน นอกจากนั้นยังนำดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ 2 ชุดดินมาเปรียบเทียบกัน คือ ชุดดินคอหงส์ ซึ่งเป็นตัวแทนดินที่ใช้ทำการเกษตรทั่วไปในภาคใต้ เป็นดินร่วน มีปฏิกิริยาดินเป็นกรดถึงกรดแก่ (pH 4.5-5.5) และชุดดินบาเจาะซึ่งเป็นดินทรายที่มีปริมาณโบรอนต่ำ มีปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดเล็กน้อย (pH 4.5-6.5) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541) จากการทดลอง พบว่าค่าความเป็นกรดด่างและแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินของทั้ง 2 ชุดดินไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ปริมาณโบรอนที่ละลายน้ำของตำรับการทดลองที่ให้โบรอนและน้ำเสียที่เติมแคลเซียมทางดินนั้น มีปริมาณโบรอนเพิ่มสูงขึ้นแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.01$) ทั้ง 2 ชุดดิน และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณโบรอนในดิน พบว่า ตำรับการทดลองที่ให้โบรอนและน้ำเสียที่เติมแคลเซียมของดินคอหงส์มีค่า 0.53 และ 0.32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน และมีปริมาณโบรอนสูง

กว่าในดินบาเจาะที่มีค่า 0.15 และ 0.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน เนื่องจากดินบาเจาะเป็นดินเนื้อหยาบจึงทำให้โบรอนเคลื่อนย้ายได้ง่ายกว่า และยังทำให้ปริมาณโบรอนในมะเขือเทศที่ปลูกในดินบาเจาะที่ให้โบรอนและน้ำเสียที่เติมแคลเซียมทางดินมีค่าสูงถึง 145.76 และ 185.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (รูปที่ 10) มากกว่าปริมาณโบรอนในมะเขือเทศที่ปลูกในดินคอหงส์ที่มีค่า 59.71 และ 52.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (รูปที่ 9) ซึ่งสอดคล้องกับ Wear และ Patterson (1962) อ้างโดย เพิ่มพูน (2546) รายงานว่า เมื่อมีการใส่โบรอนปริมาณเท่ากันในดินที่มีเนื้อต่างกัน พืชที่ปลูกในดินเนื้อหยาบจะมีปริมาณโบรอนในพืชมากกว่าที่ปลูกในดินเนื้อละเอียด เนื่องจากในดินเนื้อละเอียด อนุภาคดินสามารถดูดยึดโบรอนได้มากกว่าดินเนื้อหยาบ พืชจึงสามารถใช้ประโยชน์จากดินเนื้อหยาบได้มากกว่า ดังนั้นมะเขือเทศที่ปลูกในดินบาเจาะจึงตอบสนองต่อโบรอนมากกว่าดินคอหงส์ และส่งผลให้น้ำหนักแห้งของมะเขือเทศในตำรับการทดลองดังกล่าว ที่ปลูกในชุดดินบาเจาะมีค่าสูงกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ แต่มะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินคอหงส์มีค่าไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจาณาที่จำนวนผลของมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินคอหงส์ พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่แคลเซียมทางดินมีค่าสูงสุดและรองลงมาคือใส่น้ำเสียที่เติมแคลเซียมซึ่งมีค่า 22.67 และ 22.50 ผลต่อต้น และมีค่ามากกว่าการใส่โบรอนทางดิน 18.67 ผลต่อต้น นอกจากนั้นการฉีดพ่นแคลเซียมมีค่า 19.00 ผลต่อต้น (ตารางที่ 10) ซึ่งจะเห็นได้ว่า จำนวนผล น้ำหนักสดต้น น้ำหนักแห้งต้น ของมะเขือเทศที่ปลูกในดินคอหงส์ มีการตอบสนองต่อธาตุแคลเซียมมากกว่าธาตุโบรอน น่าจะเนื่องมาจากดินคอหงส์เป็นดินที่ขาดธาตุแคลเซียม ซึ่งมีรายงานว่า เมื่อปลูกข้าวโพดในดินคอหงส์จะทำให้ยอดอ่อนไม่คลี่ ขอบใบอ่อนไหม้ตาย และปลายยอดมีเมือกเหนียวซึ่งเป็นอาการขาดธาตุแคลเซียม และเมื่อมีการให้แคลเซียมในรูปของปูนชนิดต่าง ๆ ก็ทำให้ต้นข้าวโพดเจริญเติบโตดีขึ้นเมื่อเทียบกับไม่มีการให้ปูน (สรัญญา, 2548) ดังนั้นมะเขือเทศที่ใช้ทดสอบจึงตอบสนองต่อธาตุแคลเซียมได้ดีกว่าเมื่อเพิ่มแคลเซียมในทุกตำรับการทดลอง ด้วยเหตุนี้แคลเซียมจึงมีบทบาทช่วยให้ละอองเรณูงอก และ pollen tube ที่งอกแล้วยืดตัวได้ดี และจะเกิดได้ดีก็ต่อเมื่อมีโบรอนเพียงพอด้วย (ยงยุทธ, 2535) ถึงแม้ว่าจะไม่มีการให้ธาตุโบรอน (ควบคุม) ก็มีปริมาณโบรอนในมะเขือเทศ 31.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในระดับใกล้เคียงกับระดับพอเพียง โดยมะเขือเทศมีระดับเพียงพอที่ 34-96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (เพิ่มพูน, 2546) อย่างไรก็ตาม การให้น้ำเสียที่เติมแคลเซียมก็ทำให้จำนวนผลมีค่าสูงสุด 22.67 ผลต่อต้น และน้ำหนักผลมีค่าเป็นอันดับสอง 140.49 กรัมต่อต้น (ตารางที่ 10) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการนำน้ำเสียที่เติมแคลเซียมเพื่อมาใช้เป็นแหล่งปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนนั้นมีผลดี แต่สำหรับดินบาเจาะนั้น พืชทดสอบจะตอบสนองต่อธาตุโบรอนในทางที่ดีขึ้นอย่างชัดเจน เพราะว่าดินบาเจาะมีปริมาณโบรอนในดิน (0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน) น้อยกว่าในดินคอหงส์และอยู่ในระดับที่ไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ ซึ่งค่าความเข้มข้นระดับต่ำสุดของโบรอนในดิน ที่ต้องมีสำหรับปลูกมะเขือเทศให้ได้ผลดี มีค่าเท่ากับ 0.10-0.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (Bergerm,

1949 และ Keren and Bingham, 1985 อ้างโดย เพิ่มพูน, 2546) ดังนั้นในตำรับการทดลองที่ฉีดพ่นโบรอนจึงทำให้จำนวนผลเพิ่มขึ้นจาก 16.33 เป็น 23.50 ผลต่อต้นเมื่อเทียบกับควบคุม และสอดคล้องกับรายงานการศึกษา Hanson (1991) ทำการพ่นโบรอน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร แก่ต้นเชอรี่ 3.8 ลิตรต่อต้น พบว่า ทำให้เปอร์เซ็นต์การติดผลเพิ่มขึ้นจาก 23.5 เป็น 31.5 เปอร์เซ็นต์ และการใส่ทางดินจะตอบสนองมากกว่าการฉีดพ่น โดยการใส่น้ำเสียที่เติมแคลเซียมจะทำให้มีจำนวนผลและน้ำหนักผลสูงสุด 35 ผลต่อต้น และ 290 กรัมต่อต้น (ตารางที่ 11)

เมื่อมีการเปรียบเทียบตำรับควบคุมของทั้ง 2 ชุดดิน พบว่า ในดินบาเจาะจะมีการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะเขือเทศสูงกว่าในดินคอหงส์ น่าจะเกิดจากการที่ดินบาเจาะเป็นดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำธาตุอาหารถูกชะล้างได้ง่ายรวมทั้งธาตุโบรอนด้วย ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มโบรอนไม่ว่าจะเป็นการฉีดพ่นหรือให้ทางดินมะเขือเทศก็ตอบสนองในทางที่ดีขึ้น นอกจากนั้นหากจะพิจารณาเฉพาะตำรับฉีดพ่นน้ำเสียที่เติมแคลเซียมและตำรับฉีดพ่นปุ๋ย ก็พบว่าจำนวนดอก จำนวนผล และน้ำหนักผลผลิตของทั้ง 2 ตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในทั้ง 2 ชุดดิน แสดงให้เห็นว่า หากจะนำน้ำเสียมาประยุกต์ใช้โดยการเติมแคลเซียมเพื่อใช้เป็นแหล่งปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน มาฉีดพ่นให้กับมะเขือเทศสามารถทำได้ โดยมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของพืชแต่ละชนิด และควรใส่ในช่วงที่พืชต้องการโบรอนสูง เช่น ในช่วงเจริญพันธุ์

5. ปัญหาการใช้น้ำเสียและแนวทางการนำไปใช้เป็นปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน

โดยทั่วไปแล้วดินในเขตร้อนชื้น ซึ่งมีฝนตกชุกมักขาดแคลนโบรอน เนื่องจากถูกชะล้างไปจากดินได้ง่าย (เพิ่มพูน, 2546) อย่างไรก็ตามพื้นที่บริเวณโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทำกระจก กระเบื้องเคลือบ ฟอกหนังสัตว์ และปุ๋ย อาจมีปัญหาเรื่องโบรอนเป็นพิษได้ เพราะ โรงงานเหล่านี้จะใช้กรดบอริกและแร่บอเรตในกระบวนการผลิต และปล่อยออกมาระหว่างการผลิต หรือสิ้นสุดการผลิต จึงทำให้มีโบรอนสะสมในน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำธรรมชาติ (Vengosh *et al.*, 1994 อ้างโดย Nable *et al.*, 1997) นอกจากนั้นโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราซึ่งมีมากในประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคใต้มีจำนวนถึง 379 โรง (เศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2542 อ้างโดย พาณิช, 2544) และโรงงานประเภทนี้ก็ใช้สารประกอบโบรอนในกระบวนการผลิต และมักปล่อยน้ำเสียออกสู่บริเวณใกล้เคียง จึงทำให้พืชที่ปลูกในบริเวณที่ได้รับน้ำเสียแสดงอาการเป็นพิษเนื่องจากโบรอนได้ และนอกจากนั้นการกำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ก็ยังไม่ได้กำหนดค่ามาตรฐานของโบรอน (กระทรวงวิทยาศาสตร์, 2539) ดังนั้นโรงงานเหล่านี้จึงขาดการคำนึงถึงการบำบัดโบรอนในน้ำเสียที่ปล่อยออกไป อย่างไรก็ตามโบรอนก็เป็นธาตุอาหารที่มีประโยชน์สำหรับพืช ดังนั้นจึงได้นำน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราที่มีโบรอนประมาณ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อนำมาใช้เป็น

แหล่งธาตุโบรอนสำหรับมะเขือเทศ พบว่า เมื่อให้น้ำเสียเพิ่มมากขึ้นทำให้มีโบรอนสะสมในดินเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ แต่การให้น้ำเสียที่เพิ่มขึ้นไม่ได้มีผลต่อ ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน สำหรับการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ การเพิ่มน้ำเสียมากขึ้นทำให้น้ำหนักแห้งของมะเขือเทศลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ให้น้ำเสีย โดยเฉพาะการให้น้ำเสีย 40 และ 100 มิลลิลิตร ซึ่งได้รับโบรอนประมาณ 4 และ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ทั้งนี้เนื่องจากมะเขือเทศได้รับโบรอนเพิ่มมากขึ้นตามน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของโบรอนในมะเขือเทศที่มีมากถึง 1,171 และ 2,265 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จนทำให้มะเขือเทศแสดงอาการเป็นพิษ และการเจริญเติบโตลดลง และเมื่อพิสูจน์หาสาเหตุของอาการเป็นพิษของมะเขือเทศที่ได้รับน้ำเสีย โดยให้ธาตุที่ใช้ทดสอบแต่ละธาตุ คือ +B, +S, +Ca และ +Na มีปริมาณธาตุนั้นเท่ากับความเข้มข้นในน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร (+WW) ซึ่งพบว่า การให้ +B และ +WW ทำให้การเจริญเติบโตของมะเขือเทศลดลง และทำให้มะเขือเทศตายเฉพาะสองตำรับการทดลองนี้เท่านั้น (รูปที่ 3) โดยที่มะเขือเทศมีอาการเบื้องต้น เริ่มจากขอบใบและปลายใบมีสีเหลืองจากใบด้านล่าง แล้วค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและแห้งตาย โดยแสดงอาการเช่นเดียวกับการให้น้ำเสีย 100 มิลลิลิตร ในการทดลองที่ 1 และใบมะเขือเทศจะแห้งคล้ายไฟไหม้ซึ่งเหมือนอาการเป็นพิษของโบรอน (มุกดา, 2544) ส่วนการไม่ให้น้ำเสียและให้ +S, +Ca และ +Na การเจริญเติบโตของมะเขือเทศทั้งน้ำหนักแห้งและจำนวนใบไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าธาตุอาหารจากน้ำเสียที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษกับมะเขือเทศ คือ ธาตุโบรอน

การนำน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพารามาเพื่อใช้เป็นแหล่งโบรอนให้กับมะเขือเทศ ต้นมะเขือเทศจะแสดงอาการเป็นพิษ เมื่อได้รับน้ำเสียในปริมาตร 40 มิลลิลิตรต่อกระถาง อย่างไรก็ตามการให้น้ำเสียที่มีการเจือจางให้มีปริมาณโบรอนที่เข้มข้นต่ำแล้ว ก็ทำให้มะเขือเทศตอบสนองในทางที่ดีขึ้นได้ เมื่อให้โบรอนอัตรา 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดิน จะทำให้น้ำหนักแห้งสูงสุด และโบรอนอัตราเดียวกันนี้ ก็ทำให้มีน้ำหนักผลสด และจำนวนผลสูงสุดด้วย (รูปที่ 7) ดังนั้น การใช้น้ำเสียที่บำบัดแล้วเป็นแหล่งของโบรอน ในดินที่มีโบรอนต่ำและพืชที่มีความต้องการโบรอนสูง เช่น มะเขือเทศ จึงมีความเป็นไปได้ แต่ต้องระวังปัญหาความเป็นพิษหากใช้เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจต้องพิจารณาตามชนิดดินและพืชด้วย นอกจากนั้น ควรใส่ในช่วงที่พืชต้องการโบรอนสูง เช่น ในช่วงเจริญพันธุ์ ซึ่งพืชทั่วไปมีการแนะนำให้ใส่โบรอนเป็นธาตุอาหารเสริมทางดิน 100-500 กรัมโบรอนต่อไร่ และฉีดพ่น 4 กรัมโบรอน ต่อน้ำ 20 ลิตร (จิรพงษ์, 2542) และเนื่องจากปัจจุบันในท้องตลาดทั่วไปมีการขายปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนกันอย่างแพร่หลาย จึงทดลองน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราที่มีโบรอนมาเติมแคลเซียมเพื่อให้ได้ความเข้มข้นเท่ากับปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน และนำแหล่งปุ๋ยจากทั้ง 2 แหล่ง มาให้มะเขือเทศโดยการฉีดพ่นและรดทางดิน นอกจากนั้นยังนำดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ 2 ชุดดินมาเปรียบเทียบกัน คือ ชุดดินคอหงส์และชุดดินบาเจาะ เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตมะเขือเทศนั้น พบว่า จำนวนผลของมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินคอหงส์ ในตำรับการ

ทดลองที่ใส่แคลเซียมทางดินมีค่าสูงสุดและรองลงมาคือใส่น้ำเสียที่เติมแคลเซียมซึ่งมีค่า 22.67 และ 22.50 ผลต่อต้น และมีค่ามากกว่าการใส่โบรอนทางดิน 18.67 ผลต่อต้น นอกจากนั้นการฉีดพ่นแคลเซียมมีค่า 19.00 ผลต่อต้น (ตารางที่ 10) ซึ่งจะเห็นได้ว่า จำนวนผล น้ำหนักสดต้น น้ำหนักแห้งต้น ของมะเขือเทศที่ปลูกในดินคอหงส์ มีการตอบสนองต่อธาตุแคลเซียมมากกว่าธาตุโบรอน น่าจะเนื่องมาจากดินคอหงส์เป็นดินที่ขาดธาตุแคลเซียม และดินคอหงส์มีโบรอนอยู่ในระดับที่เพียงพอแล้ว แต่สำหรับดินบาเจาะนั้นมะเขือเทศจะตอบสนองต่อธาตุโบรอนในทางที่ดีขึ้นอย่างชัดเจน เพราะว่าดินบาเจาะมีปริมาณโบรอนในดิน (0.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน) น้อยกว่าในดินคอหงส์และอยู่ในระดับที่ไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ ดังนั้นในตำรับการทดลองที่ฉีดพ่นโบรอนจึงทำให้จำนวนผลเพิ่มขึ้นจาก 16.33 เป็น 23.50 ผลต่อต้น เมื่อเทียบกับควบคุม และการใส่ทางดินจะตอบสนองมากกว่าการฉีดพ่น โดยการใส่น้ำเสียที่เติมแคลเซียมจะทำให้มีจำนวนผลและน้ำหนักผลสูงสุด 35 ผลต่อต้น และ 290 กรัมต่อต้น (ตารางที่ 12) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการนำน้ำเสียมาเติมแคลเซียมเพื่อมาใช้เป็นแหล่งปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนนั้นมีผลดี และสามารถใช้ทดแทนกันได้โดยให้ผลไม่แตกต่างกัน โดยเฉพาะดินเนื้อหยาบที่มีโบรอนต่ำ และการใส่ทางดินจะตอบสนองมากกว่าการฉีดพ่น

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

1. สรุป

1.1 การตอบสนองของมะเขือเทศต่อการใช้น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา ที่ผ่านการ บำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

การให้น้ำเสียที่ระดับเพิ่มสูงขึ้น ทำให้มะเขือเทศแสดงอาการเป็นพิษ โดยใบมะเขือเทศมีอาการใบไหม้ และหากนำน้ำเสียมาใช้กับการปลูกมะเขือเทศ ควรใช้น้ำเสียไม่เกิน 10 มิลลิลิตร ในน้ำ 490 มิลลิลิตร หากให้น้ำเสียมากกว่านี้ จะทำให้ต้นมะเขือเทศแสดงอาการเป็นพิษและตาย

1.2 อิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของมะเขือเทศ

ธาตุอาหารจากน้ำเสียที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษกับมะเขือเทศและทำให้ต้นมะเขือเทศตาย เกิดจากธาตุโบรอนที่มีมากเกินไป ทำให้ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช แต่หากใช้ในความเข้มข้นที่เหมาะสมแล้ว อาจนำไปใช้กับพืชที่ต้องการโบรอนสูงได้

1.□ผลของโบรอนต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ

การให้โบรอนที่อัตรา 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ไม่ทำให้พืชแสดงอาการเป็นพิษ และทำให้น้ำหนักผลและจำนวนผลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่การให้โบรอนในอัตราที่เพิ่มสูงขึ้นนั้นทำให้อาการผลผิดปกติลดลงได้

1.4 ศึกษาผลของโบรอนจากน้ำเสียและปุ๋ยแคลเซียม-โบรอนต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศ

การนำน้ำเสียมาเติมแคลเซียมเพื่อให้มีความเข้มข้นของแคลเซียมต่อโบรอนเท่ากับปุ๋ยแคลเซียมโบรอนที่มีขายในท้องตลาดและฉีดพ่นให้มะเขือเทศแทนปุ๋ย

แคลเซียม-โบรอนก็สามารถทำได้ โดยให้ผลผลิตใกล้เคียงกัน และการรดน้ำเสียให้พืชทางดินจะได้ผลดีเมื่อปลูกในดินเนื้อหยาบ

2. ข้อเสนอแนะ

การนำน้ำเสียมาใช้เพื่อเป็นแหล่งโบรอนให้กับพืชที่ต้องการโบรอนสูง เช่น ปาล์มน้ำมัน น่าจะมีความเป็นไปได้ และเป็นเรื่องที่ควรศึกษาต่อไป เนื่องจากปาล์มน้ำมันต้องการโบรอนค่อนข้างสูง โดยปกติจะใส่ปุ๋ยบอแรกซ์อัตรา 30-40 กรัมต่อต้นต่อปี เมื่อปาล์มอายุ 4 ปีขึ้นไป (ชัยรัตน์, 2548) ซึ่งหากนำน้ำเสียที่มีโบรอน 509 มิลลิกรัมต่อลิตร (ลือพงศ์, 2547) มาใช้ ก็อาจช่วยลดต้นทุนการใช้ปุ๋ยบอแรกซ์ได้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2541. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน เล่ม 1. ดินบนพื้นที่ราบต่ำ. [Online]. Available from http://www.ldd.go.th. (Accessed March 8, 2006).

กระทรวงวิทยาศาสตร์. 2539. กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม. ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539.

กฤษณล กีรติวิทยายุต. 2528. การหาปริมาณฟีนอลในแหล่งน้ำโดยใช้เทคนิคสเปคโตรโฟโตมิ-ตรี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2542. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย SPSS for windows. กรุงเทพ ฯ ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เกษสุดา ดอนเมือง. 2548. ซีโอไลต์ (Zeolite) กับสิ่งแวดล้อม. ว. เซรามิกส์. 9 : 74-77.

จารุนันท์ ตันติวรวิทย์, Hisae Watanabe และจักรพงษ์ เจิมศิริ. 2537. การตอบสนองต่อการใช้โบรอนอัตราต่าง ๆ ของทานตะวัน. ว. ดินและปุ๋ย, 16 : 37-45.

จำเป็น อ่อนทอง. 2545. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

จิรพงษ์ ประสิทธิเขต. 2542. การจัดการดินและปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินในพืชสวน. *ใน* เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตร การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน. ณ โรงแรมมารวยการ์เด้น กรุงเทพฯ. 2-5 สิงหาคม 2542. หน้า 159-180.

ชัยรัตน์ นิลนนท์, วิเชียร จาฏุพจน์, วรรณา เลี้ยววาริณ และสุภาณี ยงค์. 2538. สภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินปลูกมังคุดบางชนิดของภาคใต้ในประเทศไทย. ว. สงขลานครินทร์, 17 : 381-394.

ชัยรัตน์ นิลนนท์. 2548. การจัดการปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมัน. *ใน* เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

ดวงรัตน์ ปัทมเลขา. 2544. อิทธิพลของธาตุโบรอนต่อการเจริญและผลผลิตของบร็อคโคลี. [Online]. Available from www.rb.ac.th/org/research/rajabhat/risurat/30101.htm (Accessed October 7, 2005).

พาณิช อุทัยรังษี. 2544. ศักยภาพการส่งออกของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราของไทย. ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาธุรกิจเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เพิ่มพูน กีรติกสิกร และประเทือง ปัญญา. 2531. อิทธิพลของโบรอนต่อผลผลิตของถั่วลิสงพันธุ์ไทนาน 9. รายงานการสัมมนาถั่วลิสงครั้งที่ 7 16-18 มีนาคม 2531 พัทยา หน้า 384-389.

เพิ่มพูน กีรติกสิกร. 2546. โบรอน-จุลธาตุอาหารพืช. ขอนแก่น ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ไพโรจน์ คีรีรัตน์, ศิริวรรณริญ คงดำเนิน และฐิติรัชต์ ไม้เรียง. 2548. รู้และเข้าใจยางพารา. กรุงเทพฯ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

มงคล ต๊ะอุ่น, สันติภาพ ปัญจพรรค์, สุทธิพงศ์ เปรื่องค้า และพัชรี ธีรจินดาขจร. 2547. ธาตุ-โบรอนในมะละกอที่มีการจัดการแบบต่างๆ ของสวนมะละกอในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ว. วิทยาศาสตร์เกษตร, 35 139-142.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2535.แคลเซียม-โบรอนในดินและพืช แนวคิดเพื่อการใช้ปุ๋ยทางใบกับไม้ผล. วารสารดินและปุ๋ย 14 298-314.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพ ฯ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยรรยงค์ อินทร์ม่วง. 2541. วิกฤติการณ์มลพิษในแม่น้ำพอง. *ใน* สถานการณ์สุขภาพ. [Online]. Available from http://advisor.anamai.moph.go.th/factsheet/envi3-10.htm (Accessed September 17, 2005).

ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์. 2547. การบำบัดน้ำเสียที่มีฟีนอลและฟีนอลคลอไรด์ด้วยปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการตกตะกอนด้วยปูนขาว. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สถาบันวิจัยยาง. 2547ก. ข้อมูลวิชาการยาง 2547. กรุงเทพฯ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สถาบันวิจัยยาง. 2547ข. รายงานประจำปี 2547. กรุงเทพฯ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สรัญญา ดำอำภัย. 2548. ผลของสารปรับปรุงดินบางชนิดต่อสมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินกรดที่ดอนภาคใต้ของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร-มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์. 2538. แร่ธาตุอาหารพืชสวน. ขอนแก่น ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สายัณห์ สดุดี, สุเมธ ไชยประพัทธ์ และ ชิตชไม โอวาทฯารพร. 2548. การประเมินผลกระทบจากการใช้น้ำเสียโรงอบ/รมยางเพื่อการเกษตรกรรม. กรุงเทพฯ รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 2543. รายงานการสำรวจ สภาพพื้นที่ปลูกยาง กิจกรรมกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพาราท้องที่จังหวัดระยอง สงขลา ภาคเหนือ และการตลาดไม้ยางของประเทศไทย. เอกสารเผยแพร่ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2533. ดินของประเทศไทย. กรุงเทพฯ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Asad, A., Blamey, F.P.C. and Edwards, D.G. 2002. Dry matter production and boron concentrations of vegetative and reproductive tissues of canola and sunflower plants grown in nutrient solution. Plant Soil, 243 243–252.

Bennett, W.F. 1993. Plant nutrient utilization and diagnostic plant symptoms. *In* Nutrient Deficiencies & Toxicities in Crop plants (ed. Bennett, W.F.), pp. 1-7. APS Press. Minnesota.

Chaiprapat, S. and Sdoodee, S. 2004. Potential use of wastewater effluent from small cooperative rubber sheet factories for crop production in southern Thailand. *In* Proceedings of the International Symposium on Lowland Technology. Bangkok, Thailand. 1-3 September, 2004.

Dunlap, D.B. and Thompson, A.H. 1959. Effect of boron sprays on the development of bitter-pit in the York lmperial Apple, University of Maryland Agriculture Experiment Station. Bull., A-102.

Ferran, X., Tous, J., Romero, A., Lloveras, J. and Pericon, J.R. 1997. Boron does not increase hazelnut fruit set and production. HortScience., 32 1053-1055.

Gauch, H.G. and Dugger, W.M. 1952. The role of boron in translocation of sucrose. [Online]. Available from http//www.pabmedcentral.nih.gov/articlerender. (Accessed September 29, 2005).

Goldberg, S., Forster, H.S. and Heick, E.L. 1993. Boron adsorption mechanisms on oxides, clay minerals, and soils inferred from ionic strength effects. Soil Sci. Amer. Proc., 57 704-708.

Gunes, A., Alpaslan, M., Inal, A., Adak, M.S., Eraslan, F. and Cicek, N. 2003. Effects of boron fertilization on the yield and some yield components of Bread and Durum Wheat. Turk. J. Agric., 27 329-335.

Hanson, E.J. 1991. Sour Cherry trees respond to foliar boron applications. HortScience., 26 1142-1145.

Hesse, P.R. 1971. A Textbook of Soil Chemical Analysis. London William Clowes and Sons Ltd.

Johnston, E.S. and Dore, W.H. 1929. The influence of boron on the chemical composition and growth of the tomato plant. J. Plant Physiol., 4 31-62.

Koo, R.C.J. 1988. Citrus micronutrients in perspective. *In* Proceeding Soil and Crop Science Society of Florida. University of Florida. pp. 9-12.

Maurer, M.A. and Taylor, K.C. 1999. Effect of foliar boron spray on yield and fruit quality of navel oranges. *In* Citrus Research Report. University of Arizona College of Agriculture.

Nable, R.O., Banuelos, G.S. and Paull, J.G. 1997. Boron toxicity. Plant Soil., 193 181-198.

Perica, S., Brown, P.H., Connell, J.H., Nyomora, A.M.S., Dordas, C. and Hu, H. 2001. Foliar boron application improves flower fertility and fruit set of olive. HortScience., 36 714-716.

Smith, G.S. and Clark, C.J. 1989. Effect of excess boron on yield and post-harvest storage of kiwifruit. Scientia Hortic., 38 105-115.

Soil and Plant Analysis Council. 1999. Soil Analysis Handbook of Reference Methods. Boca Raton CRC Press LLC.

Sonetra, S., Borin, K. and Preston, T.R. 2002. Waste water from raw rubber processing, cow manure and NPK chemical fertilizer on water spinach. Chup Rubber Plantation Enterprise. Ministry of Agriculture. Phnom Penh, Cambodia.

Toner, C.V. 1993. Chemical reaction kinetics and bonding mechanisms of boron adsorption and desorption on alumina. Ph.D Thesis, University of Delaware, Newark, Delaware.

Venter, H.A. and Currier, H.B. 1977. The effect of boron deficiency on callose formation and translocation in bean and cotton. Amer. J. Bot., 64 861-865.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 การเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารของต้นมะเขือเทศอายุ 51 วัน หลังจากให้น้ำเสียอัตราต่าง ๆ 21 วัน

ตำรับการทดลอง	ซ้ำ	ความสูง (ซม.)	จำนวนใบ (ใบ)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	โบรอน (มก./กก.)	โซเดียม (มก./กก.)
0 มล.	1	56.0	19	4.96	64.55	2110.30
	2	53.5	16	4.□0	36.□4	24□4.□1
	3	56.0	42	□.54	23.16	2103.93
	4	5□.5	35	6.□6	49.61	225□.41
เฉลี่ย		55.□5 ab	2□.00	4.99 a	43.52 c	2239.11
5 มล.	1	5□.0	1□	3.3□	146.□4	2191.3□
	2	52.0	20	6.2□	11□.4□	2410.91
	3	53.5	22	4.91	161.10	2310.4□
	4	59.5	21	4.□1	219.14	2559.93
เฉลี่ย		55.□5 ab	20.25	4.□2 a	161.39 c	236□.1□
10 มล.	1	3□.0	11	2.63	4□6.14	2639.1□
	2	52.0	31	6.4□	292.04	26□□.52
	3	54.0	22	4.□1	334.□0	1□12.32
	4	53.0	32	5.□□	263.5□	219□.2□
เฉลี่ย		49.25 b	24.00	4.90 a	341.64 c	2331.□2
20 มล.	1	5□.0	23	4.06	642.4□	3445.2□
	2	52.0	21	3.36	659.05	1644.9□
	3	59.0	19	3.99	14□.2□	243□.10
	4	63.5	32	5.99	490.21	19□□.□3
เฉลี่ย		5□.□9 a	23.□5	4.35 a	4□4.□5 c	23□6.□□
40 มล.	1	59.0	21	3.4□	100□.52	2□55.43
	2	56.0	26	3.21	150□.2□	2693.4□
	3	59.0	35	3.□9	944.22	205□.54
	4	56.0	21	3.□0	122□.□9	3□51.39
เฉลี่ย		5□.50 a	25.□5	3.5□ a	11□1.95 b	2□39.□1
100 มล.	1	44.00	14	1.91	31□3.16	2209.□9
	2	41.40	15	2.00	1□10.92	2143.65
	3	30.20	14	0.94	16□□.16	361□.□□
	4	43.□0	14	2.32	2401.33	2599.35
เฉลี่ย		39.30 c	14.25	1.□9 b	2265.□9 a	2642.94
F-test		**	NS	**	**	NS
C.V. (%)		9.20	32.□0	25.03	42.53	22.13

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

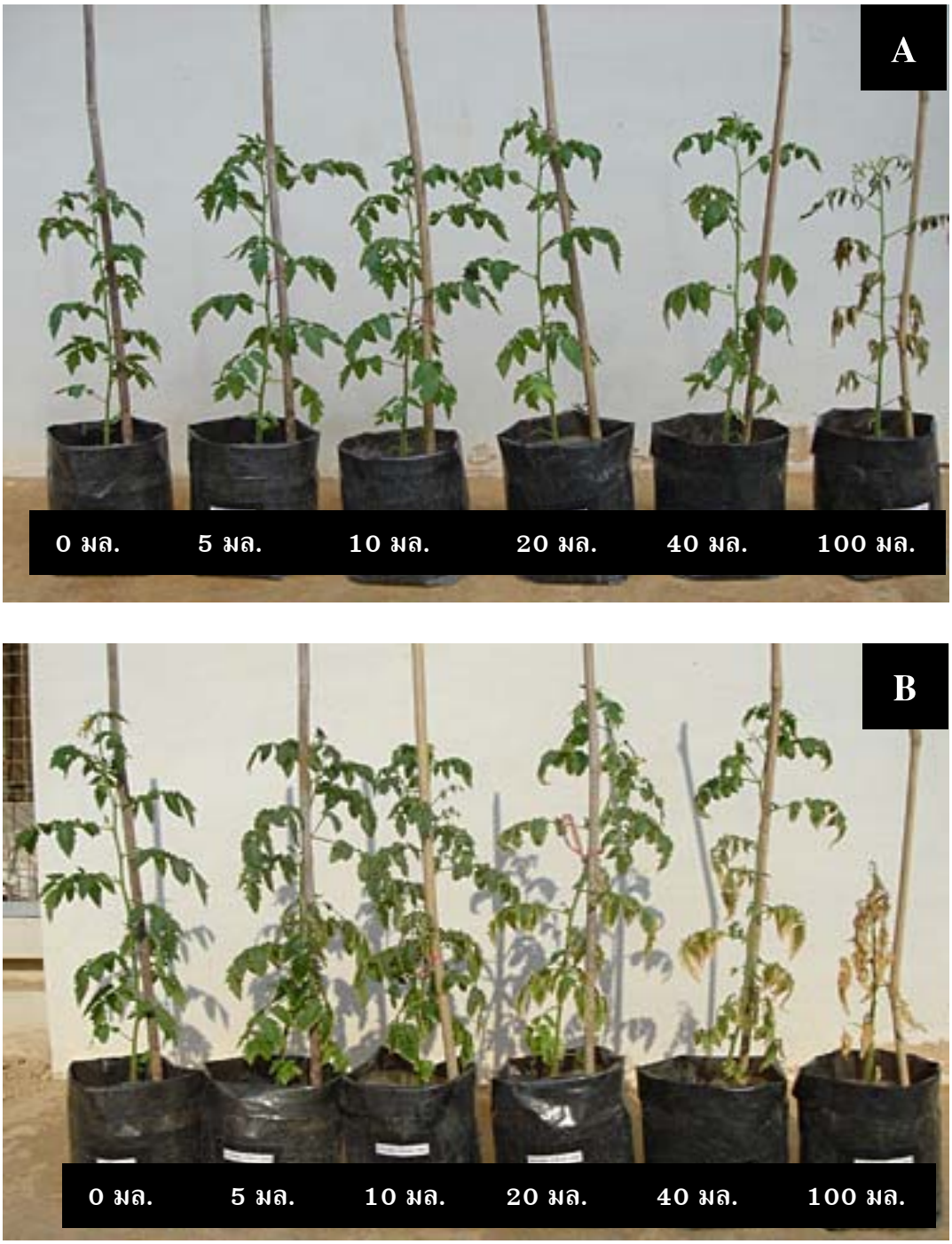
NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

ตารางภาคผนวกที่ 2 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารบางชนิดของดินหลังการทดลองการตอบสนองของพืชต่อการใช้น้ำเสีย

ตำรับการทดลอง	ซ้ำ	pH (ดิน:น้ำ,1:5)	EC (ดิน:น้ำ,1:5) dS m^{-1}	Na $cmol_c$ kg^{-1}	B mg kg^{-1}
0 มล.	1	4.□5	0.02	0.13	1.15
	2	4.□2	0.22	0.09	1.0□
	3	4.□3	0.19	0.11	1.3□
	4	4.□2	0.19	0.0□	1.0□
เฉลี่ย		4.□1	0.16	0.10	1.1□ c
5 มล.	1	4.□2	0.16	0.14	1.05
	2	4.99	0.15	0.14	0.□5
	3	4.□4	0.19	0.15	0.□□
	4	4.99	0.12	0.14	0.□9
เฉลี่ย		4.□9	0.16	0.14	0.□□ c
10 มล.	1	4.□4	0.19	0.1□	1.59
	2	4.□5	0.1□	0.0□	1.42
	3	4.□5	0.15	0.16	1.53
	4	4.59	0.19	0.0□	1.32
เฉลี่ย		4.□3	0.1□	0.12	1.4□ c
20 มล.	1	4.64	0.22	0.15	2.66
	2	4.26	0.20	0.24	2.95
	3	4.62	0.15	0.12	2.5□
	4	5.0□	0.15	0.13	2.46
เฉลี่ย		4.65	0.1□	0.16	2.66 b
40 มล.	1	4.□4	0.15	0.2□	4.6□
	2	4.□3	0.20	0.12	6.□3
	3	4.60	0.20	0.09	5.□1
	4	4.□2	0.20	0.11	5.06
เฉลี่ย		4.□2	0.19	0.15	5.55 a
100 มล.	1	4.□□	0.20	0.21	4.□2
	2	4.63	0.19	0.24	4.54
	3	4.65	0.21	0.16	6.□□
	4	5.03	0.22	0.1□	6.24
เฉลี่ย		4.□□	0.21	0.20	5.60 a
F-test		NS	NS	NS	**
C.V. (%)		3.64	25.41	3□.□□	20.3□

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$



รูปภาคผนวกที่ 1 (A) มะเขือเทศเมื่ออายุ 3 วัน หลังจากให้น้ำเสียอัตราต่าง ๆ วัน
(B) มะเขือเทศเมื่ออายุ 44 วัน หลังจากให้น้ำเสียอัตราต่าง ๆ 14 วัน

ตารางภาคผนวกที่ 3 การเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศอายุ 44 วัน หลังการทดลองศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของพืช เมื่อให้ธาตุอาหารที่ใช้ทดสอบ 14 วัน

ตำรับการทดลอง	ซ้ำ	ความสูง (ซม.)	จำนวนใบ (ใบ)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
Control	1	50.40	13.00	2.□9
	2	53.60	13.00	2.□0
	3	45.60	10.00	1.91
	4	44.00	9.00	1.9□
เฉลี่ย		4□.40	11.25 ab	2.3□ a
+WW	1	3□.□0	9.00	1.11
	2	42.10	10.00	1.22
	3	44.90	10.00	1.50
	4	4□.50	9.00	1.42
เฉลี่ย		43.0□	9.50 c	1.31 c
+B	1	34.00	9.00	0.99
	2	36.00	9.00	1.01
	3	49.50	10.00	1.20
	4	45.50	10.00	1.21
เฉลี่ย		41.25	9.50 c	1.10 c
+S	1	4□.20	12.00	1.□1
	2	61.50	14.00	2.□9
	3	44.40	11.00	2.05
	4	52.40	11.00	2.3□
เฉลี่ย		51.63	12.00 a	2.2□ a
+Ca	1	50.50	12.00	2.42
	2	52.□0	12.00	1.6□
	3	44.00	11.00	2.25
	4	44.60	12.00	2.55
เฉลี่ย		4□.95	11.□5 a	2.23 ab
+Na	1	33.00	11.00	1.06
	2	4□.50	12.00	2.39
	3	46.□0	9.00	1.□5
	4	42.40	11.00	1.3□
เฉลี่ย		42.40	10.66 ab	2.23 ab
F-test		NS	*	**
C.V. (%)		12.□9	11.19	22.16

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

ตารางภาคผนวกที่ 4 ปริมาณธาตุอาหารของต้นมะเขือเทศอายุ 44 วัน หลังการทดลองศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของพืช เมื่อให้ธาตุอาหารที่ใช้ทดสอบ 14 วัน

ตำรับการทดลอง	ซ้ำ	ซัลเฟอร์ (มก./กก.)	แคลเซียม (มก./กก.)	โบรอน (มก./กก.)	โซเดียม (มก./กก.)
Control	1	443□.56	5120	□□.22	1142.22
	2	3163.39	3640	4□.□5	□21.□0
	3	301□.□1	32□0	64.□□	1199.9□
	4	30□9.31	4000	150.69	1004.43
เฉลี่ย		342□.01	400□.50	□5.39 c	1042.11 bc
+WW	1	4600.1□	5490	1350.54	1159.□□
	2	3644.□1	3□40	2022.46	13□4.□3
	3	3552.3□	2310	1522.1□	1362.99
	4	46□□.94	4230	2320.□□	1323.44
เฉลี่ย		4121.30	3942.50	1□04.01 a	1305.26 b
+B	1	4□42.40	5920	16□0.1□	1215.5□
	2	3□59.11	5□90	1□46.99	11□□.□□
	3	4261.69	4□60	22□2.69	996.96
	4	45□□.49	4250	16□1.2□	1064.□5
เฉลี่ย		4335.42	5205.00	1□6□.□□ b	1116.54 bc
+S	1	5342.02	6050	11□.46	1113.5□
	2	3□22.05	4460	43.63	□□1.16
	3	3935.50	6620	43.45	1120.13
	4	4263.53	4250	4□.9□	□□□.43
เฉลี่ย		4315.□□	5345.00	63.63 c	99□.33 c
+Ca	1	□325.0□	6550	61.59	16□5.26
	2	6246.29	5400	5□.62	1101.4□
	3	43□1.□4	5400	□1.4□	1152.19
	4	3□60.□2	3□□0	34.30	945.93
เฉลี่ย		5451.01	52□2.50	5□.99 c	121□.□1 bc
+Na	1	5130.40	5650	69.42	1662.53
	2	61□5.54	5□30	3□.□6	162□.□9
	3	3132.22	4□50	1□.□5	1463.□4
	4	3□20.45	4510	53.60	16□4.94
เฉลี่ย		4539.65	51□5.00	45.1□ c	160□.50 a
F-test		NS	NS	**	**
C.V. (%)		22.9□	1□.□0	3□.0□	14.16

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

ตารางภาคผนวกที่ 5 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารบางชนิดของดินหลังการทดลอง ศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของพืช

ตำรับการทดลอง	ซ้ำ	pH (ดิน:น้ำ,1:5)	EC (ดิน:น้ำ,1:5) dS m^{-1}	Ca $cmol_c$ kg^{-1}	S mg kg^{-1}	Na $cmol_c$ kg^{-1}	B mg kg^{-1}
Control	1	4.45	0.21	0.1[illegible]	31.49	0.[illegible]	0.4[illegible]
	2	4.66	0.12	0.16	1[illegible].3	0.[illegible]6	0.63
	3	4.25	0.1[illegible]	0.15	49.[illegible]9	0.59	0.[illegible]1
	4	4.[illegible]6	0.0[illegible]	0.1[illegible]	26.[illegible]6	0.[illegible]	0.56
เฉลี่ย		4.53	0.15	0.16 bc	31.[illegible]4	0.[illegible]3	0.60 b
+WW	1	4.69	0.14	0.15	40.[illegible]2	0.4[illegible]	5.[illegible]5
	2	4.39	0.12	0.15	2[illegible].02	0.65	4.[illegible]3
	3	4.50	0.11	0.15	40.[illegible]2	0.[illegible]6	3.[illegible]9
	4	4.95	0.11	0.14	5[illegible].[illegible]9	0.53	3.9[illegible]
เฉลี่ย		4.63	0.12	0.15 c	41.[illegible]3	0.60	4.5[illegible] a
+B	1	4.5[illegible]	0.16	0.1[illegible]	60.16	0.59	3.[illegible]0
	2	4.60	0.14	0.1[illegible]	40.[illegible]2	0.[illegible]2	6.52
	3	4.60	0.13	0.1[illegible]	24.54	0.39	3.[illegible]0
	4	4.[illegible]2	0.09	0.1[illegible]	21.05	0.[illegible]9	3.9[illegible]
เฉลี่ย		4.65	0.13	0.1[illegible] abc	36.62	0.62	4.4[illegible] a
+S	1	4.50	0.1[illegible]	0.23	25.[illegible]0	0.94	0.24
	2	4.50	0.13	0.1[illegible]	21.05	0.41	0.33
	3	4.46	0.14	0.16	15.23	0.40	0.33
	4	4.55	0.0[illegible]	0.1[illegible]	21.05	0.62	0.30
เฉลี่ย		4.50	0.13	0.19 ab	20.[illegible]6	0.59	0.30 b
+Ca	1	4.36	0.19	0.20	24.54	0.5[illegible]	0.66
	2	4.4[illegible]	0.16	0.1[illegible]	44.16	0.[illegible]0	0.2[illegible]
	3	4.50	0.13	0.1[illegible]	31.49	0.[illegible]1	0.33
	4	4.36	0.14	0.20	15.23	0.[illegible]2	0.46
เฉลี่ย		4.43	0.16	0.19 ab	2[illegible].[illegible]6	0.6[illegible]	0.43 b
+Na	1	4.41	0.1[illegible]	0.19	14.06	0.[illegible]2	0.44
	2	4.55	0.1[illegible]	0.21	25.[illegible]0	0.6[illegible]	0.54
	3	4.[illegible]0	0.12	0.16	34.96	0.61	0.45
	4	4.[illegible]6	0.12	0.23	26.[illegible]6	0.93	0.51
เฉลี่ย		4.60	0.15	0.20 a	25.39	0.[illegible]4	0.4[illegible] b
F-test		NS	NS	*	NS	NS	**
C.V. (%)		3.54	22.91	9.[illegible]9	39.35	23.4[illegible]	3[illegible].6[illegible]

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

รูปภาคผนวกที่ 2(A) มะเขือเทศเมื่ออายุ 30 วัน ก่อนให้ธาตุอาหารที่ใช้ทดสอบ
(B) มะเขือเทศเมื่ออายุ 44 วัน หลังจากให้ธาตุอาหารที่ใช้ทดสอบ 14 วัน

ตารางภาคผนวกที่ 6 การเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศอายุ 2 วัน หลังจากให้ธาตุโบรอนจากกรดบอริกและจากน้ำเสียที่มีโบรอนอัตราต่างๆ เป็นเวลา 42 วัน

ตำรับการทดลอง	ซ้ำ	ความสูง (เซนติเมตร)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม)	จำนวนใบ (ใบ)	จำนวนใบไหม้ (ใบ)	ใบไหม้ (%)
control (T1)	1	61.0	.2	3.00	0.00	0.00
	2	4.0	.90	2.00	0.00	0.00
	3	6.0	.5	2.00	0.00	0.00
	4	3.0	9.13	46.00	0.00	0.00
เฉลี่ย		69.00	.36	35.00	0.00 c	0.00 c
0.5 H_3BO_3 (T2)	1	61.0	.4	35.00	0.00	0.00
	2	61.0	.90	45.00	0.00	0.00
	3	.0	10.21	51.00	0.00	0.00
	4	.0	.1	32.00	0.00	0.00
เฉลี่ย		1.5	.6	40.5	0.00 c	0.00 c
1.0 H_3BO_3 (T3)	1	64.0	11.24	41.00	0.00	0.00
	2	.0	9.14	3.00	0.00	0.00
	3	59.0	5.2	35.00	0.00	0.00
	4	0.0	6.56	29.00	0.00	0.00
เฉลี่ย		6.5	.05	35.5	0.00 c	0.00 c
2.5 H_3BO_3 (T4)	1	5.0	11.15	44.00	11.00	25.00
	2	3.0	.1	-	-	-
	3	4.0	10.69	4.00	15.00	31.25
	4	61.5	.94	45.00	36.00	0.00
เฉลี่ย		62.13	9.49	45.6	20.6 b	45.4 b
5.0 H_3BO_3 (T5)	1	64.0	9.54	3.00	19.00	50.00
	2	6.0	9.49	49.00	40.00	1.63
	3	65.5	6.	39.00	33.00	4.62
	4	6.0	.5	43.00	3.00	6.05
เฉลี่ย		66.3	.59	42.25	32.25 ab	5.5 a
.5 H_3BO_3 (T6)	1	56.0	9.13	40.00	33.00	2.50
	2	5.0	5.43	3.00	32.00	6.49
	3	54.5	3.00	19.00	15.00	.95
	4	6.0	9.36	52.00	4.00	90.3
เฉลี่ย		60.	6. 3	3.00	31.5 ab	4.5 a
10.0 H_3BO_3 (T)	1	65.0	4.43	32.00	2.00	.50
	2	0.0	10.90	54.00	42.00	.
	3	61.5	.44	6.00	60.00	.24
	4	49.5	4.6	2.00	23.00	5.19
เฉลี่ย		61.50	.11	45.25	3.25 a	4.6 a

ตารางภาคผนวกที่ 6 (ต่อ)

ตำรับการทดลอง	ซ้ำ	ความสูง (เซนติเมตร)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม)	จำนวนใบ (ใบ)	จำนวนใบไหม้ (ใบ)	ใบไหม้ (%)
0.5 WW (T)	1	3.0	6.31	22.00	0.00	0.00
	2	6.0	11.12	46.00	0.00	0.00
	3	1.0	10.29	51.00	0.00	0.00
	4	0.0	.34	36.00	0.00	0.00
เฉลี่ย		2.50	9.02	3 .5	0.00 c	0.00 c
1.0 WW (T9)	1	61.0	11.13	31.00	0.00	0.00
	2	–	–	–	–	–
	3	69.0	.41	2 .00	0.00	0.00
	4	9.0	10.13	46.00	0.00	0.00
เฉลี่ย		69.6	9.55	35.00	0.00 c	0.00 c
2.5 WW (T10)	1	6 .0	.26	35.00	25.00	1.43
	2	6 .0	.53	33.00	23.00	69. 0
	3	51.5	.95	4 .00	13.00	2 .66
	4	0.0	.23	32.00	20.00	62.50
เฉลี่ย		64.3	.24	36. 5	20.25 b	5 . b
5.0 WW (T11)	1	5 .5	.14	42.00	32.00	6.19
	2	62.0	9.0	53.00	50.00	94.34
	3	69.5	9.95	49.00	41.00	3.6
	4	62.0	9.	4 .00	3 .00	9.1
เฉลี่ย		62. 5	9.23	4 .00	40.25 a	3.3 a
.5 WW (T12)	1	55.0	.43	32.00	2 .00	4.3
	2	5 .0	6.15	45.00	39.00	6.6
	3	2.0	9.69	54.00	4 .00	.04
	4	63.5	.23	36.00	33.00	91.6
เฉลี่ย		61.	.	41. 5	36.50 a	.4 a
10.0 WW (T13)	1	69.5	6.96	51.00	40.00	.43
	2	0.0	.0	42.00	34.00	0.95
	3	50.0	6.4	–	–	–
	4	59.5	.0	50.00	46.00	92.00
เฉลี่ย		62.25	6.90	4 .6	40.00 a	3. a
F-test		NS	NS	NS	**	**
C.V. (%)		14.00	4.50	24.29	41.99	23. 9

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

ตารางภาคผนวกที่ 7 คุณภาพและผลผลิตต้นมะเขือเทศอายุ 2 วัน หลังจากให้ธาตุโบรอนจากกรดบอริกและจากน้ำเสียที่มีโบรอนอัตราต่างๆ เป็นเวลา 42 วัน

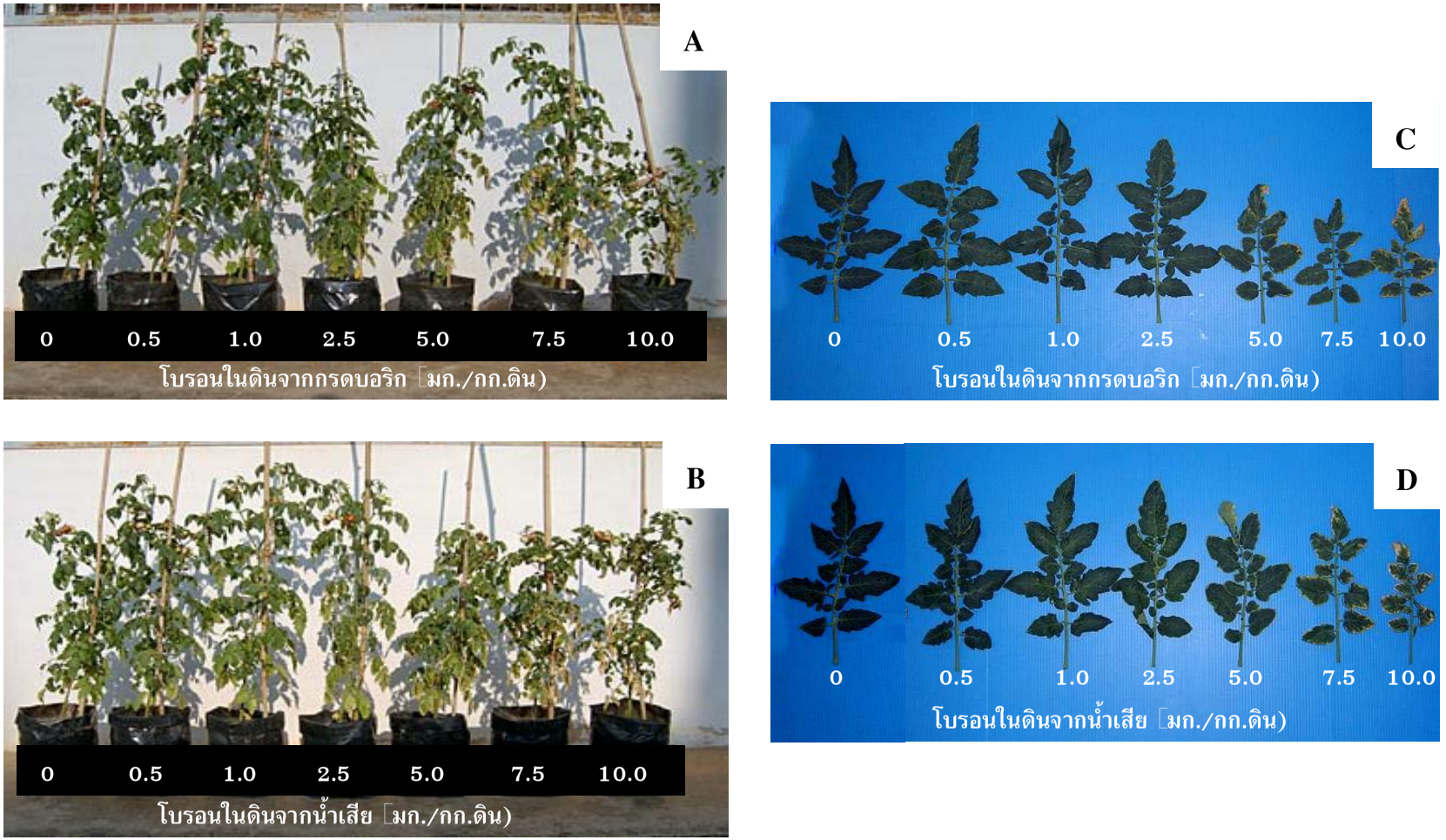
ตำรับการทดลอง	ซ้ำ	น้ำหนักผล (กรัม/ต้น)	จำนวนผล (ผล/ต้น)	อาการก้นเน่า (%)
control (T1)	1	4 .5	15	
	2	5 .56	13	4
	3	5 .33	13	3
	4	65.29	1	10
เฉลี่ย		5 .4 ab	14.50 abc	6.25 abcde
0.5 H_3BO_3 (T2)	1	6 .95	19	11
	2	60.36	20	11
	3	66.34	19	11
	4	4.0	22	10
เฉลี่ย		6 .43 a	20.00 a	10. 5 abcd
1.0 H_3BO_3 (T3)	1	30.11	14	11
	2	39.06	16	11
	3	34.6	12	6
	4	39.10	14	9
เฉลี่ย		35. 4 bc	14.00 abcd	9.25 abc
2.5 H_3BO_3 (T4)	1	4 .5	15	6
	2	49.30	10	3
	3	41.33	1	13
	4	16. 4	15	
เฉลี่ย		3 . 4 bc	14.25 abc	.25 bcde
5.0 H_3BO_3 (T5)	1	41.9	11	4
	2	42. 4	16	9
	3	64.51	13	4
	4	30. 3	11	9
เฉลี่ย		45.04 abc	12. 5 bcd	6.50 bcd
.5 H_3BO_3 (T6)	1	46.2	11	4
	2	36.4	12	2
	3	16.40	3	1
	4	55.	1	6
เฉลี่ย		3 . 3 bc	10. 5 cde	3.25 de
10.0 H_3BO_3 (T)	1	1 .30	5	1
	2	0.00	0	0
	3	62.55	9	0
	4	35.4		4
เฉลี่ย		29.0 c	5.5 e	1.25 e

ตารางภาคผนวกที่ 7 (ต่อ)

ตำรับการทดลอง	ซ้ำ	น้ำหนักผล (กรัม/ต้น)	จำนวนผล (ผล/ต้น)	ผลผิดปกติ (%)
0.5 WW (T)	1	46.0	11	3
	2	61.0	26	1
	3	41.3	13	12
	4	60.40	26	1
เฉลี่ย		52.23 abc	19.00 ab	12.5 abc
1.0 WW (T9)	1	25.5	13	12
	2	-	-	-
	3	21.3	9	6
	4	51.5	13	13
เฉลี่ย		33.0 bc	11.6 cde	10.33 a
2.5 WW (T10)	1	2.44	14	13
	2	40.93	11	5
	3	2.93	9	
	4	23.44	9	5
เฉลี่ย		30.19 c	10.5 cde	.5 ab
5.0 WW (T11)	1	30.46	12	9
	2	.4	6	6
	3	39.91	19	12
	4	60.09	16	
เฉลี่ย		34.49 bc	13.25 bcd	.5 ab
.5 WW (T12)	1	30.2	10	6
	2	2.0	12	
	3	60.51	1	
	4	46.55	11	
เฉลี่ย		41.49 bc	12.50 bcd	.00 abcd
10.0 WW (T13)	1	.34	3	1
	2	24.		0
	3	42.5	12	6
	4	3.42		4
เฉลี่ย		2.03 c	.50 de	2.5 cde
F-test		*	**	**
C.V. (%)		36.21	31.20	46.40

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

* = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$



รูปภาคผนวกที่ 3 (A) ผลของโบรอนจากกรดบอริกและ (B) จากน้ำเสีย ต่อการเจริญเติบโตของพืช 42 วันหลังให้ตำรับการทดลอง (C) ลักษณะของใบมะเขือเทศตำแหน่งใบที่ 5 ที่ได้รับโบรอนจากกรดบอริกและ (D) จากน้ำเสีย 35 วันหลังให้ตำรับการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ 8 การเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินคอหงส์หลังการทดลองให้โบรอนจากน้ำเสียและปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน

ตำรับการทดลอง	ซ้ำ	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนใบ (ใบ/ต้น)	น้ำหนักสดต้น (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม/ต้น)
ควบคุม	1	9□.90	43.00	132.24	1□.69
	2	66.00	24.00	□□.26	10.66
	3	65.00	13.00	43.99	□.5□
เฉลี่ย		□6.30	26.6□	□4.□3 b	11.9□ c
ฉีดพ่น B	1	105.□0	3□.00	□1.30	10.□1
	2	112.10	33.00	95.95	13.01
	3	93.□0	32.00	□9.60	13.53
เฉลี่ย		103.90	34.00	□5.62 b	12.42 c
ฉีดพ่น Ca	1	101.20	42.00	120.92	15.34
	2	115.□0	□5.00	152.32	20.3□
	3	9□.30	43.00	96.□1	13.05
เฉลี่ย		105.10	53.33	123.35 ab	16.25 abc
ฉีดพ่น น้ำเสีย+Ca	1	□6.□0	4□.00	120.91	20.□2
	2	9□.00	56.00	1□4.□5	1□.6□
	3	111.□0	51.00	154.96	31.43
เฉลี่ย		9□.□0	51.6□	150.21 a	23.61 a
ฉีดพ่น ปุ๋ย	1	10□.□0	42.00	116.2□	14.□3
	2	□□.00	36.00	□9.69	10.3□
	3	100.50	49.00	144.30	1□.09
เฉลี่ย		9□.□3	42.33	113.42 ab	14.06 bc
ใส่ B ทางดิน	1	□□.20	6□.00	146.□□	23.29
	2	90.□0	41.00	140.50	19.55
	3	115.40	50.00	139.10	1□.55
เฉลี่ย		9□.10	53.00	142.16 a	20.46 ab
ใส่ Ca ทางดิน	1	103.00	42.00	146.10	2□.36
	2	106.10	6□.00	161.23	21.36
	3	102.10	50.00	140.54	20.5□
เฉลี่ย		103.□3	53.00	149.29 a	23.10 a
ใส่ น้ำเสีย+Ca	1	96.□0	45.00	114.30	1□.0□
	2	106.00	53.00	135.□6	16.55
	3	9□.10	41.00	100.63	13.03
เฉลี่ย		100.30	46.33	116.90 ab	15.55 bc
F-test		NS	NS	*	*
C.V. (%)		11.60	25.29	20.□6	23.14

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

ตารางภาคผนวกที่ 9 ผลผลิตและปริมาณธาตุอาหารบางชนิดของต้นมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินคอหงส์หลังการทดลองให้โบรอนจากน้ำเสียและปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน

ตำรับการทดลอง	ซ้ำ	จำนวนดอก (ดอก/ต้น)	จำนวนผล (ผล/ต้น)	น้ำหนักผล (กรัม/ต้น)	แคลเซียม (ก./กก.)	โบรอน (มก./กก.)
ควบคุม	1	39.00	15.00	113.0[illegible]	[illegible].91	33.15
	2	22.00	12.00	[illegible]6.9[illegible]	3.13	32.96
	3	13.00	9.00	[illegible]0.12	5.43	2[illegible].6[illegible]
เฉลี่ย		24.6[illegible]	12.0 c	90.05	5.[illegible]2	2[illegible].[illegible]5 b
ฉีดพ่น B	1	35.00	16.00	[illegible]6.91	[illegible].61	44.69
	2	26.00	13.00	144.2[illegible]	[illegible].10	39.[illegible]6
	3	32.00	11.00	9[illegible].6[illegible]	[illegible].19	24.43
เฉลี่ย		31.00	13.3 bc	109.95	[illegible].9[illegible]	36.33 b
ฉีดพ่น Ca	1	4[illegible].00	19.00	[illegible]5.[illegible]I	10.52	39.1[illegible]
	2	46.00	21.00	[illegible]5.45	[illegible].59	26.19
	3	33.00	1[illegible].00	121.33	10.53	25.32
เฉลี่ย		42.00	19.0 ab	90.[illegible]5	9.55	30.23 b
ฉีดพ่น น้ำเสีย+Ca	1	53.00	23.00	14[illegible].[illegible]0	[illegible].31	61.59
	2	31.00	-	-	[illegible].36	46.4[illegible]
	3	55.00	13.00	110.66	10.5[illegible]	56.22
เฉลี่ย		46.33	1[illegible].0 ab	129.1[illegible]	[illegible].42	54.[illegible]6 a
ฉีดพ่น ปุ๋ย	1	39.00	19.00	163.20	13.40	51.45
	2	32.00	16.00	114.65	10.14	49.65
	3	4[illegible].00	16.00	1[illegible]4.12	10.66	5[illegible].01
เฉลี่ย		39.33	1[illegible].0 ab	153.99	11.40	53.04 a
ใส่ B ทางดิน	1	50.00	1[illegible].00	[illegible]4.55	[illegible].51	59.90
	2	26.00	19.00	129.06	6.2[illegible]	5[illegible].26
	3	46.00	20.00	164.15	10.30	61.9[illegible]
เฉลี่ย		40.6[illegible]	1[illegible].6 ab	122.59	[illegible].36	59.[illegible]1 a
ใส่ Ca ทางดิน	1	4[illegible].00	2[illegible].00	146.11	9.69	35.[illegible]I
	2	4[illegible].00	19.00	120.[illegible]4	9.01	35.[illegible]9
	3	44.00	22.00	136.01	10.[illegible]0	43.65
เฉลี่ย		46.00	22.6 a	134.29	9.[illegible]0	3[illegible].41 b
ใส่ น้ำเสีย+Ca	1	4[illegible].00	23.00	135.[illegible]0	9.69	53.[illegible]0
	2	46.00	22.00	145.2[illegible]	9.01	52.24
	3	4[illegible].00	-	-	10.[illegible]0	51.[illegible]4
เฉลี่ย		46.6[illegible]	22.5 a	140.49	[illegible].51	52.56 a
F-test		NS	*	NS	NS	**
C.V. (%)		22.93	1[illegible].40	24.19		

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

ตารางภาคผนวกที่ 10 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารบางชนิดของดินคอหงส์หลังการทดลองให้โบรอนจากน้ำเสียและปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน

ตำรับการทดลอง	ซ้ำ	pH (ดิน:น้ำ,1:5)	EC (ดิน:น้ำ,1:5) dS m^{-1}	Ca $cmol_c$ kg^{-1}	B mg kg^{-1}
ควบคุม	1	4.10	0.12	0.3	0.11
	2	4.51	0.05	0.3	0.16
	3	4.19	0.10	0.42	0.21
เฉลี่ย		4.2	0.09	0.39	0.16 c
ฉีดพ่น B	1	4.19	0.11	0.43	0.15
	2	4.29	0.10	0.40	0.1
	3	4.10	0.05	0.25	0.2
เฉลี่ย		4.19	0.09	0.36	0.20 bc
ฉีดพ่น Ca	1	4.13	0.13	0.41	0.20
	2	4.21	0.11	0.3	0.26
	3	4.00	0.14	0.4	0.16
เฉลี่ย		4.11	0.13	0.42	0.21 bc
ฉีดพ่น น้ำเสีย+Ca	1	3.0	0.15	0.39	0.15
	2	3.96	0.09	0.2	0.19
	3	4.0	0.15	0.33	0.16
เฉลี่ย		3.95	0.13	0.33	0.1 bc
ฉีดพ่น ปุ๋ย	1	4.2	0.0	0.30	0.25
	2	4.22	0.0	0.45	0.4
	3	4.23	0.14	0.3	0.22
เฉลี่ย		4.24	0.10	0.3	0.31 bc
ใส่ B ทางดิน	1	4.20	0.06	0.33	0.69
	2	4.29	0.13	0.40	0.42
	3	4.60	0.09	0.39	0.4
เฉลี่ย		4.36	0.09	0.3	0.53 a
ใส่ Ca ทางดิน	1	4.20	0.10	0.44	0.24
	2	4.22	0.13	0.40	0.1
	3	4.5	0.11	0.3	0.25
เฉลี่ย		4.33	0.11	0.40	0.22 bc
ใส่ น้ำเสีย+Ca	1	4.15	0.13	0.44	0.31
	2	4.04	0.13	0.40	0.33
	3	4.91	0.11	0.3	0.32
เฉลี่ย		4.3	0.12	0.34	0.32 b
F-test		NS	NS	NS	**
C.V. (%)		5.29	29.31	14.63	29.23

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

ตารางภาคผนวกที่ 11 การเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินบาเจาะหลังการทดลองให้โบรอนจากน้ำเสียและปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน

ตำรับการทดลอง	ซ้ำ	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนใบ (ใบ/ต้น)	น้ำหนักสดต้น (กรัม/ต้น)	น้ำหนักแห้งต้น (กรัม/ต้น)
ควบคุม	1	9□.2	15	121..5□	1□.□□
	2	99.□	40	104.09	16.□4
	3	104.0	3□	105.05	1□.49
เฉลี่ย		100.33	30.6□ c	110.24 c	1□.40 c
ฉีดพ่น B	1	109.5	4□	1□3.61	26.□□
	2	94.6	4□	140.42	22.□2
	3	□3.0	23	62.56	□.□□
เฉลี่ย		95.□0	39.33 bc	125.53 c	19.42 c
ฉีดพ่น Ca	1	119.9	46	16□.□4	25.14
	2	112.0	42	140.5□	20.□3
	3	□5.2	59	163.13	25.69
เฉลี่ย		105.□0	49.00 abc	15□.15 abc	23.□5 abc
ฉีดพ่น น้ำเสีย+Ca	1	103.□	44	153.5	23.62
	2	□5.0	50	146.44	22.4
	3	101.2	5□	1□4.□□	26.13
เฉลี่ย		96.63	50.6□ abc	161.5□ abc	24.05 abc
ฉีดพ่น ปุ๋ย	1	94.2	41	131.□4	22.42
	2	92.6	4□	140.3□	23.□4
	3	60.2	22	105.36	1□.□5
เฉลี่ย		□2.33	3□.00 bc	125.□6 c	21.30 bc
ใส่ B ทางดิน	1	111.0	49	1□0.29	30.4
	2	102.0	□0	199.45	30.5□
	3	11□.□	□2	229.55	33.54
เฉลี่ย		110.60	63.6□ a	203.10 a	31.51 a
ใส่ Ca ทางดิน	1	95.□	43	149.56	19.64
	2	99.6	46	142.□□	23.21
	3	□2.5	3□	119.□2	1□.14
เฉลี่ย		92.63	42.33 abc	13□.39 bc	20.33 c
ใส่ น้ำเสีย+Ca	1	9□.6	44	1□1.6	26.□2
	2	105.2	60	153.2	24.91
	3	105.2	69	251.5	3□.31
เฉลี่ย		103.00	5□.6□ abc	192.10 ab	29.6□ ab
F-test		NS	*	*	*
C.V. (%)		12.22	24.5□	20.□2	19.35

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ * = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางภาคผนวกที่ 12 ผลผลิตและปริมาณธาตุอาหารบางชนิดของต้นมะเขือเทศที่ปลูกในชุดดินบาเจาะหลังการทดลองให้โบรอนจากน้ำเสียและปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน

ตำรับการทดลอง	ซ้ำ	จำนวนดอก (ดอก/ต้น)	จำนวนผล (ผล/ต้น)	น้ำหนักผล (กรัม/ต้น)	แคลเซียม (ก./กก.)	โบรอน (มก./กก.)
ควบคุม	1	43	20	220.64	31.05	34.24
	2	0	19	159.1	2.11	35.0
	3	66	10	103.39	23.90	40.04
เฉลี่ย		59.6	16.33 b	161.2 d	2.5	36.66 c
ฉีดพ่น B	1	60	30	229.05	30.53	52.41
	2	5	1	1.1	22.0	49.21
	3	16	-	-	33.4	54.1
เฉลี่ย		53.6	23.50 b	20.93 bcd	2.11	51.93 c
ฉีดพ่น Ca	1	5	19	213.	2.2	39.62
	2	0	25	160.3	2.4	49.53
	3	9	20	160.5	24.91	31.30
เฉลี่ย		6.6	21.33 b	1.20 cd	26.6	40.15 c
ฉีดพ่น น้ำเสีย+Ca	1	69	22	245.5	2.31	59.29
	2	1	2	229.09	26.1	60.6
	3	1	-	-	16.6	62.04
เฉลี่ย		9.00	24.50 ab	23.4 abc	23.5	60.6 c
ฉีดพ่น ปุ๋ย	1	6	2	223.52	24.1	55.42
	2	2			1.10	53.2
	3	26	25	244.45	25.2	53.40
เฉลี่ย		5.33	26.00 ab	233.99 abc	22.3	54.21 c
ใส่ B ทางดิน	1	55	26	21.11	26.3	1.13
	2	1	3	305.2	32.02	134.6
	3	1	39	265.1	2.0	124.4
เฉลี่ย		3.6	34.33 a	263.0 ab	2.2	145.6 b
ใส่ Ca ทางดิน	1	4	1	231.9	32.9	43.00
	2	5	2	21.5	2.99	35.1
	3	52	22	1.46	2.99	42.32
เฉลี่ย		52.33	22.00 b	211.0 bcd	29.96	40.1 c
ใส่ น้ำเสีย+Ca	1	56	32	291.36	2.51	1.00
	2	66	3	296.1	30.96	16.00
	3	1	36	2.11	30.01	211.3
เฉลี่ย		66.6	35.00 a	290.04 a	29.3	1.12 a
F-test		NS	**	**	NS	**
C.V. (%)		29.4	20.33	15.36	14.12	19.12

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

ตารางภาคผนวกที่ 13 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารบางชนิดของดินบาเจาะหลังการทดลองให้โบรอนจากน้ำเสียและปุ๋ยแคลเซียม-โบรอน

ตำรับการทดลอง	ซ้ำ	pH (ดิน:น้ำ,1:5)	EC (ดิน:น้ำ,1:5) dS m^{-1}	Ca $cmol_c$ kg^{-1}	B mg kg^{-1}
ควบคุม	1	6.45	0.01	0.21	0.06
	2	6.36	0.02	0.23	0.05
	3	6.5[illegible]	0.02	0.30	0.06
เฉลี่ย		6.46	0.02 b	0.25	0.06 c
ฉีดพ่น B	1	6.20	0.03	0.24	0.05
	2	5.96	0.04	0.2[illegible]	0.06
	3	6.52	0.01	0.31	0.0[illegible]
เฉลี่ย		6.23	0.03 b	0.2[illegible]	0.06 c
ฉีดพ่น Ca	1	6.25	0.03	0.22	0.10
	2	6.44	0.02	0.20	0.12
	3	6.06	0.06	0.29	0.15
เฉลี่ย		6.25	0.04 ab	0.24	0.12 ab
ฉีดพ่น น้ำเสีย+Ca	1	6.3[illegible]	0.03	0.2[illegible]	0.14
	2	6.55	0.01	0.31	0.11
	3	6.3[illegible]	0.02	0.24	0.12
เฉลี่ย		6.44	0.02 b	0.2[illegible]	0.12 ab
ฉีดพ่น ปุ๋ย	1	6.39	0.03	0.25	0.10
	2	6.13	0.03	0.21	0.0[illegible]
	3	5.[illegible]	0.09	0.34	0.09
เฉลี่ย		6.11	0.05 ab	0.2[illegible]	0.09 bc
ใส่ B ทางดิน	1	6.46	0.03	0.30	0.1[illegible]
	2	6.09	0.0[illegible]	0.30	0.10
	3	6.04	0.05	0.2[illegible]	0.16
เฉลี่ย		6.20	0.05 ab	0.29	0.15 a
ใส่ Ca ทางดิน	1	6.41	0.03	0.25	0.09
	2	6.43	0.02	0.2[illegible]	0.0[illegible]
	3	6.44	0.01	0.29	0.09
เฉลี่ย		6.43	0.02 b	0.2[illegible]	0.0[illegible] c
ใส่ น้ำเสีย+Ca	1	6.02	0.0[illegible]	0.29	0.15
	2	6.12	0.05	0.34	0.14
	3	6.01	0.09	0.32	0.13
เฉลี่ย		6.05	0.0[illegible] a	0.32	0.14 a
F-test		NS	*	NS	**
C.V. (%)		2.9[illegible]	53.62	16.3[illegible]	19.36

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่เหมือนกันอยู่ในแถวค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

NS = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ และ ** = แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายเจษฎา จิตรหลัง

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4742065

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2546