

บทความวิจัย

ปัญหาการใช้น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตันเป็นแหล่งธาตุอาหารพืช

Problem of Using of Wastewater Treated with Fenton Reaction from Rubber Wood Plants as Plant Nutrient Source

เจษฎา จิตรหลัง

Jetsada Chitlang

B.Sc.(Agriculture)

นักศึกษาปริญญาโท สาขาการจัดการทรัพยากรดิน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

Department of Earth Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University

จำเป็น อ่อนทอง

Jumpen Onthong

Ph.D.(Agricultural Chemistry)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

Department of Earth Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University

ลือพงศ์ แก้วศรีจันทร์

Lupong Kaewsichan

Ph.D.(Chemical and Petroleum Refining Engineering)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

อัจฉรา เฟื่องหนู

Ashara Pengnoo

Ph.D.(Bioresources and Product Science)

รองศาสตราจารย์, ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

Department of Earth Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University

คำสำคัญ : น้ำเสีย, โบรอน, เฟนตัน, มะเขือเทศ, ยางพารา

Key words : wastewater, boron, fenton, tomato, pararubber

Abstract

After wastewater from rubber wood factories was treated by fenton reaction, it still contained high concentration of boron (B), sulphur (S) and calcium (Ca) which are plant nutrient. Therefore, a greenhouse experiment was conducted to use wastewater as a nutrient source for plants. There were 2 experiments. The first experiment was to study the effect of wastewater on growth of tomato. The 30-day-tomato seedling was planted in 5 kg of Kohong soil in plastic pot. This experiment was arranged in completely randomized design (CRD) with 4 replicates and composed of 6 treatments : application of wastewater at the level 0, 5, 10, 20, 40 and 100 mL pot⁻¹ respectively. The wastewater was filled with distillation water up to 500 mL, and a half of 500 mL was watered 2 times. The second one was to study the nutrient caused to toxicity. The experiment was arranged in CRD with 4 replicates and composed of 6 treatments : without wastewater (Control), add wastewater (+WW), add boron (+B), add sulphur (+S), add calcium (+Ca) and add sodium (+Na). It was found that applying high amount of wastewater especially 40 and 100 mL pot⁻¹ decreased tomato growth, and caused the plants died. Plant boron concentration was up to 1,171 and 2,265 mg kg⁻¹. It was consistent with the +WW and +B treatment that caused margin leaf necrosis and plant B was up to 1,804 and 1,867 mg kg⁻¹, respectively. However, dry matter, leaf number and boron in plant of the +S, +Ca and +Na treatment were not significantly different compared with the control treatment. Therefore, using of wastewater treated with fenton reaction from rubber wood plants as plant nutrient source must be applied less than 4 mL kg⁻¹ soil. Application high rate of wastewater resulted in toxicity caused by B.

บทคัดย่อ

น้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน มีธาตุ B, S, และ Ca ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มีประโยชน์สำหรับพืช จึงได้ศึกษานำน้ำทิ้งมาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ (1) ศึกษาผลของน้ำเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยปลูกต้นกล้ามะเขือเทศอายุ 30 วันในชุดดินคอกหงส์ 5 กก. และให้น้ำเสียในอัตราต่างๆ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) มี 6 คำรับการทดลอง 4 ซ้ำ คือ ให้น้ำเสีย ปริมาตร 0, 5, 10, 20, 40 และ 100 มล. โดยนำน้ำเสียตามคำรับการทดลองมาเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 500 มล. แล้วแบ่งรดมะเขือเทศ 2 ครั้ง (2) ศึกษาธาตุที่ทำให้เกิดความเป็นพิษ วางแผนการทดลองแบบ CRD มี 6 คำรับการทดลอง 4 ซ้ำ คือ ไม่ให้น้ำเสีย (Control) ให้น้ำเสีย 100 มล. (+WW) และให้ธาตุอาหารที่ใช้ทดสอบมีปริมาณธาตุเท่ากับ ในน้ำเสีย 100 มล. คือ โบรอน (+B) กำมะถัน (+S) แคลเซียม (+Ca) และโซเดียม (+Na) ผลการทดลอง พบว่าการให้น้ำเสียที่ปริมาณเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะการให้น้ำเสีย 40 และ 100 มล. ทำให้การเจริญเติบโตของมะเขือเทศลดลงและพืชตาย โดยมีโบรอนในพืชมากถึง 1,171 และ 2,265 มก./กก. และการให้ +WW และ +B ทำให้ต้นมะเขือเทศมีอาการขอบใบไหม้และตายในลักษณะเดียวกันกับการให้น้ำเสีย 100 มล. (การทดลองที่ 1) และมีโบรอนในพืชถึง 2,700 และ 1,867 มก./กก. ในขณะที่คำรับการทดลอง +S, +Ca และ +Na การเจริญเติบโตของพืชทั้งน้ำหนักแห้ง จำนวนใบ และโบรอนในพืชใกล้เคียงกับไม่ให้น้ำเสีย ดังนั้นหากนำน้ำเสียมาใช้กับการปลูกมะเขือเทศ ควรใช้น้อยกว่า 4 มล./กก. ดิน หากใช้ในปริมาณมากจะทำให้เกิดปัญหาความเป็นพิษเนื่องจากโบรอนได้

คำนำ

ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ปัจจุบันประเทศไทยสามารถผลิตยางพาราได้มากที่สุดในโลก และมีพื้นที่ปลูกประมาณ 12.7 ล้านไร่ ซึ่งจัดเป็นอันดับสองของโลก (สถาบันวิจัยการยาง, 2548) เมื่อต้นยางมีอายุประมาณ 25-30 ปี จะเริ่มให้ผลผลิตต่ำ ชาวสวนยางจึงทำการโค่นยางเก่าเพื่อปลูกยางใหม่ ตั้งแต่ปี 2540 เป็นต้นมา มีต้นยางที่ถูกตัดโค่นปีละประมาณ 200,000 ไร่ เมื่อคิดรวมเป็นเนื้อไม้ยางพาราที่ตัดโค่น มีปริมาณไม้ถึง 7 ล้าน ลบ.ม./ปี (สถาบันวิจัยการยาง, 2547) ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพาราจึงเกิดขึ้นมากมาย โรงงานเหล่านี้มีการนำสารเคมีที่เรียกว่า น้ำยาอัดขาว ซึ่งมีสารประกอบโบรอนเป็นส่วนผสมคือ กรดบอริก (H_3BO_3) และสารบอแร็กซ์ ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) มาใช้ในกระบวนการผลิตและอัดน้ำยาเคมีเข้าไปในเนื้อไม้ เพื่อฆ่าเชื้อราและแมลงเมื่อใช้ติดต่อกันหลายครั้งน้ำยาจะเสื่อมสภาพ ทำให้น้ำยาเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลจนถึงสีดำ โดยเกิดจากแทนนินซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์จากเนื้อไม้ หากนำน้ำยาที่เสื่อมสภาพมาใช้ จะส่งผลต่อสีของเนื้อไม้ที่จะอัดในครั้งต่อไป ดังนั้นโรงงานจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนน้ำยาใหม่ โดยน้ำยาที่เสื่อมสภาพถูกปล่อยทิ้งไปในลักษณะของน้ำเสีย ซึ่งมีสารประกอบอินทรีย์สารอนินทรีย์ตกค้างอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อน้ำเสียแพร่ลงสู่ดินหรือแหล่งน้ำสาธารณะส่งผลให้เกิดความเป็นพิษกับพืช และมีผลกระทบต่อระบบประสาทของสัตว์ชั้นสูงและมนุษย์

ดังนั้นเพื่อป้องกันการทิ้งน้ำเสียสู่แหล่งน้ำและพื้นดินตามธรรมชาติ จำเป็นต้องนำน้ำเสียมากำจัดสีเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่หรือนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น การบำบัดน้ำเสียด้วยปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการตกตะกอนด้วยปูนขาว เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถบำบัดสีน้ำเสียได้ โดยการออกซิเดชันรีดักชันด้วยสารเคมี คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเฟอร์รัสซัลเฟต และเติมกรดซัลฟิวริกเพื่อปรับพีเอช ให้เหมาะสมสำหรับการเกิด

ปฏิกิริยา และทำให้ตกตะกอนโดยการเติมแคลเซียมออกไซด์ แล้วจึงกรองเอาตะกอนออก มีรายงานว่าน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราเมื่อผ่านการบำบัด สามารถลดสารประกอบประเภทลิกนินและฟีนอลิก ทำให้ได้สารละลายสีฟอสเฟตเท่ากับ 6.8 มีสารเคมีที่ใช้ในการบำบัด คือ เหล็ก ซัลเฟต แคลเซียม และสารที่ใช้รักษาเนื้อไม้ คือ โบรอน ตกค้างอยู่ในน้ำเท่ากับ 0.69 , 780, 401 และ 507 มก./ล. ตามลำดับ (ลือพงษ์, 2547) และจากการศึกษาเพิ่มเติม พบว่ามีปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมเท่ากับ 630 และ 158 มก./ล. ดังนั้นจึงอาจนำมาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารแก่พืช ซึ่งเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตในเรื่องของปุ๋ยและเป็นการนำน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์ เพื่อลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ มีรายงานการนำน้ำเสียมาใช้ในการเพาะปลูก เช่น Chaiprapat และ Sdoodee (2004) นำน้ำเสียจากโรงงานอบและรมยางที่มีไนโตรเจนตกค้างอยู่มาใช้ พบว่า สามารถเพิ่มน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และพื้นที่ใบของผักกวางตุ้ง ในขณะที่ Sonetra และคณะ (2002) รายงานว่า การใช้น้ำเสียจากโรงงานผลิตยางแผ่นดิบ เปรียบเทียบกับการใช้ ปุ๋ยเคมี และมูลวัว ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนเท่ากัน พบว่า ผลผลิตผักกวางตุ้งที่ใช้ น้ำเสียเจริญเติบโตดีกว่าการใช้มูลวัว และมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกับการใช้ปุ๋ยเคมี

การนำน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเพื่อเป็นแหล่งธาตุพืช เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาความเป็นพิษกับพืชที่ปลูกในบริเวณใกล้โรงงาน อย่างไรก็ตามการนำน้ำเสียมาใช้เป็นธาตุอาหารสำหรับพืช ต้องพิจารณาความเข้มข้นของธาตุอาหาร เพราะหากมีความเข้มข้นสูงเกินไปจะเกิดความเป็นพิษกับพืชได้ง่าย โดยเฉพาะธาตุโบรอนและโซเดียม รวมทั้งสมบัติด้านอื่นๆ เช่น สภาพการนำไฟฟ้าของดินที่แสดงถึงความเค็ม อาจเป็นข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่หากใช้น้ำเสียที่ลดความเข้มข้นลง อาจทำให้พืชมีการตอบสนองในทางที่ดีขึ้น ดังนั้น จึงได้ศึกษาหาแนวทางการนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน ซึ่งมี

ปริมาณโบรอนสูง มาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารพืชและเพื่อ
เป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นปุ๋ยกับพืชต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำการทดลองในเรือนกระจกโดยใช้ชุดดิน
คอหงส์ (Kh : Coarse-loamy, kaolinitic, isohyperther-
mic Typic Kandiodults) ที่สุ่มเก็บหลายๆ จุด ในระดับ
ความลึก 0-15 ซม. จากแปลงปลูกยางพาราของ
เกษตรกรบ้านน้ำน้อย ต.น้ำน้อย อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
นำมาผึ่งแห้งในที่ร่มและร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องตา
0.5 ซม. แล้วบรรจุลงในถุงพลาสติกสีดำเส้นผ่านศูนย์กลาง
16.5 ซม. (น้ำหนักดิน 5 กก./ถุง) และใช้มะเขือเทศเป็น
พืชทดสอบเนื่องจากเป็นพืชที่ทนต่อระดับความเข้มข้น
ของโบรอนได้สูง (ยงยุทธ, 2535) โดยให้ธาตุอาหาร
พื้นฐานที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตก่อนปลูกพืช 1 คิน
(Table 1)

1. การตอบสนองของพืชต่อการใช้น้ำเสียจาก โรงงานแปรรูปไม้อย่างพาราที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยา เฟนตัน

เพาะเมล็ดมะเขือเทศพันธุ์สีดาในถาดเพาะเมล็ด
เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วัน จึงย้ายกล้าปลูกหลังจากย้ายกล้าปลูก
30 วัน จึงให้น้ำเสียในอัตราต่างๆ โดยวางแผนการทดลอง
แบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) 6 ดำรับการทดลอง มี 4 ซ้ำ คือ
ให้น้ำเสียที่ปริมาตร 0 (ควบคุม), 5, 10, 20, 40 และ
100 มล. ตามลำดับ ในการเตรียมน้ำเสียในแต่ละดำรับ
การทดลองจะนำน้ำเสียมาเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 500
มล. แล้วแบ่งรดมะเขือเทศ 2 ครั้ง ครั้งละ 250 มล. ห่างกัน
2 วัน แล้วบันทึกการเจริญเติบโต จำนวนใบ ความสูง
และสังเกตอาการทุกสัปดาห์ เมื่อต้นมะเขือเทศแสดง
อาการชัดเจน (44 วัน) ทำการถอนต้น นำไปอบแห้งที่
อุณหภูมิ 65°C บันทึกน้ำหนักแห้ง และนำไปบดด้วย
เครื่องบดตัวอย่างพืช หลังจากนั้นย่อยด้วยกรดผสม

Table 1. Form and rate of nutrient elements used for basal application.

Element	Form	Rate of application	Rate of application
N	NH ₄ NO ₃	400	1.026
P	NaH ₂ PO ₄ • 2H ₂ O	250	0.641
K	KCl	200	0.513
Ca	CaCl ₂	40	0.103
Mg	MgCl ₂	30	0.077
S	Na ₂ SO ₄	40	0.103
Zn	ZnCl ₂	6	0.015
Cu	CuCl ₂ •2H ₂ O	4	0.010
Mn	MnCl ₂ •4H ₂ O	5	0.012
Mo	Na ₂ MoO ₄ •2H ₂ O	0.4	0.001
Fe	0.1 M FeEDTA	5	0.012

ไนตริกและเพอร์คลอริก (3:1,V/V) เพื่อนำไปวัดโซเดียมด้วยเครื่อง flame photometer และนำตัวอย่างพืชที่บดแล้วอีกส่วนหนึ่งไปเผาเป็นเถ้า เพื่อนำไปวิเคราะห์โบรอนโดยวิธีทำให้เกิดสี (Azomethine-H method) แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer สำหรับตัวอย่างดินหลังสิ้นสุดการทดลองนำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม และร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องผ่าน 2 มม. เพื่อวิเคราะห์ค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้า (ดิน:น้ำ=1:5) ส่วนปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (1 M NH_4OAc pH 7 method) แล้ววัดด้วยเครื่อง Flame Photometer ตามคู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำป็น, 2547) และโบรอนสกัดด้วยน้ำร้อน (Hot-Water Method) แล้วทำให้เกิดสี (Azomethine-H method) และวัดด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer (Soil and Plant Analysis Council, 1999)

2. อิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของพืช

เนื่องจากในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน ยังคงมีธาตุอาหารบางชนิดอยู่ในปริมาณที่สูง และการให้น้ำเสียที่ปริมาตรสูง (40 และ 100 มล.) ทำให้พืชทดสอบแสดงอาการเป็นพิษและตาย ดังนั้นจึงได้ทดสอบหาธาตุอาหารจากน้ำเสียที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษกับพืช โดยทำการทดลองและให้ธาตุอาหารพื้นฐานเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แต่ให้ธาตุฟอสฟอรัสในรูปของ $\text{KH}_2\text{PO}_4 = 0.446$ ก./ถุง (Table 1) หลังจากย้ายกล้าปลูก 30 วัน จึงให้ทำการทดลอง แต่ละทำการทดลอง กำหนดให้มีปริมาณธาตุที่ใช้ทดสอบ เท่ากับความเข้มข้นของธาตุนั้นในน้ำเสีย 100 มล. โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD 6 ทำการทดลอง มี 4 ซ้ำ คือ 1.) ไม่ให้น้ำเสียและธาตุทดสอบ (Control) 2.) ให้น้ำเสีย 100 มล. (+WW) 3.) ให้ธาตุโบรอน 50.7 มก. เตรียมจาก H_3BO_3 (+B) 4.) ให้ธาตุซัลเฟอร์ 26.0 มก. เตรียมจาก K_2SO_4 (+S) 5.) ให้ธาตุแคลเซียม 40.1 มก. เตรียมจาก

CaCl_2 (+Ca) และ 6.) ให้ธาตุโซเดียม 63.0 มก. เตรียมจาก NaCl (+Na) นำธาตุในตำรับการทดลองที่ 3, 4, 5 และ 6 มาละลายในน้ำกลั่น 100 มล. แล้วรดให้กับต้นมะเขือเทศเพียงครั้งเดียว เมื่อต้นมะเขือเทศแสดงอาการชัดเจน (51 วัน) ทำการถอนต้น แล้วจึงเตรียมตัวอย่างพืชเพื่อวิเคราะห์โบรอนและโซเดียมเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 นอกจากนี้ นำตัวอย่างพืชที่ย่อยด้วยกรดผสมไนตริกและเพอร์คลอริก เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่ากะมันโดยวิธีวัดความขุ่น (Turbidimetric method) แล้ววัดด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer ส่วนแคลเซียมวัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำดินมาเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า โบรอนในดิน และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ส่วนแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (1 M NH_4OAc pH 7 method) แล้ววัดด้วยเครื่อง AAS และกำมะถันที่เป็นประโยชน์ในดินสกัดด้วยสารละลาย 0.01 M $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ แล้วนำไปทำให้เกิดความขุ่นและวัดด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer (จำป็น, 2547)

ผลการทดลอง

1. การตอบสนองของพืชต่อการใช้น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราที่ผ่านการบำบัดด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน

การให้น้ำเสียเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะทำการทดลองที่ให้น้ำเสีย 40 และ 100 มล. ทำให้มีโบรอนสะสมในดินสูงขึ้น คือ 5.55 และ 5.60 มก./กก.ดิน ตามลำดับแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) กับไม่ให้น้ำเสียคือ 1.17 มก./กก.ดิน อย่างไรก็ตามการให้น้ำเสียในระดับที่สูงขึ้น ไม่ส่งผลต่อค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าของดิน แต่การให้น้ำเสียเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้โซเดียมตกค้างในดินเพิ่มขึ้นด้วย ($0.20 \text{ cmolc kg}^{-1}$) (Table 2)

Table 2. Soil chemical properties at harvested period

Wastewater (mL)	pH (soil:water,1:5)	EC (soil:water,1:5) dS m ⁻¹	Na (cmol _c kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)
0	4.81	0.16	0.10	1.17 c
5	4.89	0.16	0.14	0.87 c
10	4.73	0.18	0.12	1.47 c
20	4.65	0.18	0.16	2.66 b
40	4.72	0.19	0.15	5.55 a
100	4.77	0.21	0.20	5.60 a
F-test	NS	NS	NS	**
C.V. (%)	3.64	25.41	37.77	20.38

Means followed by different letters in a same column are significantly different by DMRT.

F-test significance level : ** = significantly different at P<0.01 and

NS = not significantly different at P<0.05

การให้น้ำเสียตั้งแต่ 20 มล. ขึ้นไป ต้นมะเขือเทศ เริ่มแสดงอาการผิดปกติ โดยมีขอบใบไหม้ โดยเฉพาะตำรับการทดลอง 100 มล. มะเขือเทศตายหลังจากให้น้ำเสีย 14 วัน (Figure 1 A) จึงทำให้มีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1.79 ก./ต้น ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม (4.99 ก./ต้น) นอกจากนี้ตำรับการทดลองที่ให้น้ำเสีย 100 มล. มีความสูงต่ำกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ คือ 39.90 ซม. แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) กับตำรับการทดลองอื่นๆ และมีจำนวนใบต่ำสุด คือ 14.25 ใบ/ต้น แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (Table 3) ส่วนความเข้มข้นของโซเดียมในพืชไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่การให้น้ำเสียที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้พืชมีความเข้มข้นของโบรอนมากขึ้น โดยเฉพาะตำรับการทดลอง 100 มล. มีค่าสูงสุด คือ 2,265 มก./กก. แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) กับควบคุม คือ 44 มก./กก. (Figure 1 B)

2. อิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของพืช

สมบัติทางเคมีของดินหลังการทดลอง พบว่าปริมาณกำมะถัน โซเดียม พีเอช และค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่ในตำรับการทดลอง +Na ถึงแม้ว่าจะมีแคลเซียมตกค้างในดินสูงสุด (0.20 cmol_c kg⁻¹) แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) กับไม่ให้น้ำเสีย คือ 0.16 cmol_c kg⁻¹ แต่ก็อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันทุกตำรับการทดลอง และในตำรับการทดลอง +WW และ +B มีปริมาณโบรอนตกค้างในดินสูงเท่ากับ 4.58 และ 4.47 มก./กก. ดิน ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.01) กับตำรับการทดลองอื่นๆ โดยตำรับควบคุมมีโบรอนในดิน 0.60 มก./กก. ดิน (Table 4)

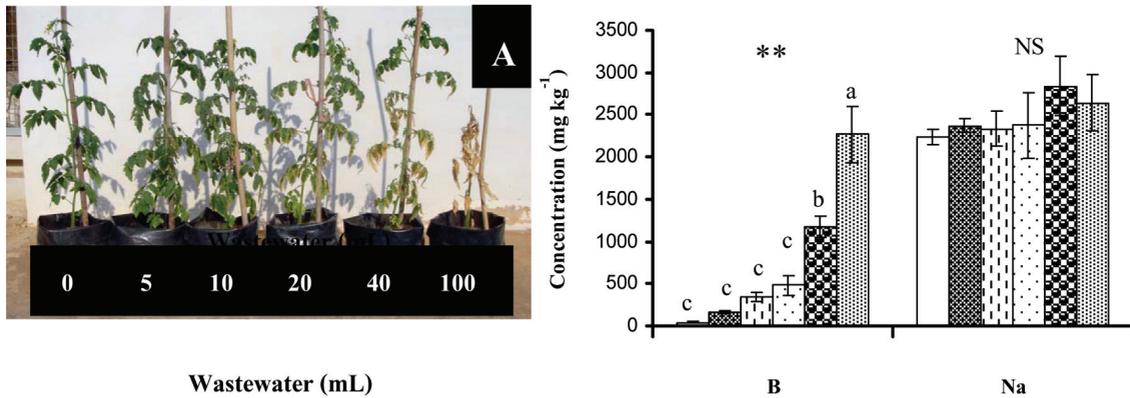


Figure 1. (A) Growth of tomato after 21 days treated with wastewater.
(B) Concentration of B and Na in tomato harvested at 51 days. (means or histograms associated with different letters are significantly different by DMRT) F-test significance level :
** = significantly different at $P \leq 0.05$ and NS = not significantly different at $P \leq 0.05$.

Table 3. Dry matter weight, heights and number of leaves of tomato harvested at 51 days.

Wastewater (mL)	Dry matter weight (g pot ⁻¹)	Height (cm.)	No. of leaf
0	4.99 a	55.75 ab	28.00
5	4.82 a	55.75 ab	20.25
10	4.90 a	49.25 b	24.00
20	4.35 a	57.89 a	23.75
40	3.57 a	57.50 a	25.75
100	1.79 b	39.90 c	14.25
F-test	**	**	NS
C.V. (%)	25.03	9.20	32.80

Means followed by different letters in a same column are significantly different by DMRT.

F-test significance level : ** = significantly different at $P \leq 0.01$ and

NS = not significantly different at $P \leq 0.05$

Table 4. Soil chemical properties at harvested period.

Treatment	pH (soil:water,1:5)	EC (soil:water,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

Means followed by different letters in a same column are significantly different by DMRT.

F-test significance level : * = significantly different at $P \leq 0.05$, ** = significantly different at

$P \leq 0.01$ and NS = not significantly different at $P \leq 0.05$.

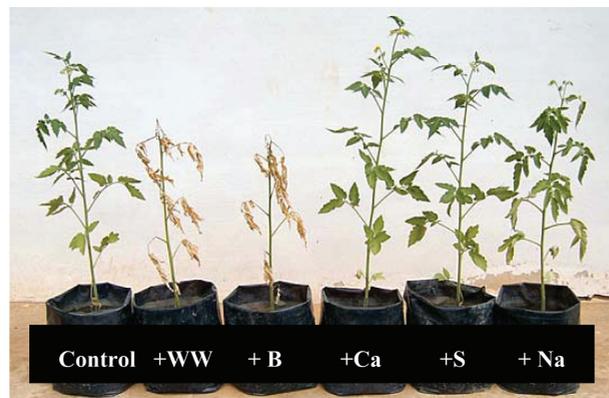


Figure 2. Growth of tomato after 14 days treated with wastewater and element.

ต้นมะเขือเทศตายในตำรับการทดลอง +WW และ +B หลังจากให้น้ำเสีย 14 วัน มีอาการขอบใบไหม้และมะเขือเทศทดสอบตายในลักษณะเดียวกันทั้งสองตำรับการทดลอง (Figure 2) จึงทำให้น้ำหนักแห้งทั้งสองตำรับการทดลองมีค่าต่ำสุด คือ 1.10 และ 1.31 ก./ต้น ตามลำดับแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) กับตำรับการ

ทดลองที่ไม่ให้น้ำเสีย คือ 2.37 ก./ต้น และในตำรับการทดลองเดียวกันนี้มีความสูงต่ำกว่าตำรับการทดลองอื่นๆ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และมีจำนวนใบต่ำสุดคือ 9.5 ใบ/ต้น ทั้งสองตำรับการทดลองแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองอื่นๆ (Table 5)

Table 5. Dry matter weight, heights and number of leaves of tomato harvested at 51 days.

Treatment	Dry matter weight (g pot ⁻¹)	Height (cm.)	No. of leaf
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

Means followed by different letters in a same column are significantly different by DMRT.

F-test significance level : * = significantly different at P<0.05,** = significantly different at P<0.01 and NS = not significantly different at P<0.05.

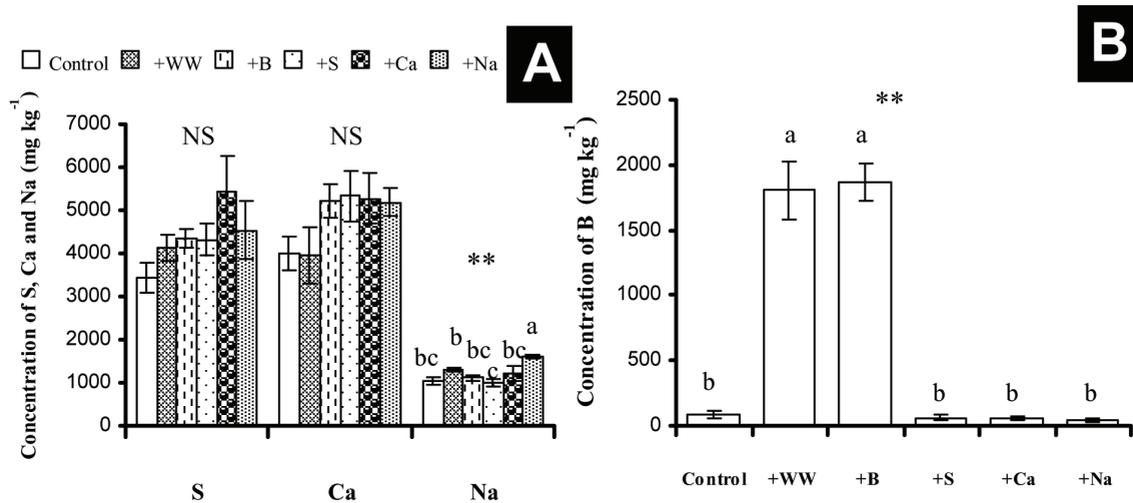


Figure 3. (A) Concentration of S Ca Na and (B) Concentration of B in tomato harvested at 51 days.
(means or histograms associated with different letters are significantly different by DMRT)
F-test significance level : ** = significantly different at P≤0.05 and
NS = not significantly different at P≤0.05.

ในดำรับการทดลองที่ให้โซเดียมมีความเข้มข้นของโซเดียมในพืชสูงสุด คือ 1,608 มก./กก. ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) กับดำรับการทดลองอื่นๆ อย่างไรก็ตามการให้น้ำเสียและธาตุที่ใช้ทดลอง ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของกำมะถันและแคลเซียมในพืช (Figure 3 A) ในขณะที่ดำรับการทดลอง +WW และ +B มีโบรอนในพืชสะสมมากเท่ากับ 1,804 และ 1,867 มก./กก. ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับดำรับการทดลองอื่นๆ (Figure 3 B)

วิจารณ์ผลการทดลอง

การนำน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้อย่างพาราที่มีโบรอนประมาณ 500 มก./ล. เพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช เมื่อนำน้ำเสียเพิ่มมากขึ้นทำให้มีโบรอนสะสมในดินเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ แต่การให้น้ำเสียที่เพิ่มขึ้นไม่ได้มีผลต่อ ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Table 2) สำหรับการเจริญเติบโตของพืช การเพิ่มน้ำเสียมากขึ้นทำให้น้ำหนักแห้งของพืชลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีให้น้ำเสีย โดยเฉพาะการให้น้ำเสีย 40 และ 100 มล. ซึ่งได้รับโบรอนประมาณ 4 และ 10 มก./กก. ดิน ทั้งนี้เนื่องจากพืชได้รับโบรอนเพิ่มมากขึ้นตามน้ำเสียที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของโบรอนในพืชที่มีมากถึง 1,171 และ 2,265 มก./กก. จนทำให้พืชแสดงอาการเป็นพิษ และการเจริญเติบโตลดลง (Table 3) อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่า การให้โบรอนปริมาณเล็กน้อยจะทำให้พืชเจริญเติบโตดีขึ้น แต่สำหรับการทดลองนี้ การให้น้ำเสีย 5 และ 10 มล. ซึ่งได้รับโบรอนประมาณ 0.5 และ 1 มก./กก. ดิน ก็ไม่ได้ทำให้การเจริญเติบโตของมะเขือเทศเพิ่มขึ้นมากกว่าไม่ให้น้ำเสีย ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากปริมาณโบรอนในดินอาจมีอยู่เพียงพอแล้ว ถึงแม้ว่าจะไม่มีการให้น้ำเสียก็มีโบรอนในดินเท่ากับ 1.17 มก./กก. ดิน ซึ่งมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นระดับต่ำสุดของโบรอนในดิน ที่ต้องมีสำหรับปลูกมะเขือเทศให้ได้ผลดี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.10-0.50 มก./กก. ดิน (Bergerm, 1949 และ Keren and Bingham, 1985 อ้างโดย เพิ่มพูน, 2546)

นอกจากนั้นปริมาณโบรอนที่สะสมในพืชก็มีค่าเท่ากับ 43 มก./กก. ซึ่งจัดว่าเพียงพอ โดยมะเขือเทศมีระดับเพียงพอที่ 34-96 มก./กก. (เพิ่มพูน, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับ Gunes และคณะ (2000) ที่ปลูกมะเขือเทศและไม่ให้โบรอน แต่ก็มีโบรอนในพืช 88 มก./กก. และการให้โบรอน 5 มก./กก. ดิน ทำให้น้ำหนักแห้งของมะเขือเทศลดลง

การให้น้ำเสียเพิ่มมากขึ้นทำให้พืชแสดงอาการเป็นพิษ และมีโบรอนสะสมในดินและพืชเพิ่มขึ้นชัดเจน (Table 2) (Figure 1 B) ดังนั้นจึงคาดว่าโบรอนอาจเป็นธาตุที่จำกัดการเจริญเติบโต และทำให้เกิดอาการเป็นพิษ และเพื่อเป็นการยืนยันและพิสูจน์หาสาเหตุของอาการเป็นพิษของพืชที่ได้รับน้ำเสียมากเกินไป จึงได้ทำการทดลองหาอิทธิพลของธาตุอาหารในน้ำเสียต่ออาการเป็นพิษของมะเขือเทศ โดยให้ +B, +S, +Ca และ +Na ที่มีปริมาณธาตุเท่ากับความเข้มข้นในน้ำเสีย 100 มล. (+WW) ซึ่งพบว่า การให้ +B และ +WW ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง และทำให้พืชตายเฉพาะสองดำรับการทดลองนี้เท่านั้น (Figure 2) โดยที่มะเขือเทศมีอาการเบื้องต้น เริ่มจากขอบใบและปลายใบมีสีเหลืองจากใบด้านล่าง แล้วค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและแห้งตาย โดยแสดงอาการเช่นเดียวกับการให้น้ำเสีย 100 มล. ในการทดลองที่ 1 และใบพืชจะแห้งคล้ายไฟไหม้ซึ่งเหมือนอาการเป็นพิษของโบรอน (มุกดา, 2544) ส่วนการไม่ให้น้ำเสียและให้ +S, +Ca และ +Na การเจริญเติบโตของพืชทั้งน้ำหนักแห้งและจำนวนใบไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การให้น้ำเสียที่มีโบรอนมากเกินไปจะทำให้พืชแสดงอาการเป็นพิษ หากต้องการนำน้ำเสียไปใช้จริงควรใช้ปริมาณน้อยกว่า 4 มล./กก. ดิน ซึ่งจะมีปริมาณโบรอนไม่เกิน 2 มก./กก. ดิน จึงไม่ทำให้ มะเขือเทศแสดงอาการเป็นพิษ

โดยทั่วไปแล้วดินในเขตร้อนชื้น ซึ่งมีฝนตกชุก มักขาดแคลนโบรอน เนื่องจากถูกชะล้างไปจากดินได้ง่าย (เพิ่มพูน, 2546) อย่างไรก็ตามพื้นที่บริเวณโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทำกระดาษ กระเบื้องเคลือบ ฟอกหนังสัตว์ และปุ๋ย อาจมีปัญหาเรื่องโบรอน

เป็นพิษได้เพราะ โรงงานเหล่านี้จะใช้กรดบอริกและแร่บอเรตในกระบวนการผลิต และปล่อยออกมาระหว่างการผลิต หรือสิ้นสุดการผลิต จึงทำให้มีโบรอนสะสมในน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำธรรมชาติ (Vengosh *et al.*, 1994 อ้างโดย Noble *et al.*, 1997) นอกจากนั้นโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา ซึ่งมีมากในประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคใต้มีจำนวนถึง 379 โรง (เศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2542 อ้างโดย พาณิช, 2544) และโรงงานประเภทนี้ก็ใช้สารประกอบโบรอนในกระบวนการผลิต และมักปล่อยน้ำเสียออกสู่บริเวณใกล้เคียง จึงทำให้พืชที่ปลูกในบริเวณที่ได้รับน้ำเสียแสดงอาการเป็นพิษเนื่องจากโบรอนได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

การให้น้ำเสียจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราเพิ่มสูงขึ้น ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง และพืชแสดงอาการเป็นพิษ โดยอาการเบื้องต้นเริ่มจากขอบใบและปลายใบมีสีเหลือง จากใบด้านล่าง แล้วค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและแห้งตาย เนื่องจากในน้ำเสียมีธาตุโบรอนมากเกินไปทำให้ไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชและหากนำน้ำเสียมาใช้ในการปลูกมะเขือเทศควรใช้ปริมาณน้อยกว่า 4 มล./กก. ดิน ซึ่งจะมีปริมาณโบรอนไม่เกิน 2 มก./กก. ดิน หากให้น้ำเสียมากกว่านี้จะทำให้ดินมะเขือเทศแสดงอาการเป็นพิษและตาย แต่หากใช้ในความเข้มข้นที่เหมาะสม โดยนำน้ำเสียเหล่านี้ไปใช้กับดินที่มีปริมาณโบรอนต่ำ หรือนำไปใช้กับพืชที่ต้องการโบรอนสูง เช่น ปาล์มน้ำมัน ซึ่งปกติจะใส่ปุ๋ยบอแรกซ์อัตรา 30-40 ก./ตัน/ปี และหากนำน้ำเสียนี้มาใช้โดยไม่มีการเจือจาง ($B = 501$ มก./ล.) จะใช้น้ำเสียประมาณ 7-9 ล./ตัน/ปี ซึ่งสามารถลดต้นทุนการใส่ปุ๋ยบอแรกซ์ได้

เอกสารอ้างอิง

- จำเป็น อ่อนทอง. (2547). คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติและมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. สงขลา.
- ชัยรัตน์ นิลนนท์. (2548). การจัดการปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมัน. ใน เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติและมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.
- พาณิช อุทัยรังษี. (2544). ศักยภาพการส่งออกของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราของไทย. ภาคนิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาธุรกิจเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เพิ่มพูน กิรติศิกร. (2546). โบรอน-จุลธาตุอาหารพืช. ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.
- มุกดา สุขสวัสดิ์. (2544). ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ ฯ.
- ลือพงษ์ แก้วศรีจันทร์. (2547). การบำบัดน้ำเสียที่มีฟีนอลและฟีนอลคลอไรด์ด้วยปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการตกตะกอนด้วยปูนขาว. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. สงขลา.
- สถาบันวิจัยยาง. (2547). ข้อมูลวิชาการยาง 2547. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.
- 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 International Symposium on Lowland

- Technology. 1-3 September, 2004.
Bangkok, Thailand.
- Gunes, A., Alpaslan, M., Cikili, Y. and Ozcan, H. (2003).
The effect of zinc on Alleviation of boron
toxicity in tomato plants (*Lycopersicon
esculentum L.*). Turk. J. Agric., 24 : 505-509.
- Nable, R.O., Banuelos, G.S. and Paull, J.G. (1997).
Bonron toxicity. Plant and Soil, 1933 :
181– 198.
- 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). Effect of
fertilizers (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. [Online]. Available
from. [http://www.utafoundation.org/
utacambod/msc99thes/sonetra2.htm](http://www.utafoundation.org/utacambod/msc99thes/sonetra2.htm).
(Accessed September 29, 2005).