USE OF *Ananas comosus* (L.) Merr. AS INDICATOR FOR TOXICITY OF CHROMIUM AND LEAD IN CONTAMINATED SOIL

Miss Supaporn Pangta

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

การใช้สับปะรดเป็นตัวชี้วัดความเป็นพิษของโครเมียมและตะกั่วที่ปนเปื้อนในดิน

นางสาวสุภาพร แป้งทา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้สับปะรดเป็นตัวชี้วัดความเป็นพิษของโครเมียมและตะกั่วที่ปนเปื้อนในดิน
โดย	นางสาวสุภาพร แป้งทา
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.เชาวน์ นกอยู่)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุภาพร แป้งทา : การใช้สับปะรดเป็นตัวชี้วัดความเป็นพิษของโครเมียมและตะกั่วที่ปนเปื้อนในดิน (Use of *Ananas comosus* (L.) Merr. as Indicator for Toxicity of Chromium and Lead in Contaminated Soil) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ. ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช, 110 หน้า.

การศึกษาการใช้สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย (*Ananas comosus* (L.) Merr.) เป็นตัวชี้วัดความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วที่ปนเปื้อนในดิน โดยทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของโครเมียมและตะกั่วต่อการแสดงอาการของสับปะรดที่ระดับความเข้มข้น 10 ระดับได้แก่ 100, 200, 400, 600, 800, 1,000, 1,500, 2,000, 2,500 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า สับปะรดแสดงความเป็นพิษที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียม 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และที่ระดับความเข้มข้นของตะกั่ว 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นจึงนำมาทดลองในขั้นตอนต่อไป ซึ่งมีการใส่สารโครเมียม และตะกั่วโดยแยกชุดการทดลองกันที่ระดับความเข้มข้น 1,500 และ 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อสับปะรดอายุได้ 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน และมีระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวทุกๆ 30 วันหลังจากใส่สารละลายมีการบันทึกการเจริญเติบโต และการแสดงความเป็นพิษของพืช และทำการเก็บตัวอย่างดิน และสับปะรดแยกเป็นส่วนเหนือดิน (ลำต้นเหนือดิน และใบ) และส่วนใต้ดิน (ลำต้นใต้ดิน และราก) และทำการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม และตะกั่วในสับปะรด และดินปนเปื้อน ผลการทดลอง พบว่า โครเมียม และตะกั่วมีผลต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด ที่ระยะเวลา 180 วันของการทดลอง โดยทำให้สับปะรดชะงักการเจริญเติบโตมากที่สุด ทั้งนี้ชุดควบคุมมีน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินเท่ากับ 56.46 และ 24.57 กรัม ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลองที่ใส่โครเมียมมีน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินเท่ากับ 41.64 และ 14.71 กรัม ตามลำดับ และชุดการทดลองที่ใส่ตะกั่วมีน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินเท่ากับ 43.20 และ 14.73 กรัม ตามลำดับ การศึกษาปริมาณโครเมียม และตะกั่วที่สะสมในพืช พบว่า ปริมาณการสะสมโลหะทั้งสองชนิดในสับปะรดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาของการทดลองเพิ่มขึ้น และสับปะรดสามารถสะสมโลหะทั้งสองชนิดได้มากที่สุดในส่วนใต้ดินที่ระยะเวลา 180 วันของการทดลอง โดยปริมาณโครเมียม และตะกั่วที่สะสมในพืชมีค่าเท่ากับ 7,356.67 และ 6,177.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และที่ระยะเวลา 180 วันของการทดลอง พบว่า โครเมียม และตะกั่วมีผลกระทบต่อการแสดงความเป็นพิษของสับปะรดสูงสุดตามเกณฑ์การให้คะแนนความเป็นพิษมีค่าเท่ากับ 88.78 และ 23.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าโครเมียมมีความเป็นพิษต่อสับปะรดมากกว่าตะกั่ว ซึ่งโครเมียมทำให้ใบตาย ขณะที่ตะกั่วทำให้ใบเหลือง นอกจากนี้ การแสดงความเป็นพิษของโลหะหนักทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นเมื่ออายุของสับปะรดเพิ่มขึ้นด้วย

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต สุภาพร แป้งทา

ปีการศึกษา 2552 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

5087215420 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : *Ananas comosus* (L.) Merr. / INDICATOR / PHYTOTOXICITY / LEAD / CHROMIUM

SUPAPORN PANGTA: USE OF *Ananas comosus* (L.) Merr. AS INDICATOR FOR TOXICITY OF CHROMIUM AND LEAD IN CONTAMINATED SOIL. THESIS ADVISOR: PANTAWAT SAMPANPANISH, Ph.D., 110 pp.

This study focus at using pineapple as an indicator for chromium and lead toxicity levels in contaminated soil. The primary experiment was conducted to study the concentration of chromium and lead that effect pineapple using 10 levels as follows: 100, 200, 400, 600, 800, 1,000, 1,500, 2,000, 2,500 and 3,000 milligram per kilogram. It was found that pineapples show toxicity at chromium concentration level of 1,500 milligram per kilogram and lead concentration level of 2,500 milligram per kilogram. In the experiment, solutions of chromium and lead were added at the level of 1,500 and 2,500 milligram per kilogram, respectively. Test groups were separated when pineapples were 30, 60, 90, 120, 150 and 180 days old. The harvesting occurred every 30 days after chemicals were added. Growth and toxicity of the plant were recorded. Samples of soil and pineapple, which was separated as parts above (trunk above the ground and leaves) and below (trunk below the ground and roots) the ground were collected. Then the amount of chromium and lead in pineapple and contaminated soil were analyzed. It was found that chromium and lead influence the growth of pineapple after 180 days of the experiment. They caused the slowest growth of pineapple. Dry weight of control group for parts above and below the soil were 56.46 and 24.57 grams, respectively. Dry weight of chromium added test group for parts above and below the soil were 41.64 and 14.71 grams, respectively. Dry weight of lead added test group for parts above and below the soil were 43.20 and 14.73 grams, respectively. From the study of chromium and lead accumulated in plant, it was found that the amount of accumulation increases as the duration of the experiment increases. The pineapple accumulated high amounts of both metals in parts below the soil throughout the 180 days of the experiment. The amount of chromium and lead accumulated in the plant were 7,356.67 and 6,177.00 milligram per kilogram, respectively. After 180 days of the experiment, it was found that chromium and lead toxicity was at their highest. The scores were 88.78 and 23.73 percent, respectively. This showed that chromium is more poisonous to pineapple than lead. Chromium caused withered leaves while lead caused yellow leaves. In addition, toxicity of both metals increased as the pineapple aged.

Field of Study : Environmental Science Student's Signature Supaporn Pangta

Academic Year : 2009 Advisor's Signature Pantawat Sampanpanish

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งและความเมตตากรุณาของอาจารย์ ดร.พันธวัศ สัมพันธ์พานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดต่าง ๆ รวมถึงการตรวจแก้วิทยานิพนธ์ให้แก่ผู้วิจัย

กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา ประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์ รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และ ดร.เชาวน์ นกอยู่ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่ง และให้ความอนุเคราะห์ร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

การทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คุณวลีพร คุณอารียา คุณจันทพร ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณสุธินี คุณวราภรณ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์บางส่วน

สุดท้ายนี้ กราบขอบพระคุณพ่อสมบูรณ์ คุณแม่สมหวัง แป้งทา และบุคคลในครอบครัว ที่สนับสนุนให้ทุนการศึกษา และเป็นกำลังใจให้เสมอมา ขอขอบคุณ คุณทิพวรรณ พจนาภรณ์ และเพื่อน ๆ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกคนที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือตลอดจนบุคคลท่านอื่น ๆ ที่มิได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งทางตรง และทางอ้อมแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ความสำคัญและที่มา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 2

1.3 สมมุติฐาน..... 2

1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

1.6 นิยามศัพท์..... 4

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 โลหะหนัก 5

2.1.1ชนิดของโลหะหนักที่ทำการศึกษา..... 5

1) โครเมียม 5

1.1) ลักษณะและคุณสมบัติของโครเมียม..... 5

1.2) การนำมาใช้ประโยชน์..... 5

1.3) การปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม..... 7

1.4) ความเป็นพิษของโครเมียม..... 7

2) ตะกั่ว 10

2.1) ลักษณะและคุณสมบัติของตะกั่ว..... 10

2.2) การนำมาใช้ประโยชน์..... 11

2.3) การปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม..... 11

2.4) ความเป็นพิษของตะกั่ว..... 12

2.2 สับปะรด 13

2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสับปะรด..... 13

บทที่ หน้า

2.2.2 การจำแนกชนิดของสับปะรด..... 14
2.2.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของสับประรด..... 15
2.2.4 การเจริญเติบโตของสับปะรด..... 16
2.3 ความเป็นพิษของโลหะหนักที่มีต่อพืช 17
2.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พืชในการทดสอบโลหะหนัก..... 18
2.3.2 ข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของการใช้พืชในการทดสอบ
ความเป็นพิษ..... 19
1) ข้อได้เปรียบในการใช้พืชทดสอบความเป็นพิษ..... 19
2) ข้อเสียของการใช้พืชในการทดสอบวามเป็นพิษ..... 21
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 22
3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 26
3.1 วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี..... 26
3.1.1 วัสดุอุปกรณ์..... 26
3.1.2 เครื่องมือ..... 27
3.1.3 สารเคมี..... 27
3.2 สถานที่ทำการศึกษา..... 28
3.3 ระยะเวลาที่ทำการศึกษา..... 28
3.4 การเตรียมการทดลอง..... 28
3.4.1 การเตรียมดินและพืช..... 28
1) การเตรียมดิน..... 28
2) การเตรียมพืช..... 29
3.4.2 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อทดสอบความเข้มข้นที่เหมาะสมในการแสดง
ความเป็นพิษของโครเมียมและตะกั่วต่อสับปะรด..... 30
1) การเตรียมดิน..... 30
2) การเตรียมสับปะรด..... 30
3) การเตรียมสารละลาย..... 30
4) การดูแลรักษาและการเก็บตัวอย่าง..... 30
3.5 การดำเนินงานทดลอง..... 31
3.5.1 การเตรียมดิน พืช และสารละลาย..... 31

บทที่ หน้า

1) การเตรียมตัวอย่างดิน..... 31
2) การเตรียมพืช..... 31
3) การเตรียมสารละลาย..... 32
3.5.2 วิธีการดำเนินงาน..... 32
1) การเตรียมดินใส่ภาชนะปลูก..... 32
2) การปลูกพืช..... 32
3) การใส่สาร..... 32
4) การดูแลรักษา..... 33
5) การศึกษาความเป็นพิษ..... 33
3.5.3 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง..... 35
1) การเก็บตัวอย่างดินและพืช..... 35
2) การวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช..... 35
3.5.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ..... 36
4 ผลการศึกษาและอภิปราย..... 37
4.1 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของโครเมียมและตะกั่วที่เหมาะสมต่อการแสดงความเป็นพิษของสับปะรด..... 37
4.2 การศึกษาการแสดงความเป็นพิษของโครเมียมและตะกั่วที่อายุต่างๆ ของสับปะรด..... 43
4.2.1 ลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และปริมาณโลหะหนักของดินทดลอง.. 43
1) คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการทดลอง..... 43
(1) คุณสมบัติของดินก่อนทำการทดลอง..... 43
(2) คุณสมบัติของดินหลังทำการทดลอง..... 44
2) ค่าความเป็นกรด-ด่างและค่าการนำไฟฟ้า 45
(1) ค่าความเป็นกรด-ด่างดินทดลอง..... 45
(2) ค่าการนำไฟฟ้าดินทดลอง..... 47
3) ปริมาณโครเมียมและตะกั่วในดินทดลอง..... 48
4.2.2 ผลของโครเมียมและตะกั่วต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด..... 50
1) ผลของโครเมียมและตะกั่วต่อการเจริญด้านความยาวของสับปะรด..... 50

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

(1) ความยาวของส่วนใต้ดิน..... 50
(2) ความสูงในส่วนเหนือดิน..... 53
2) ผลของโครเมียมและตะกั่วต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของใบสับปะรด..... 55
3) ผลของโครเมียมและตะกั่วต่อการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งของสับปะรด..... 58
(1) ส่วนใต้ดิน..... 58
(2) ส่วนเหนือดิน..... 61
4) ความยาวใบ D-leave..... 63
(1) ความเป็นพิษของโครเมียมต่อความยาวใบ D-leave..... 63
(2) ความเป็นพิษของตะกั่วต่อความยาวใบ D-leave..... 64
5) จำนวนใบต่อต้น..... 65
4.2.3 ผลของโครเมียมและตะกั่วต่อการแสดงอาการความเป็นพิษของสับปะรด..... 67
1) ความเป็นพิษของโครเมียมต่อการแสดงอาการของสับปะรด..... 67
2) ความเป็นพิษของตะกั่วต่อการแสดงอาการของสับปะรด..... 70
4.2.4 ตัวชี้วัดการแสดงความเป็นพิษของโครเมียมและตะกั่วต่อสับปะรดที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง..... 73
4.2.5 ความสามารถในการดูดดึงโครเมียมและตะกั่วของสับปะรด..... 78
1) ปริมาณโครเมียมและตะกั่วทั้งหมดที่สะสมในส่วนต่างๆ ของสับปะรด..... 78
2) ปริมาณโครเมียมไตรวาเลนท์และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในส่วนต่างๆ ของสับปะรด..... 80
4.2.6 สมดุลมวลการดูดดึงโครเมียมและตะกั่วของสับปะรด..... 83
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 85
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 85
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 86

บทที่ หน้า

รายการอ้างอิง..... 87
ภาคผนวก ก..... 96
ภาคผนวก ข..... 99
ภาคผนวก ค..... 102
ภาคผนวก ง..... 106
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 110

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติของธาตุโครเมียม.....	6
2.2	ปริมาณโครเมียมที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม.....	8
2.3	สมบัติของธาตุตะกั่ว.....	10
3.1	คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีเบื้องต้นที่ใช้ในการทดลอง.....	29
3.2	การประเมินความเป็นพิษของสับปะรดหลังจากได้รับโลหะหนักด้วยสายตา.....	33
4.1	การแสดงลักษณะความเป็นพิษของสับปะรด จากดินปนเปื้อนโครเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ	38
4.2	การแสดงลักษณะความเป็นพิษของสับปะรด จากดินปนเปื้อนตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ	40
4.3	ความสามารถในการดูดดึงโครเมียม และตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสับปะรด	42
4.4	สมบัติทางกายภาพ และเคมีของดินที่ใช้ในการทดลอง.....	44
4.5	สมบัติทางกายภาพ และเคมีของดินหลังทำการการทดลอง (30 วัน).....	45
4.6	การเจริญเติบโตด้านความยาวของสับปะรดในส่วนใต้ดินที่ได้รับสารละลายโครเมียม ที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน.....	52
4.7	การเจริญเติบโตด้านความยาวของสับปะรดในส่วนใต้ดินที่ได้รับสารละลายตะกั่ว ที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน.....	52
4.8	การเจริญเติบโตด้านความสูงของสับปะรดในส่วนเหนือดินที่ได้รับสารละลายโครเมียมที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน.....	54
4.9	การเจริญเติบโตด้านความสูงของสับปะรดในส่วนเหนือดินที่ได้รับสารละลายตะกั่ว ที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน.....	55
4.10	ผลของโครเมียมอัตราการเติบโตสัมพัทธ์ความยาวใบ D-leave ของสับปะรด	56
4.11	ผลของตะกั่วต่ออัตราการเติบโตสัมพัทธ์ความยาวใบ D-leave ของสับปะรด	57
4.12	น้ำหนักแห้งของสับปะรดในส่วนใต้ดินที่ได้รับสารละลายโครเมียม ที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน.....	60

4.13	น้ำหนักแห้งของสับปะรดในส่วนใต้ดินที่ได้รับสารละลายตะกั่ว ที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน……	60
4.14	น้ำหนักแห้งของสับปะรดในส่วนเหนือดินที่ได้รับสารละลายโครเมียม ที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน……	62
4.15	น้ำหนักแห้งของสับปะรดในส่วนเหนือดินที่ได้รับสารละลายตะกั่ว ที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน……	63
4.16	จำนวนใบของสับปะรดที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง……	66
4.17	เกณฑ์การให้คะแนน ความเป็นพิษของโครเมียมต่อการแสดงอาการความเป็นพิษของสับปะรด……	67
4.18	เปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษของโครเมียมต่อการแสดงอาการความเป็นพิษของสับปะรดที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง……	70
4.19	เกณฑ์การให้คะแนน ความเป็นพิษของตะกั่วต่อการแสดงอาการความเป็นพิษของสับปะรด……	70
4.20	เปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษของตะกั่วต่อการแสดงอาการความเป็นพิษของสับปะรดที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง……	72
4.21	ตัวชี้วัดการแสดงความเป็นพิษของโครเมียมต่อสับปะรดที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง……	74
4.22	ตัวชี้วัดการแสดงความเป็นพิษของตะกั่วต่อสับปะรดที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง……	75
4.23	การแสดงความเป็นพิษของพืชจากการขาดธาตุอาหารต่างๆ……	76
4.24	การแสดงความเป็นพิษของพืชจากโรคพืช……	77
4.25	มวลสมดุลของการดูดดึงโครเมียม และตะกั่วโดยสับปะรด……	84

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังขอบเขตการวิจัย.....	3
4.1	ลักษณะการแสดงความเป็นพิษของโครเมียมต่อสับปะรด จากดินปนเปื้อนโครเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ.....	39
4.2	ลักษณะการแสดงความเป็นพิษของตะกั่วต่อสับปะรด จากดินปนเปื้อนตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ.....	41
4.3	ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง.....	46
4.4	ค่าการนำไฟฟ้าของดินที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง.....	48
4.5	ปริมาณโครเมียม และตะกั่วในดินที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง.....	49
4.6	ปริมาณการสะสมโครเมียม และตะกั่วในดินควบคุมไม่มีการปลูกพืช ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง.....	49
4.7	ผลของโครเมียม และตะกั่วต่อการเจริญด้านความยาวในส่วนใต้ดินของสับปะรด.....	50
4.8	ผลของโครเมียม และตะกั่วต่อการเจริญด้านความสูงในส่วนเหนือดินของสับปะรด.....	53
4.9	ผลของโครเมียม และตะกั่วต่อการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งในส่วนใต้ดินของสับปะรด.....	59
4.10	ผลของโครเมียม และตะกั่วต่อการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินของสับปะรด.....	61
4.11	ผลของโครเมียมต่อความยาวใบ D-leave ของสับปะรด.....	64
4.12	ผลของตะกั่วต่อความยาวใบ D-leave ของสับปะรด.....	65
4.13	เปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษของโครเมียมที่มีต่อสับปะรด.....	68
4.14	เปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษของตะกั่วที่มีต่อสับปะรด.....	71
4.15	ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดที่สะสมในส่วนเหนือดินของสับปะรด.....	79
4.16	ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดที่สะสมในส่วนใต้ดินของสับปะรด.....	79
4.17	ปริมาณการสะสมโครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในส่วนเหนือดินของสับปะรด.....	81
4.18	ปริมาณการสะสมโครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในส่วนใต้ดินของสับปะรด.....	82

รูปประกอบภาคผนวก หน้า

ง 1	กรณีการลักลอบทิ้งกากของเสียอันตรายบริเวณแปลงปลูกสับปะรด ตำบลมาบข่า อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง.....	106
ง 2	การเตรียมดิน และพืช.....	106
ง 3	การเตรียมภาชนะปลูก และการปลูกสับปะรดลงในภาชนะปลูก.....	107
ง 4	การวัดความสูง และความยาวรากของสับปะรด.....	107
ง 5	สับปะรดชุดควบคุม มีลักษณะสีเขียวปกติ.....	108
ง 6	การแสดงความเป็นพิษของสับปะรดเมื่อได้รับสารโครเมียมที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน มีลักษณะใบไหม้ (Necrosis) บริเวณกลางใบ และเกิดการตายของเนื้อเยื่อพืช.....	108
ง 7	การแสดงความเป็นพิษของสับปะรดเมื่อได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้น 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน มีอาการใบเหลืองทั่วทั้งใบ.....	109
ง 8	เครื่องไมโครเวฟ (Microwave Digestion) เครื่องอะตอมมิคแอปซอร์ชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer; AAS) และเครื่องยูวี-สเปกโตรโฟโตรมิเตอร์ (UV-Spectrophotometer).....	109

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในช่วงระยะเวลา 2-3 ทศวรรษที่ผ่านมา กระแสความตื่นตัวในเรื่องสิ่งแวดล้อมได้แผ่ขยายไปทั่วโลก สืบเนื่องมาจากการขยายตัวของการผลิตทางด้านอุตสาหกรรมเพื่อตอบสนองความต้องการของประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น (ณรงค์ ณ เชียงใหม่, 2525) ประเทศไทยได้มีการขยายตัวทางอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10 ต่อปี (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ, 2535)

นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เริ่มดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 มีเนื้อที่ดำเนินการประมาณ 7,092 ไร่ (เป็นพื้นที่เพื่อการพาณิชย์/ที่อยู่อาศัย 1,490 ไร่) ปัจจุบันมีจำนวนโรงงานที่เป็นอุตสาหกรรมหนักขนาดใหญ่ประมาณ 70-80 โรงงาน เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมเหล็กกล้า อุตสาหกรรมอิเล็คทรอนิคส์ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมปุ๋ย และสารเคมี โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า โรงกลั่นน้ำมัน โรงแยกก๊าซ เป็นต้น ซึ่งแต่ละประเภทอุตสาหกรรมมักก่อให้เกิดแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ น้ำเสีย และกากสารพิษขนาดใหญ่ แม้กระทั่งสถานที่ฝังกลบขยะ และแหล่งกำจัดกากของเสียอุตสาหกรรมก็มารวมกันอยู่ในนิคมแห่งนี้ จากการพัฒนาภาคอุตสาหกรรมในพื้นที่อย่างรวดเร็ว และการรวมกลุ่มของอุตสาหกรรมในพื้นที่ทำให้ประสบกับปัญหาการบริหารจัดการด้านสิ่งแวดล้อม และอาชีวอนามัย ทำให้เกิดการทิ้งของเสียอันตราย และสารพิษต่างๆ ลงสู่ดิน และแหล่งน้ำโดยเฉพาะเกิดการตกค้างของโลหะหนักในดิน ซึ่งปะปนมากับกากของเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับปัญหาดังกล่าว พบว่า สาเหตุหนึ่งเกิดจากการลักลอบทิ้งกากของเสียอันตรายในพื้นที่ว่างเปล่า ริมถนน ริมชายป่า พื้นที่ทำการเกษตร และแหล่งอื่นๆ โดยเฉพาะกรณีการลักลอบทิ้งกากของเสียอันตรายในพื้นที่ที่ทำการศึกษา ตำบลมาบข่า อำเภอพัฒนานิคม จังหวัดระยอง ซึ่งเป็นสารพิษประเภทยาหมดอายุ และกากตระกรันโลหะจากอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ใน อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี (เดลินิวส์ออนไลน์, 2551) ผลกระทบจากการลักลอบทิ้งของเสียอันตรายดังกล่าว ทำให้สารพิษจำพวกโลหะเกิดการสะสม ดูดซับ และรวมเป็นเนื้อเดียวกับดิน ยากต่อการสลายตัว หากมีการสะสมมากเกินกว่าที่ดินจะดูดซับไว้ได้ อาจทำให้บางส่วนของโลหะละลายออกมาในรูปที่พืชสามารถดูดซึมเข้าไปสู่ราก และแพร่กระจายเข้าไปในส่วนต่างๆ ของพืช ดังนั้นการสะสมของโลหะหนักจึงมักส่งผลกระทบต่อพืช และถ่ายทอดสู่ห่วงโซ่อาหารต่อไป

นอกจากนี้ การปนเปื้อนของสารพิษเป็นปัญหาที่สำคัญหากไม่มีการป้องกันหรือควบคุมปริมาณสารพิษที่ปนเปื้อนในดิน พื้นที่ทำการเกษตร และพืชทางการเกษตร (พิชิต พงษ์สกุล

และสุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์, 2545) ดั้งนั้น การใช้พืชเพื่อการทดสอบความเป็นพิษ จึงเป็นเครื่องมือในการประเมินสารพิษต่างๆ หากมีการแสดงอาการของพืชตลอดจนกลไก และกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในพืช จะช่วยให้ประชาชนมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องพฤติกรรมการแสดงความเป็นพิษของพืช ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาความเป็นพิษต่อชนิดพันธุ์พืชที่เป็นตัวชี้วัดที่เหมาะสมต่อระดับการปนเปื้อนของเสียอันตรายในพื้นที่ โดยชนิดพืชนั้นสามารถบ่งบอกถึงระดับการปนเปื้อนของสารพิษ ซึ่งถือได้ว่าเป็นนวัตกรรมใหม่ของการศึกษาปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ไม่ใช่การติดตามตรวจสอบแต่เพียงอย่างเดียว

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาความสามารถในส่วนใต้ดิน และส่วนเหนือดินของสับปะรดในการดูดดึงและสะสมของโครเมียม และตะกั่ว

1.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณการสะสมโครเมียม และตะกั่วในส่วนใต้ดินและส่วนเหนือดินของสับปะรดต่อการแสดงความเป็นพิษของสับปะรดในระยะเวลาต่างๆ

1.2.3 เพื่อสร้างตัวชี้วัดในการแสดงอาการความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วที่ระยะเวลาต่างๆ และศึกษาความเป็นพิษของโลหะหนักที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด

1.3 สมมุติฐาน

1.3.1 ความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วมีผลต่อการเจริญเติบโต และการแสดงความผิดปกติของสับปะรด

1.3.2 การแสดงความเป็นพิษของสับปะรดต่อการสะสมโครเมียม และตะกั่วสามารถนำมาสร้างเป็นตัวชี้วัดเพื่อเฝ้าระวัง และแจ้งเหตุต่อชุมชนได้

1.3.3 ความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วที่มีต่อสับปะรดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทดลองเพิ่มขึ้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ดินที่ใช้ในการทดลองได้ทำการขุดมาจากบริเวณพื้นที่ตำบลมาบข่า อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง

1.4.2 โลหะหนักที่ทำการศึกษาวิจัย ได้แก่ สารละลายมาตรฐานตะกั่ว คือ เลดไนเตรท (Lead (II) nitrate; $Pb(NO_3)_2$) และสารละลายมาตรฐานโครเมียม คือ โปตัสเซียมไดโครเมท (Potassium dichromate; $K_2Cr_2O_7$)

1.4.3 พืชที่ทำการศึกษาวิจัย คือ สับปะรด พันธุ์ปัตตาเวีย *Ananas comosus* (L.) Merr.

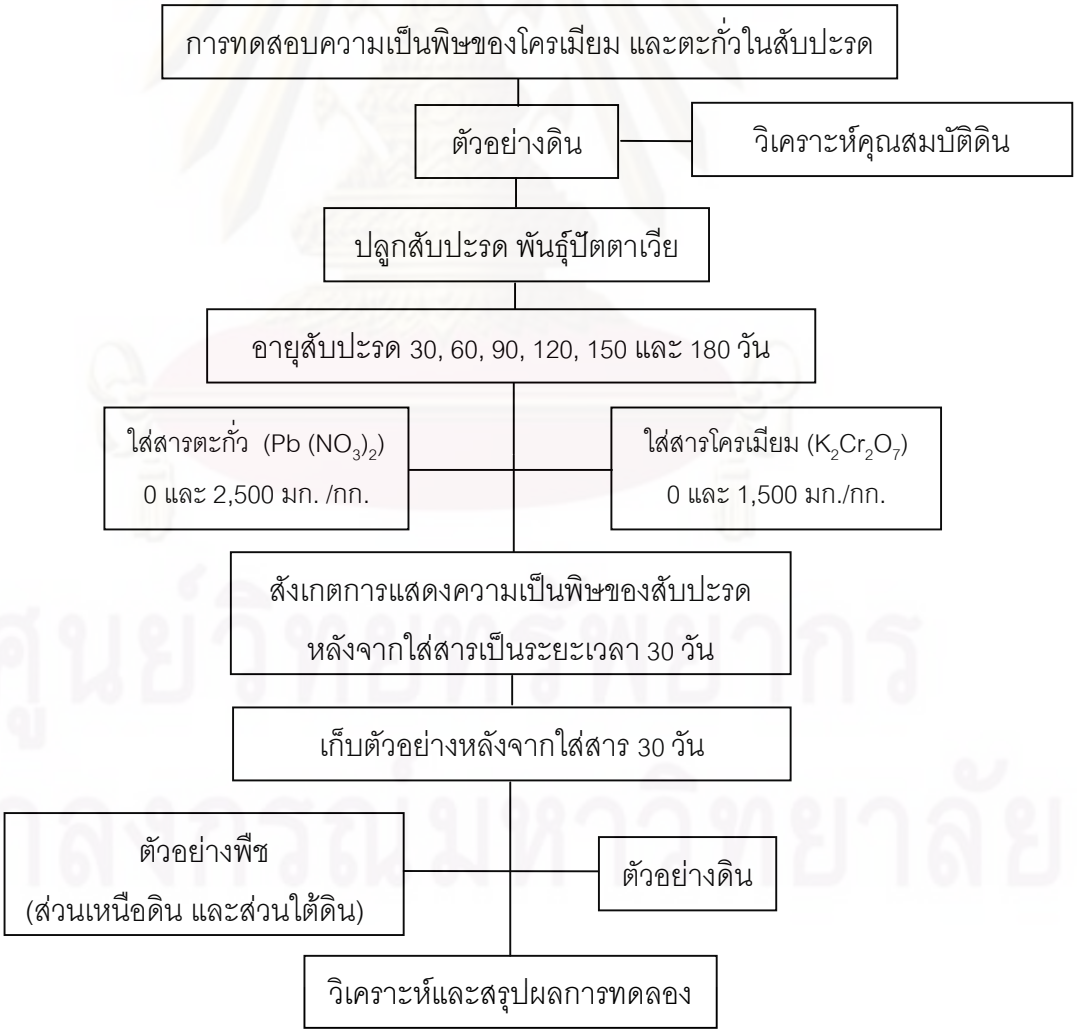
1.4.4 ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมเท่ากับ 0 และ 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตะกั่วเท่ากับ 0 และ 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยใส่สารละลายที่อายุของสับปะรด 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน

1.4.5 สังเกต และเก็บบันทึกอาการความเป็นพิษต่อสับปะรดเป็นระยะเวลา 30 วัน หลังจากใส่สารละลายโครเมียม และตะกั่ว

1.4.6 เก็บตัวอย่างดิน และพืช ทุกๆ 30 วันหลังจากใส่สารละลายเป็นระยะเวลา 210 วัน และแยกสับปะรดออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนเหนือดิน (ลำต้นเหนือดิน และใบ) และส่วนใต้ดิน (ลำต้นใต้ดิน และราก)

1.4.7 วิเคราะห์ตัวอย่างดิน และพืช โดยทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมทั้งหมด (TCr) โครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ [Cr (VI)] โครเมียมไตรวาเลนซ์ [Cr (III)] และปริมาณตะกั่วทั้งหมด (TPb)

ทั้งนี้ ขอบเขตของการศึกษาสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนผังขอบเขตการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบปริมาณการสะสม และลักษณะอาการหรือการแสดงความเป็นพิษของต้นสับปะรดจากดินที่ปนเปื้อนโครเมียม และตะกั่วบริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

1.5.2 ทราบความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่ว ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด

1.5.3 ประชาชนสามารถเห็นหรือสังเกตด้วยสายตา จากลักษณะการแสดงความเป็นพิษของสับปะรดจากดินที่ปนเปื้อนโครเมียม และตะกั่วได้

1.5.4 เพื่อเป็นการเฝ้าระวังการลักลอบทิ้งของเสียอันตรายที่ปนเปื้อนโครเมียม และตะกั่วเบื้องต้น บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง

1.6 นิยามศัพท์

1.6.1 การใช้พืชในการทดสอบความเป็นพิษ (Phytotoxicity test) หมายถึง การใช้พืชเพื่อศึกษาผลกระทบของสารเคมีที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ในพืชชั้นสูง วิธีที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ การสังเกตการพัฒนาหรือการเจริญเติบโตของพืช และการประเมินผลโดยการวิเคราะห์ทางเคมี ซึ่งในการทดสอบส่วนใหญ่ต้องใช้ระยะเวลาในการศึกษาจึงจะทราบผลกระทบของสารเคมีที่มีต่อพืชได้

1.6.2 ตัวชี้วัด (Indicator) หมายถึง สิ่งมีชีวิตหรือกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมขณะนั้น และมีการตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมนั้นๆ เช่น การเพิ่มขึ้นหรือการลดลงของสิ่งมีชีวิตเป็นตัวชี้วัดบอกถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจน สภาพภูมิอากาศ หรือการเพิ่มขึ้นของสารพิษ ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตที่มีต่อปัจจัยนั้นๆ เป็นสำคัญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โลหะหนัก (Heavy metal)

ธาตุที่ค้นพบในปัจจุบันซึ่งมีทั้งเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ และมนุษย์สังเคราะห์ขึ้นรวมกันทั้งสิ้นจำนวน 105 ธาตุ และเป็นโลหะหนักจำนวน 68 ธาตุ

โลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีเลขอะตอม (Atomic number) อยู่ในช่วง 23-92 ธาตุโลหะหนักจัดเป็นพิษ (Toxic element) ที่สามารถทำให้เกิดมลพิษเมื่อมีการปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2541)

2.1.1 ชนิดของโลหะหนักที่ทำการศึกษา

1) โครเมียม (Chromium)

1.1) ลักษณะและคุณสมบัติของโครเมียม

โครเมียมมีสัญลักษณ์ธาตุ คือ Cr เป็นธาตุทรานซิชันในหมู่ VIB มีเลขอะตอมเท่ากับ 24 น้ำหนักอะตอม 51.996 มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1,890 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นเท่ากับ 7.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความสุกใส มีความมันวาว ความฝืดต่ำ ไม่เป็นสนิม จึงมักนำมาผสมหรือชุบโลหะอื่นๆ เป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดี โดยปกติโครเมียมจะไม่พบอยู่ในรูปของโลหะอิสระตามธรรมชาติ ทั้งนี้สมบัติของโครเมียมแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.1

1.2) การนำมาใช้ประโยชน์

เนื่องจากโครเมียมมีคุณสมบัติเด่น คือ มีจุดหลอมเหลวสูง ทนต่อความร้อนได้ดี จึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง ฟอกหนัง ผลิตเหล็ก สีทา สีย้อม สิ่งทอ และปิโตรเลียม เป็นต้น โครเมียมอยู่ในรูปของสารประกอบที่แตกต่างกันตามการใช้งานของอุตสาหกรรม จากคุณสมบัติที่โครเมียมมีความมันวาว และไม่เป็นสนิมของโครเมียม ทำให้มีการ

นำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการชุบโลหะ เช่น ชุบเหล็ก เนื่องจากโลหะมีความแข็ง เหนียว และทนทาน ป้องกันไม่ให้เกิดสนิมของเหล็ก และทนต่อการผุกร่อนได้ดี

ตารางที่ 2.1 สมบัติของธาตุโครเมียม

คุณสมบัติ	รายละเอียด
เลขอะตอม	24
น้ำหนักอะตอม	51.996 amu
จุดหลอมเหลว	1,875°C
จุดเดือด	2,199°C
ความร้องแฝงของการหลอมเหลว	3.2 cal/g
ความร้อนจำเพาะ	0.11 cal/g^{0}C
ความหนาแน่นที่ 20^{0}C	7.19 g/cc
โครงสร้างอิเลคโทรนิค	[Ar] $4s^{1}3d^{5}$
เลขออกซิเดชันสามัญ	+2, +3, +6
ไอโซโทปเสถียร	^{50}Cr (4.31%), ^{52}Cr (83.76 %) ^{53}Cr (9.55%), ^{54}Cr (2.356 %)
โครงสร้างผลึก (ที่ 20°C)	Body – centered cubic
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ	339.5 KJ/mol
ความร้อนจำเพาะที่ 25°C	23.35 J/(mol·K)
การนำความร้อนที่ 300 K	93.9 W/(m·K)
ความต้านทนไฟฟ้าที่ 20^{0}C	125 nΩ·m
ความดันไอที่ 1656^{0}C	1 mm
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนที่ 25°C	4.9 μm/(m·K)
ความแข็ง (Brinell hardness number)	8.5
ความร้องแฝงของการหลอมเหลว	21.0 KJ/mol
ความแข็งโมห์ส	8.5
ความแข็งบริเนล	1,120 MPa

1.3) การปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

โครเมียมถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างกว้างขวาง การปนเปื้อนของโครเมียมสู่สิ่งแวดล้อมนั้นส่วนใหญ่เกิดจากการทิ้งของเสียอันตรายหรือน้ำเสียที่มีโครเมียมปะปนอยู่ลงสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งทางอากาศ ทางน้ำ และทางดิน อากาศที่ปนเปื้อนโครเมียมจะตกลงสู่ดินหรือน้ำ โดยในดินนั้นสามารถพบโครเมียมได้ในรูปของโครเมียมไตรวาเลนซ์ Cr (III) และโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ Cr (VI) ซึ่งโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ไม่ตกตะกอนหรือเข้ารวมตัวกับพันธะของดิน ดังนั้น จึงซึมผ่านจากดินไหลลงสู่น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินได้ ส่วนโครเมียมไตรวาเลนซ์ที่เหลืออยู่ในดินจะสามารถออกซิไดซ์ (Oxidized) อย่างช้าๆ กลายเป็นโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์

การปนเปื้อนของโครเมียมสามารถอยู่ได้ในสิ่งแวดล้อมทั้งในดิน อากาศ และน้ำ โดยในดินปกติโครเมียมมีค่าอยู่ระหว่าง 10-50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุต้นกำเนิดของดินด้วย เช่น ในดินอัลตราเมฟิก (Ultramafic)หรือดินเซอเพนทิน (Serpentine) สามารถมีโครเมียมได้ถึง 125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (Adriano, 1986) ในน้ำจืดโดยปกติมีค่าของโครเมียมอยู่ระหว่าง 0.1-117 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนในน้ำทะเลมีค่าระหว่าง 0.2-50 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับโครเมียมในบรรยากาศมีความแตกต่างกันมากในอากาศ ความเข้มข้นพื้นฐานของโครเมียมอยู่ระหว่าง $5x10^{-6}$-$3x10^{-3}$ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และจากการเก็บตัวอย่างอากาศในเมืองซึ่งเป็นพื้นที่ควบคุมของประเทศแอนตาร์กติกา และกรีนแลนด์ พบโครเมียมในอากาศถึง 0.015-0.030 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Nriagu, 1988) นอกจากนี้ โครเมียมเฮกซะวาเลนซ์เป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง เนื่องด้วยมีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Redox potential) ที่สูงถึง 1.33-1.38 อิเล็กตรอนโวลต์ ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้โครเมียมเฮกซะวาเลนซ์เกิดความเป็นพิษสูง และรวดเร็ว (Shanker et al, 2004a,b, in press) โดยปริมาณโครเมียมที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 2.2

1.4) ความเป็นพิษของโครเมียม

โครเมียมเป็นสารที่มีความเป็นพิษที่รู้จักกันแพร่หลาย เป็นสารที่ออกซิไดซ์ที่รุนแรง (Strong oxidant) และทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับสารอินทรีย์ ซึ่งโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์จัดเป็นสารอันตราย และเป็นพิษมากกว่าโครเมียมไตรวาเลนซ์เป็นร้อยเท่า (Wang et al, 1992)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณโครเมียมที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

ชนิดของตัวอย่าง	ความเข้มข้น
Natural soils	5–1,000 mg kg^{-1}
	5–3,000 mg kg^{-1}
	5–1,500 mg kg^{-1}
	30–300 mg kg^{-1}
	trace to 5.23%
Serpentine soils	634–125,000 mg kg^{-1}
World soils	200 mg kg^{-1} (mean)
	100–300 mg kg^{-1}
	10–150 mg kg^{-1} (mean 40 mg kg^{-1})
US soils	25–85 mg kg^{-1} (mean 37 mg kg^{-1})
	57 mg kg^{-1} (mean)
Canadian soils	100–5000 mg kg^{-1}(mean 43 mg kg^{-1})
Japanese soils	87 mg kg^{-1} (mean)
Swedish soils	74 mg kg^{-1} (mean)
Sediments	0–31,000 mg kg^{-1}
Fresh water	0–117 Ag L^{-1} (average 9.7 Ag L^{-1})
Sea water	0–0.5 Ag L^{-1}
Air	1–545,000 ng m^3
	100 ng m^3
Plants	0.006–18 mg kg^{-1}
Animals	0.03–1.6 mg kg^{-1}

ที่มา : Zayed and Terry (2003)

1.4.1) ความเป็นพิษต่อมนุษย์

โครเมียมเป็นโลหะหนักที่ไม่จำเป็นต่อการดำรงชีพของมนุษย์ เมื่อหายใจเอาโครเมียมเข้าไปจะทำให้เกิดอาการเนื้องอกในปอด และอาจชักนำให้เกิดเป็นมะเร็งได้ รวมถึงทำให้เกิดอันตรายต่อกระเพาะ ตับ ไต นอกจากนี้ โครเมียมยังทำให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินอาหาร อย่างไรก็ตาม เมื่อร่างกายมนุษย์ได้รับโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์เข้าไปเพียงเล็กน้อย จะเป็น

สารก่อมะเร็ง และสร้างโรคเรื้อรังต่อร่างกาย ทำลายอวัยวะต่างๆ กัดกร่อนผิวหนัง ทำให้ระบบทางเดินหายใจเสีย ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มที่กำหนดโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกากำหนดให้มีโครเมียมได้ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในประเทศไทยกระทรวงอุตสาหกรรมยินยอมให้ทิ้งโลหะหนักทุกชนิดลงในน้ำรวมไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (มนัส สถิรจินดา, 2541)

1.4.2) ความเป็นพิษต่อสัตว์

จากการศึกษาของ Pickering and Henderson (1966) พบว่า ปลาจะมีโอกาสในการรับพิษของโครเมียมน้อยกว่าสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง โดย พบว่า ในเวลา 90 ชั่วโมง LC_{50} ของโครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์มีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำจืดมีค่าระหว่าง 3.5-118 มิลลิกรัมต่อลิตร สาเหตุที่มีความแตกต่างมาก เนื่องจากปลามีการการตอบสนองที่แตกต่างกันในแต่ละชนิด นอกจากนี้ ค่า pH ของน้ำ และขนาดของตัวปลามีผลต่อความเป็นพิษด้วย โดย Van der Putte et al. (1981) พบว่า LC_{50} ของปลา Rainbow trout ลดลงจาก 53 เป็น 16 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลงจาก 7.8 เป็น 6.5 และความเป็นพิษจะเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า เมื่อน้ำหนักของปลาลดลงจาก 13 เป็น 0.1 กรัม นอกจากนี้ อุณหภูมิยังมีผลต่อการรับพิษของปลา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของปลาด้วยเช่นเดียวกัน

1.4.3) ความเป็นพิษต่อพืช

โครเมียมเป็นสารประกอบที่มีความเป็นพิษสูงต่อพืช ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช แม้ว่าปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมที่ระดับ 3.8 x10^{-4} μM พืชบางชนิดไม่แสดงความเป็นพิษ (Huffman and Allaway, 1973a, b) โครเมียมที่มีความเป็นพิษสูง และส่งผลต่อน้ำหนักแห้งของพืชที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 100 ไมโครโมลต่อกิโลกรัม (Davies et al, 2002) นอกจากนี้ Yongpisanphop (2003) ทำการศึกษาความเป็นพิษของตะกั่วต่อต้นแว่นแก้ว พบว่า ความเป็นพิษของโครเมียมที่ระดับความเข้มข้นที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ใบของพืชน้ำต้นแว่นแก้วตายได้

2) ตะกั่ว (Lead)

2.1) ลักษณะและคุณสมบัติของตะกั่ว

ตะกั่ว มีสัญลักษณ์ คือ Pb เป็นโลหะสีเงินปนเทา อยู่ในหมู่ที่ IVA ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 82 น้ำหนักอะตอม 207.19 ค่าความถ่วงจำเพาะ 11.35 จุดหลอมเหลว และจุดเดือด 327.4 และ1,725 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Harrison and Laxen, 1981) ตะกั่วเป็นโลหะที่พบในสิ่งแวดล้อมทั่วไป ทั้งในดิน น้ำ อากาศ พืช และดินตะกอน โดยปกติพื้นผิวโลกมีตะกั่วในอยู่ในช่วง 10-15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในดินชั้นบน (Top soil) พบว่า ตะกั่วอยู่ในช่วง 10-30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Tidball, 1976) ทั้งนี้ สมบัติของตะกั่วสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติของธาตุตะกั่ว

คุณสมบัติ	รายละเอียด
เลขอะตอม	82
น้ำหนักอะตอม	207.19 amu
จุดหลอมเหลว	327 ^{0}C
จุดเดือด	1749 ^{0}C
ความหนาแน่นที่ 20 ^{0}C	11.34 g/cc
โครงสร้างอิเลคโทรนิค	[Xe]6s^{2}4f^{14}5d^{10}6p^{2}
เลขออกซิเดชั่นสามัญ	+2, +4
โครงสร้างผลึก	cubic face centered
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ	179.5 KJ/mol
ความร้อนจำเพาะที่ 25^{0}C	26.650 J/(mol·K)
การนำความร้อนที่ 300 K	35.3 W/(m·K)
ความต้านทนไฟฟ้าที่ 20 ^{0}C	208 nΩ·m
ความดันไอที่ 987 ^{0}C	1 mm
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (ที่ 25^{0}C)	28.9 μm/(m·K)
ความแข็ง (Brinell hardness number)	4.2
ความร้องแฝงของการหลอมเหลว	4.77 KJ/mol
ความแข็งโมห์ส	1.5
ความแข็งบริเนล	38.3 MPa

2.2) การนำมาใช้ประโยชน์

มนุษย์นำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ 2 รูปแบบ คือ ในรูปของโลหะ (Metallic from) และในรูปของสารประกอบเคมี โดยใช้ตะกั่วในรูปของโลหะอิสระ 40 เปอร์เซ็นต์ สารประกอบ 35 เปอร์เซ็นต์ และโลหะผสม 5 เปอร์เซ็นต์ (สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์, 2527) ตะกั่วถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของอุตสาหกรรมทั่วๆ ไป เช่น น้ำมันเครื่องยนต์ทำโลหะผสม แบตเตอรี่ สีทาบ้าน ลูกปืน หมึกพิมพ์ พลาสติก และเครื่องเคลือบ นำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ ทางการเกษตร ตะกั่วจะปะปนอยู่ในปุ๋ย และสารเคมีที่ใช้ในการเพิ่มผลผลิต และปราบศัตรูพืชที่สำคัญ การใช้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้ตะกั่วแพร่กระจาย และตกค้างในสิ่งแวดล้อม

2.3) การปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

ตะกั่วเป็นธาตุที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากจึงทำให้ตะกั่วมีโอกาสปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมสูงมาก รวมทั้งสะสมในสิ่งมีชีวิต การปนเปื้อนของตะกั่วสู่อากาศในรูปของอนุภาค (Particulate) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง การปะทุของภูเขาไฟ และไฟป่า (Committee on Biological Effects of Atmospheric Pollutants, 1972) สำหรับตะกั่วในน้ำนั้น Chow (1978) รายงานว่า ตะกั่วมีทั้งในน้ำฝน น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และน้ำพุ โดยปกติตะกั่วในมหาสมุทรมีปริมาณตะกั่วละลายประมาณ 0.1-1.0 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณตะกั่วในแหล่งน้ำแต่ละท้องถิ่นจะแตกต่างกันไป (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539) นอกจากนี้ จากการรายงานของ Ondera (1985) พบว่า ในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างมีประมาณตะกั่วสะสมอยู่ระหว่าง 0.80-0.86 มิลลิกรัมต่อลิตร และในดินตะกอนมีปริมาณตะกั่วมากกว่าในน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากดินตะกอนมีฮิวมัสที่สามารถดึงโลหะตะกั่วได้อีกทั้ง Dong et al. (1983) พบว่า ตะกั่วสามารถดูดซับในดินตะกอนได้ทั้งชนิด ดินทราย ดินทรายแป้ง และดินเหนียว แต่จะดูดซับอยู่กับดินเหนียวมากที่สุด เนื่องจากตะกั่วเป็นประจุบวก สามารถดูดยึดกับตะกอนดินเหนียวที่เป็นประจุลบได้ดี (เกษม จันทร์แก้ว, 2524) สำหรับปริมาณตะกั่วปกติในพืชตระกูลถั่ว มีค่าระหว่าง 0.5-3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ ตะกั่วในน้ำ และดินสามารถผ่านวงจรอาหาร เกิดสภาวะที่เรียกว่าอัตราการสะสม (Bioconcentration) โดยความเข้มข้นของตะกั่วที่สูงขึ้นในวงจรอาหารนี้ เป็นเหตุให้ผู้บริโภคได้รับตะกั่วปริมาณที่สูงขึ้น

2.4) ความเป็นพิษของตะกั่ว

2.4.1) ความเป็นพิษต่อมนุษย์

ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางอาหาร ทางผิวหนัง และทางการหายใจ อันตรายจะเกิดขึ้นรุนแรงขึ้นอยู่กับชนิดของสารตะกั่ว ปริมาณสารที่ได้รับ ช่องทางการได้รับ และสภาพความแข็งแรงของผู้ได้รับสาร เมื่อได้รับเข้าไปจะถูกสะสมอยู่ในเลือด กระดูก และน้ำเหลือง ถ้าร่างกายได้รับในปริมาณสูงเกินควรจะทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน คือ มีอาการปวดท้อง และท้องร่วงอย่างรุนแรง กล้ามเนื้อ ตับ ไต หัวใจล้มเหลวถึงตายได้ อาการเหล่านี้ส่วนมากจะพบในเด็ก และพบในผู้ใหญ่น้อยมาก สำหรับอาการเรื้องรังนั้นจะทำให้เกิดโรคโลหิตจาง ทั้งนี้เนื่องจากตะกั่วเข้าไปขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบินของร่างกาย ซึ่งเมื่อตะกั่วในเลือดมีมากกว่า 70 ไมโครกรัมต่อร้อยมิลลิลิตร มักเสี่ยงต่อการเป็นโรคประสาท นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดภาวะเนื้องอก และมะเร็งได้ด้วย

2.4.2) ความเป็นพิษต่อสัตว์

สารประกอบตะกั่วมีพิษเฉียบพลันในสัตว์น้ำซึ่งก็มีความแตกต่างกันไปในแต่ละชนิดของสัตว์น้ำ Chau et al. (1980) รายงานว่า สัตว์น้ำจะได้รับสารตะกั่วทางผิวหนัง เหงือก ทางเดินอาหาร โดยที่สารประกอบตะกั่วอินทรีย์มีความเป็นพิษมากกว่าสารประกอบตะกั่วอนินทรีย์ ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา (2539) พบว่า ดินที่มีปริมาณการสะสมตะกั่วสูงจะพบตะกั่วสะสมในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยในดินในปริมาณสูงเช่นกัน และพบในสัตว์มีกระดูกสันหลังบางชนิด เช่น สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดเล็ก ได้แก่ หนูที่อาศัยอยู่ข้างถนนมีการสะสมตะกั่วมากในอวัยวะบางส่วน ส่วนในวัว และแกะที่เลี้ยงในบริเวณดังกล่าวจะพบตะกั่วสะสมในน้ำนม และเนื้อในปริมาณสูง

2.4.3) ความเป็นพิษต่อพืช

พืชสามารถรับตะกั่วได้ 2 ทาง คือ ทางราก และทางใบ โดยรากพืชจะดูดซึมตะกั่วเข้าไปในลำต้น และกระจายเข้าไปสะสมในส่วนต่างๆ ของพืช Tornabene and Eswardo (1972) พบว่า ตะกั่วจะตกตะกอนมากกว่า 90 % อยู่ที่ผนังเซลล์ของรากพืช ซึ่งรากพืชจะดูดตะกั่วในส่วนที่ละลายน้ำได้เท่านั้น (Jonh and Laerthoven, 1972) ดังนั้นเมื่อตะกั่วเข้าสู่พืชส่วนใหญ่มักถูก

สะสมไว้ในส่วนราก และอาจมีตะกั่วเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่สามารถเคลื่อนย้ายเข้าสู่ยอดของพืชได้ (Wozny et al, 1995) อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปของพืชสามารถแสดงความเป็นพิษออกมาทางใบ โดยการลดลงของจำนวน ขนาด น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง เช่นเดียวกับการลดลงของสีในการสังเคราะห์แสงด้วย (Reddy et al, 2005)

2.2 **สับปะรด** (Pineapple)

สับปะรดจัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจำพวกไม้เนื้ออ่อนที่มีอายุหลายปี โดยพันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อการค้า ได้แก่ พันธุ์ปัตตาเวีย พันธุ์อินทรชิตหรืออินทรชิตแดง พันธุ์ขาว พันธุ์ภูเก็ต และพันธุ์นางแล ซึ่งพันธุ์ปัตตาเวียเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋อง เพราะมีลักษณะเฉพาะตัว คือ ผลใหญ่ เปลือกบาง ก้านผลสั้น เปลือกสีเขียว ตาตื้น เนื้อสีเหลืองละเอียด เยื่อใยน้อย รสหวาน ทำให้มีขนาด และรสชาติตามความต้องการของโรงงาน (จิราพรรณ คล้ายกิจจา, 2548)

2.2.1 **ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสับปะรด**

สับปะรดสามารถจำแนกออกจากพืชในสกุลอื่นได้โดยดูจากลักษณะของผลที่เป็นผลรวม ซึ่งเกิดจากผลย่อยหลายผลเจริญมาเชื่อมต่อกันมีลักษณะคล้ายเป็นผลเดียว ซึ่งลักษณะแบบนี้จะไม่พบในพืชสกุลอื่น (จินดารัฐ วีระวุฒิ, 2541) สับปะรดเป็นพืชอยู่ในวงศ์ย่อย Bromeliodeae มีอยู่ประมาณ 60 สกุล และมากกว่า 2,000 ชนิด เป็นพืชล้มลุกเนื้ออ่อน จัดอยู่ในประเภทพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ประกอบด้วยดอกที่มีส่วนประกอบเป็นสามหรือผลคูณของสาม มีเกล็ดสำหรับดูดน้ำอยู่ที่ใบ พืชในวงศ์นี้บางชนิดมีลักษณะแตกต่างกันมากจนไม่น่าเชื่อว่าเป็นพืชที่อยู่ในสกุลเดียวกัน

จินดารัฐ วีระวุฒิ (2541) แบ่งหมวดหมู่สับปะรดทางพฤกษศาสตร์ได้ดังนี้

Kingdom Plant

Sub – kingdom Spermatophyta

Class Angiospermae

Sub – class Monocotyledonae

Order Farinosae

Family Bromeliaceae

Genera Ananas และ Pseudonanas

2.2.2 การจำแนกชนิดของสับปะรด

จินดารัฐ วีระวุฒิ (2541) ทำการจำแนกชนิดของสับปะรด โดยแบ่งสับปะรดออกได้เป็น 5 ชนิด คือ

1) *Ananas comosus* (L.) Merr. หรือ *Ananas sativa*

สับปะรดกลุ่มนี้จัดได้ว่าเป็นกลุ่มของสับปะรดที่ปลูกกันโดยทั่วไปตามแหล่งผลิตสำคัญของโลก ประโยชน์หลักของสับปะรดกลุ่มนี้ คือ ใช้บริโภคเป็นอาหารทั้งในรูปของผลสด และในรูปของวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋อง

2) *Ananas bracteatus* (Lindl.) Schultes

สับปะรดกลุ่มนี้มีลักษณะเป็นพุ่ม ขนาดค่อนข้างใหญ่ใบสีเขียวสม่ำเสมอ ขอบใบมีหนามตั้งขึ้น ผลใหญ่ขนาดไม่ต่ำกว่า 15 เซนติเมตร รูปร่างค่อนข้างยาว เมื่อผลแก่ใบที่ก้านผลมีสีชมพูอมแดง ผลมีเมล็ดเล็กน้อย ปลูกเป็นไม้ผลในบางพื้นที่ของประเทศบราซิล และปารากวัย แต่คุณภาพของเนื้อต่ำกว่า *A. comosus* มาก นอกจากนี้ *A. bracteatus* บางชนิดใบมีลายเป็นแถบสีครีมตามแนวยาวนิยมใช้เป็นไม้ประดับ

3) *Ananas erectifolius* (L.B. Smith) หรือ *Ananas lucidus* (Miller) Mez.

สับปะรดกลุ่มนี้ผลมีขนาดเล็ก ความยาวของผลไม่เกิน 15 เซนติเมตร เนื้อน้อย มีเมล็ดเล็กน้อย รสชาติไม่ดี ใบแข็ง และตั้งตรง ขอบใบเรียบยกเว้นปลายใบเป็นหนามแหลมยาว มีจุกย่อยหลายอันอยู่รอบจุกใหญ่ มีตะเกียงจำนวนมากเกิดอยู่บนก้านผลบริเวณใกล้หรือติดกับโคนผล ก้านผลยาว และแข็งแรงทำให้ผลอยู่ในลักษณะเกือบตั้งตรง มีหน่อจำนวนมากที่บริเวณโคนต้น

4) *Ananas ananassoides* (Baker) L.B. Smith

สับปะรดชนิดนี้ต้นมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับ *A. comosus* ผลมีขนาดเล็ก ก้านผลยาว ใบกว้างไม่เกิน 3 เซนติเมตร เนื้อสีขาว มีเมล็ดมาก ผลย่อยนูน จุกมีความยาวเท่ากับผลหรือยาวกว่า ขอบใบที่จุกมีหนามแหลมแข็ง

5) *Ananas nanas* (L.B. Smith)

สับปะรดกลุ่มนี้ต้นเป็นทรงพุ่มขนาดเล็ก ลักษณะรูปร่างคล้ายกับ *A. ananassoides* จนดูเหมือนต้นของ *A. ananassoides* ที่ย่อส่วน และเคยถูกจัดให้เป็นชนิดหนึ่งของ *A. ananassoides* ผลมีขนาดเล็ก เมื่อแก่เปลือกจะมีสีขาวครีม ใบสีเขียวอ่อนโค้งงอ ขอบใบมีหนาม และมีหนามมาก นิยมปลูกเป็นไม้ประดับ

2.2.3 **ส่วนประกอบต่าง ๆ ของสับประรด**

1) ราก

รากสับประรดมี 2 ชนิด คือ รากที่เกิดจากลำต้นใต้ดินจะทำหน้าที่ดูดน้ำ และแร่ธาตุอาหาร ช่วยยึดลำต้น ส่วนรากอีกชนิดหนึ่ง คือ รากเหนือดิน เกิดอยู่ตามลำต้นในกาบใบ ทำหน้าที่ดูดน้ำ และธาตุอาหารจากกาบใบ

2) ลำต้น

ต้นสูงประมาณ 2-4 ฟุต ไม่มีกิ่งก้าน มีกาบใบหุ้มเวียนรอบต้น ทำให้เกิดข้อปล้องถี่ ที่ส่วนข้อของลำต้นเหนือโคนใบจะมีตาซึ่งเป็นที่เกิดของหน่อ และราก โคนของลำต้นมีรากหนาแน่น เป็นระบบรากแบบรากฝอยไม่มีรากแก้ว

3) ใบ

ใบมีลักษณะแข็ง ยาว แหลม ห่อเป็นร่องคล้ายรางน้ำ ผิวใบด้านบนมีวัตถุจำพวกไขโปร่งแสงเคลือบอยู่ และบริเวณนี้ไม่มีคลอโรฟิลล์แต่จะมีในชั้นถัดลงไป ขอบใบตามปกติมีหนาม บางพันธุ์อาจมีมาก น้อย หรือไม่มีเลย ปลายใบแหลมแข็ง ภายในใบมีเส้นใยละเอียดเหนียวมาก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ทำกระดาษ หรือนำมาประดิษฐ์เป็นดอกไม้ ไม้ปัดฝุ่นเล็กๆ เป็นต้น ใบของต้นสับปะรดสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆ ตามรูปร่าง ตำแหน่งของใบบนลำต้น และอายุของใบ ได้ดังนี้คือ

A-leaves เป็นกลุ่มของใบซึ่งอยู่ล่างสุดของลำต้นมีอายุมากที่สุด เป็นส่วนของใบที่เริ่มแห้งและไม่มีความสำคัญในด้านการสร้างอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์แล้งแล้ว

B-leaves เป็นกลุ่มใบที่อยู่ถัดขึ้นมา แก่เต็มที่ และมีการสร้างอาหารได้เล็กน้อย

C-leaves เป็นกลุ่มใบที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว สามารถสังเคราะห์อาหารได้ดีกว่ากลุ่ม B

D-leaves เป็นกลุ่มใบที่อยู่ในระยะเวลากำลังเจริญเติบโตทางสรีระเต็มที่ มีกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตสูงสุด มักเป็นกลุ่มของใบที่มีความยาวมากที่สุด และเป็นกลุ่มที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สถานะทางสรีระที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต

4) ดอก

ดอกเกิดตอนปลายของลำต้น มีลักษณะที่อัดกันแน่นเป็นกระจุก แต่ละดอกออกรอบแกนเวียนกันเป็นก้นหอย ดอกสีแดงปนม่วง มีกลีบเลี้ยงซึ่งเกิดจากตอนล่างของดอกคลุม 1 กลีบ โดยกลีบชั้นนอกใหญ่มีลักษณะโค้ง 3 กลีบ และมีกลีบชั้นในที่บอบบางอีก 3 กลีบ มีเกสรตัวผู้ 6 อัน ยอดเกสรตัวเมียแบ่งออกเป็น 3 แฉก รังไข่ประกอบด้วย 3 ช่องรวมกัน ในหนึ่งช่องมีเมล็ดอ่อน 10–15 เมล็ด ดอกบานตอนเช้า และเหี่ยวตอนเย็น

5) ผล

ผลมีรูปทรงกระบอก ตอนล่างของผลอาจมีหน่อเล็กๆ เรียกว่า ตะเกียง ตอนบนของผลมีจุกซึ่งประกอบด้วยใบสั้นอัดกันแน่น และมีหน่อเล็กๆ ด้านข้าง เรียกว่า ตะเกียงที่จุก ในระยะที่ผลแก่เปลี่ยนเป็นน้ำตาล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะค่อยๆ ขยายออกไปทางด้านข้างทำให้สับปะรดมีรสหวานขึ้น ผลสับปะรดเป็นผลรวมประกอบด้วยผลเล็กๆ ประมาณ 100 ผลอัดประสานกันเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

2.2.4 การเจริญเติบโตของสับปะรด

การเจริญเติบโตของสับปะรดประกอบด้วยระยะต่างๆ (ประธาน โพธิ์สวัสดิ์, 2544) ดังต่อไปนี้

1) ระยะเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative growth stage)

การเจริญเติบโตระยะนี้มีการเจริญเติบโตในช่วง 3-5 เดือนแรกเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 6-10 เดือน จนถึงจุดสูงสุด หลังจากนั้นการเจริญเติบโตจะค่อยๆ ลดลง ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตในช่วงนี้ คือ การให้น้ำ ปุ๋ย การป้องกัน และกำจัดโรค แมลง และศัตรูพืชอื่นๆ ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตในช่วงแรกหลังการปลูก คือ ชนิดของส่วนขยายพันธุ์ที่ใช้ ซึ่งการใช้หน่อเป็นส่วนขยายพันธุ์นั้น พบว่า สับปะรดสามารถตั้งตัว และเจริญได้เร็วกว่า ทำให้ช่วยร่นระยะเวลาได้ประมาณ 1-3 เดือน ตั้งแต่การปลูกจนถึงระยะของการออกดอก เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกด้วยจุก หรือส่วนขยายพันธุ์อื่นๆ ภายใต้สภาวะการดูแลและบำรุงรักษาเช่นเดียวกัน

2) ระยะการเจริญเติบโตในการเกิดผล (Reproductive growth stage)

การเจริญเติบโตของสับปะรดในช่วงการเกิดผลจะอยู่ในช่วงเดือนที่ 10-15 โดยระยะที่สับปะรดเริ่มสร้างดอก สับปะรดมีการชะงักการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น การเจริญเติบโตในระยะนี้ ถือได้ว่าเป็นช่วงที่สำคัญของการเริ่มต้นขยายพันธุ์ พัฒนาเป็นผล และเมล็ดพันธุ์ต่อไป

3) ระยะเจริญเติบโตของส่วนขยายพันธุ์

การเจริญเติบโตในระยะของส่วนขยายพันธุ์นี้จะคาบเกี่ยวกับระยะการเจริญของผล โดยจุกเจริญเติบโต และพัฒนาไปพร้อมๆ กับผลจนกระทั้งผลแก่ แต่หน่ออาจจะเจริญขึ้นหลังจากเกิดช่อดอก โดยตาข้างจะยืดยาวออก และเจริญต่อไปเป็นหน่อข้างหรือหน่อดิน พร้อมที่จะปล่อยเป็นสับปะรดรุ่นต่อไปหรืออาจจะปลิดออกเมื่อมีความยาว 40-50 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นส่วนขยายพันธุ์ต่อไป

2.3 **ความเป็นพิษของโลหะหนักที่มีต่อพืช** (Phytotoxicity)

โลหะหนักเป็นพิษต่อพืช เช่น โครเมียม และตะกั่ว ซึ่งเป็นโลหะหนักประเภทที่สามารถเข้าสู่พืชได้ทั้งทางใบ และราก ความเป็นพิษขึ้นอยู่กับความต้านทานของพืช ซึ่งพืชที่มีความต้านทานต่อโลหะหนักน้อย (Susceptible species) มักจะเจริญเติบโตแบบผิดปกติเมื่อได้รับโลหะ โดยความผิดปกติที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากความเป็นพิษของโลหะโดยตรงต่อการยืดตัวของเซลล์

ตามส่วนต่างๆ ของพืชหรือช่วยกระตุ้นการเจริญของเนื้อเยื่อต่างๆ และยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้โลหะหนักทำให้เกิดอาการบิดเบี้ยวโค้งงอของลำต้นพืช (Stem covertures) รวมทั้งการสูญเสียคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ของใบ และเกิดการหลุดร่วงของใบ (Abscission response) หรืออาจทำให้พืชตายได้

การที่พืชดูดดึง และสะสมสารโลหะหนักไว้ในเนื้อเยื่อจนถึงระดับที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโต และพัฒนาของพืช หรือกล่าวได้ว่าพืชตอบสนองต่อสารพิษโดยการแสดงอาการความเป็นพิษได้หลายระดับ ทั้งด้านการเจริญเติบโต และการแสดงความเสียหายของพืช อย่างไรก็ตาม การเจริญเติบโตที่ช้าลงของพืช อาจจะไม่ได้เกิดจากการได้รับสารพิษอย่างเดียว เนื่องด้วยปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น การขาดธาตุอาหาร น้ำ ความเครียดของพืชเมื่อได้รับเกลือ การเกิดโรคที่รากพืช รวมทั้งผลทางเคมีอื่นๆ ที่ทำให้ที่ทำให้พืชแสดงอาการออกมาจนสังเกตเห็นด้วยสายตา ส่งผลทำให้ผลผลิตของพืชลดลง (Beckett and Davis, 1988)

2.3.1 **ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พืชในการทดสอบโลหะหนัก**

1) ชนิดของดิน

การดูดดึงสารละลายโลหะหนักของพืชขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายได้ของโลหะหนัก ชนิดของโลหะหนักที่ยึดเกาะกับคอลลอยด์ (Colloid) ดิน ชนิดของดิน และระยะเวลาที่โลหะหนักยึดเกาะกับดิน ซึ่งชนิดของดินจะส่งผลโดยตรงต่อการเคลื่อนย้ายสารละลายโลหะหนัก และการกักเก็บหรือจับยึดสารละลายไว้ในดิน

2) ชนิดของพืช

พืชแต่ละชนิดเมื่อได้รับสารพิษชนิดเดียวกัน ในอัตราความเข้มข้นที่เท่าๆ กัน พืชนั้นอาจแสดงปฏิกิริยาตอบสนองต่อสารเคมีแตกต่างกัน โดยชนิดของพืชที่นำมาทดสอบมีความสำคัญ เพราะพืชแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะตัวต่อการตอบสนองของสารพิษ ดังนั้นการใช้พืชมาทดสอบความเป็นพิษของโลหะหนักสิ่งที่ต้องคำนึงคือ

2.1) พืชที่นำมาทดสอบความเป็นพิษมีจำนวนมากหรือน้อยในพื้นที่ทำการศึกษา และเกิดขึ้นแบบต้นเดี่ยวหรือเกิดแบบหมู่คณะ

2.2) มีคุณสมบัติการแสดงความเป็นพิษด้านสรีระที่ง่ายต่อการสังเกตการแสดงความเป็นพิษ เช่น อัตราการเจริญเติบโต และลักษณะความเข้มของสีใบ เป็นต้น

2.3) ความสามารถในการดูดดึง และสะสมโลหะหนักของพืช พืชมีความสามารถในการดูดดึงโลหะหนักที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ชลาลัย เสน่ห์ทอง และคณะ (2552) ทำการศึกษาปริมาณการสะสมโลหะหนักในผักบริเวณขอบชุมชมเมือง เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดดึง และสะสมสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมในผักเศรษฐกิจ 7 ชนิด ได้แก่ ผักกาดเขียวกวางตุ้ง ผักคะน้า ผักกาดขาวปลี ขึ้นฉ่าย สะระแหน่ กะเพรา และผักบุ้ง พบว่า ปริมาณการสะสมสังกะสี ตะกั่ว และแคดเมียมในผักทั้ง 7 ชนิดมีความแตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการดูดดึง และสะสมโลหะหนักของผักแต่ละชนิดจากดินเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชแตกต่างกัน

3) ชนิดและปริมาณของโลหะหนัก

โลหะแต่ละชนิดมีระดับความเข้มข้นที่เป็นพิษต่อพืชแตกต่างกัน หากโลหะที่มีระดับความเข้มข้นเกินระดับเกณฑ์มาตรฐานหรือดินมีการปนเปื้อนโลหะหนักในระดับที่สูงเกินไป อาจมีผลทำให้พืชแสดงความเป็นพิษ ทั้งนี้สมบัติ และลักษณะความเป็นพิษจากโลหะหนักที่มีต่อพืชเป็นสมบัติเฉพาะตัวของโลหะหนักต่อชนิดของพืช นอกจากนี้การแสดงความเป็นพิษของโลหะหนักต่อพืชมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ น้ำฝน ความสามารถนำสารพิษเข้าสู่พืช เป็นต้น

4) สภาพแวดล้อม

ความไวในการตอบสนองต่อสารพิษของพืชสามารถแปรผันได้ตามสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นในดิน สภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน ปริมาณธาตุอาหาร อุณหภูมิ ปฏิกิริยาระหว่างพืชกับโลหะหนัก เป็นต้น

2.3.2 **ข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบของการใช้พืชในการทดสอบความเป็นพิษ** Thomus et al. (1986) มีดังต่อไปนี้

1) ข้อได้เปรียบในการใช้พืชทดสอบความเป็นพิษ

1.1) ความสะดวกในการนำไปใช้ในทุกรูปแบบการทดลอง (Multimedia)

สามารถนำพืชไปใช้ในการทดสอบความเป็นพิษได้ทั้ง คุณภาพอากาศ น้ำทิ้ง น้ำซึมจากกองขยะ (Leachate) สารเคมี และดินตะกอน (Sediment) โดยพืชที่เจริญในแต่ละพื้นที่จะมีลักษณะ และชนิดแตกต่างกันไปตามสิ่งแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ส่วนใหญ่ Wong and Yu (1989) ได้ศึกษาพืชที่ขึ้น และเจริญเติบโตในพื้นที่ฝังกลบของประเทศฮ่องกง พบว่า ความเข้มข้นของมีเทน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ เอทิลีน และตะกั่ว มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ Moffat and Houston (1991) พบว่า เมื่อเปลี่ยนความหนาของวัสดุกลบทับจาก 0.2 เมตร เป็น 1.5 เมตร ช่วยลดก๊าซที่ส่งผลกระทบต่อพืช ทำให้พืชสามารถเจริญเติบโต และมีชีวิตได้

1.2) ความหลากหลายในการแปรผล

การแปรผลการทดสอบความเป็นพิษโดยใช้พืชสามารถอ่านผลได้หลายค่าตามความเหมาะสมของข้อมูล เช่น มวลชีวภาพรวม (Biomass) อัตราการเจริญเติบโต (Growth rate) ความสูง (High) พื้นที่ (Area) ปริมาณคลอโรฟิลล์ และค่าอื่นๆ อีกมากมาย

1.3) ความสามารถในการผลิตออกซิเจน (Oxygen producer)

จากคุณสมบัติที่พืชนั้นมีความสามารถในการผลิตออกซิเจนได้ ซึ่งในการทดลองความเป็นพิษของน้ำทิ้งหรือน้ำเสียโดยใช้พืช ได้แก่ สาหร่ายหางกระรอก ผักบุ้ง ผักตบชวา แหนแดง จอก และจอกหนู เป็นต้น ในการศึกษาพบว่า พืชมีการสร้างหรือผลิตออกซิเจนได้ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการเติมอากาศในการทดลอง ประกอบกับพืชน้ำที่มีคุณสมบัติในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ และช่วยผลิตออกซิเจนได้อีกด้วย

1.4) ต้นทุนในการดูแลรักษาต่ำ (Cutler maintenance minimum cost)

การทดสอบความเป็นพิษของโลหะหนักโดยใช้พืชเป็นการพึ่งพาสิ่งที่มีอยู่แล้วในระบบธรรมชาติ และเป็นวิธีที่ประหยัดต้นทุนในการชี้วัดสารมลพิษ โดยพืชที่นำมาใช้ส่วนใหญ่เป็นพืชที่พบได้โดยทั่วไป เช่น หญ้าชนิดต่างๆ สาหร่าย เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5) ความสามารถในการทดสอบกับสาร (Toxicity)

พืชสามารถนำมาใช้ทดสอบกับสารอันตรายได้เกือบทุกชนิด เช่น โลหะหนัก สารปราบศัตรูพืช ยาฆ่าแมลง เป็นต้น ซึ่งสารพิษต่างๆ มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และกลไกในกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในของพืช รวมถึงกลไกในการปรับตัวของพืชต่อสารพิษต่างๆ ด้วย

1.6) วิธีการทดสอบทำได้หลายรูปแบบ (Test method)

การทดสอบพืชสามารถทำได้หลายรูปแบบ คือ สามารถนำกลับมาทดสอบซ้ำใหม่ได้ (Renewal) ทดสอบวิธีการไหลผ่านของสารต่างๆ ได้ (Flow-through method) ทดสอบโดยปลูกพืชในวัสดุปลูก (Substrate culture) ปลูกพืชในสารละลาย (Hydroponics) และทดสอบโดยการพ่นสารละลายใต้โคนรากพืช (Aeroponics) เป็นต้น

1.7) สถานที่ในการศึกษา (Test type)

การทดลองที่ใช้พืชทดสอบสารพิษสามารถทำได้ในห้องทดลอง เรือนเพาะชำ และในสภาพธรรมชาติ นอกจากนี้ยังสามารถเลือกใช้วัสดุปลูกที่เหมาะสมกับพืช และควบคุมการให้น้ำ และสารละลายธาตุอาหารให้เพียงพอกับพืช

2) ข้อเสียของการใช้พืชในการทดสอบความเป็นพิษ

2.1) ขาดข้อมูลพื้นฐาน (Database)

ข้อจำกัดในการใช้พืชทดสอบความเป็นพิษ คือ การนำไปใช้ยังไม่กว้างขวาง ไม่มีเกณฑ์มาตรฐานในการทดสอบความเป็นพิษสำหรับพืชแต่ละชนิด นอกจากนี้ ชนิดของพืชที่ใช้ทดสอบยังมีจำนวนน้อย

2.2) ระยะเวลาทดลองยาวนาน (Toxicant exposures)

การใช้พืชในการทดสอบความเป็นพิษต้องใช้ระยะเวลาในการทดลองยาวนาน จึงจะสามารถทราบผลกระทบของสารพิษที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และเคมีของพืชได้

2.3) ผลของความเป็นพิษ (Toxic effect)

การใช้พืชในการทดสอบความเป็นพิษนั้น การแสดงความเป็นพิษของพืชต่อสารพิษอาจมีความคล้ายคลึงกันหรือพืชแต่ละชนิดก็มีรูปพรรณสัณฐานลักษณะต่างๆ แตกต่างกันไป ดังนั้นในการทดสอบจึงไม่สามารถบ่งชี้ถึงลักษณะเฉพาะของการแสดงความเป็นพิษได้หรือยากต่อการเปรียบเทียบความเป็นพิษกับพืชชนิดอื่นๆ

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mishra and Choudhuri (1999) ทำการทดสอบความเป็นพิษของตะกั่ว และปรอทจากการงอก และการเจริญเติบโตของเมล็ดข้าวสองชนิด โดยทำการทดสอบเมล็ดของข้าว (*Oryza sativa* L.) สองชนิด คือ พันธุ์ Ratna และ IR36 โดยมีการใส่สารตะกั่วคลอไรด์ ($PbCl_2$) และปรอทคลอไรด์ ($HgCl_2$) ที่ระดับความเข้มข้น 10^{-5} และ 10^{-4} โมล (M) ผลการทดลอง พบว่า ตะกั่ว และปรอท ทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกของข้าวพันธุ์ Ratna และ IR36 เพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของตะกั่ว และปรอท เพิ่มขึ้น โดยปรอทแสดงความเป็นพิษต่อข้าวมากกว่าตะกั่ว นอกจากนี้ความเข้มข้นของตะกั่วที่ 10^{-5} โมล ทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ (% Phytotoxicity) ของยอดข้าวพันธุ์ Ratna และ IR36 มีค่าเท่ากับ 5.71 และ 4.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะเดียวกันปรอทมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษ มีค่าเท่ากับ 7.14 และ 6.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าตะกั่ว และปรอทมีผลต่อการลดลงของน้ำหนักแห้งในส่วนยอด และรากของข้าวทั้งสองสายพันธุ์

Chatterjee and Chatterjee (2000) ศึกษาการแสดงความเป็นพิษของโคบอล โครเมียม และทองแดงในกะหล่ำ (*Brassica oleracea* L. var.) โดยทำการปลูกกะหล่ำในดินทรายที่ไม่ใส่สาร (ชุดควบคุม) และใส่สารโคบอล โครเมียม และทองแดง ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมล ผลการทดลอง พบว่า โคบอลแสดงความเป็นพิษต่อกะหล่ำเห็นชัดเจนมากที่สุด โดยที่โครเมียมแสดงความเป็นพิษน้อยที่สุด สารโคบอลทำให้กะหล่ำแสดงความเป็นพิษทางใบภายใน 8 วัน โดยกะหล่ำแสดงอาการใบซีด (Chlorosis) ในพื้นใบ และขอบใบของใบอ่อน และพบอาการใบเหลืองซีด (Chlorotic) และมีการเหี่ยวของใบอ่อน นอกจากนี้ยังพบว่า ขนาดของใบเล็กลง และขอบใบหยิก ในทำนองเดียวกันเมื่อกะหล่ำได้รับโครเมียม มีผลกระทบต่อลักษณะการเจริญเติบโต อาการใบเหลืองซีดแพร่ทั่วใบ เกิดอาการเหี่ยวเนื่องจากเสียแรงดันภายน้ำภายในใบ อาการเหล่านี้เกิดขึ้นภายหลังจากการใส่สารโครเมียม 10-12 วัน ส่วนทองแดงเกิดการจำกัดการเจริญเติบโตของกะหล่ำ ใบอ่อนเกิดอาการใบเหลืองซีดที่ปลายยอด และแพร่ลงมาด้านล่าง โดยการแสดงความเป็นพิษกะหล่ำสามารถสังเกตเห็นลักษณะความเป็นพิษที่บริเวณผิวใบ

Yongpisanphop (2003) ทำการทดสอบการสะสม และศึกษาความเป็นพิษของตะกั่ว และโครเมียม โดยใช้พืชน้ำ คือ ต้นแว่นแก้ว (*Hydrocotyle umbellata* L.) ร่วมกับการใช้สารละลายอาหาร Hoagland โดยมีการเติมสารละลายตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารละลายโครเมียมที่ระดับความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีการเก็บต้นแว่นแก้วมาวิเคราะห์ในวันที่ 3, 6, 9 และ 12 ผลการทดลอง พบว่า อัตราการเจริญเติบโต ผลผลิตมวลชีวภาพ และปริมาณคลอโรฟิลล์ของแว่นแก้วลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า มีการสะสมตะกั่ว และโครเมียมในรากสูงกว่าในต้น และใบ ทั้งนี้พบว่า ค่าเฉลี่ยของการสะสมโลหะหนักในรากพืชลดลงอย่างรวดเร็วใน 6 วันแรกของการทดลอง นอกจากนี้ ค่าอัตราการสะสม (Bioconcentration factor; BCF) ของโครเมียมต่ำกว่าตะกั่ว แสดงให้เห็นว่าต้นแว่นแก้วมีประสิทธิภาพในการสะสมตะกั่วได้ดีกว่าโครเมียม สำหรับความเป็นพิษของโลหะหนักต่อต้นแว่นแก้ว พบว่า โลหะหนักทำให้การผลิตต้นอ่อนลดลงก้านใบเหี่ยว และสีรากเปลี่ยนจากสีขาวอมเขียวเป็นสีน้ำตาลเข้ม โดยตะกั่วทำให้ใบเหลือง ขณะที่โครเมียมทำให้ใบตาย ซึ่งความเป็นพิษของโลหะหนักเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของโลหะหนักและระยะเวลาในทดลองเพิ่มขึ้น

Arduini et al. (2006) ทำการศึกษาผลกระทบจากความเข้มข้นของโครเมียมในระดับสูงต่อหญ้าสกุล Miscanthus ในระยะเจริญเติบโตสูงสุด โดยกำหนดระดับความเข้มข้นที่ 50-200 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่า ระดับความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมที่ 150 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไปสามารถทำให้หญ้า Miscanthus ชะงักการเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ และยังพบว่าการเจริญเติบโตของรากพืชมีผลกระทบน้อยกว่าการเจริญเติบโตของต้น นอกจากนี้ยังพบว่า รากมีการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยามากกว่าลำต้น สำหรับที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียมมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถทำให้ความยาวโดยรวมของรากเพิ่มมากขึ้น หากแต่มีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง ในทางตรงกันข้ามเมื่อความเข้มข้นของโครเมียมเพิ่มมากขึ้น อัตราการดูดดึงไนโตรเจนจากส่วนของใบเลี้ยงที่จมอยู่ใต้ดิน (Hypogeal) และส่วนเหนือดิน (Aerial) และความจุของไนโตรเจนในส่วนประกอบของพืชลดลง เปรียบเสมือนกับการเจริญเติบโตลดลงไปด้วย ส่วนปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมในใบเลี้ยงที่จมอยู่ใต้ดินส่วนใหญ่มากกว่าส่วนเหนือดิน โดยพืชจะแสดงใบเขียวที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม ที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ใบเลี้ยงที่จมอยู่ใต้ดินมีปริมาณโครเมียมสูงที่สุดเท่ากับ 95 % และมีปริมาณโครเมียมในพืชทั้งต้นเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ของโครเมียมที่ถูกดูดดึงโดยพืช ซึ่งใบเลี้ยงที่จมอยู่ใต้ดินมีปริมาณโครเมียมปริมาณสูงที่สุด 355 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแห้งของพืช และลดลงจนถึง 173 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแห้งของพืช ที่

ระดับความเข้มข้นของโครเมียม 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ส่วนเหนือดินของพืช พบว่า ความจุของโครเมียมสูงสุดเท่ากับ 150-200 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งถือได้ว่าเป็นระดับความเป็นพิษที่สูง การศึกษาครั้งนี้ยังพบว่า ส่วนเหนือดินของพืชสามารถเคลื่อนย้ายโครเมียมในสารละลายที่ระดับความเข้มข้นสูงให้เป็นพิษที่ระดับปานกลางได้

Nazjamal et al. (2006) ศึกษาความเป็นพิษของอลูมินัม และโครเมียมต่อการงอก และการเจริญเติบโตของข้าวสาลี (*Triticum aestivum*) โดยทำการทดลองในโรงเรือนโดยใส่สารอลูมินัม และโครเมียม ซึ่งวิธีการใส่สารได้แก่ การใส่แบบแยก และการใส่รวมกันที่ระดับความเข้มข้น 40, 80, 120 และ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร สังเกตการงอกของเมล็ด คือ ความยาวราก ความยาวหน่อ ความยาวของเมล็ดที่งอก และน้ำหนักแห้ง โดยการทดลองที่ใส่สารอลูมินัม โครเมียม และอลูมินัมร่วมกับโครเมียมไม่มีผลกระทบต่อการงอกของเมล็ด และน้ำหนักแห้ง ส่วนความยาวราก ความยาวหน่อ และความยาวของเมล็ดที่งอกแสดงการลดลงที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม นอกจากนี้การเจริญเติบโตของพืชลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายอลูมินัม และโครเมียมเพิ่มขึ้น อีกทั้งความยาวของเมล็ดที่งอกในสารทั้งสองชนิดลดลงในทุกระดับความเข้มข้น

วิไลวรรณ แฉ่งเจริญ (2550) ทำการศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะหนักโดยใช้สาบเสือ และหญ้าแฝกที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อน และดินสังเคราะห์ โดยทำการใส่สารละลายโลหะหนักตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี และทองแดง ซึ่งนำสารละลายทั้ง 4 ชนิด ใส่ลงในดินที่ไม่ปนเปื้อนที่ระดับความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ผลการศึกษาพบว่า สาบเสือ และหญ้าแฝกมีความสามารถในการสะสมโลหะหนักไว้ในส่วนรากมากกว่าลำต้น และใบพืชทั้งสองชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดีตลอดระยะเวลาการทดลอง หากแต่พืชมีการแสดงอาการผิดปกติ เช่น ใบซีดขาว ใบหงิก และใบไหม้ ทั้งในดินที่ปนเปื้อน และดินที่สังเคราะห์ขึ้น

Calzoni et al. (2007) ศึกษาการใช้กุหลาบ (*Rosa rugosa*) เป็นตัวชี้วัดมลพิษของโลหะหนัก คือ โครเมียม ตะกั่ว แคดเมียม นิเกิล และปรอท วัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อประเมินคุณภาพพื้นที่ชนบทบริเวณใกล้เมือง Faenza ประเทศอิตาลี โดยใช้พืชเป็นตัวชี้วัด ซึ่งพืชที่ใช้เป็นพืชชนิดเดียวที่อยู่ในพื้นที่ ขนาดต้นเตี้ยตลอดปีคือ กุหลาบ โดยใช้วิธีเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในดิน และปริมาณการสะสมโลหะหนักในใบกุหลาบ ผลการทดลองพบว่า โลหะหนักในดินและในใบกุหลาบมีค่าใกล้เคียงกัน และเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับคุณภาพของเกสรดอก (Pollen) นอกจากนี้ระดับปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในใบสอดคล้องกับละอองเกสรดอกที่ไม่สมบูรณ์ (Aborted pollen grains) สำหรับปริมาณตะกั่วในใบเพิ่มมากขึ้น ทำให้ละอองเกสรดอกที่

ไม่สมบูรณ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และในทางตรงกันข้ามกับความจุของโครเมียมในใบมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับการมีชีวิตของละอองเกสรดอก (Viable pollen grains) ของกุหลาบ เมื่อปริมาณโครเมียมในใบเพิ่มมากขึ้น ทำให้การมีชีวิตของละอองเกสรดอกลดลง จากการทดลองเสนอให้ใช้กุหลาบ เป็นตัวชี้วัดความเป็นพิษของโลหะหนักได้

Kopittke et al. (2007) รายงานผลของสารละลายตะกั่วที่ระดับความเข้มข้น 12 ระดับ ซึ่งอยู่ในช่วง 0-2.5 ไมโครโมลมีผลต่อการเจริญเติบโตของถั่ว (*Vigna unguiculata*) โดยผลของการทดลอง พบว่า เมื่อใส่สารละลายตะกั่วเพิ่มมากขึ้นมีผลต่อการตอบสนองของน้ำหนักสดของยอดถั่ว ที่ระดับความเข้มข้น 0.2 ไมโครโมล พบว่า น้ำหนักสดของยอดถั่วลดลงประมาณ 10% และพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของตะกั่วเท่ากับ 0.06 ไมโครโมล ทำให้เกิดความผิดปกติที่ปลายราก โดยปลายรากมีลักษณะพองเป็นกระจุก และบางรากอาจเกิดการโค้งงอได้ ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่ารากถั่วมีความสามารถในการดูดดึงสารละลายตะกั่วไปไว้ในส่วนของปลายราก คือ ผนังเซลล์ และช่องว่างระหว่างเซลล์

Rotkittikhun (2007) ได้ทำการศึกษาการเจริญเติบโต ความทนทาน และการดูดซับสารตะกั่วของหญ้า 2 ชนิด คือ ตองกง (*Thysanolaena maxima*) และหญ้าแฝก (*Vetiveria zizanioides*) 4 กลุ่มพันธุ์ พบว่า ตองกง และหญ้าแฝกกลุ่มพันธุ์สุราษฎร์ธานี และสงขลามีความทนทาน และสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่ปนเปื้อนสารละลายตะกั่วในระดับความเข้มข้นสูง นอกจากนี้ความยาวของราก และใบของหญ้าแฝกลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายสูงขึ้น สำหรับผลจากการศึกษาในดินไม่พบความเป็นพิษของสารตะกั่วที่มีต่อพืช

Shah et al. (2008) ศึกษาผลกระทบของการใช้สารละลายแคดเมียมซัลเฟต ($Cd(SO_4)_2$) และสารละลายโพตัสเซียมไดโครเมท (KCr_2O_4) ต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดประดู่แขก (*Dalbergia sissoo* Roxb.) ที่ระดับความเข้มข้น 0, 10, 20, 40 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใต้การควบคุมความเข้มของแสง และอุณหภูมิ เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ผลการทดลอง พบว่า จำนวนใบ ความยาวราก ยอด น้ำหนักแห้งของใบ ยอด และราก และปริมาณคลอโรฟิลล์ สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการเจริญเติบโตของเมล็ดประดู่แขกได้ โดยที่ระดับความเข้มข้นของแคดเมียม และโครเมียมมีผลต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดประดู่แขก คือ ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากับ 10-40 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามสารทั้งสองชนิดทำให้การเจริญเติบโตของเมล็ดประดู่แขกที่ระดับความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรลดลง โดยที่โครเมียมนั้นแสดงความเป็นพิษต่อเมล็ดของพืชมากกว่าแคดเมียม

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์

1) พันธุ์สับปะรดที่ใช้คือ พันธุ์ปัตตาเวีย *Ananas comosus* (L.) Merr จากจังหวัดระยอง

2) ดินทดลองที่ศึกษาในเรือนทดลองนำมาจากพื้นที่เกษตรกรรม ตำบลมาบข่า อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง

3) ภาชนะปลูกสับปะรดเป็นกระถางพลาสติกสีดำที่มีขนาดกว้าง 8 นิ้ว สูง 16 นิ้ว และหุ้มด้วยถุงพลาสติกอย่างหนา

4) กระดาษกรองเบอร์ 40 เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 และ 110 มิลลิเมตร (Whatman, England)

5) กระดาษกรอง GF/C (Glass micro fillter) เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร (Whatman, England)

6) น้ำปราศจากไอออน (Distilled water; DI)

7) ขวดพลาสติกสำหรับใส่สารละลายขนาด 60 มิลลิลิตร

8) ถุงซิป

9) พาราฟิล์ม

10) เครื่องแก้วชนิดต่าง ๆ เช่น บิกเกอร์ กระบอกตวง ปิเปต แท่งแก้ว กรวยกรอง ขวดปรับปริมาตร กระจกนาฬิกา ขวดรูปชมพู่

11) ชุด Flask buchner filtration

12) อุปกรณ์สำหรับการเตรียมตัวอย่างดิน และพืช เช่น ครกบดดิน ตระแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร

13) อุปกรณ์สำหรับการปลูกพืช เช่น พลั่ว จอบ ถังน้ำ ค้อนทุบดิน เป็นต้น

3.1.2 **เครื่องมือ** สามารถแสดงรายการเครื่องมือได้ดังนี้

เครื่องมือ	รุ่น, ยี่ห้อ
เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)	Sension 2, HACH
เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด (Analytical balance)	BP 221S, Sartorius
เครื่องอบอุณหภูมิสูง (Hot air oven)	ULE500,MEMMERT
เครื่องดูดอากาศ (Hood)	Wiwatsan
เครื่องกรองแบบดูดอากาศ	NO35AN.18-IP20
เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC)	Sension 2, HACH
เครื่องวัดศักยภาพออกซิเดชั่น-รีดักชั่น (ORP)	Sension 2, HACH
เครื่องเขย่า (Shaker)	OS-2,Green Seriker2
เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)	Pharmacia, NovaspecII
เครื่องมือสำหรับย่อยด้วยไมโครเวฟ (Microwave digestion)	ETHO SEL, MILSTONE
เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrophotometer)	Analis 800, Perkin Elmer

3.1.3 **สารเคมี** สามารถแสดงรายการสารเคมีได้ดังนี้

สารเคมี	บริษัทผู้ผลิต,ประเทศ
กรดไนตริกเข้มข้น (65% HNO_3)	MERCK, Germany
กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (37% HCl)	MERCK, Germany
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (30% H_2O_2)	MERCK, Germany
โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)	Ajax Finechem, Australia
เลดไนเตรด (Pb $(NO_3)_2$)	AjaxFinechem, Australia
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	MERCK, Germany
โซเดียมคาร์บอเนต ($NaCO_3$)	AnalaR, England
1,5- ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (1,5- diphenylcabazide)	Fluka, Switzerland
อะซิโตน (Acetone)	MERCK, Germany

3.2 สถานที่ทำการศึกษา

การศึกษาวิจัยภาคสนามได้ทำการศึกษาในโรงเรือน โดยมีการคลุมหลังคาโรงเรือนด้วยพลาสติกใส และแสงสว่างสามารถส่องผ่านได้ 97 % บริเวณชั้น 2 สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการวิจัยในห้องปฏิบัติได้ดำเนินการในห้องปฏิบัติการชั้น 3 สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อทำการวิเคราะห์ หาโครเมียม และตะกั่วในดิน และในพืช

3.3 ระยะเวลาที่ทำการศึกษา

ทำการศึกษาในระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 โดยทำการศึกษาในเรือนเพาะชำของสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม และห้องปฏิบัติการสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การเตรียมการทดลอง

3.4.1 การเตรียมดินและพืช

1) การเตรียมดิน

ดินที่ทำการศึกษาเป็นดินบริเวณแปลงสับปะรดจากพื้นที่ตำบลมาบข่า อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง โดยเก็บตัวอย่างดินแบบสุ่มทั้งพื้นที่ ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินที่เก็บมาผึ่งให้แห้ง (Air-dried) แยกตัวอย่างดินออกเป็น 2 ส่วน เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีเบื้องต้น และสำหรับใช้ทดลองในกระถาง เตรียมตัวอย่างดินก่อนการวิเคราะห์ โดยบด และร่อนผ่านตระแกรง 2 มิลลิเมตร นำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และเคมี และนำดินวิเคราะห์หาโครเมียม และตะกั่วปนเปื้อนโดยการย่อยด้วยกรดไนตริก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามวิธีของ (United states environmental protection agency; (USEPA)) Method 3052 (USEPA, 1996) และนำไปวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอร์ปชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic absorption spectrometer; AAS) ซึ่งพบว่าเครื่องไม่สามารถอ่านค่าได้ แสดงให้เห็นว่า ดินที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ไม่มีการปนเปื้อน

หรือสะสมโครเมียม และตะกั่วทั้งหมด โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีเบื้องต้น ดังตารางที่ 3.1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีเบื้องต้นที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติ	หน่วย	วิธีการวิเคราะห์
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	-	Electrometric method
ดินเหนียว	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	Hydrometer method
ดินทรายแป้ง	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	Hydrometer method
ดินทราย	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	Hydrometer method
เนื้อดิน (Soil texture)	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	Hydrometer method
ค่าการนำไฟฟ้าที่ 25 °C	ไมโครซีเม็นต่อเซนติเมตร	Soils: Water 1:1
อินทรียวัตถุ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	Walkley-Black method
การแลกเปลี่ยนประจุ	เซ็นติโมลต่อกิโลกรัม	NH_4^+ saturation and distillation
ไนโตรเจนทั้งหมด	เปอร์เซ็นต์	Kjeldahl digestion
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	Bay ll method
โปตัสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	NH_4^+ saturation and distillation
โครเมียม และตะกั่วทั้งหมด	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	USEPA method 3052

2) การเตรียมพืช

พันธุ์สับปะรดที่ใช้เป็นพันธุ์ปัตตาเวีย ซึ่งปลูกในแปลงของเกษตรกร ณ ตำบลมาบข่า อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง คัดเลือกหน่อพันธุ์ที่มีขนาดใกล้เคียงกันโดยสุ่มตัวอย่างสับปะรดมาจำนวน 3 ซ้ำ นำมาวิเคราะห์หาโครเมียม และตะกั่วที่สะสมในพืช โดยการย่อยด้วยกรดไนตริก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามวิธีของ (United states environmental protection agency; (USEPA)) Method 3052 (USEPA, 1996a) และนำไปวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอร์ปชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic absorption spectrometer; AAS) ซึ่งพบว่า เครื่องไม่สามารถอ่านค่าได้ แสดงให้เห็นว่า หน่อพันธุ์ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ไม่มีการปนเปื้อนหรือสะสมโครเมียม และตะกั่วทั้งหมด จากนั้นคัดเลือกหน่อที่สมบูรณ์มีขนาด ความสูง และจำนวนใบใกล้เคียงกัน นำมาปลูกในดินที่เตรียมไว้

3.4.2 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อทดสอบความเข้มข้นที่เหมาะสมในการแสดงความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วต่อสับปะรด

1) การเตรียมดิน

นำตัวอย่างดินที่ขุดมาจากแปลงสับปะรด บริเวณพื้นที่ตำบลมาบข่า อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง นำมาผึ่งแห้งแล้วมาทุบจนมีขนาดเล็ก เลือกเศษพืชออกให้หมด คลุกเคล้าดินให้ทั่ว จากนั้นชั่งดินใส่กระถางพลาสติกสีดำที่มีขนาดความกว้าง 8 นิ้ว สูง 16 นิ้ว ชั่งน้ำหนักดินกระถางละ 5 กิโลกรัม จำนวนทั้งหมด 60 กระถาง แล้วหุ้มด้วยถุงพลาสติกเพื่อรองรับโลหะหนักที่ออกมากับน้ำที่รดต้นไม้

2) การเตรียมสับปะรด

นำหน่อสับปะรดที่คัดเลือกแล้วมาปลูกในดินที่เตรียมไว้ ที่ความลึกประมาณ 5 เซนติเมตร จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง ให้น้ำทันทีที่ปลูก และรดน้ำด้วยนำประปาวันเว้นวันในตอนเช้าปริมาณน้ำ 100 มิลลิลิตร จนเจริญเติบโตเป็นต้นประมาณ 1 เดือน เมื่อสับปะรดตั้งตัวดี โดยมีขนาด ความสูง จำนวนใบ และความแข็งแรงของต้นใกล้เคียงกัน จึงทำการใส่สารละลาย

3) การเตรียมสารละลาย

ชั่งสารละลายโครเมียม และตะกั่ว ให้ได้สัดส่วนตามระดับความเข้มข้นของสารละลายต่อดิน โดยเตรียมจากสารละลายโปตัสเซียมไดโครเมท (Potassium dichromate; ($K_2Cr_2O_7$)) และเลดไนเตรท (Lead (II) nitrate; (Pb (NO_3)$_2$)) ที่ระดับความเข้มข้น 10 ระดับ ได้แก่ 100, 200, 400, 600, 800, 1,000, 1,500, 2,000, 2,500 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยการเทสารละลายลงในภาชนะปลูกบริเวณรอบๆ โคนต้น ทั้งนี้ใส่สารละลายโครเมียม และตะกั่วโดยแยกกระถางกัน

4) การดูแลรักษาและการเก็บตัวอย่าง

กระถางที่ปลูกสับปะรด และใส่สารละลายนำไปวางในเรือนทดลองให้ได้รับแสงแดดเท่ากัน ทำการให้น้ำวันเว้นวันในตอนเช้าปริมาณน้ำ 100 มิลลิลิตรเพื่อให้ต้นสับปะรดแข็งแรง

ทนทานพร้อมต่อการทดลองในการใส่สารประกอบ ทำการเก็บตัวอย่างสับปะรดภายหลังจากใส่สารโครเมียม และตะกั่วเป็นเวลา 30 วัน สังเกตการแสดงอาการผิดปกติของสับปะรด แล้วนำระดับความเข้มข้นที่สับปะรดแสดงอาการผิดปกติไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.5 การดำเนินงานทดลอง

3.5.1 การเตรียมดิน พืช และสารละลาย

1) การเตรียมดิน

เก็บตัวอย่างดินที่ไม่มีการปนเปื้อนโครเมียม และตะกั่วที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จากแปลงสับปะรด บริเวณพื้นที่ตำบลมาบข่า อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง นำมาผึ่งดินให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และนำมาบด ร่อนผ่านตระแกรงขนาด 2 มิลลิเมตรคลุกเคล้าให้เข้ากันใส่ถุงพลาสติก และนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพ และเคมีเบื้องต้น โดยมีพารามิเตอร์ดังนี้ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความชื้น (Moisture content) การนำไฟฟ้า (Conductivity) เนื้อดิน (Soil texture) อินทรียวัตถุ (Organic matter) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity; CEC) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) ปริมาณโครเมียมทั้งหมด (TCr) โครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ [Cr(VI)] โครเมียมไตรวาเลนซ์ [Cr(III)] และปริมาณตะกั่วทั้งหมด (TPb) เมื่อทำการวิเคราะห์แล้ว ดินไม่มีการปนเปื้อนโครเมียม และตะกั่ว จากนั้นทำการขุดดินในพื้นที่ดังกล่าวที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จำนวน 550 กิโลกรัม ผึ่งให้แห้งทุบให้มีขนาดเล็ก และเตรียมเป็นดินเพื่อปลูกพืชทดลองต่อไป

2) การเตรียมพืช

ทำการคัดเลือกต้นพันธุ์สับปะรดที่มีขนาด และความสูงใกล้เคียงกัน ปลูกใส่กระถางพลาสติกโดยปักชำต้นสับปะรดในกระถางใส่ดินที่เตรียมไว้ ดูแล และรักษาสับปะรดให้แข็งแรงประมาณ 30 วัน โดยทำการให้น้ำวันเว้นวันในตอนเช้าปริมาณน้ำ 100 มิลลิลิตรเพื่อให้ต้นสับปะรดแข็งแรงทนทานพร้อมต่อการทดลองในการใส่สารประกอบ

3) การเตรียมสารละลาย

การเตรียมสารประกอบโครเมียม และตะกั่ว โดยใช้สารละลายมาตรฐานโครเมียม คือ โปตัสเซียมไดโครเมท (Potassium dichromate; $K_2Cr_2O_7$) และสารละลายมาตรฐานตะกั่ว คือ เลดไนเตรท (Lead (II) nitrate; $Pb(NO_3)_2$) ชั่งตามสัดส่วนที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมเท่ากับ 0 และ 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน และความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเท่ากับ 0 และ 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน โดยคำนวณจากน้ำหนักดิน 5 กิโลกรัมน้ำหนักแห้งต่อภาชนะ

3.5.2 วิธีการดำเนินงาน

1) การเตรียมดินใส่ภาชนะปลูก

การเตรียมดินปลูกสับปะรด โดยการผึ่งดินให้แห้งที่อุณหภูมิห้องพร้อมทั้งทุบดินให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นชั่งดินใส่กระถางพลาสติกสีดำที่มีขนาดความกว้าง 8 นิ้ว สูง 16 นิ้ว จำนวน 5 กิโลกรัม โดยก้นกระถางมีรูระบายน้ำออกพร้อมทั้งหุ้มด้วยถุงพลาสติกเพื่อป้องกัน และรองรับน้ำที่รดต้นไม้ชะละลาย (Leachate) ออกนอกถุง

2) การปลูกพืช

นำหน่อสับปะรดที่คัดเลือกแล้วมาปลูกในดินที่เตรียมไว้ กระถางละ 5 กิโลกรัม นำไปเพาะชำในเรือนเพาะชำที่คลุมหลังคาด้วยพลาสติกใส และแสงสว่างสามารถส่องผ่านได้ประมาณ 97 % นำสับปะรดมาปลูกที่ความลึกประมาณ 5 เซนติเมตร จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง ให้น้ำทันทีที่ปลูก เมื่อสับปะรดตั้งตัวดี โดยมีขนาด ความสูง จำนวนใบ และความแข็งแรงของต้นใกล้เคียงกันหรือประมาณ 30 วัน ทำการใส่สารละลายโครเมียม และตะกั่ว โดยแยกชนิดกันหรือแยกชุดการทดลอง

3) การใส่สาร

ภายหลังจากการปลูกต้นสับปะรดจนมีอายุครบ 30 วัน ทำการใส่สารละลายโปตัสเซียมไดโครเมท และเลดไนเตรทที่เตรียมไว้ โดยแยกชนิดของสารละลาย และใส่คนละกระถาง ซึ่งใส่ลงบนผิวดินบริเวณรอบๆ ต้นสับปะรดที่ปลูกไว้แล้ว

4) การดูแลรักษา

การดูแลรักษาโดยทำการรดน้ำวันเว้นวันในตอนเช้าปริมาณน้ำ 100 มิลลิลิตรต่อถุง เพื่อไม่ให้สับปะรดชะงักการเจริญเติบโต ซึ่งในกรณีที่มีน้ำล้นออกมาถึงกระถางพลาสติกชั้นนอกได้มีการดึงน้ำด้วยกาลักน้ำกลับไปในกระถางใหม่โดยไม่ต้องรดน้ำในวันดังกล่าว นอกจากนี้ไม่มีการใส่ปุ๋ยตลอดการวิจัยครั้งนี้

5) การศึกษาความเป็นพิษ

5.1) บันทึกเปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษที่พืชได้รับ (Phytotoxicity หรือ Plant injury) ที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน หลังจากการใส่สารละลาย โดยการประเมินจากการสังเกตด้วยสายตา ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดการประเมิน ได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การประเมินความเป็นพิษของสับปะรดหลังจากได้รับโลหะหนักด้วยสายตา

ระดับความเป็นพิษ (คะแนน)	ลักษณะที่พืชการแสดงออก
0	พืชปกติ
1	เป็นพิษต่อพืชเล็กน้อย แผ่นใบเริ่มมีสีเหลืองหรือเหลืองซีด
2	เป็นพิษต่อพืชเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แผ่นใบเหลืองหรือเหลืองซีด
3	เป็นพิษต่อพืชเพิ่มมากขึ้น แผ่นใบเหลืองหรือไหม้ 50 เปอร์เซ็นต์
4	เป็นพิษต่อพืชรุนแรง ใบเหลืองหรือไหม้เกือบทั้งแผ่นใบ
5	เป็นพิษต่อพืชรุนแรงมาก ใบพืชเหลืองหรือแห้งไหม้ทั้งใบ

หมายเหตุ : เกณฑ์การแสดงความเป็นพิษของพืชดัดแปลงมาจาก Brown et al. (1991) และ Burrill et al. (1976)

ทำการประเมินความเป็นพิษของสับปะรดด้วยสายตาภายหลังจากได้รับโลหะหนัก นำผลการประเมินความเป็นพิษของสับปะรดมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษ โดยวิธีการคำนวณ มีดังนี้

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษของสารประกอบโครเมียม และตะกั่ว

$$\text{จากสูตร} = \frac{(A_0xB_0)+(A_1x\,B_1)+(A_2x\,B_2)+(A_3xB_3)+(A_4xB_4)+(A_5xB_5)}{(A_rxB_r)} \times 100$$

เมื่อ A_0 คือ จำนวนใบของลักษณะพืชปกติ

B_0 คือ คะแนนความเป็นพิษ 0 คะแนน (พืชปกติ)

A_1 คือ จำนวนใบที่เกิดลักษณะแผ่นใบเริ่มมีสีเหลืองหรือเหลืองซีด

B_1 คือ คะแนนความเป็นพิษ 1 คะแนน (แผ่นใบเริ่มมีสีเหลืองหรือเหลืองซีด)

A_2 คือ จำนวนใบที่เกิดลักษณะเป็นพิษเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แผ่นใบเหลืองหรือเหลืองซีด

B_2 คือ คะแนนความเป็นพิษ 2 คะแนน (แผ่นใบเหลืองหรือเหลืองซีด)

A_3 คือ จำนวนใบที่เกิดลักษณะเป็นพิษต่อพืชเพิ่มมากขึ้น แผ่นใบเหลืองหรือไหม้ 50 เปอร์เซ็นต์

B_3 คือ คะแนนความเป็นพิษ 3 คะแนน (แผ่นใบเหลืองหรือไหม้ 50 เปอร์เซ็นต์)

A_4 คือ จำนวนใบที่เกิดลักษณะเป็นพิษต่อพืชรุนแรง ใบเหลืองหรือไหม้เกือบทั้งแผ่นใบ

B_4 คือ คะแนนความเป็นพิษ 4 คะแนน (ใบเหลืองหรือไหม้เกือบทั้งแผ่นใบ)

A_5 คือ จำนวนใบที่เกิดลักษณะเป็นพิษต่อพืชรุนแรงมาก ใบพืชเหลืองหรือแห้งไหม้ทั้งใบ

B_5 คือ คะแนนความเป็นพิษ 5 คะแนน (ใบพืชเหลืองหรือแห้งไหม้ทั้งใบ)

A_r คือ จำนวนใบทั้งหมด

B_r คือ คะแนนความเป็นพิษสูงที่สุด 5 คะแนน (ใบพืชเหลืองหรือแห้งไหม้ทั้งใบ)

ตัวอย่างวิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษของสับปะรดที่อายุ 180 วันของการทดลอง ต้นที่ 1 มีจำนวนใบ 10 ใบ แต่ละใบมีการแสดงอาการเป็นพิษดังต่อไปนี้

- เป็นพิษต่อพืชเล็กน้อย แผ่นใบเริ่มมีสีเหลือง 4 ใบ ใบละ 1 คะแนน
- เป็นพิษต่อพืชเพิ่มมากขึ้น แผ่นใบเหลืองมีจุดไหม้ 50 เปอร์เซ็นต์ 4 ใบ ใบละ 3 คะแนน
- เป็นพิษต่อพืชรุนแรงมาก ใบพืชแห้งไหม้ทั้งใบ 2 ใบ ใบละ 5 คะแนน

คิดคะแนนความเป็นพิษ $\frac{(4 \times 1)+(4 \times 3)+(2 \times 5)}{(10 \times 5)} \times 100 = 52$ เปอร์เซ็นต์

5.2) วัดความยาวของส่วนเหนือดิน (ลำต้นเหนือดิน และใบ) และส่วนใต้ดิน (ลำต้นใต้ดิน และราก) ของสับปะรด (หน่วยเป็นเซนติเมตร) โดยทำการวัดทุกๆ 30 วัน หลังจากได้รับสารละสายโครเมียม และตะกั่ว

5.3) การหาน้ำหนักแห้งของพืชศึกษา หลังจากใส่สารละลาย 30 วัน นำตัวอย่างพืชล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปาก่อนแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้งจนตัวอย่างพืชสะอาด จากนั้นแยกส่วนของพืชออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดิน นำตัวอย่างพืชไปผึ่งในที่

ร่มประมาณ 2-3 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักสด และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักแห้ง โดยแยกส่วนของพืชทดลอง

3.5.3 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

1) การเก็บตัวอย่างดินและพืช

1.1) การเก็บตัวอย่างดิน โดยทำการเก็บตัวอย่างดินหลังจากใส่สารละลายโครเมียม และตะกั่วทุกๆ 30 วันจนสิ้นสุดการทดลอง 210 วัน โดยเก็บตัวอย่างดินทั้งหมดจากกระถางแล้วนำมารวม และผสมหรือคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกันในแต่ละกระถาง สำหรับตัวอย่างดินที่เก็บมาแล้วนำมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วนำไปบด และร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร ใส่ถุงซิบ และนำมาวิเคราะห์โดยแยกวิเคราะห์ในแต่ละชุดการทดลองหรือแยกออกตามชนิดของสารละลายที่ใส่ ชุดการทดลองที่ใส่สารละลายโครเมียมทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมทั้งหมด โครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ และโครเมียมไตรวาเลนซ์ ส่วนชุดการทดลองที่ใส่สารละลายตะกั่วทำการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วทั้งหมด

1.2) การเก็บตัวอย่างพืช ทำการเก็บตัวอย่างพืชภายหลังจากใส่สารละลายโครเมียม และตะกั่วทุกๆ 30 วันจนสิ้นสุดการทดลอง 210 วัน ซึ่งตัวอย่างพืชจะนำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปาก่อนแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้งจนตัวอย่างพืชสะอาดจากนั้นแยกส่วนของพืชออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดิน นำตัวอย่างพืชไปผึ่งในที่ร่มประมาณ 2-3 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักสด และนำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส นำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำพืชตัวอย่างบดแยกส่วนของพืช เก็บตัวอย่างใส่ถุงซิบ และนำมาวิเคราะห์โดยแยกการวิเคราะห์ออกตามชนิดของสารละลายที่ใส่ ชุดการทดลองที่ใส่สารละลายโครเมียมทำการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมทั้งหมด โครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ และโครเมียมไตรวาเลนซ์ ส่วนชุดการทดลองที่ใส่สารละลายตะกั่วทำการวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่สะสมในส่วนต่างๆ ของพืช

2) การวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช

2.1) การวิเคราะห์หาโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดในตัวอย่างดิน และพืช ใช้วิธีการของ USEPA method 3052 (USEPA, 1996) โดยตัวอย่างดิน และพืช นำมาย่อยด้วยกรด

(Acid digestion) ตามกระบวนการของไมโครเวฟ (Microwave digestion) และตรวจหาปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอร์ปชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic absorption spectrometer; AAS)

2.2) การวิเคราะห์หาโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ในตัวอย่างดิน และพืช โดยใช้วิธีการของ USEPA method 3060 และ USEPA method 7196 (USEPA, 1996) โดยตัวอย่างดิน และพืช นำไปวัดโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ด้วยเครื่องยูวี-สเปกโตรโฟโตรมิเตอร์ (UV-Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 540 นาโนเมตร สำหรับการหาปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมไตรวาเลนซ์ นั้นเป็นการหาความแตกต่างระหว่างปริมาณความเข้มข้นของโครเมียมทั้งหมด และโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์

2.3) การวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate; RGR) อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ในระหว่างช่วงเวลาหนึ่งๆ สามารถคำนวณตามสูตรดังต่อไปนี้

$$RGR_L = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$$

เมื่อ W_1 คือ ระดับของการเจริญเติบโตด้านความยาวใบ D-leave เมื่อเวลาเริ่มต้น

W_2 คือ ระดับของการเจริญเติบโตด้านความยาวใบ D-leave เมื่อเวลา t

t_1 คือ ช่วงระยะเวลาที่ทำการวัดครั้งแรก

t_2 คือ ช่วงระยะเวลาที่วัดครั้งสุดท้าย

3.5.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยใช้ ANOVA เพื่อหาค่า F-value ของปริมาณความเข้มข้นของโครเมียม และตะกั่วที่พบในส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินของสับปะรด ในกรณีข้อมูลมีความแตกต่าง เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลด้วยวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Statistical Package for the Social Science (SPSS)

บทที่ 4
ผลการศึกษาและอภิปราย

การศึกษาการแสดงความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วที่ปนเปื้อนในดิน ได้แบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่ 1 คือ การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของโครเมียม และตะกั่วที่เหมาะสมต่อการแสดงความเป็นพิษของสับปะรด และส่วนที่ 2 คือ การศึกษาการแสดงความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วที่ปนเปื้อนในดิน ที่อายุต่างๆ ของสับปะรด โดยทำการศึกษาคุณภาพของดิน การเจริญเติบโต การแสดงความเป็นพิษ และปริมาณการดูดดึง และสะสมโครเมียม และตะกั่วของสับปะรด สามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

4.1 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของโครเมียมและตะกั่วที่เหมาะสมต่อการแสดงความเป็นพิษของสับปะรด

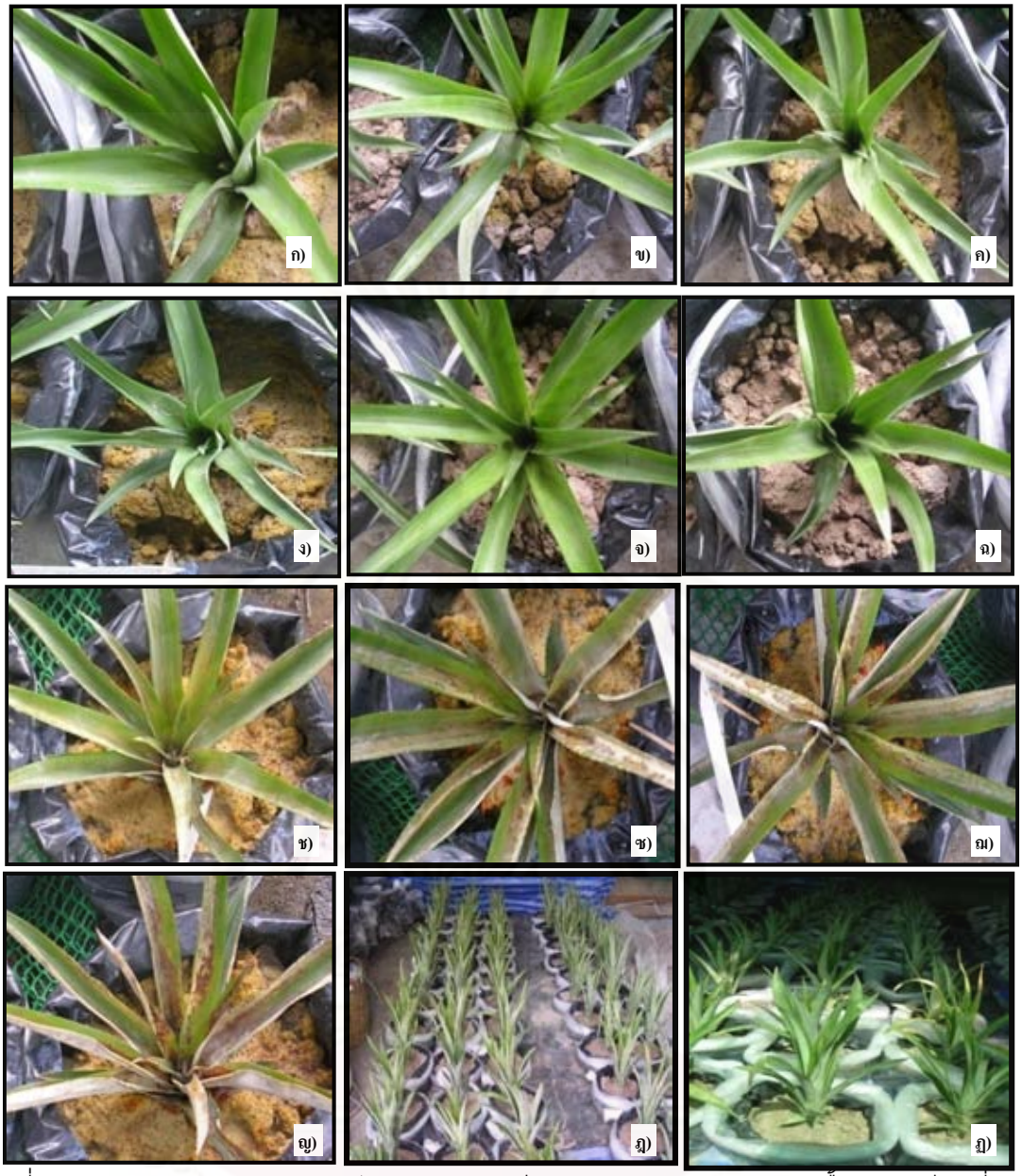
การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของโครเมียม และตะกั่วต่อการแสดงอาการของสับปะรดที่ระดับความเข้มข้น 10 ระดับได้แก่ 100, 200, 400, 600, 800, 1,000, 1,500, 2,000, 2,500 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยใส่สารละลายโครเมียม และตะกั่วโดยแยกชุดการทดลองเมื่อสับปะรดอายุ 30 วัน และสังเกตการแสดงความเป็นพิษเป็นระยะเวลา 30 วัน ผลการศึกษา พบว่า จากการแสดงความเป็นพิษของโครเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ นั้น สับปะรดแต่ละชุดการทดลองที่ปลูกในดินที่เติมสารละลายโครเมียม พบว่า สับปะรดแสดงความเป็นพิษที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียม 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลักษณะการแสดงความเป็นพิษเกิดใบเหลืองซีด (Chlorosis) (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1) และเมื่อระยะเวลาในการสังเกตการแสดงความเป็นพิษเพิ่มขึ้น หลังจากใส่สารละลายโครเมียมเป็นระยะเวลา 30 วัน สับปะรดมีการแสดงความเป็นพิษเพิ่มมากขึ้น และพบการตายของเนื้อเยื่อใบพืชบริเวณที่เกิดอาการใบเหลืองซีด ทั้งนี้ผลของโครเมียมที่มีความเป็นพิษต่อพืช เนื่องจากโครเมียมเฮกซะวาเลนท์เป็นสารที่มีความเป็นพิษสูงต่อพืช ซึ่งมีความสำคัญให้เกิดอาการใบซีดเหลืองในพืช โดยโครเมียมเฮกซะวาเลนท์เป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง มีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Redox potential) ที่สูงถึง 1.33–1.38 อิเล็กตรอนโวลต์ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดความเป็นพิษสูง และรวดเร็ว (Shanker et al, 2004a,b, in press) โดยโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ถูกพืชดูดดึง และเข้าสู่เซลล์จนทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์เมมเบรน (Cell membranes) อย่างรุนแรง (Barcelo et al, 1986; Vazquez et al, 1987; Shahandeh and Hossner , 2000; Mei et al, 2002) สำหรับโครเมียมไตรวาเลนท์ที่มีความเป็นพิษต่อพืช เนื่องจากโครเมียมไตรวาเลนท์มีความสามารถเกิดการรวมตัวกับกรดนิวคลิอิก (Nucleic

acid) โปรตีน และสารประกอบอินทรีย์ในพืชจึงทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เป็นพิษต่อพืช Barcelo et al. (1988) ได้ทำการศึกษาต้นถั่วที่มีการสะสมสารโครเมียมไตรวาเลนท์มากขึ้น มีผลทำให้พืชเกิดการแบ่งเซลล์ต่ำ และระบบท่อลำเลียง (Vascular bundles) มีลักษณะหนาทึบยากต่อการลำเลียงธาตุอาหารพืช นอกจากนี้ โครเมียม ไตรวาเลนท์ยังลดการกระตุ้นการสร้างคลอโรพลาสต์ (Chloroplasts) และทำให้การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ลดลง

ตารางที่ 4.1 การแสดงลักษณะความเป็นพิษของสับปะรด จากดินปนเปื้อนโครเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของโครเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ลักษณะการแสดงความเป็นพิษของสับปะรด (ระยะเวลา 30 วันหลังจากใส่สาร)
100	พืชมีลักษณะใบเขียวเป็นปกติ
200	พืชมีลักษณะใบเขียวเป็นปกติ
400	พืชมีลักษณะใบเขียวเป็นปกติ
600	พืชมีลักษณะใบเขียวเป็นปกติ
800	พืชมีลักษณะใบเขียวเป็นปกติ
1,000	พืชมีลักษณะใบเขียวเป็นปกติ
1,500	ใบพืชเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองซีด และสีน้ำตาล
2,000	ใบพืชสีเหลืองซีดเริ่มเปลี่ยนเป็นใบแห้ง และไหม้
2,500	ใบพืชมีสีเหลืองซีด ใบแห้ง และใบไหม้
3,000	เกิดการตายของเนื้อเยื่อใบ และใบไหม้เกือบทั้งใบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ลักษณะการแสดงความเป็นพิษของโครเมียมต่อสับปะรด จากดินปนเปื้อนโครเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ก) : โครเมียม 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ข) : โครเมียม 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ค) : โครเมียม 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ง) : โครเมียม 600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
จ) : โครเมียม 800 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ฉ) : โครเมียม1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ช) : โครเมียม 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ซ) : โครเมียม 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ฌ): โครเมียม 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ญ): โครเมียม 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ฎ) : ภาพรวมของการทดลอง
ฏ) : ภาพรวมของการทดลอง

สำหรับการศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของตะกั่วต่อการแสดงความเป็นพิษของสับปะรด พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของตะกั่ว 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่วทำให้สับปะรดแสดงอาการความเป็นพิษอย่างชัดเจน การแสดงความเป็นพิษของตะกั่วต่อสับปะรดนั้น ทำให้ใบเป็นสีเหลือง และสีน้ำตาลที่บริเวณขอบใบ และลามออกไปเป็นวงกว้างทั่วทั้งใบ (ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2) ซึ่งการแสดงความเป็นพิษในรูปแบบนี้คาดว่าเป็นผลมาจาก ตะกั่วชักนำให้เกิดการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ และกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยตะกั่วมีการเข้าแทนที่แมกนีเซียม (Mg) และแมงกานีส (Mn) จึงเกิดการยับยั้งการสังเคราะห์แสง และลดการสร้างสารสีสังเคราะห์แสง (Reddy et al, 2005; Ruley et al, 2005; Verma and Dubey, 2003) ทั้งนี้เนื่องจากคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่มีบทบาทต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (Lichtenthaler, 1987) ดังนั้นการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์จึงมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสง และการเจริญเติบโตของพืช

ตารางที่ 4.2 การแสดงลักษณะความเป็นพิษของสับปะรด จากดินปนเปื้อนตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ลักษณะการแสดงความเป็นพิษของสับปะรด (ระยะเวลา 30 วันหลังจากใส่สาร)
100	พืชมีลักษณะใบเขียวเป็นปกติ
200	พืชมีลักษณะใบเขียวเป็นปกติ
400	พืชมีลักษณะใบเขียวเป็นปกติ
600	พืชมีลักษณะใบเขียวเป็นปกติ
800	พืชมีลักษณะใบเขียวเป็นปกติ
1,000	พืชมีลักษณะใบเขียวเป็นปกติ
1,500	พืชมีลักษณะใบเขียวเป็นปกติ
2,000	พืชมีลักษณะใบเขียวเป็นปกติ
2,500	ใบพืชเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลือง
3,000	ใบพืชมีสีเหลือง และสีน้ำตาล

รูปที่ 4.2 ลักษณะการแสดงความเป็นพิษของตะกั่วต่อสับปะรด จากดินปนเปื้อนตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ก) : ตะกั่ว 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ข) : ตะกั่ว 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ค) : ตะกั่ว 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ง) : ตะกั่ว 600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
จ) : ตะกั่ว 800 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ฉ): ตะกั่ว 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ช): ตะกั่ว 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ซ): ตะกั่ว 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ฌ): ตะกั่ว 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ญ): ตะกั่ว 3,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ฎ) : ภาพรวมของการทดลอง
ฏ) : ภาพรวมของการทดลอง

ความสามารถในการดูดดึงโครเมียมและตะกั่วของสับปะรด

ความสามารถในการดูดดึงโครเมียม และตะกั่วของสับปะรด จากการศึกษาเบื้องต้นสับปะรดมีการสะสมโครเมียม และตะกั่วที่ระดับของความเข้มข้นต่างๆ (ตารางที่ 4.3) รวม 10 ระดับความเข้มข้นโดยแยกชนิดของสารละลายหรือแยกชุดการทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างพืชภายหลังจากใส่สารละลายโครเมียม และตะกั่วเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า โครเมียมที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตะกั่วที่ระดับความเข้มข้น 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้พืชแสดงความเป็นพิษ และสามารถสังเกตการแสดงความเป็นพิษได้อย่างชัดเจน เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอร์ปชั่นเสปกโตรมิเตอร์ (Atomic absorption spectrometer; (AAS)) มีค่าเท่ากับ 617.37 และ 969.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้สับปะรดมีความสามารถในการดูดดึง และสะสมโครเมียม และตะกั่วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณการดูดดึง และสะสมโครเมียม และตะกั่วสอดคล้องกับการแสดงความเป็นพิษของสับปะรด

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการดูดดึงโครเมียม และตะกั่วที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของสับปะรด

ความเข้มข้นของโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	โครเมียม	ตะกั่ว
100	42.90±3.44	35.58±3.06
200	76.35±10.50	67.60±2.41
400	118.47±15.44	102.38±3.46
600	157.07±18.58	152.07±20.62
800	324.74±21.77	258.76±19.85
1,000	357.22±17.42	311.75±14.87
1,500	617.37±17.02	489.24±6.53
2,000	741.02±14.32	703.52± 5.67
2,500	828.63±22.96	969.16±18.99
3,000	1,135.33±43.56	1,041.20±46.01

4.2 การศึกษาการแสดงความเป็นพิษของโครเมียมและตะกั่วที่อายุต่าง ๆ ของสับปะรด

การศึกษาการแสดงความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วต่อสับปะรด ที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการแสดงความเป็นพิษของโลหะทั้งสองชนิด คือ ที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียม 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และที่ระดับความเข้มข้นของตะกั่ว 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งคัดเลือกจากการศึกษาเบื้องต้น ทำการใส่สารละลายโดยแยกชุดการทดลองเมื่อสับปะรดอายุ 30, 60, 90,120,150 และ180 วัน และทำการเก็บตัวอย่างที่ 30 วันหลังจากใส่สารสารละลายทั้งสองชนิด ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และปริมาณโลหะหนักของดินทดลอง

1) คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการทดลอง

(1) คุณสมบัติของดินก่อนทำการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของดินทดลองพบว่า ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy clay loam) มีอัตราส่วนของ ทราย: ทรายแป้ง: เหนียว เท่ากับ 63.80: 5.40: 30.80 ซึ่งเป็นดินเนื้อละเอียดปานกลาง (ดังตารางที่ 4.4) ที่จัดอยู่ในกลุ่มดินร่วน (Soil Survey Staff, 1962) และเป็นดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชเป็นส่วนใหญ่ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 4.4 ถือว่าเป็นกรดจัด (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ซึ่งพืชในแต่ละชนิดมักตอบสนองต่อความเป็นกรด-ด่างของดินแตกต่างกัน โดยช่วงของความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมสำหรับสับปะรดคือ 4.0-5.5 ดินทดลองมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 60 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ($dS\ m^{-1}$) แสดงให้เห็นว่าดินไม่มีความเค็มที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชที่ปลูก เนื่องจากดินเค็มจะมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 4 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2544) ส่วนค่าการแลกเปลี่ยนประจุ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงปริมาณ แคตไอออนที่ดินสามารถดูดยึดไว้ได้มีค่าเท่ากับ 3.5 เซ็นติโมลต่อกิโลกรัม ($c\ mol(c)\ kg^{-1}$) อินทรียวัตถุในดินที่วัดได้เท่ากับ 0.64 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณที่น้อย เพราะโดยปกติดินที่ดีควรมีอินทรียวัตถุมากกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543; มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544) นอกจากนี้ ดินที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.032 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัส เท่ากับ 6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน คิดเป็นปริมาณต่ำปานกลาง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) และมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็น

ประโยชน์ในดิน เท่ากับ 48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดได้ว่ามีปริมาณต่ำ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ดินทดลองไม่พบการตกค้างหรือสะสมสารโครเมียม และตะกั่วในดินแต่อย่างใด

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางกายภาพ และเคมีของดินที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติของดิน	ค่าที่วิเคราะห์
ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)	4.4
ดินเหนียว (%, w/w)	30.80
ดินทรายแป้ง (%, w/w)	5.40
ดินทราย (%, w/w)	63.80
เนื้อดิน (Soil Texture)	ดินร่วนเหนียวปนทราย
ค่าการนำไฟฟ้าที่ 25 $^{\circ}$C (dS m^{-1})	60
อินทรียวัตถุ (%)	0.64
การแลกเปลี่ยนประจุ (c mol(c) kg^{-1})	3.5
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.032
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm)	6
โปตัสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ppm)	48
ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมด	*ND

หมายเหตุ : *ND = not detectable (มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถอ่านค่าได้)

(2) คุณสมบัติของดินหลังทำการทดลอง

ทำการวิเคราะห์สมบัติของดินภายหลังที่ทำการทดลองเสร็จสิ้นแล้ว โดยนำดินชุดการทดลองที่ใส่สารละลายโครเมียม และตะกั่ว ที่ระยะเวลาของการทดลอง 30 วัน ผสมในอัตราส่วน 1: 1 นำมาคลุกเคล้าให้เข้ากันก่อนทำการวิเคราะห์สมบัติของดิน ผลการวิเคราะห์สมบัติของดินหลังทำการทดลอง พบว่า ดินมีลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีใกล้เคียงกับดินก่อนทำการทดลอง หากแต่จากการวิเคราะห์ปริมาณการตกค้างหรือสะสมสารโครเมียม และตะกั่วในดินทดลอง พบว่า มีปริมาณการสะสมโครเมียม และตะกั่ว เท่ากับ 1,378.10 และ 2,415.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (แสดงดังตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 สมบัติทางกายภาพ และเคมีของดินหลังทำการการทดลอง

สมบัติของดิน	ค่าที่วิเคราะห์
ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)	4.6
ดินเหนียว (%, w/w)	38.60
ดินทรายแป้ง (%, w/w)	9.20
ดินทราย (%, w/w)	65.20
เนื้อดิน (Soil Texture)	ดินร่วนเหนียวปนทราย
ค่าการนำไฟฟ้าที่ 25 °C (dS m^{-1})	730
อินทรียวัตถุ (%)	0.60
การแลกเปลี่ยนประจุ (c mol(c) kg^{-1})	3.3
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.030
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm)	8
โปตัสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (ppm)	56
ปริมาณโครเมียมทั้งหมด	1,378.10
ปริมาณตะกั่วทั้งหมด	2,415.83

2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC)

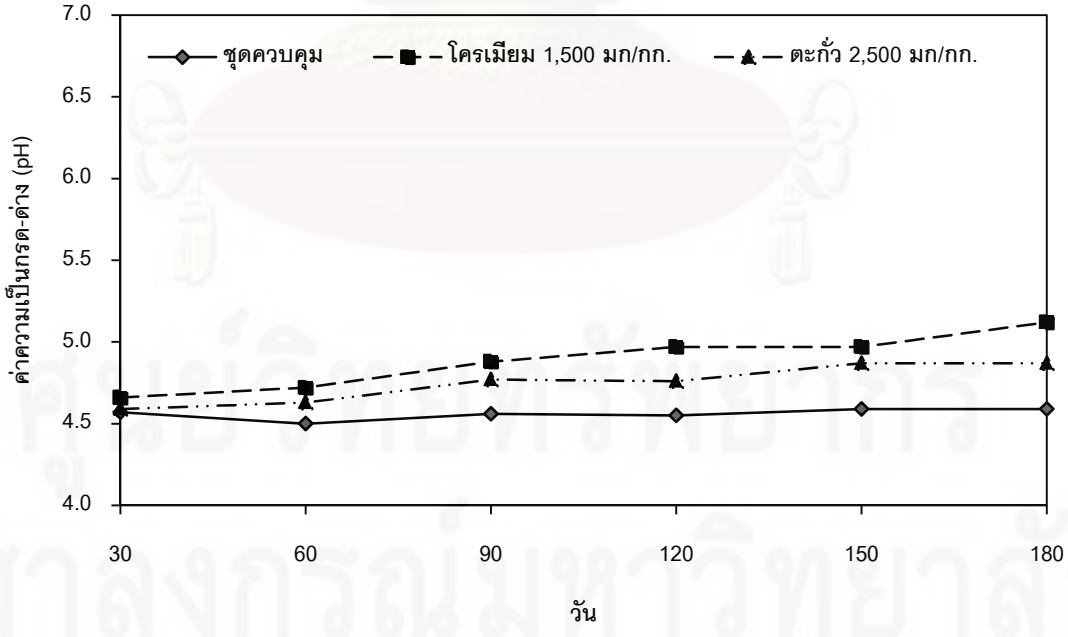
(1) ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินทดลอง

การทดลองปลูกสับปะรดในดินที่ปนเปื้อนโลหะหนักทั้งสองชนิด คือ โครเมียม และตะกั่ว โดยได้ทำการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ระยะเวลาการเกี่ยวทุกๆ 30 วันหลังจากใส่สารที่ระยะเวลาของการทดลอง 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน ตามลำดับ พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของชุดควบคุม (ไม่ใส่สาร) มีค่าค่อนข้างคงที่ทุกระยะเวลาในการทดลอง (ดังรูปที่ 4.3) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม และตะกั่ว พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกระยะเวลาในการทดลอง เนื่องจากดินที่ใช้ในการทดลองมีสมบัติเป็นกรดจัด โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.4 (ตารางที่ 4.1) ซึ่งหลังจากที่ใส่สารละลายโครเมียมโดยใช้โปตัสเซียมไดโครเมท (Potassium dichromate; $K_2Cr_2O_7$) ซึ่งอยู่ในรูปของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ใส่ลงในดิน ทำให้การเกิดปฏิกิริยาทางชีวะเคมี ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาทางชีวะเคมี และกิจกรรมของพืชในการดูดซึมสารอาหาร

เกิดการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) มีการดูดซับไฮโดรเจนไอออน (H^+) และปลดปล่อยไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ออกมา เมื่อไฮดรอกไซด์ไอออนเกิดการรวมตัวกับออกซิเจน (O_2) จะเกิดเป็นน้ำ

$$2CrO_4^{2-} + 2H^+ \leftrightarrow 2HCrO_4^- \leftrightarrow Cr_2O_7^{2-} + H_2O$$

จากการทดลองพบว่า สับปะรดที่ปลูกในดินปนเปื้อนโครเมียม และตะกั่วที่ระยะเวลาในการทดลอง 30 วัน มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.66 และ 4.59 ตามลำดับ และพบว่าภายหลังจากที่ระยะเวลาของการทดลองเพิ่มขึ้นค่าความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่ออายุของสับปะรดที่ใช้ในการทดลองเพิ่มขึ้นเท่ากับ 180 วัน ดินที่ใส่สารละลายโครเมียม และตะกั่วมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 5.12 และ 4.87 ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Lee et al. (1998) ทำการศึกษาการดูดซับตะกั่วในดิน โดยพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินเพิ่มขึ้นจาก 3.0 เป็น 8.5 และจากการศึกษาของ Griffin et al. (1977) ทำการศึกษาการดูดซับของโครเมียมในดินเหนียว พบว่า โครเมียมไตรวาเลนท์มีการดูดซับกับอนุภาคของดินเหนียว 30-300 เท่า และยังพบว่า จากการดูดซับโครเมียมไตรวาเลนท์ในดินมักเกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินทำให้ปริมาณของไฮดรอกไซด์ไอออนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเพิ่มขึ้นด้วย



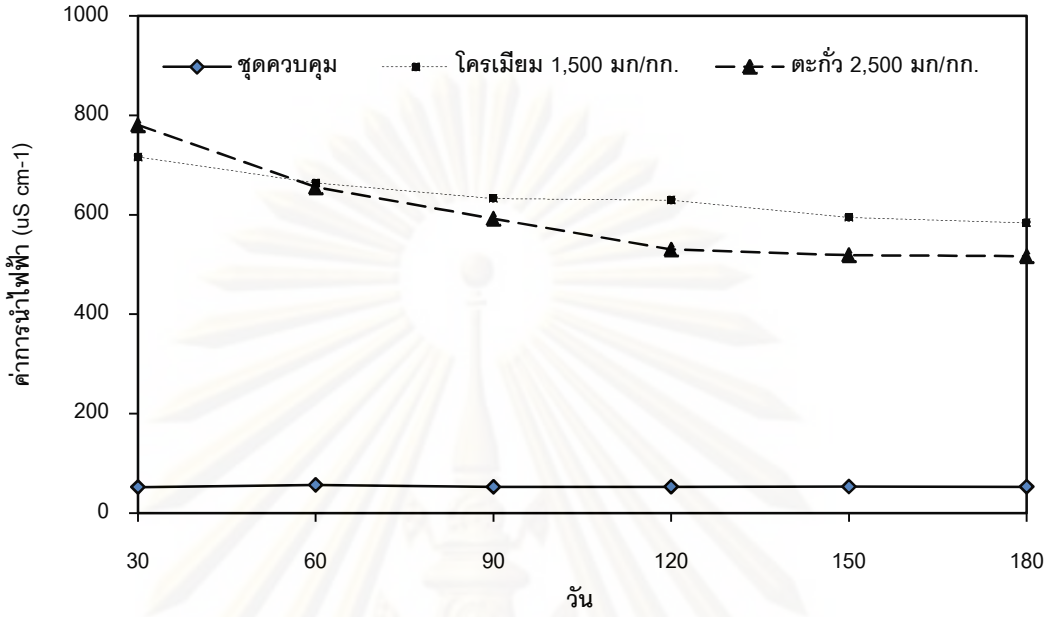
รูปที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง

(2) ค่าการนำไฟฟ้าของดินทดลอง

การนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณโดยรวมของสารอนินทรีย์ประเภทกรด-ด่าง และเกลือที่ละลายแตกตัวเป็นอิออนอยู่ในน้ำ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ วิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิ์ศักดิ์, 2540) เนื่องจากกระแสไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับความเค็มของเกลือในน้ำ การวัดค่าการนำไฟฟ้าจึงทำให้ประมาณค่าเกลือละลายในน้ำที่สกัดออกมาจากดินได้ ซึ่งจะใช้เป็นดัชนีของความเค็ม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ที่บอกถึงการดูดดึงธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของพืช

จากการทดลองปลูกสับปะรดในดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก คือ โครเมียม และตะกั่ว โดยได้ทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า ที่ระยะเวลาการเกี่ยวทุกๆ 30 วันหลังจากใส่สารที่อายุของสับปะรดในการทดลอง 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน ผลการทดลองพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของชุดควบคุม (ไม่ใส่สาร) มีค่าค่อนข้างคงที่ทุกระยะเวลาในการทดลอง (ดังรูปที่ 4.4) ค่าการนำไฟฟ้า ของชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม และตะกั่ว พบว่า มีแนวโน้มลดลงในทุกระยะเวลาของการทดลอง โดยชุดการทดลองที่ใส่สารละลายโครเมียมมีค่าการนำไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 716.24, 664.29, 632.97, 629.67, 595.00 และ 584.00 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ตามลำดับของอายุของสับปะรด และชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่วมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 780.50, 655.46, 592.00, 530.00, 518.67 และ 516.67 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ตามลำดับของอายุของสับปะรด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่าการนำไฟฟ้าผกผันกับค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าการละลายของสารละลายในดินลดลงจึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้อาจเกิดเนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชมีการดูดดึงธาตุอาหารซึ่งเป็นธาตุที่มีประจุไปใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543)

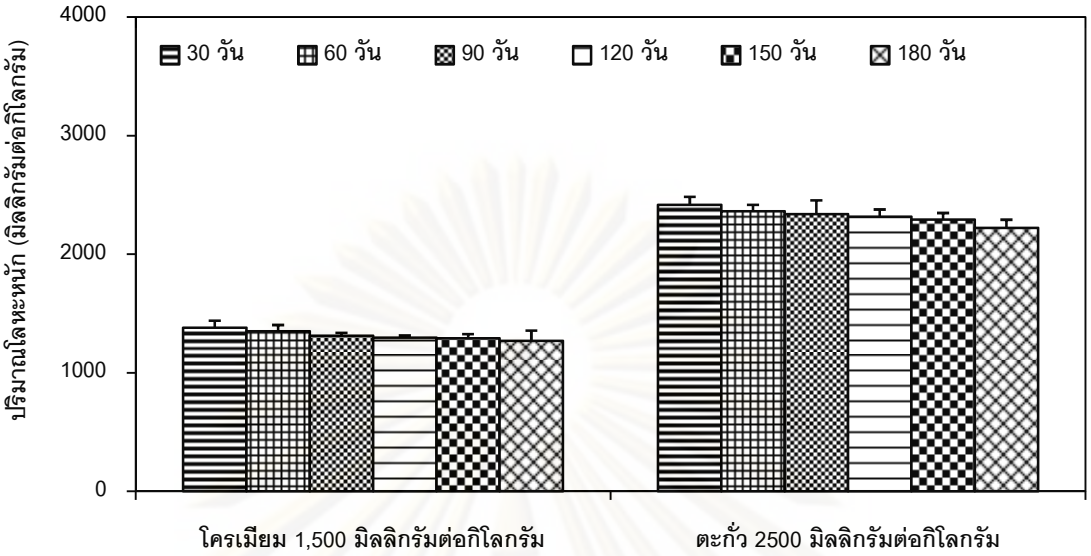
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 ค่าการนำไฟฟ้าของดินที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง

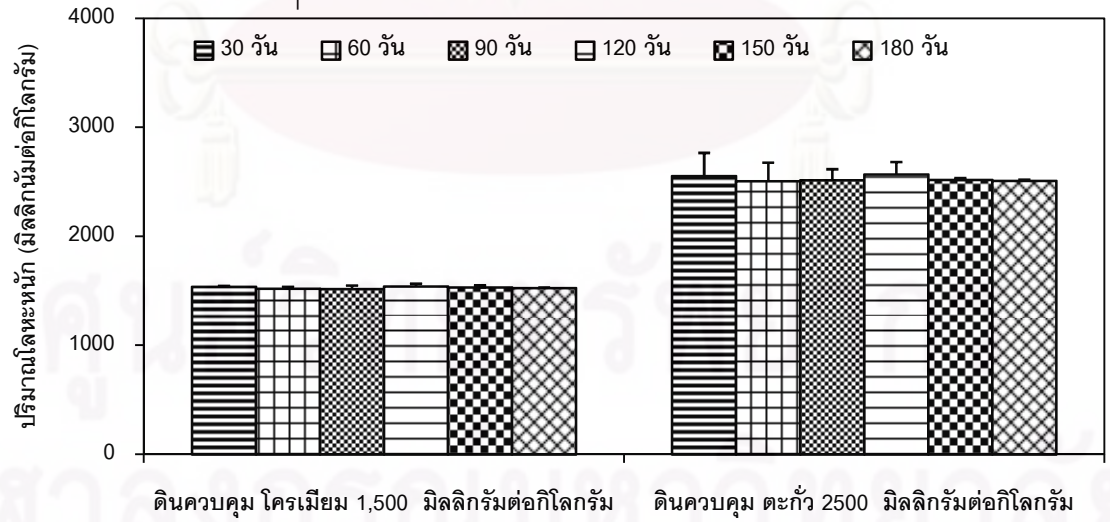
3) ปริมาณโครเมียมและตะกั่วในดินทดลอง

ภายหลังจากทำการเก็บเกี่ยวสับปะรด ได้นำดินที่ปลูกสับปะรดมาวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดในดิน ชุดการทดลองที่เติมสารละลายโครเมียมที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า มีปริมาณโครเมียมสะสมในดินเมื่อสับปะรดอายุ 30 วัน มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 1,378.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ดังรูปที่ 4.5) และมีแนวโน้มของการสะสมลดลง เมื่อระยะเวลาในการทดลองเพิ่มขึ้น สำหรับชุดการทดลองที่เติมตะกั่วที่ระดับความเข้มข้น 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน พบว่า มีปริมาณตะกั่วสะสมในดินเมื่อสับปะรดอายุ 30 วันมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 2,415.83 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการทดลองเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้ เนื่องจากสมบัติของดินมีปริมาณอินทรียวัตถุน้อย และเป็นกรดจัดจึงอาจทำให้มีปริมาณโครเมียม และตะกั่วละลายออกมามากทำให้พืชดูดดึงไปใช้ง่าย เมื่อการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นทำให้พืชดูดดึงสารละลายเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณโครเมียม และตะกั่วในดินลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณโครเมียม และตะกั่วในดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในแต่ละช่วงอายุต่างๆ ของสับปะรด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Cobb et al. (2000); Mattina et al. (2003) and Hough et al. (2004) พบว่า โดยปกติพืชมีความสามารถในการดูดดึง และสะสมโลหะหนักจากดินที่ปนเปื้อนเพิ่มขึ้นเมื่อพืชเจริญเติบโตมากขึ้น



รูปที่ 4.5 ปริมาณโครเมียม และตะกั่วในดินที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง

นอกจากนี้ ได้มีการยืนยันผลของการใส่สารโครเมียม และตะกั่วด้วยการประกัน และควบคุมคุณภาพ (QA/QC) ของดิน (ดังรูปที่ 4.6) โดยการใส่สารโครเมียม และตะกั่วลงในภาชนะขนาด และปริมาณเท่ากับที่ใช้ในการทดลองจริง แต่ไม่มีการปลูกสับปะรดลงในภาชนะปลูกทดลอง หลังจากนั้นเมื่อครบระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างได้นำไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม และตะกั่วในดิน พบว่า ค่าปริมาณโครเมียม และตะกั่วในแต่ละระยะเวลาของการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน สามารถยืนยันได้ว่า โครเมียม และตะกั่วมีการกระจายอยู่ทั่วไปในภาชนะปลูก และไม่มีการเกิดการสูญเสียจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ



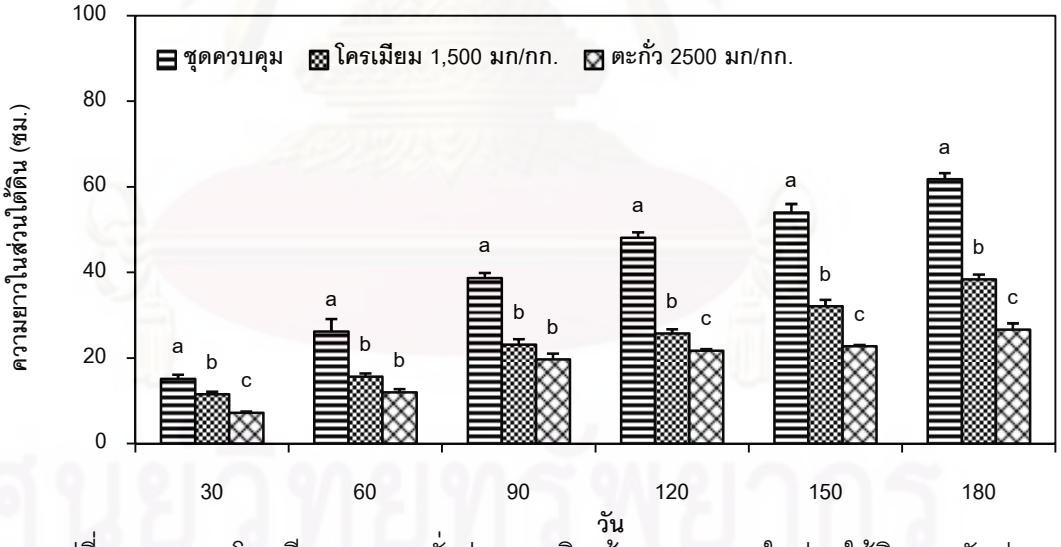
รูปที่ 4.6 ปริมาณการสะสมโครเมียม และตะกั่วในดินควบคุมไม่มีการปลูกพืช ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง

4.2.2 ผลของโครเมียมและตะกั่วต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด

1) ผลของโครเมียมและตะกั่วต่อการเจริญด้านความยาวของสับปะรด

(1) ความยาวของส่วนใต้ดิน

สับปะรดที่ใช้ในการทดลองปลูกได้ทำการคัดเลือกต้นที่มีความยาวรากใกล้เคียงกัน คือ มีความยาวรากอยู่ในช่วง 3-5 เซนติเมตร ภายหลังปลูกจนสับปะรดมีอายุ เท่ากับ 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน ได้ทำการใส่สารละลาย โดยพบว่า ชุดควบคุม (ไม่มีการใส่สาร) มีการเจริญเติบโตด้านความยาวในส่วนใต้ดินมากที่สุด รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ใส่ตะกั่ว 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และชุดการทดลองที่ใส่โครเมียม 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ในทุกอายุของสับปะรดที่ทำการทดลอง โดยที่ระยะเวลา 30 วันของการทดลอง พบว่า ในชุดควบคุม ชุดการทดลองที่ใส่สารละลายโครเมียม และสารละลายตะกั่ว มีความยาวของส่วนใต้ดินน้อยที่สุดเท่ากับ 38.2, 33.66 และ 35.03 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.7) และที่ระยะเวลา 180 วันของการทดลอง พบว่า ส่วนใต้ดินมีความยาวมากที่สุด เท่ากับ 63.9, 49.63 และ 46.5 เซนติเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 ผลของโครเมียม และตะกั่วต่อการเจริญด้านความยาวในส่วนใต้ดินของสับปะรด

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ แต่ระยะเวลาเดียวกัน ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

ทั้งนี้เนื่องจากรากสับปะรดสามารถดูดดึงโครเมียม และตะกั่วไปสะสมไว้ในส่วนรากจึงทำให้การเจริญเติบโตทางรากลดลง โดยสอดคล้องกับการทดลองของ Prasad et al. (2001) ได้รายงานว่า ระดับความเป็นพิษของโลหะหนักในรากของพืช *Salix viminalis* คือ แคดเมี่ยม > โครเมียม > ตะกั่ว นอกจากนี้ยังพบว่า สารละลายโครเมียมมีผลกระทบต่อความยาวรากของพืชมากกว่าโลหะชนิดอื่น

สำหรับการเจริญเติบโตด้านความยาวในส่วนใต้ดินของสับปะรด พบว่า ที่อายุของสับปะรดของสับปะรด 150 และ 180 วัน ชุดการทดลองที่ใส่สารละลายโครเมียมมีการลดลงของความยาวในส่วนใต้ดินมีค่ามาก เท่ากับ 31.27 และ 35.20 เซนติเมตร ตามลำดับของอายุสับปะรด ซึ่งนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของความยาวในส่วนใต้ดินเท่ากับ 57.79 และ 57.10 เปอร์เซ็นต์ (แสดงดังตารางที่ 4.6 และ 4.7) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่ออายุของสับปะรดเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การลดลงของการเจริญเติบโตด้านความยาวในส่วนใต้ดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ไม่อุ้มน้ำ มีการระบายน้ำดี พืชสามารถดูดธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ รากจึงไม่เน่า ส่วนชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่วที่อายุของสับปะรดของสับปะรด 30 วัน มีการลดลงของความยาวในส่วนใต้ดินมากที่สุดเท่ากับ 3.60 เซนติเมตร และที่ระยะเวลา 60-180 วันของการทดลอง การลดลงของความยาวในส่วนใต้ดินเพิ่มขึ้นมีค่าอยู่ระหว่าง 10.63-23.37 เซนติเมตร เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงมีค่าอยู่ระหว่าง 37.82-40.19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า เมื่อสับปะรดได้รับสารตะกั่วที่มีความเข้มข้นสูง และดูดดึงสารละลายตะกั่วซึ่งเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตในส่วนใต้ดินของสับปะรดจึงทำให้การเจริญเติบโตความยาวในส่วนใต้ดินลดลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 การเจริญเติบโตด้านความยาวของสับปะรดในส่วนใต้ดินที่ได้รับสารละลายโครเมียมที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ความยาวของสับปะรดในส่วนใต้ดิน			
	โครเมียม 0 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	โครเมียม 1,500 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	การลดลง (เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์การลดลง (%)
30	$15.10^{a}\pm0.95$	$7.17^{a}\pm0.33$	$7.79^{a}+0.64$	$51.99^{a}+4.21$
60	$26.20^{b}\pm2.98$	$12.00^{b}\pm0.69$	$14.2^{b}+5.93$	$53.52^{a}+8.64$
90	$38.70^{c}\pm1.24$	$19.63^{c}\pm1.38$	$19.03^{bc}+3.18$	$48.99^{a}+5.10$
120	$48.10^{c}\pm1.33$	$21.65^{cd}\pm0.41$	$21.45^{c}+2.79$	$49.69^{a}+3.61$
150	$54.00^{d}\pm2.08$	$22.73^{d}\pm0.34$	$31.27^{d}+2.05$	$57.79^{a}+2.17$
180	$61.80^{e}\pm1.46$	$26.60^{e}\pm1.55$	$35.20^{d}+0.21$	$57.10^{a}+2.99$

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอายุต่างๆ ของสับปะรด ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

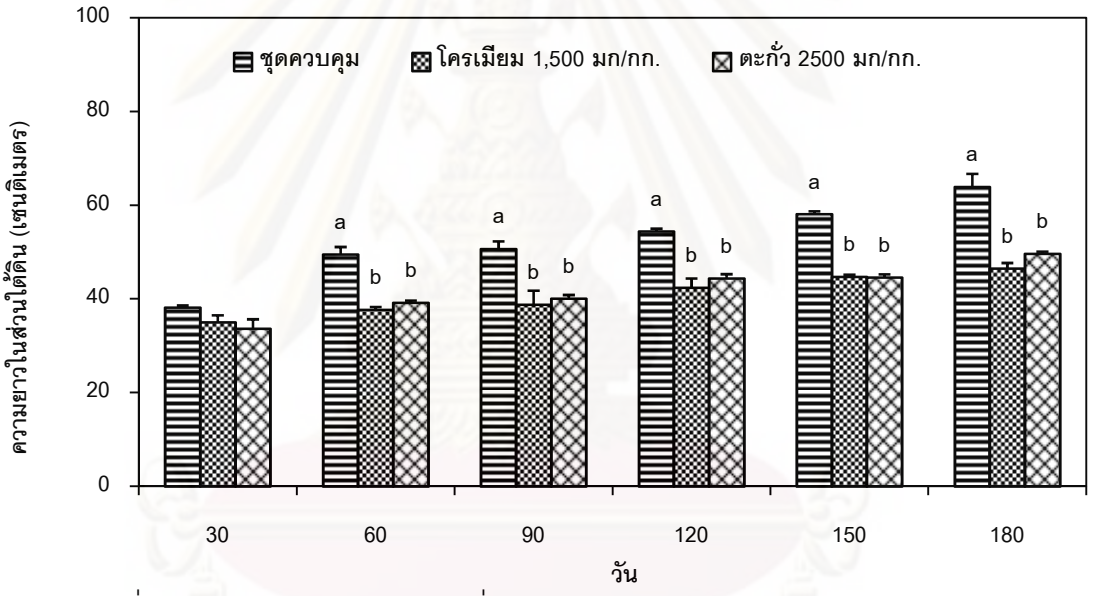
ตารางที่ 4.7 การเจริญเติบโตด้านความยาวของสับปะรดในส่วนใต้ดินที่ได้รับสารละลายตะกั่ว ที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ความยาวของสับปะรดในส่วนใต้ดิน			
	ตะกั่ว 0 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ตะกั่ว 2,500 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	การลดลง (เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์การลดลง (%)
30	$15.10^{a}\pm0.95$	$35.03^{a}\pm0.58$	$3.60^{a}\pm1.48$	$23.18^{a}\pm9.13$
60	$26.20^{b}\pm2.98$	$37.70^{b}\pm0.84$	$10.63^{b}\pm4.74$	$39.79^{b}\pm6.86$
90	$38.70^{c}\pm1.24$	$38.80^{c}\pm1.27$	$15.53^{bc}\pm2.05$	$40.18^{b}\pm2.30$
120	$48.10^{c}\pm1.33$	$42.40^{cd}\pm1.09$	$17.43^{cd}\pm4.80$	$40.19^{b}\pm8.11$
150	$54.00^{d}\pm2.08$	$44.70^{d}\pm1.47$	$21.90^{cd}\pm3.11$	$40.16^{b}\pm4.42$
180	$61.80^{e}\pm1.46$	$46.50^{e}\pm1.12$	$23.37^{d}\pm0.85$	$37.82^{b}\pm0.82$

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอายุต่างๆ ของสับปะรด ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

(2) ความสูงในส่วนเหนือดิน

การเจริญเติบโตของสับปะรดด้านความสูงของส่วนเหนือดิน ที่ระยะเวลา 30 วัน ในชุดการทดลองที่ใส่สารละลายโครเมียม มีค่าเท่ากับ 33.7 เซนติเมตร (ดังรูปที่ 4.8) ชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่ว มีค่าเท่ากับ 35 เซนติเมตร ซึ่งการเจริญเติบโตด้านความสูงดังกล่าวไม่มีความแตกต่างจากชุดควบคุม (ไม่มีการใส่สาร) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 38.2 เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากการเจริญเติบโตของรากสับปะรดในระยะแรก มีการดูดดึงสารละลายจากรากเคลื่อนย้ายสู่ลำต้นได้น้อย แต่ที่ระยะเวลา 60 ถึง 120 วัน ในชุดควบคุม มีการเจริญเติบโตมากกว่าชุดการทดลองที่ใส่สารละลายโครเมียม และสารตะกั่ว ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.8 ผลของโครเมียม และตะกั่วต่อการเจริญด้านความสูงในส่วนเหนือดินของสับปะรด

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ แต่ระยะเวลาเดียวกัน ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

นอกจากนี้สับปะรดมีการเจริญเติบโตด้านความสูงในส่วนเหนือดินช้าลงเมื่อได้รับสารละลายโครเมียม และตะกั่ว เนื่องจากพืชดูดดึงโครเมียม และตะกั่วไปไว้ในส่วนของลำต้น และใบจนถึงระดับที่เป็นพิษ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชลดลง โดยชุดการทดลองที่ใส่โครเมียมมีการลดลงของความสูงในส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นเมื่ออายุของสับปะรดเพิ่มขึ้น โดยการลดลงของความสูงในส่วนเหนือดินของสับปะรดมีมากที่สุดที่อายุของสับปะรด 180 วัน มีค่าเท่ากับ 14.23 เซนติเมตร (ดังตารางที่ 4.8) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของความสูงในส่วนเหนือดินเท่ากับ 22.03 เปอร์เซ็นต์ สำหรับชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่ว พบว่า มีการลดลงในด้านความสูงของสับปะรดที่อายุของสับปะรด 180 วัน มากที่สุด เท่ากับ 17.40 เซนติเมตร หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงเท่ากับ 26.76 เปอร์เซ็นต์ (ดังตารางที่ 4.9)

ตารางที่ 4.8 การเจริญเติบโตด้านความสูงของสับปะรดในส่วนเหนือดินที่ได้รับสารละลายโครเมียมที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ความสูงของสับปะรดในส่วนเหนือดิน			
	โครเมียม 0 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	โครเมียม 1,500 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	การลดลง (เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์การลดลง (%)
30	$38.20^{a}\pm0.38$	$33.67^{a}\pm2.05$	$4.53^{a}\pm4.59$	$11.87^{a}\pm12.23$
60	$49.50^{b}\pm1.63$	$39.17^{b}\pm0.48$	$10.37^{b}\pm0.85$	$20.70^{ab}\pm1.44$
90	$50.70^{b}\pm1.59$	$40.07^{b}\pm0.83$	$10.63^{b}\pm1.62$	$21.91^{ab}\pm2.19$
120	$54.40^{bc}\pm0.56$	$44.40^{c}\pm0.86$	$10.00^{b}\pm13.57$	$18.34^{ab}\pm2.18$
150	$58.10^{c}\pm0.58$	$44.57^{c}\pm0.74$	$13.57^{b}\pm0.21$	$23.33^{b}\pm0.87$
180	$63.90^{d}\pm2.88$	$49.63^{e}\pm0.46$	$14.23^{b}\pm4.03$	$22.03^{ab}\pm4.90$

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอายุต่างๆ ของสับปะรด ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 การเจริญเติบโตด้านความสูงของสับปะรดในส่วนเหนือดินที่ได้รับสารละลายตะกั่วที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	ความสูงของสับปะรดในส่วนเหนือดิน			
	ตะกั่ว 0 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ตะกั่ว 2,500 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	การลดลง (เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์การลดลง (%)
30	$38.20^{a}\pm0.38$	$35.31^{a}\pm1.50$	$3.17^{a}\pm1.20$	$8.22^{a}\pm3.21$
60	$49.50^{b}\pm1.63$	$40.06^{ab}\pm0.57$	$11.87^{ab}\pm2.19$	$23.75^{ab}\pm4.17$
90	$50.70^{b}\pm1.59$	$43.30^{abc}\pm3.50$	$11.87^{ab}\pm1.34$	$22.93^{ab}\pm1.19$
120	$54.40^{bc}\pm0.56$	$46.09^{bcd}\pm1.94$	$11.97^{ab}\pm5.37$	$21.95^{ab}\pm9.4$
150	$58.10^{c}\pm0.58$	$53.37^{cd}\pm0.48$	$13.47^{ab}\pm0.92$	$23.14^{ab}\pm1.07$
180	$63.90^{d}\pm2.88$	$57.93^{d}\pm1.22$	$17.40^{b}\pm7.07$	$26.76^{b}\pm9.56$

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอายุต่างๆ ของสับปะรด ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

2) ผลของโครเมียมและตะกั่วต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของใบสับปะรด

การวัดการเจริญเติบโตของสับปะรดที่ปลูกในกระถางทดลองในระหว่างช่วงเวลาหนึ่งๆ ใช้หลักการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (RGR_L) ของความยาวใบ D-leave โดยการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ที่ช่วงอายุของสับปะรด 30-180 วัน ในชุดการทดลองที่ใส่สารละลายโครเมียมมีค่าระหว่าง 0.0019-0.0002 เซนติเมตรต่อเดือน ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์น้อยกว่าชุดควบคุม โดยมีค่าระหว่าง 0.0055-0.0031 เซนติเมตรต่อเดือน (แสดงดังตารางที่ 4.10) สำหรับ ชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่ว พบว่า อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ที่อายุของสับปะรด 30-180 วัน มีค่าระหว่าง 0.0012-0.0008 เซนติเมตรต่อเดือน (แสดงดังตารางที่ 4.11) โดยมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์น้อยกว่าชุดควบคุมที่มีค่าระหว่าง 0.0055-0.0031 เซนติเมตรต่อเดือน จากการเจริญเติบโตของสับปะรดดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า สับปะรดในชุดควบคุมมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ด้านความยาวใบ D-leave มากกว่าชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม และสารตะกั่วได้อย่างชัดเจน และเมื่อระยะเวลาในการทดลองเพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ในชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม และสารตะกั่วมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพืชมีการสังเคราะห์แสงลดลง

ประกอบกับโลหะหนักเข้าไปยับยั้งการดูดดึงธาตุอาหารบางชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อพืช จึงส่งผลให้การพัฒนาทางด้านการยืดยาวของใบพืชลดลง

ตารางที่ 4.10 ผลของโครเมียมต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของความยาวใบ D-leave สับปะรด

ชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม				ชุดควบคุม			
อายุ (วันหลังปลูก)	ความยาวใบ D-leave			อายุ (วันหลังปลูก)	ความยาวใบ D-leave		
	ซ.ม.	ln	RGR_L		ซ.ม.	ln	RGR_L
30	29.00	3.367	0.0019	30	29.07	3.370	0.0055
60	30.70	3.424		60	34.30	3.535	
RGR_L	(3.424-3.367)/(60-30)			RGR_L	(3.535-3.370)/(60-30)		
60	30.67	3.423	0.0007	60	29.50	3.384	0.0107
90	31.30	3.444		90	40.67	3.705	
RGR_L	(3.444-3.423)/(90-60)			RGR_L	(3.705-3.384)/(90-60)		
90	38.40	3.648	0.0005	90	33.73	3.518	0.0069
120	39.00	3.664		120	41.43	3.724	
RGR_L	(3.664-3.648)/(120-90)			RGR_L	(3.724-3.518)/(120-90)		
120	39.97	3.688	0.0004	120	37.37	3.621	0.0058
150	40.40	3.699		150	44.47	3.795	
RGR_L	(3.699-3.688)/(150-120)			RGR_L	(3.833-3.739)/(150-120)		
150	43.50	3.773	0.0002	150	42.07	3.739	0.0031
180	43.80	3.779		180	46.20	3.833	
RGR_L	(3.779-3.773)/(180-150)			RGR_L	(3.920-3.793)/(180-150)		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ผลของตะกั่วต่ออัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของความยาวใบ D-leave สับปะรด

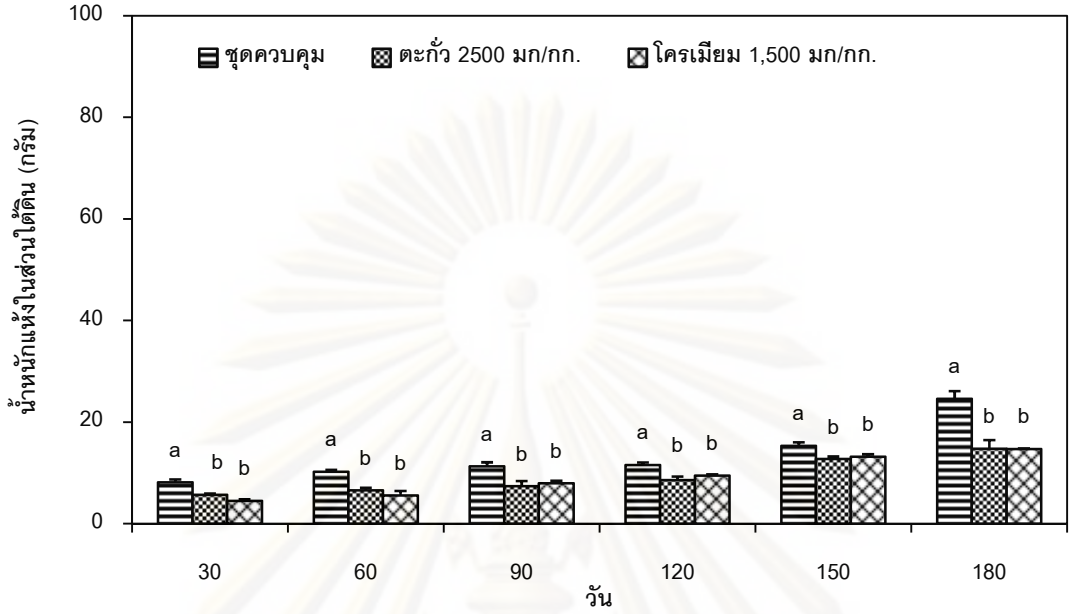
ชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่ว				ชุดควบคุม			
อายุ (วันหลังปลูก)	ความยาวใบ D-leave			อายุ (วันหลังปลูก)	ความยาวใบ D-leave		
	ซ.ม.	ln	RGR_L		ซ.ม.	ln	RGR_L
30	29.03	3.368	0.0012	30	29.07	3.370	0.0055
60	30. 07	3.404		60	34.30	3.535	
RGR_L	(3.404-3.368)/(60-30)			RGR_L	(3.535-3.370)/(60-30)		
60	32.47	3.480	0.0009	60	29.50	3.384	0.0107
90	33.30	3.506		90	40.67	3.705	
RGR_L	(3.506-3.480)/(90-60)			RGR_L	(3.705-3.384)/(90-60)		
90	32.20	3.472	0.0014	90	33.73	3.518	0.0069
120	33.57	3.514		120	41.43	3.724	
RGR_L	(3.514-3.472)/(120-90)			RGR_L	(3.795-3.621)/(120-90)		
120	41.77	3.732	0.0008	120	37.37	3.621	0.0058
150	42.77	3.756		150	44.47	3.795	
RGR_L	(3.756-3.732)/(150-120)			RGR_L	(3.833-3.739)/(150-120)		
150	43.77	3.779	0.0008	150	42.07	3.739	0.0031
180	44.77	3.802		180	46.20	3.833	
RGR_L	(3.802-3.779)/(180-150)			RGR_L	(3.920-3.793)/(180-150)		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) ผลของโครเมียมและตะกั่วต่อการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งของสับปะรด

(1) ส่วนใต้ดิน

จากการศึกษาการแสดงความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วต่อการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งในส่วนใต้ดินของสับปะรด โดยพบว่า สับปะรดในชุดควบคุมสามารถเจริญเติบโตได้ดี และมีน้ำหนักแห้งมากกว่าชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่ว 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยมีค่าเท่ากับ 8.11, 4.48 และ 5.69 กรัม ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.9) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ที่ระยะเวลาในการทดลอง 30 วัน แสดงให้เห็นว่า การเจริญเติบโตของสับปะรดในระยะแรกของชุดการทดลองที่ใส่สารละลายโครเมียม และตะกั่วมีผลทำให้เกิดการชะงัก และยับยั้งการเจริญเติบโตในส่วนใต้ดินของสับปะรด และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นสารละลายทั้งสองชนิดที่ใช้ในการทดลองส่งผลให้น้ำหนักแห้งมีแนวโน้มลดลงมากขึ้น ทั้งนี้เมื่ออายุของสับปะรด 180 วัน พบว่า น้ำหนักแห้งของสับปะรดในส่วนใต้ดินของชุดควบคุม ชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่ว 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 24.57, 14.73 และ 14.72 กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งที่อายุต่างๆ ของสับปะรดในส่วนใต้ดินระหว่างชุดควบคุม กับของชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม และชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่ว พบว่า ชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม และตะกั่วมีแนวโน้มของการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งลดลง ทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต ทั้งนี้อาจเนื่องจากรากของพืชเป็นส่วนที่ใช้ในการดูดดึงสารละลายโครเมียม และตะกั่วเป็นอันดับแรก ในส่วนใต้ดินของพืชจึงมีการตอบสนองต่อสารละลายได้ดี และเร็วกว่าส่วนเหนือดิน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ohamed (2005) ศึกษาผลของตะกั่วต่อการแสดงความเป็นพิษของปมรากถั่วปากอ้า (*Vicia faba* L.) พบว่าสารตะกั่วมีความเป็นพิษต่อพืชโดยการเข้าไปยับยั้งไนโตรเจนเอ็นไซม์ (Nitrogen enzymes) ของโปรตีนในรากพืช นอกจากนี้ตะกั่วยังเข้าไปขัดขวางการสร้างเล็กฮีโมโกบิน (Leghemoglobin) ในรากพืช จึงทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโตทางราก และจากการศึกษาของ Moral et al. (1987) ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งในส่วนต่างๆ ของมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum*) ที่ปลูกในสารละลายโครเมียม พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของส่วนยอดเพิ่มขึ้น และที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโครเมียม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของรากพืชลดลงมากกว่าน้ำหนักแห้งของยอดพืช



รูปที่ 4.9 ผลของโครเมียม และตะกั่วต่อการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งในส่วนใต้ดินของสับปะรด

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ แต่ระยะเวลาเดียวกัน ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

เมื่อเปรียบเทียบการลดลงของน้ำหนักแห้งในส่วนใต้ดินของชุดการทดลองที่ใส่โครเมียม พบว่า น้ำหนักแห้งในส่วนใต้ดินลดลงมากสุดที่อายุของสับปะรด 180 วัน โดยลดลงเท่ากับ 9.86 เซนติเมตร (ดังตารางที่ 4.12) แสดงให้เห็นว่า สารโครเมียมทำให้น้ำหนักแห้งในส่วนใต้ดินของสับปะรดลดลง เนื่องจากโครเมียมมีความเป็นพิษ และยับยั้งการแบ่งเซลล์รากพืช รวมทั้งขัดขวางการยืดยาวของรากพืช (Barcelo et al, 1986) จึงส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของราก ส่วนชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่ว พบว่า มีการลดลง และเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักแห้งในส่วนใต้ดินสูงสุดที่อายุของสับปะรด 180 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.80 เซนติเมตร และ 38.62 เปอร์เซ็นต์ (ดังตารางที่ 4.13) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 น้ำหนักแห้งของสับปะรดในส่วนใต้ดินที่ได้รับสารละลายโครเมียม ที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักแห้งของสับปะรดในส่วนใต้ดิน			
	โครเมียม 0 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	โครเมียม 1,500 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	การลดลง (เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์การลดลง (%)
30	$8.11^{a}\pm0.66$	$4.48^{a}\pm0.27$	$3.63^{a}\pm0.90$	$44.60^{b}\pm2.44$
60	$10.18^{ab}\pm0.38$	$5.54^{a}\pm0.88$	$4.64^{a}\pm2.93$	$44.98^{b}\pm24.81$
90	$11.26^{b}\pm0.82$	$7.94^{b}\pm0.50$	$3.32^{a}\pm1.97$	$28.96^{ab}\pm13.42$
120	$11.55^{b}\pm0.53$	$9.42^{b}\pm0.33$	$2.13^{a}\pm0.45$	$17.87^{a}\pm2.44$
150	$15.30^{c}\pm0.67$	$13.15^{c}\pm0.53$	$3.15^{a}\pm0.43$	$21.06^{a}\pm0.83$
180	$24.57^{d}\pm1.53$	$14.71^{d}\pm0.13$	$9.86^{b}\pm3.36$	$39.62^{b}\pm7.95$

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอายุต่างๆ ของสับปะรด ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

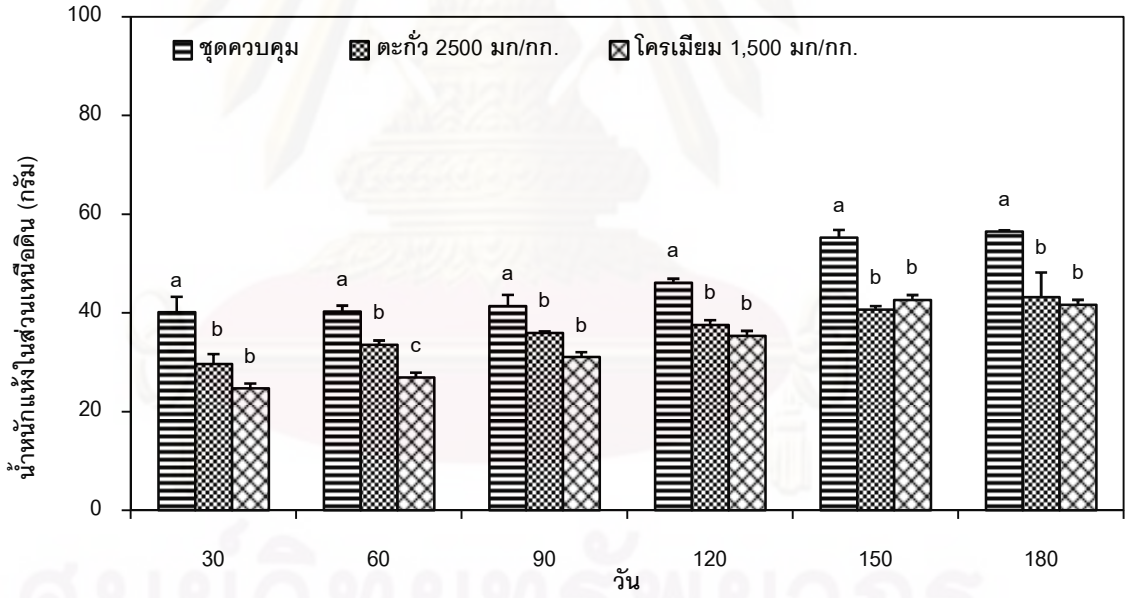
ตารางที่ 4.13 น้ำหนักแห้งของสับปะรดในส่วนใต้ดินที่ได้รับสารละลายตะกั่ว ที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักแห้งของสับปะรดในส่วนใต้ดิน			
	ตะกั่ว 0 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ตะกั่ว 2,500 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	การลดลง (เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์การลดลง (%)
30	$8.11^{a}\pm0.66$	$5.69^{a}\pm0.23$	$2.44^{a}\pm0.97$	$29.72^{ab}\pm6.40$
60	$10.18^{ab}\pm0.38$	$6.56^{a}\pm049$	$3.16^{a}\pm1.41$	$35.30^{b}\pm1.41$
90	$11.26^{b}\pm0.82$	$7.36^{a}\pm0.95$	$3.86^{a}\pm1.27$	$34.58^{ab}\pm7.41$
120	$11.55^{b}\pm0.53$	$8.56^{a}\pm0.74$	$2.98^{a}\pm1.62$	$25.99^{ab}\pm5.25$
150	$15.30^{c}\pm0.67$	$12.70^{b}\pm0.21$	$2.27^{a}\pm1.62$	$14.76^{a}\pm8.14$
180	$24.57^{d}\pm1.53$	$14.73^{b}\pm1.73$	$9.80^{b}\pm6.96$	$38.62^{b}\pm21.94$

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอายุต่างๆ ของสับปะรด ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

(2) **ส่วนเหนือดิน**

การแสดงความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วต่อการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินของสับปะรด พบว่า สับปะรดในชุดควบคุมสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม และชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่ว ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยที่สับปะรดอายุ 30 วัน พบว่า ชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม และชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่วมีน้ำหนักแห้งลดลงเล็กน้อย มีค่าเท่ากับ 24.67 และ 29.63 กรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ซึ่งน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินเท่ากับ 40.16 กรัม (ดังรูปที่ 4.10) ซึ่งมีค่ามากกว่าชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม และสารตะกั่ว อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำหนักแห้งของสับปะรดในส่วนเหนือดินในชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม และสารตะกั่วมีแนวโน้มลดลงมากขึ้น และเมื่ออายุของสับปะรด 180 วัน พบว่า น้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินของชุดควบคุม ชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม และสารตะกั่ว มีค่าเท่ากับ 56.46, 41.64 และ 43.20 กรัม ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 ผลของโครเมียม และตะกั่วต่อการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินของสับปะรด

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันบนกราฟแต่ละแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ แต่ระยะเวลาเดียวกัน ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

นอกจากนี้ การศึกษาน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินของสับปะรดที่ลดลงในชุดการทดลองที่ใส่โครเมียม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) ในทุกช่วงอายุของสับปะรด (ดังตารางที่ 4.14) หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินมากที่สุดที่อายุของสับปะรด 30 วัน โดยมีค่าเท่ากับ 37.85 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทดลองที่ใส่สารตะกั่ว พบว่า การลดลงของน้ำหนักแห้งหรือคิดเป็นมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) ในทุกช่วงอายุของสับปะรด (ดังตารางที่ 4.15) เช่นกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารละลายโลหะหนักที่สับปะรดดูดดึงเข้าไปนั้นส่วนใหญ่สะสมอยู่ในส่วนใต้ดินของสับปะรด มีเพียงโลหะหนักบางส่วนที่ถูกเคลื่อนย้ายสู่ส่วนต่างๆ ของสับปะรด จึงส่งผลให้สับปะรดแสดงการลดลงของน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Breckle (1989) ที่ทำการศึกษาผลของโลหะหนักต่อการเจริญเติบโตของรากพืช โดยพบว่า โลหะหนักสามารถทำให้รากพืชชะงักการเจริญเติบโต หากแต่ไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตในส่วนยอดของพืช

ตารางที่ 4.14 น้ำหนักแห้งของสับปะรดในส่วนเหนือดินที่ได้รับสารละลายโครเมียม ที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักแห้งของสับปะรดในส่วนเหนือดิน			
	โครเมียม 0 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	โครเมียม 1,500 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	การลดลง (เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์การลดลง (%)
30	$40.16^{a} \pm 3.13$	$24.67^{a} \pm 0.35$	$15.50^{a} \pm 6.60$	$37.85^{d} \pm 10.60$
60	$40.27^{b} \pm 1.25$	$26.87^{a} \pm 0.69$	$13.40^{a} \pm 2.79$	$33.13^{cd} \pm 4.92$
90	$41.36^{bc} \pm 2.30$	$31.03^{b} \pm 0.94$	$10.34^{a} \pm 0.25$	$24.73^{bc} \pm 1.39$
120	$46.12^{bc} \pm 0.83$	$35.35^{c} \pm 0.25$	$10.77^{a} \pm 0.12$	$23.32^{b} \pm 0.03$
150	$55.22^{c} \pm 0.67$	$42.61^{d} \pm 2.16$	$12.36^{a} \pm 3.68$	$22.55^{a} \pm 8.30$
180	$56.46^{d} \pm 0.25$	$41.64^{d} \pm 0.77$	$14.82^{a} \pm 1.05$	$26.25^{bc} \pm 1.84$

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอายุต่างๆ ของสับปะรด ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

ตารางที่ 4.15 น้ำหนักแห้งของสับปะรดในส่วนเหนือดินที่ได้รับสารละลายตะกั่ว ที่อายุของสับปะรดแตกต่างกัน

ระยะเวลา (วัน)	น้ำหนักแห้งของสับปะรดในส่วนเหนือดิน			
	ตะกั่ว 0 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ตะกั่ว 2,500 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	การลดลง (เซนติเมตร)	เปอร์เซ็นต์การลดลง (%)
30	$40.16^{a}\pm3.13$	$29.63^{a}\pm0.64$	$10.53^{a}\pm6.55$	$25.12^{a}\pm13.26$
60	$40.27^{b}\pm1.25$	$33.50^{ab}\pm0.89$	$6.77^{a}\pm4.75$	$16.54^{a}\pm10.92$
90	$41.36^{bc}\pm2.30$	$35.93^{ab}\pm0.27$	$5.43^{a}\pm1.45$	$12.63^{a}\pm2.82$
120	$46.12^{bc}\pm0.83$	$37.53^{c}\pm1.05$	$8.59^{a}\pm2.03$	$18.62^{a}\pm4.28$
150	$55.22^{c}\pm0.67$	$42.61^{d}\pm2.16$	$4.27^{a}\pm3.25$	$9.41^{a}\pm6.86$
180	$56.46^{d}\pm0.25$	$43.20^{d}\pm5.58$	$4.60^{a}\pm13.68$	$8.13^{a}\pm24.34$

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอายุต่างๆ ของสับปะรด ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

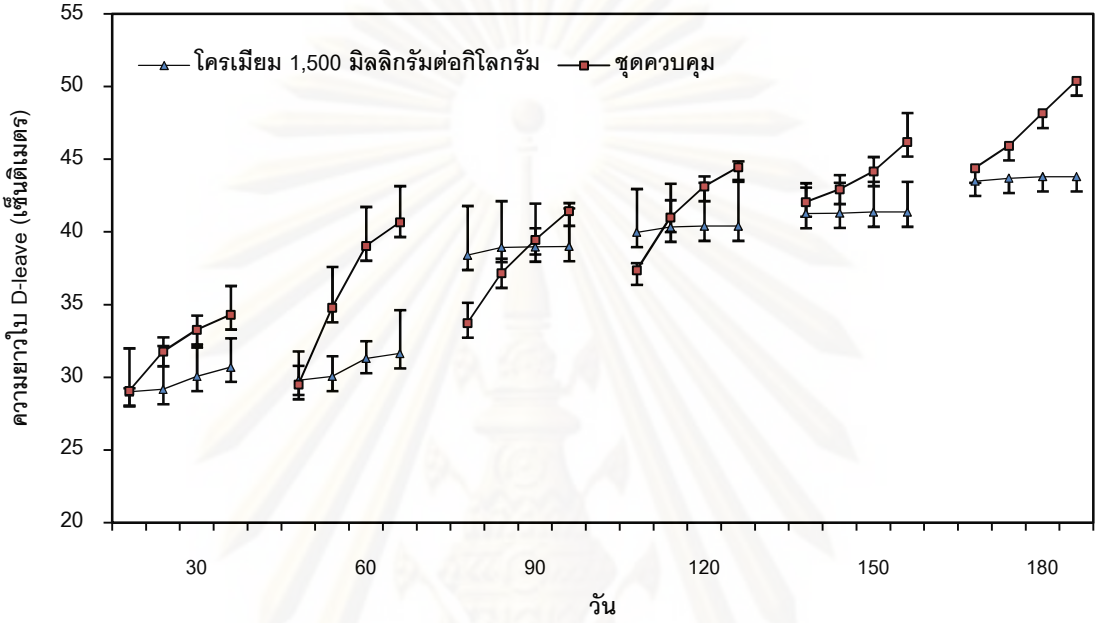
4) ความยาวใบ D-leave

ใบ D-leave เป็นใบที่มีความสำคัญมากที่สุดของสับปะรด เนื่องจากมีการเจริญเติบโตเต็มที่และมีอายุเหมาะสม ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงใช้ใบ D-leave เป็นตัวชี้วัดให้เห็นถึงสภาพทางสรีระหรือผลผลิตของสับปะรด โดยสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

(1) ความเป็นพิษของโครเมียมต่อความยาวใบ D-leave

ทำการวัดความยาวใบ D-leave ในวันที่เริ่มต้นใส่สารละลาย และหลังจากนั้น 10, 20 และ 30 วันหลังจากใส่สารละลาย ผลการทดลองพบว่า โครเมียมมีผลต่อการเจริญเติบโตด้านความยาวของใบของสับปะรด ที่ระยะเวลาในการทดลอง 180 วัน มากที่สุด โดยชุดควบคุมมีความยาวใบ D-leave มากสุดเท่ากับ 44.4, 45.9, 48.2 และ 50.4 เซนติเมตร ตามลำดับของระยะเวลาในการวัดความยาวใบ ซึ่งยาวมากกว่าชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม มีค่าเท่ากับ 43.5, 43.7, 43.8 และ 43.8 เซนติเมตร ตามลำดับของระยะเวลาในวัดความยาวใบ (ดังรูปที่ 4.11) แสดงให้เห็นว่า สารละลายโครเมียมมีผลต่อการเจริญเติบโตด้านความยาวของใบหรือการยืดยาวของใบสับปะรด ทั้งนี้อาจ

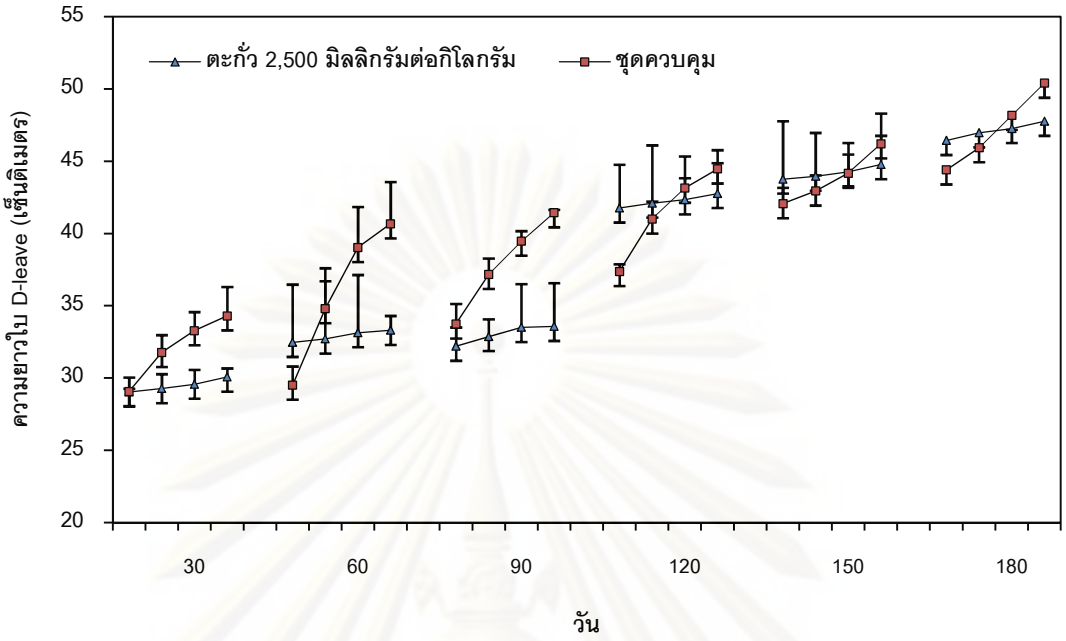
เนื่องจาก โครเมียมไปยับยั้งขบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (Vazques et al, 1987) นอกจากนี้สารละลายโครเมียมยังไปยับยั้งการดูดดึงธาตุอาหารของพืชด้วย (Khan et al, 2000) จึงทำให้เกิดการขาดธาตุอาหารของพืช



รูปที่ 4.11 ผลของโครเมียมต่อความยาวใบ D-leave ของสับปะรด

(2) ความเป็นพิษของตะกั่วต่อความยาวใบ D-leave

ตะกั่วมีผลต่อการเจริญเติบโตด้านความยาวของใบสับปะรด ที่ระยะเวลาในการทดลอง 180 วัน พบว่า ชุดควบคุมมีความยาวใบ D-leave มากสุดเท่ากับ 44.4, 45.9, 48.2 และ 50.4 เซนติเมตร ตามลำดับของระยะเวลาในการวัดความยาวใบ สำหรับชุดการทดลองที่ใส่สารละลายตะกั่วมีค่าเท่ากับ 46.4, 46.9, 47.3 และ 47.8 เซนติเมตร ตามลำดับของระยะเวลาในการวัดความยาวใบ (ดังรูปที่ 4.12) นอกจากนี้ยังพบว่า สับปะรดในชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่วมีการเจริญเติบโตด้านความยาวใบเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากใส่สารละลายในทุกระยะเวลาในการทดลอง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า สารละลายตะกั่วมีผลต่อการเจริญเติบโตด้านความยาวของใบหรือการยืดยาวของใบสับปะรด



รูปที่ 4.12 ผลของตะกั่วต่อความยาวใบ D-leave ของสับปะรด

5) จำนวนใบต่อต้น

การทดลองครั้งนี้ได้ทำการนับจำนวนใบของสับปะรด ในวันที่เริ่มต้นของการใส่สารละลายโครเมียม และตะกั่ว และหลังจากนั้นนับจำนวนใบในวันที่ 10, 20 และ 30 วันหลังจากใส่สารละลาย ผลการทดลองพบว่า จำนวนใบต่อต้นของชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม และชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่ว พบว่า ไม่มีการเกิดใบใหม่ในทุกระยะเวลาในการทดลองหรือทุกอายุของสับปะรด (ดังตารางที่ 4.16) หากแต่ชุดควบคุม พบว่า สับปะรดมีการเจริญเติบโตปกติมีการเกิดใบใหม่ในทุกอายุของสับปะรด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก สับปะรดมีการดูดดึงสารละลายโครเมียม และตะกั่วซึ่งเป็นพิษเข้าสู่พืช ทำให้สับปะรดไม่สามารถเกิดใบใหม่ได้ หรือกล่าวได้ว่าสารละลายโครเมียม และตะกั่ว มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของสับปะรด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 จำนวนใบของสับปะรดที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง

อายุสับปะรด (วัน)	สารละลาย (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	จำนวนใบหลังจากใส่สารละลาย			
		0 วัน	10 วัน	20 วัน	30 วัน
30	ชุดควบคุม	19.3±3.06[a]	19.3±3.06[a]	21.3±4.04[a]	23.6±4.51[a]
	โครเมียม 1,500	16.0±4.36[a]	16.0±4.36[a]	16.0±4.36[a]	16.0±4.36[a]
	ตะกั่ว 2,500	17.3±1.53[a]	17.3±1.53[a]	17.3±1.53[a]	17.3±1.53[a]
60	ชุดควบคุม	20.3±2.08[a]	21.3±2.08[a]	22.7±2.51[a]	23.7±2.51[a]
	โครเมียม 1,500	19.0±3.46[a]	19.0±3.46[a]	19.0±3.46[b]	19.0±3.46[b]
	ตะกั่ว 2,500	19.7±2.31[a]	19.7±2.31[a]	19.7±2.31[ab]	19.7±2.31[b]
90	ชุดควบคุม	18.7±1.53[a]	19.7±1.53[a]	20.3±1.53[a]	21.0±2.00[a]
	โครเมียม 1,500	22.3±3.79[a]	22.3±3.79[a]	22.3±3.79[a]	22.3±3.79[a]
	ตะกั่ว 2,500	19.3±2.51[a]	19.3±2.51[a]	19.3±2.51[a]	19.3±2.51[a]
120	ชุดควบคุม	22.0±3.00[a]	22.7±3.51[a]	24.3±3.06[a]	25.7±2.52[a]
	โครเมียม 1,500	22.3±0.58[a]	22.3±0.58[a]	22.3±0.58[a]	22.3±0.58[a]
	ตะกั่ว 2,500	21.0±1.73[a]	21.0±1.73[a]	21.0±1.73[a]	21.0±1.73[a]
150	ชุดควบคุม	22.6±2.08[a]	23.3±0.58[a]	24.0±1.73[a]	25.3±1.53[a]
	โครเมียม 1,500	22.3±0.58[a]	22.3±0.58[a]	22.3±0.58[a]	22.3±0.58[a]
	ตะกั่ว 2,500	21.0±1.73[a]	21.0±1.73[a]	21.0±1.73[a]	21.0±1.73[a]
180	ชุดควบคุม	25.0±1.00[a]	26.0±1.00[a]	27.3±0.58[a]	28.67±0.58[a]
	โครเมียม 1,500	24.3±0.58[a]	24.3±0.58[a]	24.3±0.58[a]	24.3±0.58[b]
	ตะกั่ว 2,500	25.0±0.00[a]	25.0±0.00[a]	25.0±0.00[a]	25.0±0.00[ab]

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอายุต่างๆ ของสับปะรด ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

4.2.3 ผลของโครเมียมและตะกั่วต่อการแสดงอาการความเป็นพิษของสับปะรด

การทดสอบความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วต่อการแสดงความเป็นพิษของสับปะรด ซึ่งการทดลองครั้งนี้ได้ดัดแปลงวิธีการคิด และคำนวณจากเกณฑ์การให้คะแนนตามวิธีการของ Brown et al. (1991) โดยเป็นการสังเกตการแสดงความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วด้วยสายตา (Visual observation) ที่เกิดขึ้นในวันที่ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วันหลังจากใส่สารละลายโครเมียม และตะกั่วแล้ว จากนั้นนำผลการประเมินมาคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ความเป็นพิษของโครเมียมต่อการแสดงอาการของสับปะรด

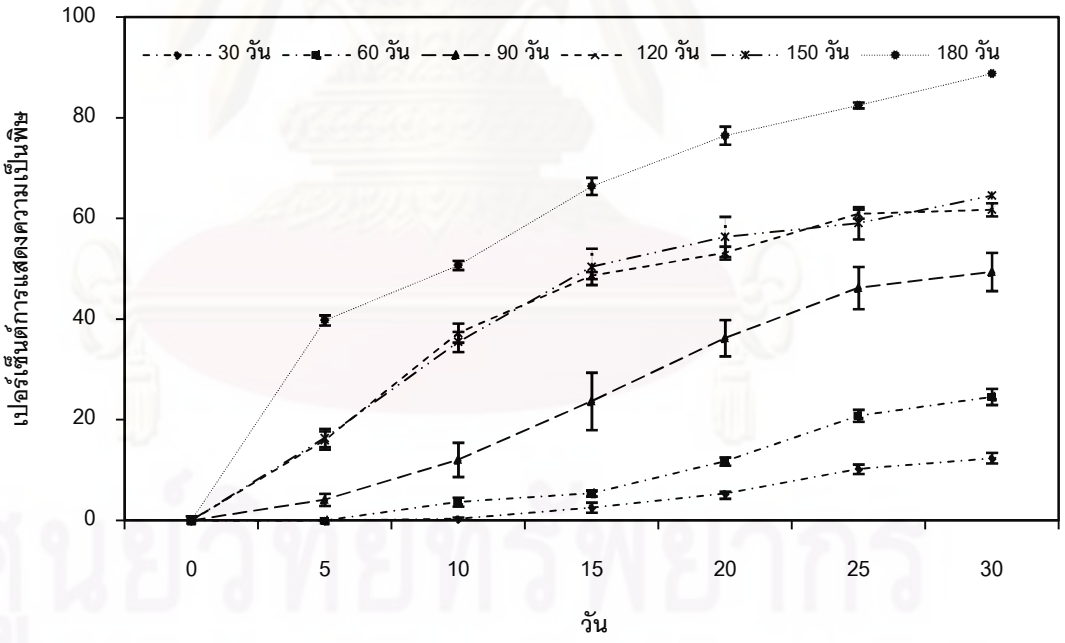
เกณฑ์การให้คะแนนความเป็นพิษซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Brown et al. (1991) ดังตารางที่ 4.17 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.17 เกณฑ์การให้คะแนน ความเป็นพิษของโครเมียมต่อการแสดงอาการความเป็นพิษของสับปะรด

คะแนน	ลักษณะการแสดงความเป็นพิษ
0	พืชมีสีเขียวปกติ
1	ใบพืชเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองซีด
2	ใบพืชมีสีเหลืองซีด
3	ใบพืชสีเหลืองซีดเริ่มเปลี่ยนเป็นใบแห้ง และไหม้
4	ใบพืชมีใบแห้ง และใบไหม้เพิ่มขึ้น
5	เกิดการตายของเนื้อเยื่อใบ และใบไหม้ทั้งใบ

จากผลการทดลองความเป็นพิษของสารละลายโครเมียม ที่มีต่อการแสดงอาการของสับปะรด จากการสังเกตด้วยสายตา พบว่า โครเมียมมีผลต่อการแสดงอาการของสับปะรด ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการแสดงความเป็นพิษมากที่สุดที่อายุของสับปะรดเท่ากับ 180 วัน โดยได้มีการสังเกตการแสดงความเป็นพิษหลังจากใส่สารทุกๆ 5 วันเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยโครเมียมมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นพิษมากที่สุดเท่ากับ 39.76, 50.69, 66.39, 76.47, 82.48 และ 88.78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับของ

ระยะเวลาการสังเกตการแสดงความเป็นพิษของโครเมียมทุกๆ 5 วัน (ดังรูปที่ 4.13) ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษมากขึ้นเมื่ออายุของสับปะรด และระยะเวลาในการสังเกตความเป็นพิษหลังจากใส่สารเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่า โครเมียมมีความเป็นพิษต่อสับปะรดสูง เนื่องจากสับปะรดสามารถดูดดึงโครเมียมในรูปของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ซึ่งโครเมียมเฮกซะวาเลนท์เป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง มีค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Redox potential) ที่สูงถึง 1.33–1.38 อิเล็กตรอนโวลต์ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดความเป็นพิษสูง และรวดเร็ว (Shanker et al, 2004a,b, in press) Pedreno et al. (1997) รายงานว่า จากการสังเกตลักษณะทางใบพืชหลังจากใส่สารละลายโครเมียมที่ระดับความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ใบพืชมีอาการใบเหลือง (Chlorosis) และที่ระดับความเข้มข้น 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้พืชมีอาการใบไหม้ (Necrosis) นอกจากนี้ Hunter and Vergnano (1953) รายงานการแสดงความเป็นพิษของโครเมียมที่มีต่อข้าวโอ๊ต ที่ระดับความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่า พืชแสดงอาการใบเหลืองเล็กน้อย และที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียม 25 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า พืชแสดงอาการใบเหลือง และอาการใบไหม้ ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษของโครเมียมที่มีต่อสับปะรด

อย่างไรก็ตามเมื่อสับปะรดได้รับสารละลายโครเมียมในปริมาณที่มากเกินไป สับปะรดจะแสดงอาการความเป็นพิษได้ทั้งทางตรง และทางอ้อม สาเหตุของการแสดงความเป็นพิษทางตรงของโครเมียม คือ โครเมียมที่มีอยู่มากเกินไปนั้นทำหน้าที่ขัดขวางขบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) และเนื่องจากสับปะรดไม่สามารถเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนได้ และ/หรือโครเมียมกระตุ้นกิจกรรมของเอ็นไซม์ (Enzyme) ในวัฏจักรของเคลวิน (Calvin cycle) (Vazques et al, 1987) อีกทั้งโครเมียมจะลดปฏิกิริยาตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ยับยั้งการสังเคราะห์ ATP ในกระบวนการโฟโตฟอสโฟริเลชัน (Photo-phosphorylation) (Clijsters and Van Assche, 1985) นอกจากนี้โครเมียมยังทำให้โครงสร้างของเซลล์คลอโรพลาสต์จัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (Vazques et al, 1987) ส่วนสาเหตุทางอ้อม คือ โครเมียมทำให้เกิดการขัดขวางหรือการดูดดึงธาตุอาหารต่างๆ ของสับปะรดทำให้เกิดความไม่สมดุลกันของธาตุอาหาร ตลอดจนส่งผลกระทบต่อขบวนการต่างๆ ภายในสับปะรด ตลอดจนโครเมียมสามารถยับยั้ง และขัดขวางการดูดดึงไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) เหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) แมงกานีส (Mn) โมลิดินัม (Mo) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) และโบรอน (B) (Moral et al, 1995, 1996; Khan et al, 2000)

สำหรับการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษของสับปะรดภายหลังจากใส่สารละลายโครเมียมเป็นระยะเวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วัน พบว่า เปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษของพืชเพิ่มขึ้นตามอายุของสับปะรดที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.18) ได้แก่ อายุของสับปะรดที่ 180 วัน (ซึ่งเป็นช่วงอายุสุดท้ายของการทดลอง) โดยสับปะรดมีเปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษอยู่ในช่วง 39.76-88.78 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้การแสดงความเป็นพิษของโครเมียมเริ่มแรกจะสังเกตเห็นความผิดปกติจากการเจริญเติบโตของระบบราก และยอดของพืช (Parr, 1982) แล้วนำไปสู่การที่พืชเริ่มชะงักการเจริญเติบโตด้านความสูง (Peterson, 1974) ซึ่งความไวของการตอบสนองต่อความเป็นพิษของพืชสามารถเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ การเจริญเติบโตของราก > การสังเกตลักษณะความเป็นพิษด้วยสายตา > การเจริญเติบโตของใบ และปริมาณน้ำในใบ (Hauschild, 1993)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 เปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษของโครเมียมต่อการแสดงอาการความเป็นพิษของสับปะรดที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง

อายุสับปะรด (วัน)	เปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษหลังจากใส่สาร (%)					
	5 (วัน)	10 (วัน)	15 (วัน)	20 (วัน)	25 (วัน)	30 (วัน)
30	$0^{a}\pm0.00$	$0.32^{b}\pm0.32$	$2.58^{b}\pm1.09$	$5.35^{c}\pm0.37$	$10.26^{d}\pm0.86$	$12.36^{d}\pm0.11$
60	$0^{a}\pm0.00$	$3.68^{b}\pm0.99$	$5.40^{b}\pm0.63$	$11.75^{c}\pm0.84$	$20.83^{d}\pm1.21$	$24.57^{e}\pm1.64$
90	$4.12^{ab}\pm1.29$	$12.08^{c}\pm2.49$	$23.69^{d}\pm5.79$	$36.23^{e}\pm3.65$	$46.20^{ef}\pm4.29$	$49.39^{f}\pm3.77$
120	$15.95^{b}\pm1.80$	$37.26^{c}\pm1.88$	$48.67^{d}\pm0.67$	$53.14^{e}\pm1.31$	$60.91^{f}\pm1.91$	$61.75^{f}\pm1.32$
150	$16.40^{b}\pm0.93$	$35.49^{c}\pm1.84$	$50.41^{d}\pm2.05$	$56.35^{de}\pm3.67$	$59.05^{e}\pm4.08$	$64.55^{e}\pm3.28$
180	$39.76^{b}\pm1.08$	$50.69^{c}\pm0.97$	$66.39^{d}\pm1.69$	$76.47^{e}\pm1.77$	$82.48^{f}\pm0.84$	$88.78^{g}\pm0.62$

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอายุต่างๆ ของสับปะรด ตามวิธีของ Duncan' s New Multiple Range Test

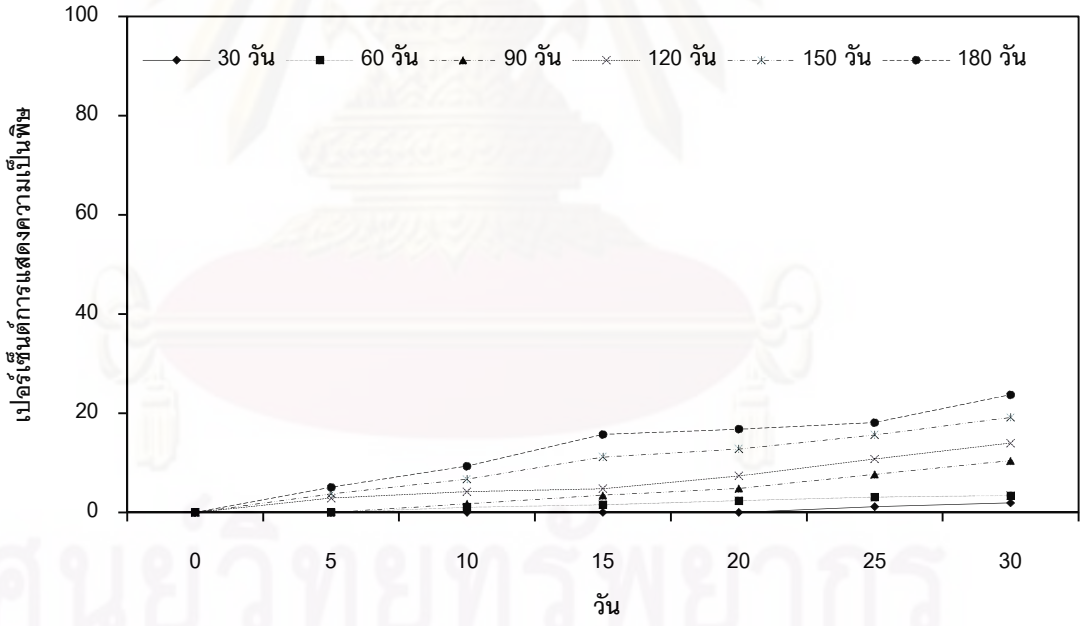
2) ความเป็นพิษของตะกั่วต่อการแสดงอาการของสับปะรด

เกณฑ์การให้คะแนนความเป็นพิษดัดแปลงจากวิธีของ Brown et al. (1991) ดังตารางที่ 4.19 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4.19 เกณฑ์การให้คะแนน ความเป็นพิษของตะกั่วต่อการแสดงอาการความเป็นพิษของสับปะรด

คะแนน	ลักษณะการแสดงความเป็นพิษ
0	พืชมีสีเขียวปกติ
1	ใบพืชเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองซีด
2	ใบพืชมีสีเหลือง
3	ใบพืชสีเหลืองเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล
4	ใบพืชมีสีเหลืองและน้ำตาล และใบเริ่มเหี่ยว
5	ใบพืชมีสีเหลืองและน้ำตาล และใบเหี่ยวทั้งใบ

จากการศึกษาการแสดงความเป็นพิษของสารละลายตะกั่วที่มีต่อสับปะรด พบว่า ที่อายุของสับปะรด 180 วันของการทดลอง เปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษของตะกั่วมีค่าสูงสุด เท่ากับ 5.70, 9.33, 15.73, 16.80, 18.13 และ 23.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับของระยะเวลาการสังเกตการแสดงความเป็นพิษของสับปะรดในทุกๆ 5 วันหลังจากใส่สารละลายตะกั่ว (ดังรูปที่ 4.14) และจากตารางที่ 4.20 แสดงการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษของสับปะรดมากขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออายุของสับปะรด และระยะเวลาในการสังเกตความเป็นพิษหลังจากใส่สารเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากสับปะรดมีความสามารถในการดูดดึง และสะสมสารละลายตะกั่วได้เพียงเล็กน้อยในระยะแรกของการเจริญเติบโต แต่สามารถดูดดึงสารละลายเพิ่มขึ้นเมื่อสับปะรดเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ตะกั่วมีการเคลื่อนย้ายจากใบแก่มายังใบอ่อน และยอดได้น้อยมาก จึงส่งผลต่อการแสดงความเป็นพิษด้วยสายตาได้น้อย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lane and Martin (1977) รายงานการดูดดึงตะกั่วด้วยพืช โดยพบว่า ส่วนรากของพืชมีความสามารถในการดูดดึง และสะสมตะกั่วได้ ในขณะเดียวกันสารละลายตะกั่วส่วนใหญ่จะถูกจำกัดการเคลื่อนย้ายจากส่วนใต้ดินไปยังในส่วนเหนือดิน



รูปที่ 4.14 เปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษของตะกั่วที่มีต่อสับปะรด

ตารางที่ 4.20 เปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษของตะกั่วต่อการแสดงอาการความเป็นพิษของสับปะรดที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง

อายุสับปะรด (วัน)	เปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษหลังจากใส่สาร (%)					
	5 (วัน)	10 (วัน)	15 (วัน)	20 (วัน)	25 (วัน)	30 (วัน)
30	$0^{a}\pm0.00$	$0^{a}\pm0.00$	$0^{a}\pm0.00$	$0^{a}\pm0.00$	$1.16^{b}\pm0.58$	$1.90^{c}\pm0.33$
60	$0^{a}\pm0.00$	$1.04^{b}\pm0.07$	$1.56^{bc}\pm0.58$	$2.37^{cd}\pm0.28$	$3.08^{de}\pm0.22$	$3.39^{e}\pm0.83$
90	$0^{a}\pm0.00$	$1.74^{b}\pm0.38$	$3.44^{c}\pm0.14$	$4.84^{d}\pm0.22$	$7.67^{e}\pm0.66$	$10.42^{f}\pm0.72$
120	$2.87^{b}\pm0.13$	$4.16^{c}\pm0.45$	$4.78^{c}\pm0.22$	$7.36^{d}\pm0.86$	$10.77^{e}\pm0.39$	$13.97^{f}\pm0.03$
150	$3.74^{ab}\pm0.74$	$6.73^{b}\pm1.15$	$11.18^{c}\pm0.99$	$12.77^{cd}\pm0.62$	$15.59^{de}\pm1.77$	$19.17^{e}\pm1.58$
180	$5.07^{b}\pm0.27$	$9.33^{c}\pm0.53$	$15.73^{d}\pm0.27$	$16.80^{e}\pm0.46$	$18.13^{f}\pm0.27$	$23.73^{g}\pm0.27$

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอายุต่างๆ ของสับปะรด ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

นอกจากนี้เพื่อเป็นการยืนยันการแสดงความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วที่มีต่อสับปะรด จึงได้นำสับปะรดวิเคราะห์หาตัวอย่างโรคพืช โดยภาควิชาโรคพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีตัวอย่างสับปะรดที่นำมาตรวจโรคพืช และผลการตรวจโรคพืช แสดงได้ดังนี้

1) ชุดควบคุมที่ไม่ใส่สารโครเมียม ผลการตรวจสอบพบว่า ไม่พบลักษณะอาการของโรคที่เกิดจากเชื้อรา และแบคทีเรีย

2) ชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม ผลการตรวจสอบพบว่า สับปะรดมีอาการใบไหม้รุนแรง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการใส่สารละลายที่ทดลองในระดับสูง เมื่อพืชแห้งตายจึงอาจนำมาซึ่งเชื้อราที่เข้าทำลายต่อพืชทดลอง

3) ชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่ว การตรวจสอบพบว่า สับปะรดมีอาการใบเหี่ยว แต่ไม่มีอาการรากเน่า จึงแสดงได้ว่าสับปะรดไม่ได้เกิดจากเชื้อโรค

4.2.4 ตัวชี้วัดการแสดงความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วต่อสับปะรดที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง

การศึกษาครั้งนี้ได้สร้างตัวชี้วัดความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วจากการแสดงอาการของสับปะรด โดยทำการสังเกตลักษณะการแสดงความเป็นพิษด้วยสายตา และนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษความเป็นพิษของใบสับปะรดที่อายุต่างๆ โดยกำหนดให้เปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษต่อสับปะรด 1 ต้น คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ในชุดการทดลองที่ใส่สารละลายโครเมียม พบว่า สับปะรดที่อายุ 180 วัน มีการแสดงความเป็นพิษที่สังเกตด้วยสายตาชัดเจนมากกว่าที่อายุอื่นๆ โดยสับปะรดแสดงอาการใบไหม้ ใบแห้ง และเกิดอาการแห้งตายเกือบทั้งต้น จากตารางที่ 4.21 แสดงการเพิ่มขึ้นของลักษณะการแสดงความเป็นพิษของสับปะรดเมื่ออายุของสับปะรดเพิ่มขึ้น ที่อายุของสับปะรด 30 วัน พบว่า สับปะรดมีใบสีเขียวปกติมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 37.50 เปอร์เซ็นต์ สับปะรดอายุ 60 วัน ใบเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองซีดมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 42.10 เปอร์เซ็นต์ เมื่ออายุของสับปะรดเพิ่มขึ้นเป็น 90 วัน ใบสับปะรดมีสีเหลืองซีดเปลี่ยนเป็นใบแห้ง และใบไหม้มากที่สุด มีค่าเท่ากับ 27.27 เปอร์เซ็นต์ สับปะรดแสดงอาการเป็นพิษที่อายุ 150 และ 180 วัน เกิดลักษณะการตายของเนื้อเยื่อใบ และใบไหม้ทั้งใบมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 27.28 และ 75.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ลักษณะการแสดงความเป็นพิษของโครเมียมต่อสับปะรดสามารถจำแนกอาการเป็นพิษที่อายุต่างๆ ของสับปะรดได้ สำหรับชุดการทดลองที่ใส่สารละลายตะกั่ว พบว่า ในทุกระยะเวลาของการทดลองสับปะรดแสดงอาการเป็นพิษค่อนข้างใกล้เคียงกัน คือ สับปะรดมีอาการใบเหลืองทั่วทั้งใบ และเกิดอาการใบเหี่ยว โดยเริ่มเกิดจากใบล่าง และลามขึ้นสู่ส่วนยอดของต้น ทั้งนี้ลักษณะการแสดงความเป็นพิษของตะกั่วเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่ออายุของสับปะรดเพิ่มขึ้น โดยที่อายุของสับปะรด 30, 60, 90 และ 120 วัน พบว่า สับปะรดมีใบเขียวเป็นปกติ มีค่าเท่ากับ 58.82, 50.00, 42.12 และ 28.57 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.22) ตามลำดับ และใบเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองซีด มีค่าเท่ากับ 17.65, 20.00, 21.05 และ 19.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การแสดงอาการเป็นพิษของตะกั่วต่อสับปะรดเพิ่มขึ้นและสังเกตเห็นชัดเจน ที่อายุสับปะรด 60 และ 180 วัน ใบมีลักษณะเป็นสีเหลืองเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 38.10 และ 40.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าสับปะรดมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดดินที่ปนเปื้อนโครเมียม และตะกั่วในระดับความเข้มข้นสูงได้ โดยการแสดงอาการเป็นพิษที่สามารถสังเกตด้วยสายตาจากพิษของสารโครเมียมต่อพืช คือ พืชเกิดการตายของเนื้อเยื่อ และการยุบตัวของเนื้อเยื่อใบ ใบซีดจาง ใบแห้ง และใบไหม้โดยเฉพาะส่วนกลางใบเมื่อได้รับพิษของสารโครเมียมเป็นระยะเวลานานขึ้น พืชเกิดอาการเป็นพิษเพิ่มขึ้น ซึ่งพืชแสดงความเป็นพิษในระดับรุนแรง และอาจส่งผล

ตารางที่ 4.21 ตัวชี้วัดการแสดงความเป็นพิษของโครเมียมต่อสับปะรดที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง

ลักษณะการแสดงความเป็นพิษของสับปะรด	เปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษที่อายุต่าง ๆ ของสับปะรด (%)						
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน	150 วัน	180 วัน	
พืชมีสีเขียวปกติ	37.50	21.05	13.64	13.64	13.64	4.17	
ใบพืชเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองซีด	8.75	42.10	18.18	18.18	13.64	4.17	
ใบพืชมีสีเหลืองซีด	6.25	15.79	45.45	22.73	18.18	8.32	
ใบพืชสีเหลืองซีดเริ่มเปลี่ยนเป็นใบแห้ง และไหม้	6.25	5.26	4.54	27.27	13.64	4.17	
ใบพืชมีใบแห้ง และใบไหม้เพิ่มขึ้น	6.25	15.80	13.64	13.64	13.64	4.17	
เกิดการตายของเนื้อเยื่อใบ และใบไหม้ทั้งใบ	0.00	0.00	4.55	5.54	27.28	75.00	

ตารางที่ 4.22 ตัวชี้วัดการแสดงความเป็นพิษของตะกั่วต่อสับปะรดที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลอง

ลักษณะการแสดงความเป็นพิษของสับปะรด	เปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษที่อายุต่าง ๆ ของสับปะรด (%)						
	30 วัน	60 วัน	90 วัน	120 วัน	150 วัน	180 วัน	
พืชมีสีเขียวปกติ	58.82	50.00	42.12	28.57	9.52	8.00	
ใบพืชเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองซีด	17.65	20.00	21.05	19.05	19.05	16.00	
ใบพืชมีสีเหลือง	17.65	15.00	21.05	19.05	19.05	16.00	
ใบพืชมีสีเหลืองเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล	5.88	15.00	5.26	19.05	38.10	40.00	
ใบพืชมีสีเหลืองและน้ำตาล และใบเริ่มเหี่ยว	0.00	0.00	5.26	9.52	4.76	8.00	
ใบพืชมีสีเหลืองและน้ำตาล และใบเหี่ยวทั้งใบ	0.00	0.00	5.26	4.76	9.52	12.00	

ให้พืชเกิดใบไหม้ และตายทั้งต้น สำหรับการแสดงความเป็นพิษของตะกั่วต่อสับปะรดนั้น สามารถสังเกตด้วยสายตา โดยอาการเริ่มแรกใบพืชเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองซีด และเมื่อได้รับสารตะกั่วเป็นระยะเวลานานขึ้น ใบพืชมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น และเกิดอาการใบเหี่ยวร่วมด้วย

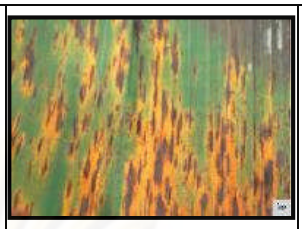
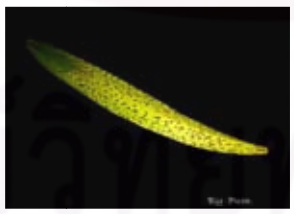
อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทบทวนเอกสาร และวิเคราะห์ลักษณะการแสดงอาการ และความเป็นพิษของพืชอื่นๆ ที่เกิดจากการขาดธาตุอาหารต่างๆ และอาการของโรคพืช ในหลายๆ รูปแบบ ดังแสดงในตาราง 4. 23 และ 4. 24 ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า ลักษณะการแสดงอาการเป็นพิษของโลหะหนักต่อพืชสามารถจำแนกออกจากลักษณะการแสดงความเป็นพิษของพืชจากการขาดธาตุอาหาร และโรคพืชได้

ตาราง 4.23 การแสดงความเป็นพิษของพืชจากการขาดธาตุอาหารต่างๆ

อาการขาดธาตุเหล็กในพืช ใบอ่อนแสดงอาการเหลือง และมีขนาดเล็กกว่าปกติ	อาการขาดธาตุฟอสฟอรัสในพืช ใบพืชมีลักษณะสีม่วงแดงบนแผ่นใบ เส้นใบ และลำต้น	อาการขาดธาตุโบรอนในพืช ขอบใบเหลืองปนน้ำตาล ใบอ่อนงอ	อาการขาดสังกะสีในพืช พืชมีแถบสีเขียวเหลืองที่โคนใบ
อาการขาดธาตุคลอรีนในพืช ลักษณะอาการที่ใบจะมีจุดประสีเหลืองอยู่ทั่วทั้งใบ ตรงกลางจุดสีน้ำตาล มักเกิดในใบที่อยู่ตอนล่างของต้น	อาการขาดธาตุแมงกานีสในพืช ใบมีขนาดเล็กผิดปกติ ใบมีสีเหลือง โดยที่เส้นใบยังคงมีสีเขียวอยู่ มีจุดสีน้ำตาลเล็ก ๆ และอาจจะขยายวงกว้าง	อาการขาดธาตุไนโตรเจนในพืช ใบมีสีเขียวจางแล้วเปลี่ยนเป็นสีเหลือง โดยเฉพาะใบแก่ที่อยู่ตอนล่างของพืช	อาการขาดธาตุกำมะถันในพืช ลักษณะอาการแสดงที่ใบ คือ ใบที่อยู่ส่วนล่างและใบแก่จะมีสีเหลือง ส่วนที่ลำต้นพืชนั้น ลำต้นจะแข็งแต่บอบบาง
อาการขาดแคลเซียมในพืช เกิดใบลายบริเวณขอบใบ ใบเหลืองและมีจุดประขาวอยู่บนยอดใบ ดูคล้ายอาการยอดด่าง	อาการขาดธาตุโปตัสเซียมในพืช ลักษณะอาการที่ใบ คือ ใบแห้งเป็นมัน พบเห็นชัดเจนในใบตอนที่อยู่ส่วนล่าง ๆ ของต้นพืช	อาการขาดโมลิบดินั่มในพืช ใบพืชมีสีจางซีดผิดปกติ ใบมีลักษณะแคบ ช่องระหว่างเส้นใบจะเหลือง	อาการขาดทองแดงในพืช ใบพืชมีสีเหลือง ใบยาวผิดปกติ ใบย่นและอ่อน

ที่มา: www.progressivegardens.com/.../plantnut.html

ตาราง 4.24 การแสดงความเป็นพิษของพืชจากโรคพืช

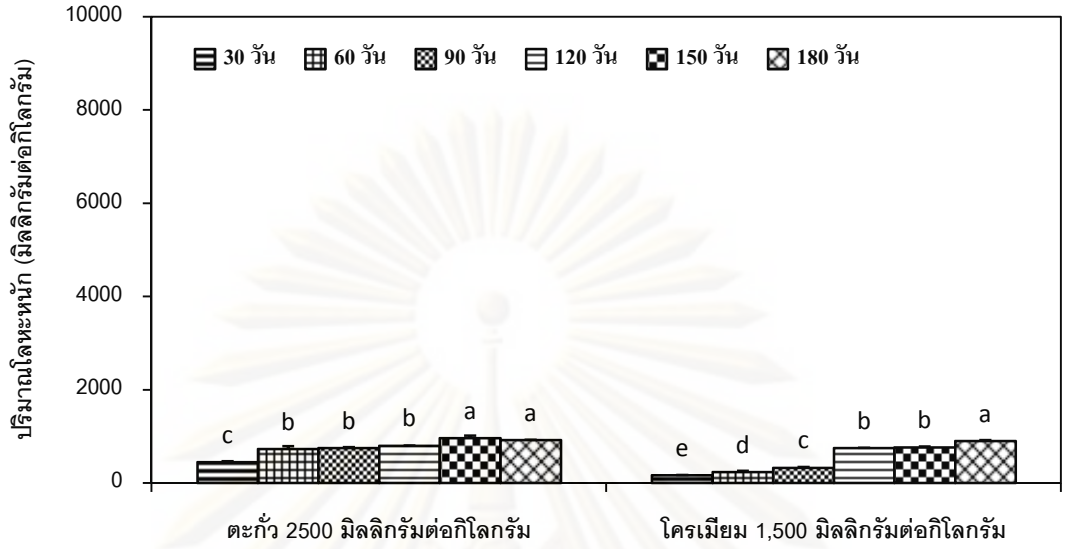
			
โรคใบหงิกหรือโรคจู๋ เส้นใบบวมเป็นสีเหลืองหรือสีขาวนวลหรือสีน้ำตาลแก่ มีอาการบวมนูนสูงจากผิวใบประมาณ 1 มิลลิเมตร ที่มา : www.innnews.co.th/ans. php?nid=201879	โรคราสนิม แผลเกิดขึ้นบนใบและกาบใบ แผลมีสีส้มเข้ม ซึ่งเป็นสีสปอร์ที่เชื้อราสร้างขึ้นมา เริ่มปรากฏจากใบล่าง ๆ แล้วลามขึ้นไปทางยอด ที่มา : www.doae.go.th/pest/filcrop/ sopha.htm	โรคใบจุดหรือโรคขี้กลาก จะมีแผลที่ใบคล้ายรูปกระสวย ถ้าเป็นมากจะรวมกันอยู่เป็นแผ่นตรงกลางแผลมีตุ่มนูนสีน้ำตาลดำ เกิดได้ทั้งหน้าใบ และใต้ใบ ที่มา : www.212cafe.com/boardvip/viewcomment.php?	โรคแอนแทรคโนส ใบมีแผลสีน้ำตาล เป็นวงเรียงซ้อนกันหลายๆ ชั้น เกิดที่ปลายใบ และกลางใบ และจะมีกลุ่มของเชื้อราสีดำเกิดขึ้นบนวงซ้อนกัน ที่มา : http://ait.nisit.kps.ku.ac.th/.../mungbeanyellow.htm
โรคใบขาว พืชแสดงอาการใบพืชเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวอ่อนหรือขาวซีด โดยเริ่มจากโคนใบขนานไปตามความยาวของใบและขยายจนเต็มใบ ที่มา : http//plantpro.doae.go.th/.../0247/white%20leaf.html	โรคราน้ำค้างหรือโรคใบลาย อาการจะเกิดเป็นปื้นเหลืองบนใบ ด้านหลังของใบอาจมองเห็นกลุ่มของเส้นใย และมีขุยของราสีขาวหม่นคล้ายผงแป้ง ที่มา : www.uark.edu/ua/ jcorrell/spinach%20diseases.htm	โรคใบสีส้ม พืชมีลักษณะใบเป็นรอยด่างของคลอโรฟิลล์ที่ถูกทำลายหายไป และมักจะมีจุดแผลของโรคใบจุดสีน้ำตาล ที่มา: www.doae.go.th/pest/rice/riyell.htm	โรคราสนิมเป็นแผลตายสีน้ำตาลขนาดเท่าหัวเข็มหมุดกระจายอยู่ทั่วผิวใบเริ่มจากใบล่างแล้วค่อยลุกลามขึ้นสู่ใบบน ที่มา : http://210.246.186.28/fieldcrops/corn/pest/002.htm
			
โรคใบปื้นเหลือง โดยใบจะมีจุดกลมสีเหลือง เมื่อเป็นมาก ๆ จะขยายติดต่อกันเป็นปื้นเหลือง ที่มา : www.doae.go.th/.../detail/ orchid/orchid9.htm	โรคใบจุด ลักษณะเป็นแผลรูปยาวรี บริเวณตรงกลางแผลจะมีตุ่มนูนสีน้ำตาลดำ ที่มา : www.thaigoodview.com/library/.../poonsak/.../sec 08p08. Html	โรคใบขีดโปร่งแสงโรค ใบขีดโปร่งแสงเป็นขีดช้ำสีเหลืองหรือส้มยาวตามเส้นใบแสงทะลุผ่านได้ ที่มา : http://www.brrd.in.th/rkb/data_005/rice_xx2-05_newDisease010.html	โรคใบเหลือง จะเป็นจุดสีเหลืองเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไป และลามขึ้นไปสู่ใบยอด ที่มา : http://ait.nisit.kps.ku.ac.th/.../mungbeanyellow.htm

4.2.5 ความสามารถในการดูดดึงโครเมียมและตะกั่วของสับปะรด

1) ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ของสับปะรด

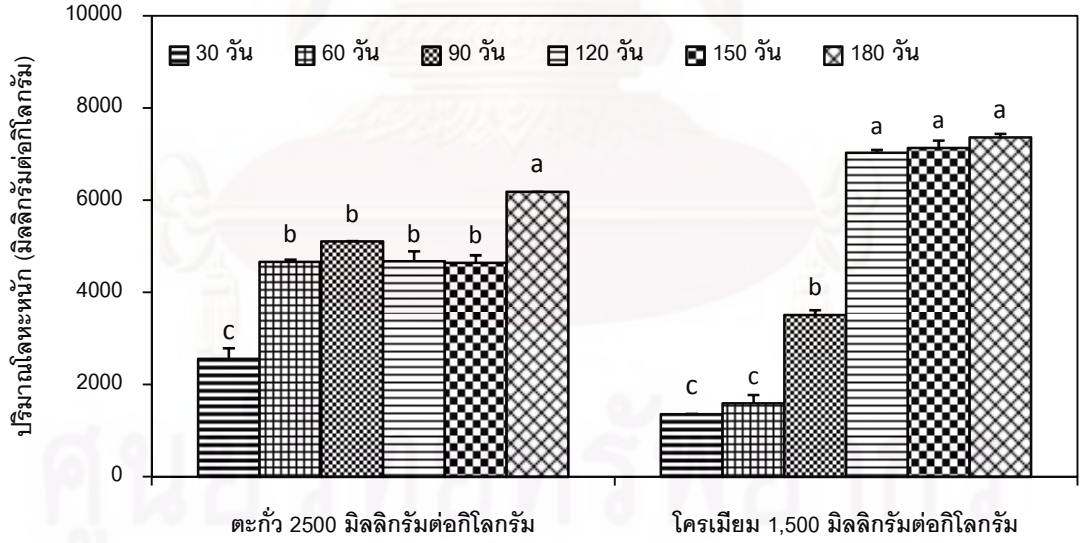
ความสามารถในการดูดดึงโครเมียม และตะกั่วในส่วนเหนือดินของสับปะรดที่ปลูกในดินที่เติมสารละลายโครเมียม และตะกั่วที่ระดับความเข้มข้น 1,500 และ 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่า ในส่วนเหนือดินของสับปะรดมีการดูดดึงโครเมียม และตะกั่วมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 900.10 และ 962.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.15) สำหรับในส่วนใต้ดินของสับปะรดมีการดูดดึงโครเมียม และตะกั่วมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 7,356.67 และ 6,177.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ดังรูปที่ 4.16) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณการสะสมโครเมียม และตะกั่วในส่วนใต้ดินมีมากกว่าในส่วนเหนือดินของสับปะรด ซึ่งสอดคลองกับการศึกษาของ Antosiewicz (1992) รายงานว่า ปริมาณการสะสมของสารตะกั่วในส่วนต่างๆ ของพืชจากมากไปน้อย ได้แก่ ราก > ใบ > ลำต้น > ดอก ทั้งนี้ยังพบว่าปริมาณการสะสมตะกั่วที่พบในส่วนเหนือดินของสับปะรด เท่ากับ 962.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นระดับที่เป็นพิษต่อสับปะรดมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า สับปะรดมีความสามารถในการดูดดึงตะกั่วขึ้นไปไว้ที่ลำต้นในปริมาณค่อนข้างน้อย แต่พบการสะสมในส่วนใต้ดินในปริมาณมาก ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่า อัตราการดูดดึงโลหะหนักในแต่ละชนิดของสับปะรดมีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามระยะแรกของการเจริญเติบโตของสับปะรดที่ระยะเวลา 30 วัน พบว่า มีการดูดดึงโครเมียม และตะกั่วไปสะสมในสับปะรดค่อนข้างต่ำ แต่จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการเจริญเติบโต หรือเพิ่มขึ้นเมื่อสับปะรดมีอายุมากขึ้นเช่นกัน หรืออาจกล่าวได้ว่า ปริมาณการสะสมโครเมียม และตะกั่วในสับปะรดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของสับปะรดที่เพิ่มขึ้น และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Choudhury and Kumarpanda (2005) รายงานว่า ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงโครเมียม และตะกั่วถูกดูดดึงไว้ในเซลล์มอส (*Taxithelium nepalense*) ได้ดีกว่าที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.15 ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดที่สะสมในส่วนเหนือดินของสับปะรด

หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันบนกราฟแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอายุต่างๆ ของสับปะรด ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test



รูปที่ 4.16 ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดที่สะสมในส่วนใต้ดินของสับปะรด

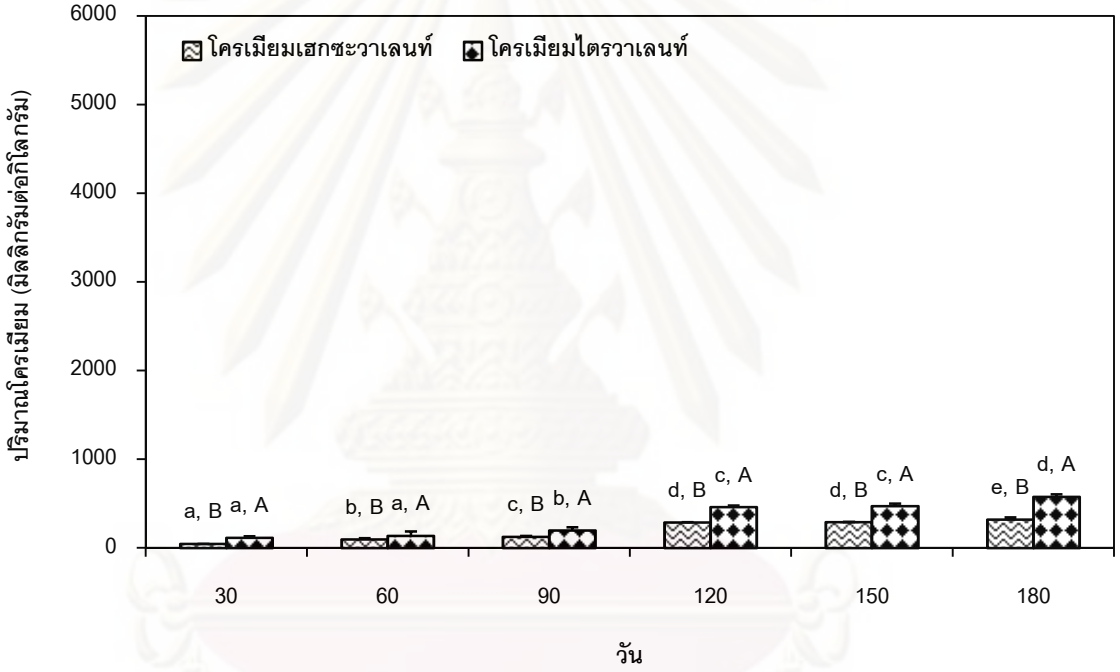
หมายเหตุ : ตัวอักษรตัวที่แตกต่างกันบนกราฟแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอายุต่างๆ ของสับปะรด ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

2) ปริมาณโครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในส่วนต่าง ๆ ของสับปะรด

ผลการทดลอง พบว่า ในส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินของสับปะรดมีความสามารถในการดูดดึงโครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นหรือเมื่อสับปะรดมีอายุเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลา 30 วันของการทดลอง สับปะรดมีปริมาณการสะสมโครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในส่วนเหนือดินน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 116.83 และ 45.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ดังรูปที่ 4.17) และมีการสะสมปริมาณโครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในส่วนใต้ดินน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 952.70 และ 404.95 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ดังรูปที่ 4.18) ตามลำดับ โดยอายุของสับปะรดที่ 180 วัน การสะสมโครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในส่วนเหนือดินมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 579.01 และ 321.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่มีการสะสมในส่วนใต้ดินมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 5,116.92 และ 2,239.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ส่วนใต้ดินของสับปะรดมีความสามารถในการดูดดึง และสะสมโครเมียมมากกว่าส่วนเหนือดิน ทั้งนี้เนื่องจากโครเมียมที่ถูกดูดดึงโดยราก ถูกนำไปกักเก็บไว้ในแวคคิวโอด (Vacuoles) ของเซลล์รากพืช (Shanker et al, 2004a) ซึ่งสอดคล้องกับ V´azquez et al. (1987) และ Han et al. (2004) รายงานว่า สาเหตุที่โครเมียมไม่เคลื่อนย้ายในลำต้นใต้ดิน (Rhizome) เกิดจากการที่โครเมียมตกตะกอนในรูปของเกลือหรือสารประกอบโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตภายในแวคคิวโอด และพลาสติด (Plastids) ของเซลล์รากพืช

เมื่อเปรียบเทียบการดูดดึงโครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในส่วนต่างๆ ของสับปะรด พบว่า อายุของสับปะรดที่ 30 ถึง 180 วัน สับปะรดมีความสามารถในการดูดดึง และสะสมโครเมียมไตรวาเลนท์ ได้มากกว่าโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจาก โครเมียมในดินจะขึ้นอยู่กับค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล (Redox potential; Eh) และค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ซึ่งรากพืชสามารถดูดดึงได้ทั้งโครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ (Huffman and Allaway, 1973; Mc Grath, 1982) ซึ่งในการดูดดึงโครเมียมไตรวาเลนท์ของพืชใช้กระบวนการดูดดึงผ่านเนื้อเยื่อภายนอกของรากพืชเข้าสู่ภายในรากพืช โดยเป็นการลำเลียงสารแบบไม่อาศัยพลังงาน (Passive transport) (Skeffington et al, 1976) จากกระบวนการเมตะบอลิซึมของพืช โครเมียมไตรวาเลนท์ถูกดูดดึงผ่านภายในรากพืชทางช่องว่างระหว่างเซลล์ (Free space) ทำให้โครเมียมไตรวาเลนท์ที่มีระดับความเข้มข้นสูงสามารถเคลื่อนที่ผ่านได้อย่างรวดเร็วแล้วผ่านทางเอนโดเดอร์มิส (Endodermis) เพื่อเข้าสู่ท่อลำเลียงน้ำ (Xylem) และลำเลียงสู่ส่วน

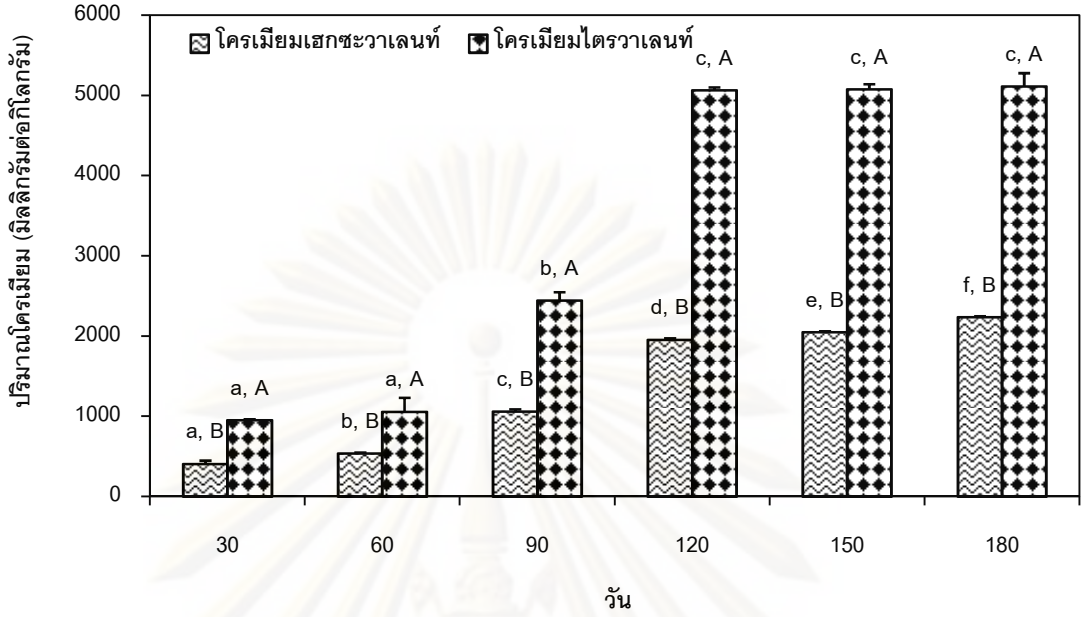
ต่าง ๆ ของพืชต่อไป (Mengel and Kirkby, 1982) ส่วนโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ใช้กระบวนการดูดผ่านเนื้อเยื่อภายนอกของรากพืชเข้าสู่ภายในรากพืช โดยการลำเลียงสารแบบอาศัยพลังงาน (Active transport) (Skeffington et al, 1976) ซึ่งใช้พลังงานจากการหายใจของรากพืช เพื่อลำเลียงสู่ส่วนต่างๆ ของพืช (Mengel and Kirkby, 1982) เนื่องจากการเคลื่อนที่แบบอาศัยพลังงาน มักขึ้นอยู่กับกระบวนการหายใจ ดังนั้น สับปะรดจึงมีความสามารถในการดูดดึงโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ได้ยากกว่าโครเมียมไตรวาเลนท์ จึงทำให้มีการสะสมโครเมียมไตรวาเลนท์ในสับปะรดที่ใช้ในการทดลองสูงกว่าโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ทั้งในส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินของสับปะรด ทั้งนี้เมื่ออายุของสับปะรดเพิ่มขึ้นจะมีการดูดดึง และสะสมโครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์เพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4.17 ปริมาณการสะสมโครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในส่วนเหนือดินของสับปะรด

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่แตกต่างกันบนกราฟแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอายุต่างๆ ของสับปะรด ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่แตกต่างกันบนกราฟแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของสารละลายโครเมียม ตามวิธีของ T- test



รูปที่ 4.18 ปริมาณการสะสมโครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในส่วนใต้ดินของสับปะรด

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กที่แตกต่างกันบนกราฟแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างอายุต่างๆ ของสับปะรด ตามวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่แตกต่างกันบนกราฟแท่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของสารละลายโครเมียม ตามวิธีของ T- test

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.6 **สมดุลมวล** (Mass balance) **การดูดดึงโครเมียมและตะกั่วของสับปะรด**

ในการทำมวลสมดุล เพื่อศึกษาปริมาณโครเมียม และตะกั่วที่มีอยู่ในระบบ โดยการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม และตะกั่วในดินทั้งหมด และปริมาณโครเมียม และตะกั่วที่อยู่ในสับปะรด และแยกปริมาณการสะสมโครเมียม และตะกั่วออกเป็นส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินของสับปะรด เพื่อให้เห็นเปอร์เซ็นต์การสะสมที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ผลการศึกษาดังกล่าว ทดลองที่ระดับความเข้มข้นของโครเมียม และตะกั่วเท่ากับ 1,500 และ 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเก็บผลการทดลองภายหลังจากใส่สารละลายดังกล่าวแล้ว 30 วัน โดยใส่สารที่อายุสับปะรดหรือที่ระยะเวลา 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน ดังได้แสดงรายละเอียดไว้ใน (ตารางที่ 4.25) ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ปริมาณโครเมียม และตะกั่ว ที่หายไปนั้นอาจติดกับภาชนะปลูกหรือพลาสติกหุ้มถุง และวัสดุที่ใช้ในการทดลอง จึงทำให้โครเมียม และตะกั่วบางส่วนหายไปจากระบบ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของโครเมียม และตะกั่วที่หายไป โดยเฉลี่ยทุกระยะเวลาของการเก็บตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 2.00-13.45 และ 3.14-10.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.25 มวลสมดุลของการดูดดึงโครเมียม และตะกั่วโดยสับปะรด

ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัม)				ปริมาณโลหะหนัก (เปอร์เซ็นต์)				ผลรวมปริมาณโลหะทั้งหมดในระบบ (เปอร์เซ็นต์)
		ดิน	สับปะรด			ดิน	สับปะรด			
			ส่วนเหนือดิน	ส่วนใต้ดิน	รวม		ส่วนเหนือดิน	ส่วนใต้ดิน	รวม	
โครเมียม 1,500	30	6,890.50	4.02	6.08	11.00	91.87	0.05	0.08	0.13	98.00
	60	6,739.95	6.30	8.82	15.12	89.87	0.08	0.12	0.20	90.07
	90	6,559.57	10.10	27.88	37.98	87.46	0.13	0.37	0.50	97.96
	120	6,479.86	26.51	66.16	92.67	86.40	0.35	0.88	1.23	87.63
	150	6,442.59	32.55	84.25	116.80	85.90	0.43	1.12	1.55	87.45
	180	6,345.91	37.48	108.23	145.71	84.61	0.50	1.44	1.94	86.55
ตะกั่ว 2,500	30	12,079.14	13.32	14.54	27.86	96.63	0.11	0.12	0.23	96.86
	60	11,804.57	24.29	30.55	54.84	94.44	0.19	0.24	0.43	94.87
	90	11,681.68	26.99	37.59	64.58	93.45	0.22	0.30	0.52	93.97
	120	11,584.51	29.92	40.00	69.92	92.68	0.24	0.32	0.56	93.24
	150	11,456.31	39.15	58.91	98.06	91.65	0.31	0.47	0.78	92.43
	180	11102.44	39.89	90.99	130.8	88.82	0.32	0.73	1.05	89.87

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการใช้สับปะรดเป็นตัวชี้วัดความเป็นพิษของโครเมียมและตะกั่วในดินที่ปนเปื้อนสามารถสรุปผลการศึกษา ได้ดังนี้

1) คุณสมบัติของดินที่ใช้ทดลอง กล่าวคือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้าของดินในชุดควบคุมมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่ออายุของสับปะรดเพิ่มขึ้น ส่วนชุดการทดลองที่ใส่สารโครเมียม และตะกั่ว พบว่า ค่า pH เพิ่มขึ้น แต่ค่าการนำไฟฟ้าลดลง เมื่ออายุของสับปะรดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณโครเมียม และตะกั่วในชุดการทดลองที่ใส่สารละลายโครเมียม และสารละลายตะกั่วแต่ไม่ปลูกพืช ไม่มีความแตกต่างกันในทุกอายุของสับปะรดหรือทุกระยะเวลาในการทดลอง

2) ความเป็นพิษของโครเมียมและตะกั่วต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด การเจริญเติบโตด้านความยาว และน้ำหนักแห้งของสับปะรดในส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดิน พบว่า สับปะรดในชุดการทดลองที่ใส่สารละลายโครเมียม และสารตะกั่วมีการเจริญเติบด้านความยาว และน้ำหนักแห้งน้อยกว่าชุดควบคุมในทุกอายุของสับปะรดหรือทุกระยะเวลาในการทดลอง นอกจากนี้ในระยะเวลาของการทดลองเพิ่มขึ้น พบว่า การเจริญเติบโตด้านความยาว และน้ำหนักแห้งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

3) ผลของโครเมียมและตะกั่วต่อการแสดงอาการความเป็นพิษของสับปะรด โดยชุดการทดลองที่ใส่โครเมียม มีเปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษมากที่สุดที่อายุของสับปะรด 180 วันโดยแสดงความเป็นพิษเท่ากับ 88.78 เปอร์เซ็นต์ และชุดการทดลองที่ใส่สารตะกั่วแสดงความเป็นพิษสูงที่สุดที่อายุของสับปะรด 180 วัน เช่นกันคิดเป็น 23.73 เปอร์เซ็นต์

4) ความสามารถในการดูดดึงโครเมียมและตะกั่วของสับปะรด พบว่า ที่ระยะเวลาในการทดลอง 180 วัน ในส่วนเหนือดินของสับปะรดที่ มีความสามารถในความสามารถในการดูดดึงโครเมียม และตะกั่วมากที่สุดมีเท่ากับ 900.10 และ 962.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และในส่วนใต้ดินของสับปะรดมีความสามรถในการการดูดดึงโครเมียม และตะกั่วมากที่สุดเท่ากับ

7,356.67 และ 6,177.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณโครเมียมไตรวาเลนท์ และโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ ในส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินของสับปะรดมีความสามารถในการดูดดึงเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งในส่วนใต้ดินของสับปะรดมีความสามารถในการดูดดึง และ/หรือสะสมโครเมียม และตะกั่วมากกว่าส่วนเหนือดินทุกระยะเวลาในการทดลอง

การใช้สับปะรดเป็นตัวชี้วัดความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่ว สามารถสรุปได้ว่า สารโครเมียม และตะกั่วมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของการเจริญเติบโต ความยาว และน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดินของสับปะรด ทั้งนี้โครเมียม และตะกั่วส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การแสดงความเป็นพิษของสับปะรด ซึ่งจะเห็นได้ว่าสับปะรดมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินที่ระดับความเข้มข้นสูงได้

5.2 **ข้อเสนอแนะ**

1) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการแสดงความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วต่อสับปะรด เช่น ชนิด และปริมาณของจุลินทรีย์ ความชื้นในดิน เป็นต้น

2) ควรศึกษาการแสดงความเป็นพิษของโครเมียม และตะกั่วต่อการแสดงความเป็นพิษในพืชชนิดอื่นๆ เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบถึงความแตกต่างในการแสดงความเป็นพิษ และความสามารถในการดูดดึง แสะสมโลหะหนัก

3) ควรมีการศึกษาในพื้นที่จริง เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ เช่น แสงแดด อุณหภูมิ ความเร็วลม และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ต่อการเจริญเติบโต และการแสดงความเป็นพิษของสับปะรด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กองปฐพีวิทยา. 2536. เอกสารวิชาการความรู้ทั่วไปเรื่องดิน. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.

เกษม จันทร์แก้ว. 2524. วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: อักษรสยามการพิมพ์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. 2,000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จินดารัฐ วีระวุฒิ. 2541. สับปะรดและสรีรวิทยาการเจริญเติบโตของสับปะรด. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิราพรรณ คล้ายกิจจา. 2548. สับปะรด. ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เกษตรสยามบุ๊คส์,

ชลาลัย เสน่ห์ทอง ศวพร ศุภผล และ ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2552. แนวทางในการลดปริมาณการสะสมโลหะหนักในผักพื้นที่ผลิตผัก ขอบชุมชมเมือง. [Online]. แหล่งที่มา : http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch5_2_/_0_4_-plant/Chalalai/plant_0_0_._html. [1 ธันวาคม 2552]

ณรงค์ ณ เชียงใหม่. 2525. มลพิษสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

เดลินิวส์ออนไลน์. 2551. ลักลอบทิ้งกากของเสียอันตราย ต.มาบข่า อ. นิคมพัฒนา จ. ระยอง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.dailynews.co.th/newstartpage/index.cfm. [5 มกราคม 2553]

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ วิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิ์ศักดิ์ . 2540. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

ประธาน โพธิสวัสดิ์. 2544. การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและคุณภาพการผลิตของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ลูกผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัฒนาที่ดิน, กรม. 2544. คู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและกลุ่มเคมีดิน 2. กรุงเทพ: กรมพัฒนาที่ดินกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิชิต พงษ์สกุล และ สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์. 2542. การประเมินการปนเปื้อนของธาตุโลหะหนักในดิน. วารสารดินและปุ๋ย 23(1): 29-37.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มนัส สถิรจินดา.2541. โลหะนอกกลุ่มเหล็ก. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา และ สุรเดช จินตกานนท์. 2521. คำอธิบายวิชาธาตุอาหารพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

วิไลวรรณ แฉ่งเจริญ. 2550. เปรียบเทียบการกำจัดโลหะหนักจากดินที่ปนเปื้อนโดยใช้สาบเสือและหญ้าแฝก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ . 2528. มลพิษสิ่งแวดล้อม. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2535. แผนพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (2535-2539). กรุงเทพฯ: สำนักนายกรัฐมนตรี.

ภาษาอังกฤษ

Alloway, B.J. and Aqres, D.C. 1997. Chemical principle of environmental pollution. 22. Ed.,clay Ltd.,Bungray. Great Britain. 359 p.

Antosiewicz, D.M. 1992. Adaptation of plant to an environment polluted with heavy metals. Acta Soc. Bot. Polon. 61: 281-299.

Arduini, I., Masoni, A. and Ercoli, L. 2006. Effects of high chromium applications on miscanthus during the period of maximum growth. Environ. exp. Bot. 58: 234–243.

Barcelo, J., Poschenrieder, C. and Gunse, B. 1986. Water relations of chromium VI treated bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L cv Contender) under both normal and water stress conditions. J Exp Bot. 37: 178–87.

Barcelo, J., Vazquez, M. D. and Poschenrieder, C. 1988. Cadmium induced structural and ultrastructural changes in the vascular system of bush bean stems. Botanica Acta. 101: 254-261.

Beckett, P.H.T. and Davis, R.D. 1988 Upper critical levels of toxic elements in plants. New Phytologist. 79: 95-106.

Breckle, S.W. 1989. Growth under stress heavy metals. In: The root system, ed. by Waisel, Y., Katkafi, U. and EsheL, A. The Hidden Haft. New York: Marcel Dekker Inc.

Brown, J.C., Von, D., Jolley, C. and Mel Lytle, C. 1991. Comparative evaluation of iron solubilizing substances (phytosiderophores) released by oats and corn: Iron-efficient and iron-inefficient plants. Plant and Soil. 130: 157-163.

Calzoni, L.G., Antognoni, F., Pari, E. and Foni, P. 2007. Active biomonitoring of heavy metal pollution using Rosa rugosa plants. Environmental Polution 149: 239-245.

Chaney, R. L. 1982. Fate of toxic substances in sludges applied to cropland. Proc. Intern. Symp. On land application of sewage sludge. Association for utylization of sewage sludge, Tokyo, Japan, 259-324.

Chatterjee, J. and Chatterjee. C. 2000. Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower. Environmental Pollution. 109: 69-74.

Chau, Y.K., Wong, P.T.S., Ktamer, O., Bengert, G.A., Cruz, R.B., Kinrade, J.O., Lye, J. and Vav Loon. J.C. 1980. Occurrence of tetraalkyllead compounds in the aquatic environment. Bull Environ Contam. Toxical. 24:265.

Chow, T.J. 1978. Lead in natural waters, In the biochemistry of lead in the environmental part A. Amsterdam: Elsevir/Worth-Honland biomedical press. 35-40 .

Choudhury, S. and Panda, S.K. 2005. Toxic effects, oxidative stress and ultrastructural changes in moss Taxithelium Nepalese (Schwaegr.) Broth. Under chromium and lead phytotoxicity. Water Air and Soil Pullution. 167: 73–90.

Clijsters, H. and Van Assche, F. 1985. Inhibition of photosynthesis by heavy metals. Photosynth Res. 7: 31–40.

Cobb, G.P., Sands, K., Waters, M., Wixson, B.G. and Dorward-King, E. 2000. Accumulation of heavy metals by vegetables grown in mine wastes. Environmental Toxicology and Chemistry 19: 600–607.

Committee on biological effects of atmospheric pollutants. 1972. Lead: Airborne Lead in Perspective. National Academy of Science, Washington, D.C. 330 p.

Davies, J.D., Puryear, R.J. Newton, J., Egilla, N. and Grossi, J.A.S. 2002. Mycorrhizal fungi increased chromium uptake by sunflower plants: Influence on tissue mineral concentration growth and growth and gas exchange. J Plant Nutr. 25: 2389–2407.

Dong, A., Ghester, G. and Simsiman, G.V. 1983. Metal composition of soil sediment and uban dust and dirt samples from the memnomonce river retershed. Wisconsin, U.S.A. Water, Air, Soil, pollut. 22(3): 257-275.

Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plants. Principles and perspective. New York: Wiley.

Griffin, R. A., Au, A. K. and Frost, R. R. 1977. Effect of pH [hydrogen-ion concentration] on adsorption of chromium from landfill-leachate 155 by clay minerals. J. Environ. Sci. Health, Part A. Environ. Sci. Eng. 12(8), 431–449.

Han, F.X., Sridhar, B.B.M., Monts, D.L. and Su, Y. 2004. Phytoavailability and toxicity of trivalent and hexavalent chromium to brassica juncea. New Phytol. 162: 489.

Harrison, R. M. and Laxen, D. P. H. 1981. Lead Pollution(Cause and Control). Chapman and Hall: London.

Hauschild, M. Z. 1993. Putrescine (1,4-diaminobutane) as an indicator of pollution-induced stress in higher plants: barley and rape stressed with Cr(III) or Cr(VI). Ecotoxicol. Environ. Saftey. 26: 228–247.

Hough, R.L, Breward, N., Young, S.D., Crout, N.M.J., Tye, A.M., Moir, A.M. and Thornton, I. 2004. Assessing potential risk of heavy metal exposure from consumption of home-produced vegetables by urban populations. Environmental Health Perspectives. 112(2): 215–221.

Huffman Jr, E.W.D. and Allaway, H.W. 1973a. Chromium in plants: distribution intissues, organelles, and extracts and availability of bean leaf Cr toanimals. J Agric Food Chem. 21: 982–986.

Huffman Jr, E.W.D. and Allaway, W.H. 1973b. Growth of plants in solution culture containing low levels of chromium. Plant Physiol. 52: 72–75.

Hunter, J.G. and Vergnano, O. 1953. Trace element toxicities in oat plants. Ann. Appl. Biol. 40: 761–777.

Iqbal, M., Saeeda, Z. and Shafiq Muhammad, S. 2001. Effects of chromium on an important arid tree (*Caesalpinia pulcherrima*) of Karachi city, Pakistan. Ekol Bratislava. 20: 414– 422.

Jones, M.K. and Laethoven, C.V. 1972. Lead Uptake by Lettuce and Qots as affect by lime, nitrogen and sources of lead . J. of Environ. Qual. 1: 169-171.

Khan, S., Ullah, S.M. and Sarwar, K.S. 2001. Interaction of chromium and copper with nutrient elements in rice (*Oryza sativa* cv BR-11). Bull Inst Trop Agric, Kyushu Univ. 23: 35–39.

Kopittke, M.P., Asher, J.C., Kopittke, A.R. and Menzies, W.N. 2007. Toxic effect of Pb^{2+} on growpea (*Vigna unguiculata*). Environmental Polution. 150: 280-287.

Lee, S.Z., Chang, L., Yang, H.H., Chen, C.M. and Liu, M.C. 1998. Adsorption characteristics of lead onto soils. J. Hazard. Mater. 63: 37–49.

Lane, S. D. and Martin, E. S. 1977. A histochemical investigation of lead uptake in *Raphanus sativus*. New Phytol. 79: 281–286.

Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photo-synthetic biomembranes. New York: Academic Press. In Methods in Enzymology, 148: 350-382.

Mattina, M.I., Iannucci-Berger, W., Musante, C. and White, J.C. 2003. Concurrent plant uptake of heavy metals and persistent organic pollutants from soil. Environmental Pollution. 124: 375–378.

Mc Grath, S.P. 1982. The uptake and translocation of tri- and hexavalent Cr and effects on the growth of oat in flowing nutrient solution and in soil. New Phytol. 92: 381–390.

Mei, B., Puryear, J.D. and Newton, R.J. 2002. Assessment of Cr tolerance and accumulation in selected plant species. Plant Soil. 247: 223–231.

Mengel, K. and Kirkby, E.A. 1982. Principles of plant nutrition. Bern: International Potash Institute.

Mishra, M. and Choudhuri, A. 1999. Effects of salicylic acid on heavy metal-induced membrane deterioration mediated by lipoxygenase in rice. Biol Plant. 42: 409–415.

Moffat, A.J. and Houston, T.J. 1991. Tree establishment and growth at pitsea landfill site, Essex, U.K. Waste Management and Research. 9: 35-46.

Mohamed, B.S. 2005. Phytotoxicity of Lead (Pb) to SDS-PAGE Protein Profile in Root Nodules of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Plants. Pakistan Journal of Biological Sciences . 8(5): 687-690.

Moral, R., Navarro Pedreno, J., Gomez, I. and Mataix, J. 1995. Effects of chromium on the nutrient element content and morphology of tomato. J Plant Nutr.18: 815– 822.

Moral, R., Gomez, I., Pedreno, J.N. and Mataix, J. 1996. Absorption of Cr and effects on micronutrient content in tomato plant (*Lycopersicum esculentum* M). Agrochimica. 40: 132–138.

Nazjamal, J.S., Iqbal, M.Z. and Athar, M. 2006. Phytotoxic effect of aluminum and chromium on the germination and early growth of wheat (*Triticum aestivum)* varieties Anmol and Kiran. Environ. Sci. Tech. 3 (4): 411-416.

Nriagu, J.O. 1988. Production and uses of chromium. Chromium in natural and human environment. USA 7: John Wiley and Sons. New York. 81–105.

Onodera, S. 1985. A case study on water quality evaluation of the lower Chao Phraya River and Klong (canals) along the river. National Environ-ment Board Publ. 1985-2002.

Parr, P. D. 1982. Oak Ridge Reservation Physical Characteristics and Natural Resources. Oak Ridge National Laboratory. UT-Battelle, Oak Ridge, Tennessee.

Prasad, M.N.V., Greger, M. and Landberg, T. 2001. *Acacia nilotica* L. bark removes toxic elements from solution: corroboration from toxicity bioassay using *Salix viminalis* L. in hydroponic system. International Journal of Phytoremediation. 3: 289–300.

Pedreno, N.J.I., Gomez, R., Moral, G., Palacios, J. and Mataix, J. 1997. Heavy metals and plant nutrition and development. Recent Res Dev Phytochem. 1: 173–179.

Peterson, P. J. 1975. Element accumulation by plants and their tolerance of toxic mineral soils. *In* Proceedings of the International Conference on Heavy Metals in the Environment. Ed. Hutchinson T. C. University of Toronto, Canada. 39–54.

Pickering, Q.H. and Henderson, C. 1966. The Acute Toxicity of some Heavy Metals to Different Species of Warm Water Fishes. Air and Water Pollution International Journal. 10: 453-463.

Reddy, A.M., Kumar, S.G., Jyonthsnakumari, G., Thimmanaik, S. and Sudhakar, C. 2005. Lead induced changes in antioxidant metabolism of horsegram (*Macrotyloma uniflorum* (Lam.) Verdc.) and bengalgram (*Cicer arietinum* L.). Chemosphere. 60: 97–104.

Ruley, A.T., Sharma, N.C. and Sahi, S.V. 2004. Antioxidant defense in a lead accumulating plant *Sesbania drummondii*. Plant Physiol. Biochem. 42 (11): 899–906.

Rotkittikhun, P. 2007. Phytoremediation of lead contaminated soil using various grass species. The degree of doctor of philosophy (biology) faculty of graduate studies mahidol university.

Shah F.R., Ahmad, N., Masood, K.R. and Zahid, D.M. 2008. The influence of cadmium and chromium on the biomass production of shisham (*Dalbergia sissoo* Roxb.) seedlings Pak. J. Bot. 40(4): 1341-1348.

Shahandeh, H. and Hossner, L.R. (2000). Plant screening for chromium phytoremediation. International J. Phytoremediation. 2: 269-286.

Shanker, A.K., Djanaguiraman, M., Sudhagar, R., Chandrashekar, C.N. and Pathmanabhan, G. 2004a. Differential antioxidative response of ascorbate glutathione pathway enzymes and metabolites to chromium speciation stress in green gram (*Vigna radiata* (L) R Wilczek, cv CO $_4$) roots. Plant Sci. 166: 1035–1043.

Shanker, A.K., Djanaguiraman, M., Sudhagar, R., Jayaram, R. and Pathmanabhan, G. 2004b. Expression of metallothionein 3 (MT3) like protein mRNA in Sorghum cultivars under chromium (VI) stress. Curr Sci. 86 (7): 901–902.

Shanker, A.K., Ravichandran, V. and Pathmanabhan, G. 2004. Phytoaccumulation of chromium by some multipurpose tree seedlings. Agroforestry Systems; in press.

Skeffington, R.A., Shewry, P.R. and Peterson, P.J. 1976. Chromium uptake and transport in barley seedlings (*Hordeum vulgare* L.). Planta 132: 209–214.

Subrahmanyam, D. 2008. Effects of chromium toxicity on leaf photosynthetic characteristics and oxidative changes in wheat (*Triticum aestivum* L.). ICAR Research Complex for Eastern Region. WALMI Complex. Phulwari Sharif P.O., Patna-801 505. Bihar, India.

Thomas, J.M., Skalaski, J.R., Cline, J.F., McShane, M.C., Simpson, J.C., Miller, W.E. and et al. 1986. Characterization of chemical waste site contamination ans determination of its extent using bioassays. Environ Toxicol Chem. 5: 487-510.

Tidball, A.L. 1976. Antecedent Soil Moisture and its Relation to Infiltration. Aust. J. Agr. Res. 2: 342-354.

Tornabene, J. G. and Edwards. H. W. 1972. Microbial uptake of lead. science. 176: 1334-1335.

USEPA. 1996a. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Method. 3052, Washington D.C., USA.

USEPA. 1996b. Alkaline Digestion for Hexavalent Cromium. Method 3060, Washington D.C., USA.

Vazquez, M. D., Poschenreider, C. and Barcelo, J. 1987. Chromium VI induced structural and ultrastuctural changes in bush bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Annals of Botany. 59: 427-438.

Van der Putte, I., Brinkhorst, M. A. and Koeman, J. H. 1981. Effect of pH on the acute toxicity of hexavalent chromium to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquat. Toxicol. 1: 129–142.

Verma, S. and Dubey, R.S. 2003. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. Plant Sci. 164: 645–655.

Wang, S., Wang, Z. and Zhuang, Q. 1992. Photocatalytic reduction of the environtal pollutant Cr (VI) over a cadmium sulphide power under visible light Illumination. App.Cat. B: Envi. 1: 257-270.

Webber, M.D., Klok, A. and Jiell, C.J. 1984. A River of current sludge use guildine for the control of heavy metal contamination in soil.. In P. L. Hermite and H.OH (eds). Precessing and use of sewage slude. D. Reidal publishing company. 371-385.

Wong, M.H. and Yu. C. 1989. Monitoring of Gin Drinker Bay Landfill, Hongkong: II gas content, soil properties, and vegetation performance on the side slope. Environmental Management . 13: 753-762.

Wozny, A., Schneider, J. and Gwozdz, E.A. 1995. The effects of lead and kinetin on greening of barley leaves. Biol. Plant. 37: 541–552.

Yongpisanphop, J. 2003. Accumulation and toxicity of lead and chromium in *Hydrocotyle umbellata* L.. Master's Thesis Department of Environmental Biology Science. Mahidol University.

Zayed, A. and Terry, N. 2003. Chromium in the environment: factors affecting biological remediation. Plant Soil. 249: 139-56.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
สูตรการคำนวณหาปริมาณสาร

1. การคำนวณสารประกอบโครเมียมและตะกั่ว

จากสูตร $\frac{A \times S \times MW}{MM \times 1,000}$

เมื่อ A คือ ความเข้มข้นของสารประกอบโครเมียม และตะกั่ว ที่ระดับต่าง ๆ (มิลลิกรัม โครเมียมต่อกิโลกรัมดิน) และ (มิลลิกรัม ตะกั่วต่อกิโลกรัมดิน)

S คือ น้ำหนักดิน (กิโลกรัม)

MM คือ มวลอะตอมของโครเมียม และตะกั่ว (กรัม)

MW คือ มวลโมเลกุลของสารประกอบโครเมียม และตะกั่ว (กรัม)

2. การหาปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดในตัวอย่าง

ความเข้มข้นของโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดในตัวอย่าง = $\frac{A \times B}{C \times 1000}$

A คือ ความเข้มข้นของโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดจากการวัด AAS (มิลลิกรัมต่อลิตร)

B คือ ปริมาณสารละลายที่นำไปวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)

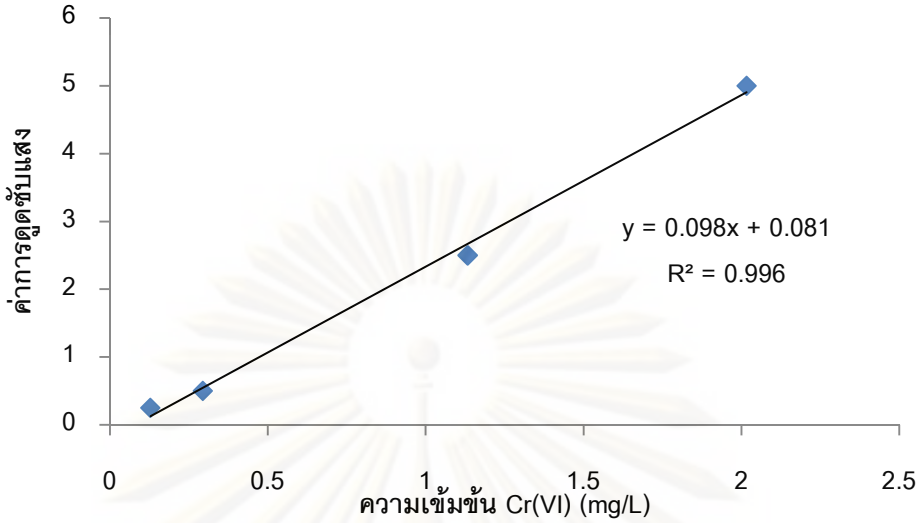
C คือ น้ำหนักแห้งหรือปริมาณของตัวอย่าง (กรัม หรือ ลิตร)

3. การหาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ในตัวอย่าง

ความเข้มข้นของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในสารละลายจากการวัดค่าดูดกลืนแสง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กราฟมาตรฐานการดูดกลืนแสงของโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ (Chromium hexavalent)



จากกราฟมาตรฐานของค่าการดูดกลืนแสงของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์

จะได้สมการ $Y = 0.098X + 0.081$

Y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

X คือ ความเข้มข้นของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ฉะนั้น ความเข้มข้นของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในสารละลาย $= \frac{(Y - 0.081)}{0.098}$

ความเข้มข้นของโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์ในตัวอย่าง $= \frac{A \times B}{C \times 1000}$

A คือ ความเข้มข้นของโครเมียมเฮกซะวาเลนท์ในสารละลายจากการวัดค่าดูดกลืนแสง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

B คือ ปริมาณสารละลายที่นำไปวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)

C คือ น้ำหนักแห้งหรือปริมาณของตัวอย่าง (กรัม หรือ ลิตร)

4. การหาปริมาณโครเมียมไตรวาเลนซ์ในตัวอย่าง

ปริมาณโครเมียมไตรวาเลนซ์ คือ ปริมาณโครเมียมทั้งหมด–ปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนซ์

ภาคผนวก ข
ปริมาณโลหะหนักในดิน

ตารางผนวกที่ ข 1 ค่าสูงสุดของโลหะหนักที่ยอมรับได้ให้มีอยู่ในดิน และค่าวิกฤตในพืชที่เริ่มยับยั้งการเจริญเติบโต

ธาตุ	ปริมาณในดิน (มก/กก.)		ปริมาณในพืช (มก./กก. น้ำหนักแห้ง)	
	ไม่เกิดเป็นพิษ ค่าที่รับได้	ค่าที่เริ่มอาการเป็นพิษในพืช	เกิดอาการในพืชที่ไวต่อพิษ	ค่าที่ทำให้ผลผลิตลดลด 10 %
สารหนู	2	15 – 50	n.a.	1 – 20
แคดเมียม	n.a.	3 – 5	5 – 10	10 – 20
ทองแดง	23	60 – 100	15 – 20	10 – 30
ปรอท	2	2 – 5	0.5 – 1	1 – 8
ตะกั่ว	n.a.	100 – 400	n.a.	n.a.
สังกะสี	110	254 – 400	20 – 30	10 – 30
นิกเกิล	35	100	150 – 200	100 - 500

ที่มา : Pendias and Pendias (2000)

หมายเหตุ: n.a. หมายถึง ไม่มีการเสนอตัวเลข

ตารางผนวกที่ ข 2 พื้นฐานที่แนะนำสำหรับโลหะหนักในดินประเทศไทย

ธาตุ	ระดับเกณฑ์พื้นฐาน (มก./กก.)
แคดเมียม	0.15
โบอลต์	20
โครเมียม	80
ตะกั่ว	55
ทองแดง	45
นิเกิล	45
ปรอท	0.1
สารหนู	30
สังกะสี	70

ที่มา: กองปฐพีวิทยา (2536)

ตารางผนวกที่ ข 3 ปริมาณโลหะหนักที่ยอมให้มีในดิน และกากตะกอนน้ำเสีย (Sewage sludge) เพื่อใช้ประโยชน์ทางเกษตรกรรม

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (มก./กก.)				
	ในดิน[1]			ในกากตะกอน[2]	
	อังกฤษ	เยอรมัน	ฝรั่งเศส	กลุ่มประชาคมยุโรป	สหรัฐอเมริกา
แคดเมียม	3.5	3.0	2.0	1-3	20
โครเมียม	n.a.	n.a.	n.a.	100-150	1,500
ทองแดง	140	100	100	50-140	750
ปรอท	n.a.	n.a.	n.a.	1.0-1.5	8
นิเกิล	35	50	50	30-75	210
ตะกั่ว	550	100	100	50-300	150
สังกะสี	280	300	300	150-300	1,400

ที่มา : [1]webber et al (1984)

[2]Alloway and Ayres (1997)

หมายเหตุ: n.a. หมายถึง ไม่มีการเสนอตัวเลข

ตารางผนวกที่ ข 4 ปริมาณโลหะหนักในพืช ณ ระดับปกติ และระดับที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ

ชนิดของโลหะ	ปริมาณโลหะหนัก (มก./กก.)	
	ระดับปกติ	ระดับที่ก่อให้เกพิษต่อพืช
แคดเมียม	0.1 - 1	5 - 700
ตะกั่ว	2.5	n.a.
ทองแดง	3 - 20	25 - 40
นิเกิล	0.1 - 5	50 - 100
แมงกานีส	15 - 150	400 - 2,000
เหล็ก	30 - 300	n.a.
สังกะสี	15 - 150	500 - 1,500

ที่มา: Chaney (1982)

หมายเหตุ: n.a. หมายถึง ไม่มีการเสนอตัวเลข

ตารางผนวกที่ ข 5 ปริมาณธาตุอาหารที่พบในดินทั่วไป

ชนิดของธาตุอาหาร	ปริมาณธาตุอาหารในดิน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
ธาตุอาหารหลัก	
ไนโตรเจน	0.03 - 0.3
ฟอสฟอรัส	0.01 - 0.1
โพแทสเซียม	0.2 - 1.5
ธาตุอาหารรอง	
เหล็ก	0.4 - 0.5
แมงกานีส	0.02 - 0.4
สังกะสี	0.01 - 0.03
ทองแดง	0.0005 - 0.01

ที่มา: ยงยุทธ และสุรเดช (2521)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค
ปริมาณโครเมียม และตะกั่วในดิน และสับปะรด

ตารางผนวกที่ ค 1 ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดในดิน

อายุของสับปะรด (วัน)	ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)					
	ชุดควบคุม	เฉลี่ย	โครเมียม 1,500	เฉลี่ย	ตะกั่ว 2,500	เฉลี่ย
30	ND		1408.85		2446.58	
	ND	ND	1368.10	1378.10	2405.83	2415.83
	ND		1357.35		2395.08	
60	ND		1337.99		2340.16	
	ND	ND	1327.24	1347.99	2350.91	2360.91
	ND		1378.74		2391.66	
90	ND		1342.66		2326.34	
	ND	ND	1301.91	1311.91	2315.59	2336.34
	ND		1291.16		2367.09	
120	ND		1275.22		2347.65	
	ND	ND	1326.72	1295.97	2306.90	2316.90
	ND		1285.97		2296.15	
150	ND		1267.77		2322.01	
	ND	ND	1319.27	1288.52	2281.26	2291.26
	ND		1278.52		2270.51	
180	ND		1299.93		2251.24	
	ND	ND	1248.43	1269.18	2199.74	2220.49
	ND		1259.18		2210.49	

หมายเหตุ : *ND = not detectable (มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถอ่านค่าได้)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ ค 2 ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดในพืช

อายุของสับปะรด (วัน)	ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดในพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)					
	ชุดควบคุม	เฉลี่ย	โครเมียม 1,500	เฉลี่ย	ตะกั่ว 2,500	เฉลี่ย
30	ND		1492.66		2618.43	
	ND	ND	1551.21	1492.66	3370.11	2618.43
	ND		1517.50		3033.99	
60	ND		2007.59		5295.30	
	ND	ND	1512.91	2007.59	5422.36	5295.30
	ND		1963.04		5437.46	
90	ND		4976.22		5870.45	
	ND	ND	4747.80	4976.22	5806.13	5870.45
	ND		1782.75		5891.58	
120	ND		7837.28		5641.22	
	ND	ND	7740.42	7837.28	5054.46	5641.22
	ND		7742.26		5715.57	
150	ND		7977.61		5759.54	
	ND	ND	7778.44	7977.61	5657.66	5759.54
	ND		7925.68		5390.07	
180	ND		9590.70		7101.53	
	ND	ND	9039.17	9590.70	7094.56	7101.53
	ND		9140.44		7104.02	

หมายเหตุ : *ND = not detectable (มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถอ่านค่าได้)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ ค3 ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดในส่วนเหนือดินของพืช

อายุของสับปะรด (วัน)	ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดในส่วนเหนือดินของพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)					
	ชุดควบคุม	เฉลี่ย	โครเมียม 1,500	เฉลี่ย	ตะกั่ว 2,500	เฉลี่ย
30	ND		148.84		460.59	
	ND	ND	179.71	148.84	414.84	460.59
	ND		159.84		477.43	
60	ND		207.59		635.3	
	ND	ND	282.91	207.59	682.36	635.30
	ND		213.04		857.46	
90	ND		326.22		750.45	
	ND	ND	297.80	326.22	716.13	750.45
	ND		352.75		786.58	
120	ND		757.28		781.22	
	ND	ND	760.42	757.28	814.46	781.45
	ND		732.26		795.57	
150	ND		737.61		899.54	
	ND	ND	758.44	737.61	917.66	899.54
	ND		795.68		1070.07	
180	ND		910.7		915.53	
	ND	ND	859.17	910.70	917.56	915.53
	ND		930.44		936.02	

หมายเหตุ : *ND = not detectable (มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถอ่านค่าได้)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางผนวกที่ ค 4 ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดในส่วนใต้ดินของพืช

อายุของสับปะรด (วัน)	ปริมาณโครเมียม และตะกั่วทั้งหมดในส่วนใต้ดินของพืช (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)					
	ชุดควบคุม	เฉลี่ย	โครเมียม 1,500	เฉลี่ย	ตะกั่ว 2,500	เฉลี่ย
30	ND		1492.66		2618.43	
	ND	ND	1551.21	1343.82	3370.11	3157.84
	ND		1517.50		3033.99	
60	ND		2007.59		5295.3	
	ND	ND	1512.91	1800.00	5422.36	4660.00
	ND		1963.04		5437.46	
90	ND		4976.22		5870.45	
	ND	ND	4747.80	4650.00	5806.13	5120.00
	ND		1782.75		5891.58	
120	ND		7837.28		5641.22	
	ND	ND	7740.42	7420.00	5054.46	4860.00
	ND		7742.26		5715.57	
150	ND		7977.61		6159.54	
	ND	ND	7778.44	737.61	6657.66	5260.00
	ND		7925.68		6390.07	
180	ND		9590.70		7101.53	
	ND	ND	9039.17	8680.00	7094.56	6186.00
	ND		9140.44		7104.02	

หมายเหตุ : *ND = not detectable (มีปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถอ่านค่าได้)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

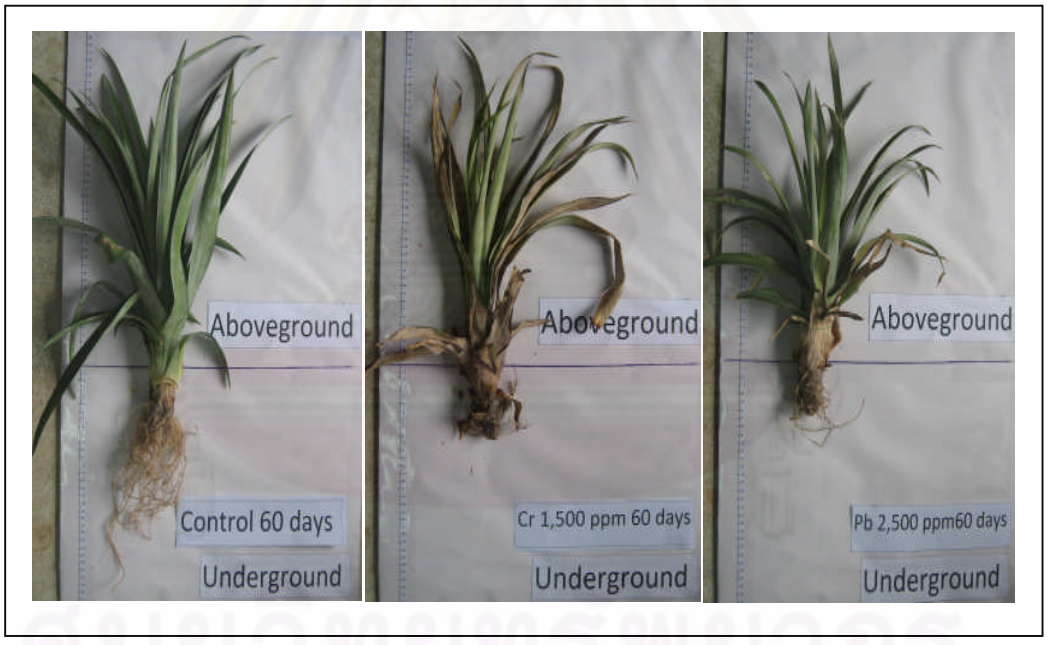
ภาคผนวก ง
รูปภาพประกอบการทดลอง

รูปผนวกที่ ง 1 กรณีการลักลอบทิ้งกากของเสียอันตรายบริเวณแปลงปลูกสับปะรด ตำบลมาบข่า อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง

รูปผนวกที่ ง 2 การเตรียมดิน และพืช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

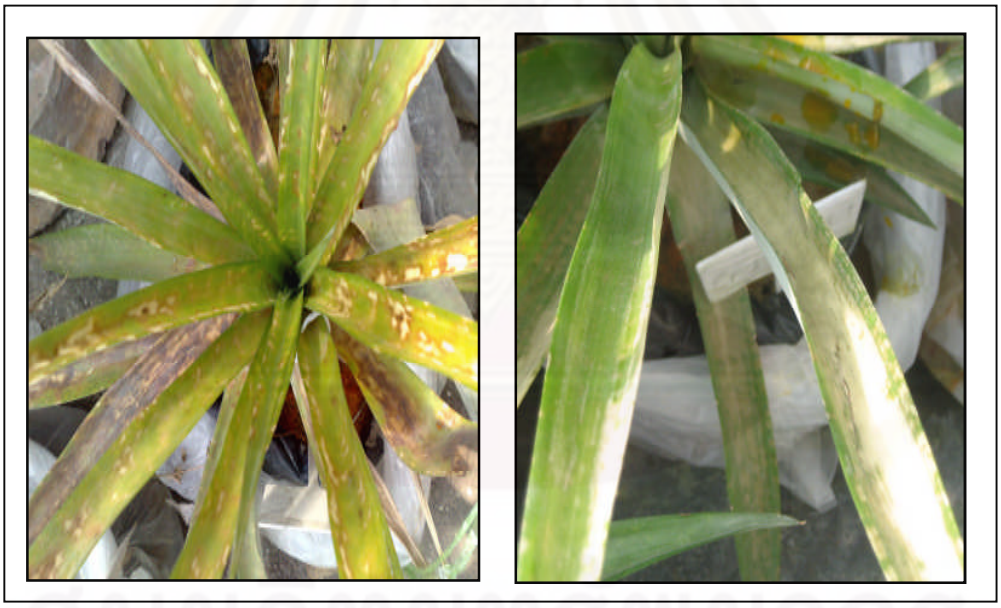
รูปผนวกที่ ง 3 การเตรียมภาชนะปลูก และการปลูกสับปะรดลงในภาชนะปลูก



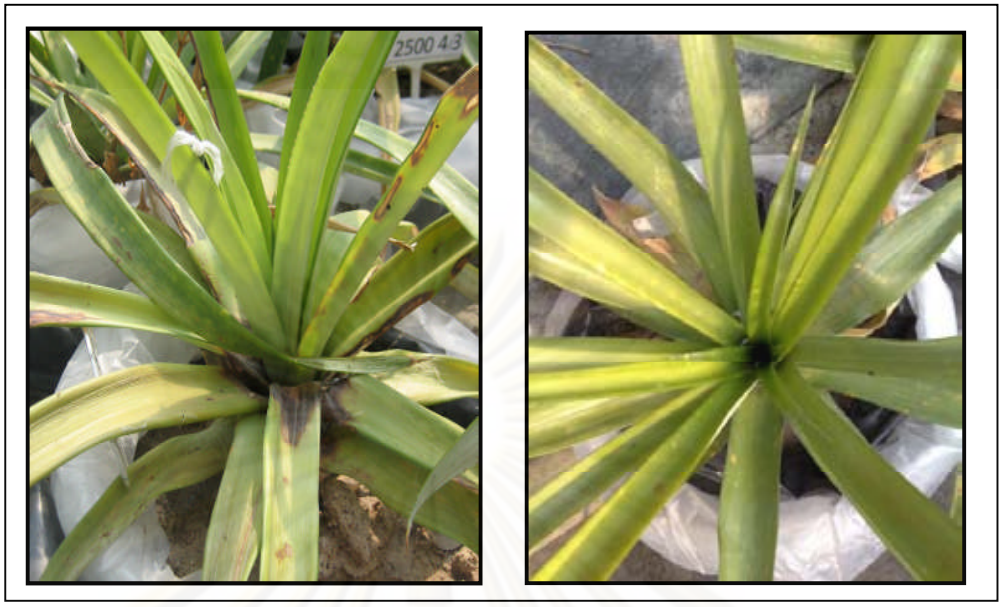
รูปผนวกที่ ง 4 การวัดความสูง และความยาวรากของสับปะรด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปผนวกที่ ง 5 สับปะรดชุดควบคุม มีลักษณะสีเขียวปกติ



รูปผนวกที่ ง 6 การแสดงความเป็นพิษของสับปะรดเมื่อได้รับสารโครเมียมที่ระดับความเข้มข้น 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน มีลักษณะใบไหม้ (Necrosis) บริเวณกลางใบ และเกิดการตายของเนื้อเยื่อพืช



รูปผนวกที่ ง 7 การแสดงความเป็นพิษของสับปะรดเมื่อได้รับสารตะกั่วที่ระดับความเข้มข้น 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน มีอาการใบเหลืองทั่วทั้งใบ

รูปผนวกที่ ง 8 เครื่องไมโครเวฟ (Microwave Digestion) เครื่องอะตอมมิคแอปซอร์ชั่นสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer; AAS) และเครื่องยูวี-สเปกโตรโฟโตรมิเตอร์ (UV-Spectrophotometer)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุภาพร แป้งทา เกิดเมื่อวันศุกร์ที่ 23 กันยายน พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดปราจีนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2550 ในระหว่างการศึกษาได้เข้าร่วมเสนอผลงานวิจัย ในการประชุมวิชาการระดับชาติ โดยได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานดังต่อไปนี้

Supaporn Pangta and Pantawat Sampanpanish. “Use of *Ananas comosus (L.)* Merr. as Indicator for Toxicity of Chromium and Lead in Contaminated Soil.” หนังสือประมวลผลการประชุมทางวิชาการ (Proceeding) ใน 2nd CUTSE International Conference 2009, Curtin university of technology, Sarawak Campus. Miri, Sarawak, Malaysia, November 24-25, 2009. 13.

สุภาพร แป้งทา และ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช. “การใช้พืชเป็นตัวชี้วัดความเป็นพิษของโครเมียมที่ปนเปื้อนในดิน.” หนังสือประมวลผลการประชุมทางวิชาการ (Proceeding) ในการประชุมทางวิชาการการประชุมวิชาการ ม.อ. ภูเก็ตวิจัย ครั้งที่ 2 (2552) "สหวิทยาการเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน" (Multidisciplinary Studies on Sustainable Development) ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต 18 - 20 พฤศจิกายน 2552. 18.

สุภาพร แป้งทา และ พันธวัศ สัมพันธ์พานิช. “การใช้สับปะรดเป็นตัวชี้วัดความเป็นพิษของตะกั่วที่ปนเปื้อนในดิน.” หนังสือประมวลผลการประชุมทางวิชาการ (Proceeding) ในการประชุมทางวิชาการการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 7 “วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาประเทศ” จัดทำโดย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ณ ห้องประชุม S-106 อาคารเรียนและปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วันที่ 10 กรกฎาคม 2552. 55-63.