



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญญา

ปฐพีวิทยา

สาขา

ปฐพีวิทยา

ภาควิชา

เรื่อง ศักยภาพของสาบเสือในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว และการใช้สาบเสือที่ผ่านการบำบัดดินเพื่อควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม

Phytoremediation Potential of Siam Weed (*Chromolaena odorata*) on Lead Contaminated Soil and Application of Remediated Plant for Controlling Root-knot Nematode (*Meloidogyne* spp.)

นามผู้วิจัย นางสาววัชรโรบล สิทธิวิไล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศวพร ศุภผล, ประ.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ย่อนงค์นุช สาสนรักกิจ, วท.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุเทพ ทองแพ, วท.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา อีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ศักยภาพของสาบเสือในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว และการใช้สาบเสือที่ผ่านการบำบัดดิน
เพื่อควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม

Phytoremediation Potential of Siam Weed (*Chromolaena odorata*) on Lead
Contaminated Soil and Application of Remediated Plant for Controlling
Root-knot Nematode (*Meloidogyne* spp.)

โดย

นางสาววัชรโรบล สิทธิวิไล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)
พ.ศ. 2554

วัชรโบล ลิทธิวิไล 2554: ศักยภาพของสาบเสือในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว และการใช้
สาบเสือที่ผ่านการบำบัดดินเพื่อควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
(ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศวพร ศุภผล, ประ.ด. 102 หน้า

กิจกรรมจากเหมืองแร่ตะกั่ว ทำให้เกิดการแพร่กระจายของตะกั่วปริมาณสูงเป็นเวลานาน และ
ส่งผลให้เกิดการสะสมในดินและแหล่งน้ำจนถึงขั้นเกิดภาวะมลพิษ เทคนิคการบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่วด้วย
พืช (phytoremediation) เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถลดการเกิดภาวะมลพิษทางดินได้ เนื่องจากเป็น
เทคนิคที่มีค่าใช้จ่ายน้อย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และง่ายต่อการปฏิบัติในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนตะกั่ว จาก
การสำรวจพื้นที่เหมืองแร่เค็มโก อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี พบสาบเสือ (*Chromolaena odorata*)
ซึ่งมีศักยภาพในการดูดใช้และสะสมตะกั่วได้ในปริมาณสูง (hyperaccumulator) กระจายตัวและเจริญเติบโต
อยู่ทั่วพื้นที่เหมือง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงศึกษาศักยภาพของสาบเสือในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วย
สาบเสือ ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง โดยศึกษาชนิดต้นพันธุ์ของสาบเสือที่เหมาะสมสำหรับการ
บำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว โดยใช้ชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำ ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก
พบว่าสาบเสือชนิดชุดปลูกมีศักยภาพในการดูดใช้และสะสมตะกั่วสูงกว่าสาบเสือชนิดกิ่งปักชำ มีปริมาณ
ตะกั่วในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินสูงสุด 19.54 และ 22.57 มิลลิกรัมต่อต้นในน้ำหนักแห้ง ณ ระยะเวลา
90 วันหลังการย้ายปลูก ซึ่งสาบเสือมีการดูดใช้และสะสมตะกั่วสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการบำบัดนานขึ้น
นอกจากนี้เทคนิค phytoremediation ยังมีข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวและการจัดการพืชหลังการ
บำบัด จึงทำการศึกษาระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวสาบเสือที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว โดย
ทำการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยสาบเสือชนิดชุดปลูก ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลัง
การย้ายปลูก และพบว่า ณ ระยะเวลา 45 วันหลังการย้ายปลูกเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว
สาบเสือ ซึ่งสาบเสือมีการดูดใช้และสะสมตะกั่วในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินปริมาณสูง ทำให้การบำบัด
พื้นที่ปนเปื้อนตะกั่วด้วยเทคนิค phytoremediation มีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้สาบเสือหลังการ
บำบัดสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne* spp.) โดยทำการสกัดสาร
สกัดหยาบจากส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของสาบเสือ เพื่อควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม พบว่าสารสกัดหยาบ
จากส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของสาบเสือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 ส่งผลให้ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่
2 ตายสูงกว่าร้อยละ 90 ณ เวลา 24 ชั่วโมง และการตรวจสอบปริมาณตะกั่วที่ตกค้างหลังสกัดสารสกัด
หยาบ พบว่าตะกั่วมีการสะสมอยู่ที่รากของสาบเสือหลังการสกัดปริมาณสูง จึงส่งผลให้มีปริมาณตะกั่วในสาร
สกัดหยาบที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 5 และ 10 ในปริมาณต่ำ (1.4, 1.7 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ใน
ส่วนเหนือดิน และ 1.7, 1.8 และ 2.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในส่วนใต้ดิน ตามลำดับ)

Watcharobon Sittiwilai 2011: Phytoremediation Potential of Siam Weed (*Chromolaena odorata*) on Lead Contaminated Soil and Application of Remediated Plant for Controlling Root-knot Nematode (*Meloidogyne* spp.). Master of Science (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Savaporn Supaphol, Ph.D. 102 pages.

Lead mining activities cause distribution of high quantity lead and long time that affect to accumulate lead in soil and water resource up to pollution. Phytoremediation can be potentially used to remove heavy metals from metal contaminated areas. This technology is cost effective and environmentally friendly, and can be applied successfully on a large scale. A field survey on the KEMCO lead mining area, Thongphapum district, Kanchanaburi province was conducted to identify plant species which accumulated high concentrations of lead. Siam Weed (*Chromolaena odorata*) was found as a potential lead hyperaccumulator from the field survey. In a greenhouse experiment, Siam Weed in two types (stem cutting type and digging type) from a non contaminated site were grown in lead contaminated soil for 90 days after planting. The digging type of Siam Weed accumulated a higher concentration of lead than the stem cutting type. The highest lead concentration of the digging type in shoots and roots were found at $19.54 \text{ mg plant}^{-1}$ and $22.57 \text{ mg plant}^{-1}$, respectively, 90 days after planting. In general, the lead concentration in Siam Weed increased with increased times of planting. In addition, phytoremediation technology has restrictions on time harvesting plants to study selecting harvesting time of Siam Weed. The digging type of Siam Weed was harvested at 30, 45, 60, 75 and 90 days after planting at the appropriate harvesting time. Siam Weed, 45 days after planting had a high lead concentration both in the shoots and the roots of the plants. The digging type of Siam Weed 45 days after planting and harvesting is the most effective phytoremediation technique for lead contaminated areas. In addition, Siam Weed after remediated lead contaminated soil both shoot and root were extracted for controlling root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.). The crude extract from shoot and root of Siam Weed concentration 10% affect to mortality of root-knot nematode juvenile 2 high than 90%, at 24 hour. The assay lead concentration in Siam Weed after extracted crude extract found that high lead concentration accumulated in residue of Siam Weed which affect to in crude extract of Siam Weed concentration 1, 5 and 10% had low lead concentration (1.4 , 1.7 and 3.0 mg kg^{-1} in shoot and 1.7 , 1.8 และ 2.9 mg kg^{-1} in root, respectively).

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศวพร ศุภผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และดร.อนงค์นุช สาสนรักกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ ศาตราจารย์ ดร.ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา ประธานการสอบและ ดร.พิชิต พงษ์สกุล ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ Dr. Jeong Hwa Hong, School of Food and Life Science and BPRC, Inje University, South Korea ดร.เบญญา มะโนชัย อาจารย์ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดร.บัญญัติ ชินศรี อาจารย์ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาปฐพีวิทยาทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์และคำแนะนำที่ดี กราบพระคุณเจ้าหน้าที่อุทยานแห่งชาติลำคลองงู และพนักงานเหมืองแร่เค็มโกทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลภาคสนาม และขอบคุณคุณกนกศักดิ์ อุดมสิน ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และน้องๆ ที่สนับสนุนและให้กำลังใจเสมอมา ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจและให้คำปรึกษาที่ดี ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วัชรโรบล สิทธิวิไล

พฤษภาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	29
ผลและวิจารณ์	39
สรุปและข้อเสนอแนะ	74
สรุป	74
ข้อเสนอแนะ	75
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	76
ภาคผนวก	87
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	102

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความสัมพันธ์ระหว่างความผิดปกติในร่างกายมนุษย์กับความเข้มข้นของตะกั่วในเลือด	9
2	สมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของดินเหมืองแร่เค็มโก อำเภothองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี	40
3	พิกัดกริดและระดับความสูงของพื้นที่ ณ จุดต่างๆ เหมืองแร่เค็มโก อำเภothองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี	41
4	สมบัติทางเคมีบางประการของตะกอนดินในบ่อดักตะกอน เหมืองแร่เค็มโก อำเภothองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี	42
5	สมบัติทางเคมีบางประการของน้ำในบ่อดักตะกอน เหมืองแร่เค็มโก อำเภothองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี	43
6	ปริมาณตะกั่วในดิน ตะกอนดิน และน้ำ เหมืองแร่เค็มโก อำเภothองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี	44
7	ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน ค่า translocation factor (TF) และค่า bioaccumulation factor (BAF) ของพืชที่เจริญเติบโตในพื้นที่เหมืองแร่เค็มโก อำเภothองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี	47
8	ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสาบเสือที่เจริญเติบโตในดินปนเปื้อน ตะกั่วและดินไม่ปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก	52
9	การพิจารณาศักยภาพของต้นพันธุ์สาบเสือชนิดชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำในการดูดใช้และสะสมตะกั่วได้ในปริมาณสูง (hyperaccumulator)	56
10	ปริมาณตะกั่วในสารสกัดหยาบและกากของสาบเสือหลังการสกัด ภายหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วัน หลังการย้ายปลูก	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
1 ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสาบเสือชนิดชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง	88
2 ปริมาณตะกั่วในส่วนใต้ดินของสาบเสือชนิดชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง	89
3 ค่า translocation factor (TF) และค่า bioaccumulation factor (BAF) ของสาบเสือชนิดชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง	90
4 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำ ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง	91
5 ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำ ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง	92
6 น้ำหนักแห้งของสาบเสือชนิดชุดปลูกหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง	93
7 ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของสาบเสือชนิดชุดปลูกหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง	94
8 ค่า translocation factor (TF) และค่า bioaccumulation factor (BAF) ของสาบเสือชนิดชุดปลูกหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง	94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
9 ปริมาณตะกั่วในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดชุดปลูก ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง	95
10 ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแพร่สาร สกัดหยาบจากส่วนเหนือดินของสาบเสือ ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก	96
11 ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแพร่สาร สกัดหยาบจากส่วนใต้ดินของสาบเสือ ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30 วัน หลังการย้ายปลูก	97
12 ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแพร่สาร สกัดหยาบจากส่วนเหนือดินของสาบเสือ ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 60 วันหลังการย้ายปลูก	98
13 ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแพร่สาร สกัดหยาบจากส่วนใต้ดินของสาบเสือ ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 60 วัน หลังการย้ายปลูก	99
14 ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแพร่สาร สกัดหยาบจากส่วนเหนือดินของสาบเสือ ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก	100
15 ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแพร่สาร สกัดหยาบจากส่วนใต้ดินของสาบเสือ ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 90 วัน หลังการย้ายปลูก	101

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การเปลี่ยนรูปของตะกั่วในดิน	5
2 กระบวนการ phytoextraction	10
3 กระบวนการ phytostabilization	11
4 กระบวนการ rhizofiltration	12
5 กระบวนการ phytovolatilization	12
6 การเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากดินเข้าสู่พืชผ่านทางรากและเคลื่อนย้ายไปยังส่วนเหนือดินของพืช	14
7 ลักษณะใบ (ก) และดอก (ข) ของสาบเสือ	16
8 ไล่เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 ที่เข้าทำลายรากพืช (ก) ตัวเต็มวัยเพศเมีย และกลุ่มไข่ของไล่เดือนฝอยรากปม (ข)	19
9 ที่ตั้งและบริเวณพื้นที่ทำการศึกษ เหมืองแร่เค็มโก อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี	24
10 แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 พื้นที่เหมืองแร่เค็มโก อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี	25
11 พื้นที่ในการประกอบกิจกรรม เหมืองแร่เค็มโก อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่เหมืองแร่เค็มโก (ก) โรงแต่งแร่ (ข) ลานแร่ (ค) ลานตะกอนหางแร่ (ง) บ่อดักตะกอน 1 (จ) และบ่อดักตะกอน 2 (ฉ)	27
12 การแพร่กระจายของพืชน้ำในบ่อดักตะกอน 1 (ก) และบ่อดักตะกอน 2 (ข)	45
13 ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดิน (ก) และส่วนใต้ดิน (ข) ของสาบเสือชนิดชุดปลูก (■) และชนิดกิ่งปักชำ (■) หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก	49
14 ค่า translocation factor (TF) (ก) และค่า bioaccumulation factor (BAF) (ข) ของสาบเสือชนิดชุดปลูก (■) และชนิดกิ่งปักชำ (■) หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก	51
15 ปริมาณตะกั่วทั้งหมด (ก) และปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ (ข) ในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดชุดปลูก (■) และชนิดกิ่งปักชำ (■) ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
16	น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน (■) และส่วนใต้ดิน (■) ของสาบเสือชนิดชุดปลูกหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก	57
17	ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดิน (■) และส่วนใต้ดิน (■) ของสาบเสือชนิดชุดปลูกหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก	59
18	ค่า translocation factor (TF) (■) และค่า bioaccumulation factor (BAF) (■) ของสาบเสือชนิดชุดปลูกหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก	60
19	ปริมาณตะกั่วทั้งหมด (ก) และปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ (ข) ในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดชุดปลูก ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก	61
20	ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแพร่สารสกัดหยาบจากส่วนเหนือดิน (ก) และส่วนใต้ดิน (ข) ของสาบเสือความเข้มข้นร้อยละ 1 (■), 5 (■) และ 10 (■) ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก	65
21	ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแพร่สารสกัดหยาบจากส่วนเหนือดิน (ก) และส่วนใต้ดิน (ข) ของสาบเสือความเข้มข้นร้อยละ 1 (■), 5 (■) และ 10 (■) ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 60 วันหลังการย้ายปลูก	67
22	ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแพร่สารสกัดหยาบจากส่วนเหนือดิน (ก) และส่วนใต้ดิน (ข) ของสาบเสือความเข้มข้นร้อยละ 1 (■), 5 (■) และ 10 (■) ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก	69

ศักยภาพของสาบเสือในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว และการใช้สาบเสือที่ผ่าน การบำบัดดินเพื่อควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม

Phytoremediation Potential of Siam Weed (*Chromolaena odorata*) on Lead Contaminated Soil and Application of Remediated Plant for Controlling Root-knot Nematode (*Meloidogyne* spp.)

คำนำ

กิจกรรมของมนุษย์เป็นสาเหตุสำคัญของการปนเปื้อนตะกั่วในสิ่งแวดล้อม ซึ่งเกิดจากการนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ การผลิตสี การผลิตอาวุธปืนและเครื่องกระสุน รวมทั้งอุตสาหกรรมเหมืองแร่ซึ่งเป็นอีกกิจกรรมที่ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของตะกั่วสู่ดินในพื้นที่โดยรอบ ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของตะกั่วจนเกิดภาวะมลพิษทางดิน ซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดการปนเปื้อนตะกั่วในพื้นที่ทำการเกษตร เนื่องจากตะกั่วสามารถสะสมในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตและถ่ายทอดไปสู่ระบบห่วงโซ่อาหารได้

การบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่วด้วยพืช (phytoremediation) มีหลักการคือพืชดูดใช้และสะสมตะกั่ว ซึ่งพืชจะดูดใช้ตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินผ่านทางราก แล้วเก็บสะสมตะกั่วในเนื้อเยื่อพืชสำหรับพืชที่มีศักยภาพในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ต้องมีความสามารถในการดูดใช้และสะสมตะกั่วทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินในปริมาณสูง (hyperaccumulator) จากรายงานของ Rotkittikhun *et al.* (2006) และ Tanhan *et al.* (2007) พบว่าสาบเสือเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว เนื่องจากสาบเสือสามารถดูดใช้และสะสมตะกั่วได้ในปริมาณสูง เป็นพืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว และแพร่กระจายได้ง่าย ดังนั้นการใช้ประโยชน์สาบเสือเป็นพืชบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่วด้วยเทคนิค phytoremediation จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาความสามารถของสาบเสือในการบำบัดดิน เนื่องจากเทคนิคดังกล่าวมีข้อดีคือค่าใช้จ่ายต่ำ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ง่ายต่อการจัดการ และสามารถประยุกต์ใช้ในพื้นที่ปนเปื้อนที่มีบริเวณกว้าง (Kucharski *et al.*, 2005) อย่างไรก็ตามพบว่าเทคนิค phytoremediation ยังมีข้อจำกัดเรื่องชนิดต้นพันธุ์ของพืชบำบัด ระยะเวลาการบำบัดซึ่งใช้เวลานาน รวมถึงแนวทางในการจัดการพืชภายหลังการบำบัดดินปนเปื้อน

ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีแนวคิดในการจัดการกับพืชหลังจากการบำบัดดินปนเปื้อน ตะกั่ว โดยการนำสารสกัดหยาบของสาบเสือจากส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินมาใช้ประโยชน์เพื่อ ควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม ซึ่งเป็นศัตรูพืชที่ก่อให้เกิดโรครากปมในพืชหลายชนิด เช่น พืชไร่ ไม้ ผล ไม้ดอก และไม้ประดับ (Sasser, 1979)



วัตถุประสงค์

1. ศึกษาศักยภาพของสาบเสือ (*Chromolaena odorata*) ในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว
2. ศึกษาการเลือกชนิดต้นพันธุ์และระยะเวลาการเก็บเกี่ยวสาบเสือที่เหมาะสมในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง
3. แนวทางการจัดการสาบเสือหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว โดยใช้ประโยชน์จากสารสกัดยับยั้งการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne* spp.)

การตรวจเอกสาร

1. ตะกั่ว

1.1 ลักษณะทั่วไปของตะกั่ว

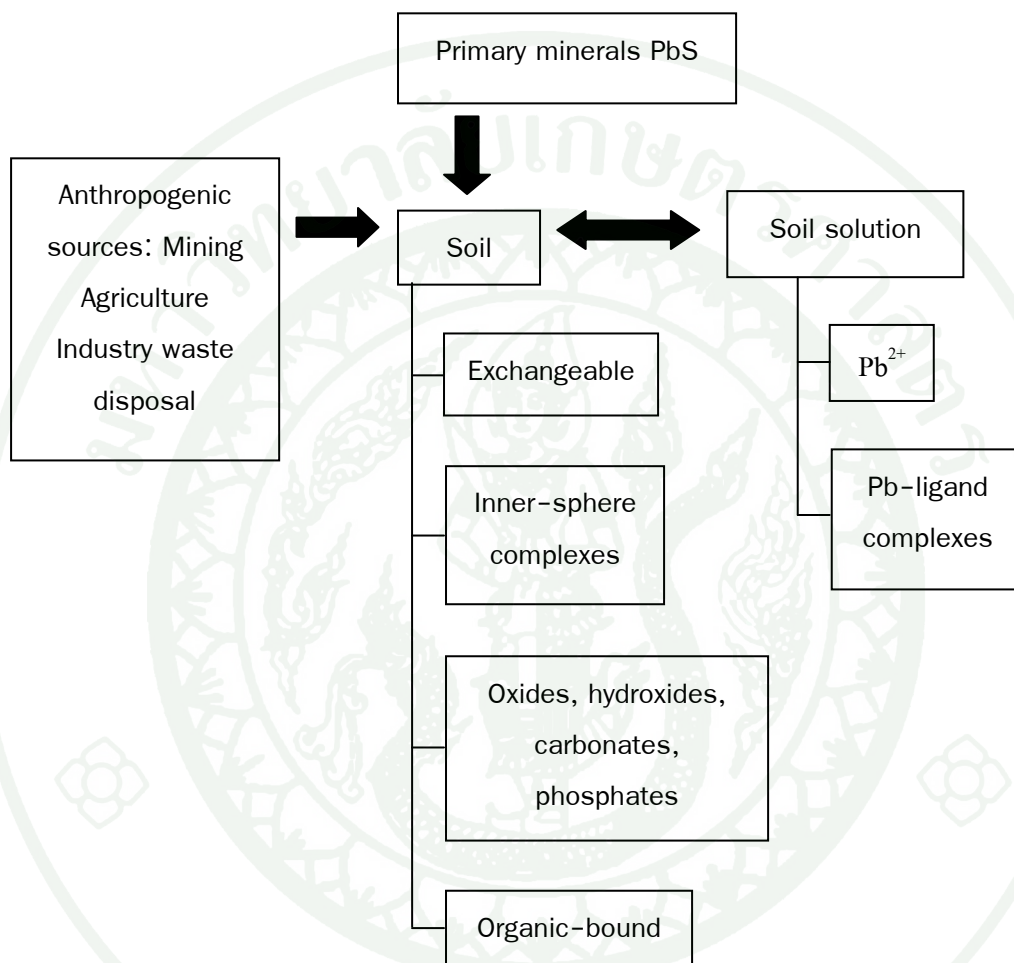
ตะกั่วเป็นธาตุที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ส่วนมากอยู่ในสินแร่กาลีนา (galena: PbS), เซอร์ไรต์ (cerussite: PbCO_3) และ แองกลีไซต์ (anglesite: PbSO_4) ตะกั่วบริสุทธิ์มีสีเทาอมฟ้า (bluish-gray) มีความทนทานต่อการกัดกร่อน เมื่อถูกตัดใหม่ๆ จะมีความวาวมากและค่อยๆ หมองลงเมื่อสัมผัสอากาศ (Susan, 1996) มีสัญลักษณ์ Pb จากชื่อละติน Plumbum เป็นธาตุโลหะในหมู่ IVA ของตารางธาตุ เลขอะตอม 82 น้ำหนักอะตอม 207.19 ค่าความถ่วงจำเพาะ 11.35 จุดหลอมเหลว 327.5 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่ความดันบรรยากาศ 1,740 องศาเซลเซียส พบในธรรมชาติ 4 ไอโซโทป คือ 208 (50-54%), 206 (20-28%), 207 (20-23%) และ 204 (1.2-1.6%) (WHO, 1989)

ตะกั่วเป็นโลหะที่มีความแข็งไม่มาก แปรรูปได้โดยการทุบ รีด หลอมได้ง่าย (Pendias, 2001) ขยายตัวมากเมื่อได้รับความร้อน ผสมเข้ากับโลหะต่างๆ ได้ดี รวมทั้งการทำปฏิกิริยาทางเคมีเกิดเป็นเกลือของตะกั่วต่างๆ ได้ ตะกั่วมีอยู่ทั้งในรูปของตะกั่วอินทรีย์ ซึ่งมีเลขออกซิเดชัน +2 และ +4 และรูปของตะกั่วอินทรีย์ สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่วโดยทั่วไปละลายน้ำได้ไม่ดี ยกเว้น พวกสารประกอบในเตรต คลอเรท คลอไรด์ และพวกที่อยู่ในรูปของเกลือกับกรดอินทรีย์ เช่น ตะกั่วออกซาเลท ละลายได้ดีในกรดไนตริกเจือจาง ละลายได้อย่างช้าๆ ในน้ำที่เป็นกรดอย่างอ่อน นำไฟฟ้าไม่ดี แต่ดูดเสียงและคลื่นสั่นสะเทือนได้ดี (WHO, 1977)

1.2 ปฏิกิริยาในดิน

ตะกั่วเป็นธาตุที่กระจายทั่วไปในธรรมชาติ ที่เปลือกโลกมีตะกั่วโดยเฉลี่ยประมาณ 13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (WHO, 1996) และพบอยู่ในรูปสารประกอบเป็นสินแร่ต่างๆ บริเวณที่พบแร่ตะกั่วมักพบแหล่งแร่ทองแดง เงิน สังกะสี พลวง และบิสมัทปะปนอยู่ด้วย (พิมล และ ชัยวัฒน์, 2539) ตะกั่วในธรรมชาติเมื่อสลายตัวจะถูกออกซิไดซ์เปลี่ยนรูปอย่างช้าๆ ให้อยู่ในรูปคาร์บอเนตหรือถูกตรึงโดยแร่ดินเหนียว ออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม และอินทรีย์วัตถุ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดการตกผลึกในแร่ต่างๆ ได้ โดยทั่วไปตะกั่วในสารละลายดินจะอยู่ในรูป Pb^{2+} มากกว่า Pb^{4+} ดังแสดงในภาพที่ 1 และคุณสมบัติคล้ายกลุ่มโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธ ดังนั้นจึงสามารถเข้าแทนที่ K, Ba, Sr และ Ca ในแร่และตำแหน่งที่ไอออนของธาตุเหล่านี้ถูกดูดซับ (สิทธิชัย, 2525) และพบว่าตะกั่วเป็นธาตุโลหะหนักที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่ในดินได้น้อยมาก แต่ในสภาพที่เป็นกรดความสามารถในการเคลื่อนที่และการละลายได้ของตะกั่วจะ

เพิ่มขึ้น สำหรับแนวทางในการลดความสามารถในการเคลื่อนที่และการละลายได้ของตะกั่วในดิน สามารถทำได้โดยการใส่ปูนเพื่อยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้สูงขึ้น ตะกั่วจะตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ ฟอสเฟต คาร์บอเนต หรือเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์ (ศุภมาส, 2545)



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนรูปของตะกั่วในดิน

ที่มา: Pichtel (2005)

1.3 การใช้ประโยชน์จากตะกั่ว

ปัจจุบันตะกั่วถูกนำมาใช้ประโยชน์ใน 2 ลักษณะ คือ 1. ในรูปของโลหะ (metallic foam) ใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตขั้วไฟฟ้าในแบตเตอรี่ ผลิตสายเคเบิล เชื่อมโลหะบัดกรี และ 2. ในรูปของสารเคมีถูกนำมาใช้ประโยชน์ เช่น เป็นสารผสมเพื่อเพิ่มค่าออกเทนในน้ำมันเบนซิน (ปัจจุบันใช้สารชนิดอื่นแล้ว) ทำเม็ดสี ทำพลาสติก ฯลฯ ซึ่งในรูปนี้ตะกั่วจะถูกปลดปล่อยออกมาเจือปนในสิ่งแวดล้อมได้มาก (พิมล และ ชัยวัฒน์, 2539) ในทางการเกษตรพบว่าตะกั่วจะปะปนอยู่ในปุ๋ย สารเคมีที่ใช้ในการเพิ่มผลผลิตและสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่สำคัญ เช่น ปุ๋ยฟอสเฟต และเลดอะซีเนต (lead arsenate) ซึ่งจะมีตะกั่วปะปนอยู่ในปริมาณสูง เมื่อนำมาใช้จะส่งผลให้มีตะกั่วตกค้างในพื้นที่การเกษตรเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ตะกั่วยังถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมทั่วไป เช่น การทำโลหะผสม ทองเหลือง ฟิวส์ ลูกปืน หมึกพิมพ์ พลาสติก เครื่องเคลือบ สีทาบ้าน และของเล่นเด็ก จึงเป็นเหตุให้มีตะกั่วตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อม (นิธิยา และ วิบูลย์, 2543)

1.4 การแพร่กระจายและการปนเปื้อนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม

การแพร่กระจายและการปนเปื้อนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมเกิดได้ทั้งโดยธรรมชาติและการกระทำของมนุษย์ การระเบิดของภูเขาไฟ และการสึกกร่อนของแหล่งแร่ ซึ่งเกิดขึ้นรวมกันประมาณ 19,000 ตันต่อปี (Nriagu and Pacyna, 1988) การแพร่กระจายและการปนเปื้อนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมจากการกระทำของมนุษย์เกิดขึ้นได้จาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2547ก)

1.4.1 การทำเหมืองแร่ ประมาณร้อยละ 70 ของสินแร่ตะกั่วมักเกิดร่วมกับสังกะสี ดังนั้นการแพร่กระจายของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมจึงเกิดร่วมกับสังกะสี การทำเหมืองแร่ทำให้ตะกั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังทำให้มีการปนเปื้อนในอากาศจากการฟุ้งกระจายของผงแร่ การถลุงแร่และการทำแร่ให้บริสุทธิ์ ทำให้ตะกั่วปนเปื้อนในน้ำและอากาศ

1.4.2 การผลิตสารประกอบของตะกั่วรวมทั้งการผสมปรุงแต่งผลิตภัณฑ์ โรงงานที่ไม่มีการควบคุมฝุ่นละอองที่อาจทำให้ตะกั่วฟุ้งกระจายเข้าสู่บรรยากาศ และถ้าโรงงานไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพอาจทำให้ตะกั่วในน้ำทั้งปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติได้

1.4.3 การเก็บรักษาและการขนส่ง ซึ่งเกิดจากอุบัติเหตุ การหกหรือรั่วไหล

1.4.4 การใช้ประโยชน์ สารประกอบตะกั่วถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม เพื่อใช้ผลิตสารประกอบและผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ยาย้อมผม สีทาบ้าน ลูกปืน สาร

กำจัดแมลง และแบคทีเรียรบกวน เป็นต้น การใช้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ทำให้ตะกั่วปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

1.4.5 การจัดการกากของเสีย โรงงานที่มีระบบบำบัดน้ำเสียและเตาเผากำจัดอากาศเสียที่ไม่มีประสิทธิภาพอาจทำให้ตะกั่วปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ ตะกอนดิน และอากาศได้

ตะกั่วเป็นธาตุที่มีในธรรมชาติ และได้ถูกนำมาใช้มากจึงทำให้ตะกั่วปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม ทั้งในดิน น้ำ อากาศ และสะสมอยู่ในตัวสิ่งมีชีวิตเป็นจำนวนมาก Robert (1980) รายงานสถานการณ์เกี่ยวกับตะกั่วที่เข้ามาับบทบาทต่อกิจกรรมของมนุษย์ ค.ศ. 1920-1974 ประเทศสหรัฐอเมริกาเพียงประเทศเดียวมีการใช้ตะกั่วสูงถึง 50,794,544 ตัน ลิทธิชัย (2525) ประเมินการว่าในปีหนึ่งๆ มนุษย์นำตะกั่วมาใช้ประโยชน์ประมาณ 300,000 ตัน โดยใช้ในรูปของโลหะอิสระร้อยละ 60 สารประกอบตะกั่วร้อยละ 35 และโลหะผสมร้อยละ 5 กิจกรรมในชีวิตประจำวันที่น่าตะกั่วมาใช้ประโยชน์เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ตะกั่วแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ไม่ว่าจะเป็นการแพร่กระจายไปตามบรรยากาศ แหล่งน้ำ ดิน หรือในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ในธรรมชาติ หิน ดิน และแร่ที่มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบเมื่อมีการชะล้างพังทลายของดินและหินเหล่านั้น ตะกั่วจะถูกพัดพาาลงสู่แหล่งน้ำ และเกิดการตกตะกอนรวมตัวกันของตะกอนดิน ทำให้เกิดการปนเปื้อนตะกั่วในตะกอนดินและแหล่งน้ำนั้น

1.5 ตะกั่วต่อการเจริญเติบโตของพืช

ตะกั่วเข้าสู่พืชได้ 2 ทาง คือ ทางรากและทางใบ เมื่อเข้าสู่พืชตะกั่วจะสะสมอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ ไมโทคอนเดรีย และคลอโรพลาสซึม ตะกั่วที่เข้าสู่พืชทางรากส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ที่รากฝอย ระดับปกติของตะกั่วในพืชคือ 0.5-3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ระดับความเป็นพิษในพืชนั้นขึ้นกับชนิดของพืช ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีความทนต่อตะกั่วไม่เท่ากัน พืชบางชนิดอาจมีการสะสมตะกั่วในเนื้อเยื่อสูงถึง 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยไม่แสดงอาการเป็นพิษ (ศุภมาศ, 2545) ค่าวิกฤตของตะกั่วในพืช (critical concentration in plants) โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 30-300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Alloway, 1990)

Duffus (1980) พบว่าตะกั่วมีผลยับยั้งการเปลี่ยนแปลงพลาสติกในพืช รบกวนกระบวนการหายใจไมโทคอนเดรียซึ่งมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ยับยั้งการเจริญเติบโตของรากและใบ และยืดเวลาการงอกของเมล็ด (ศุภมาศ, 2545) เนื่องจากตะกั่วเข้าไปรบกวนกระบวนการสังเคราะห์แสงในส่วนการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตไปเป็นน้ำตาล ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมและกระบวนการเจริญเติบโตของพืช (Pendias, 2001) สอดคล้องกับ Bazzaz et al. (1974) ศึกษาผลกระทบของตะกั่วต่อข้าวโพดและถั่วเหลือง พบว่า

ตะกั่วมีผลทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและการหายใจของพืชทั้งสองชนิดลดลง และ Obrocheva *et al.* (2000) ทำการศึกษาความเป็นพิษของตะกั่วต่อการงอกของเมล็ดข้าวโพด ที่ระดับความเข้มข้นของเหล็กในเตรทแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} และ 10^{-5} โมล พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 10^{-2} โมล รากข้าวโพดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ มีลักษณะสั้นกุด ซึ่งแสดงถึงความเป็นพิษของตะกั่วที่มีผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของรากพืช

1.6 ผลกระทบของตะกั่วต่อมนุษย์

พิษของตะกั่วที่เกิดขึ้นต่อมนุษย์สามารถจำแนกได้ 2 รูปแบบ คือ โรคที่เกิดจากพิษตะกั่วอินทรีย์ และพิษตะกั่วอนินทรีย์ โดยพบว่าโรคที่เกิดจากพิษตะกั่วอินทรีย์เกิดขึ้นบริเวณระบบประสาทส่วนกลาง มีอาการปวดศีรษะ ความคิดสับสน นอนไม่หลับ กระวนกระวาย อ่อนเพลีย เป็นต้น สำหรับพิษของตะกั่วอนินทรีย์ส่งผลให้มีอาการท้องผูก ความรู้สึกทางเพศลดลง โลหิตจาง ประจำเดือนขาด ปวดท้องรุนแรง เป็นต้น (วิกันดา, 2541) สารประกอบอินทรีย์ของตะกั่วแพร่ไปในสิ่งแวดล้อมได้ง่ายและมีความเป็นพิษมากกว่าสารประกอบอนินทรีย์ของตะกั่ว โดยทั่วไปตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ผ่านทางรับประทานอาหารและการหายใจ ในกรณีที่ผ่านทางการหายใจจะเข้าสู่ปอดและสามารถเข้าสู่กระแสเลือดอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ตะกั่วบางส่วนจะสะสมอยู่ในกระดูก โดยปกติแล้วร่างกายของมนุษย์สามารถทนต่อตะกั่วในปริมาณที่สูง มีการวิจัยพบว่า ในร่างกายมนุษย์โดยทั่วไปจะมีตะกั่วในเลือดโดยเฉลี่ยประมาณ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่ก่อให้เกิดอาการเป็นพิษแต่อย่างใด (พิมล และ ชัยวัฒน์, 2539) เมื่อความเข้มข้นของตะกั่วในเลือดเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้เกิดความผิดปกติหลายประการในร่างกายมนุษย์ ดังแสดงในตารางที่ 1 เนื่องจากร่างกายของมนุษย์สามารถกำจัดตะกั่วออกได้โดยวิธีการขับออกทางปัสสาวะร้อยละ 76 ทางอุจจาระร้อยละ 16 และทางผิวหนัง เส้นผม รวมทั้งรูขุมขน ร้อยละ 2 ดังนั้นในกรณีที่ร่างกายได้รับตะกั่วมากจะเกิดการสะสมเนื่องจากระบบการขับสารของร่างกายไม่สามารถกำจัดตะกั่วที่ปนเปื้อนในระดับดังกล่าวได้ โดยพบว่าเมื่อร่างกายมีการสะสมปริมาณตะกั่วในเลือดสูงถึง 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้เกิดความผิดปกติได้ชัดเจน เช่น ปวดท้องอย่างรุนแรง อุจจาระมีสีดำ ซีด คอ สมอง ตับ และไตพิการ (ไมตรี, 2531) นอกจากนี้ตะกั่วยังมีผลต่อระบบเลือด คือ เกิดอาการโลหิตจางจากการทำงานที่ผิดปกติของเอนไซม์ที่ใช้ในการสร้างเม็ดเลือดแดงในไขกระดูกกึ่งไขกระดูก เม็ดเลือดแดงมีน้อยผิดปกติและแตกง่าย มีผลต่อระบบสืบพันธุ์โดยทำให้อสุจิของเพศชาย และไข่ของเพศหญิงผิดปกติซึ่งสามารถส่งผ่านตะกั่วจากมารดาสู่ทารกในครรภ์ได้ด้วย (มลิวรรณ, 2544)

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความผิดปกติในร่างกายมนุษย์กับความเข้มข้นของตะกั่วในเลือด

ความเข้มข้นของตะกั่วในเลือด (ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)	ความผิดปกติในร่างกายมนุษย์	เอกสารอ้างอิง
15	หญิงมีครรภ์มีความเสี่ยงต่อการคลอดก่อนกำหนด	IPCS (1995)
22-89	ความผิดปกติของโครโมโซมของเซลล์เม็ดเลือดขาว	Schmid <i>et al.</i> (1972)
42.5	จำนวนสเปิร์มลดลง, จำนวนสเปิร์มที่เคลื่อนที่ตามปกติลดลง และจำนวน spermatozoa ที่ผิดปกติเพิ่มขึ้น	Chowdhury <i>et al.</i> (1986)
>60	เด็กอายุ 1-1.5 ปี มีพฤติกรรมก้าวร้าว และขาดสมาธิ	IPCS (1995)
>80	การแลกเปลี่ยนเส้นโครมาติดในเซลล์เม็ดเลือดขาว	Huang <i>et al.</i> (1988)
	พบเส้นตะกั่ว (lead line) บริเวณเหงือก	สมิง (2541)

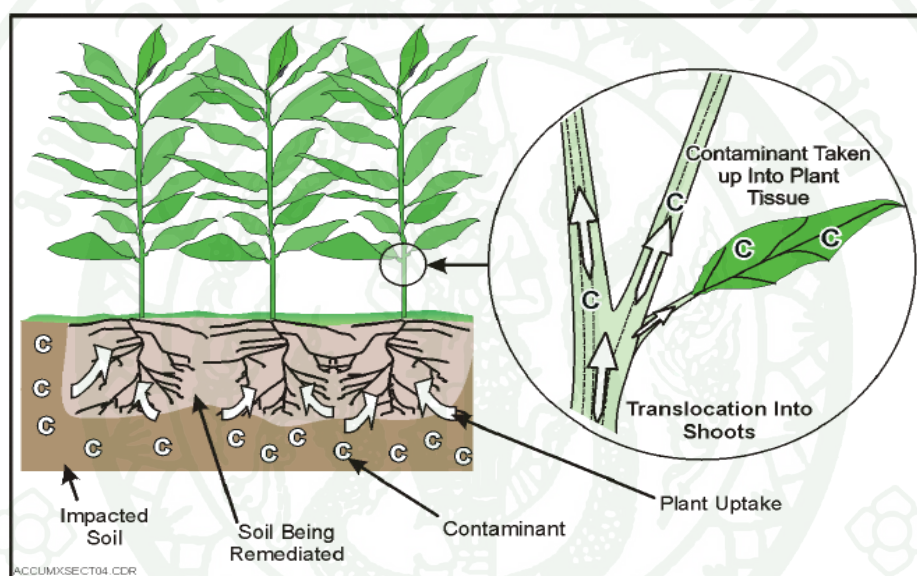
2. การบำบัดดินด้วยพืช (phytoremediation)

การบำบัดดินด้วยพืช (phytoremediation) เป็นการใช้พืชเคลื่อนย้ายสารก่อมลพิษออกจากดิน ตะกอนดิน น้ำใต้ดิน และน้ำผิวดิน (Singh *et al.*, 2003) การเลือกพืชสำหรับการบำบัดดินนั้นควรเลือกพืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว ระบบรากลึก ซึ่งจะส่งเสริมให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น (Meagher, 2000) สารมลพิษถูกบำบัดโดยพืชด้วยกระบวนการทางธรรมชาติทั้งฟิสิกส์และเคมี ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการดูดซับ ขนส่ง และเคลื่อนย้าย (Terry and Banuelos, 2000)

2.1 วิธีการบำบัดโลหะหนัก โดยใช้เทคนิค phytoremediation

วิธีการบำบัดโลหะหนัก โดยใช้เทคนิค phytoremediation สามารถจำแนกได้เป็น 4 ชนิด (Jadia and Fulekar, 2009) ได้แก่

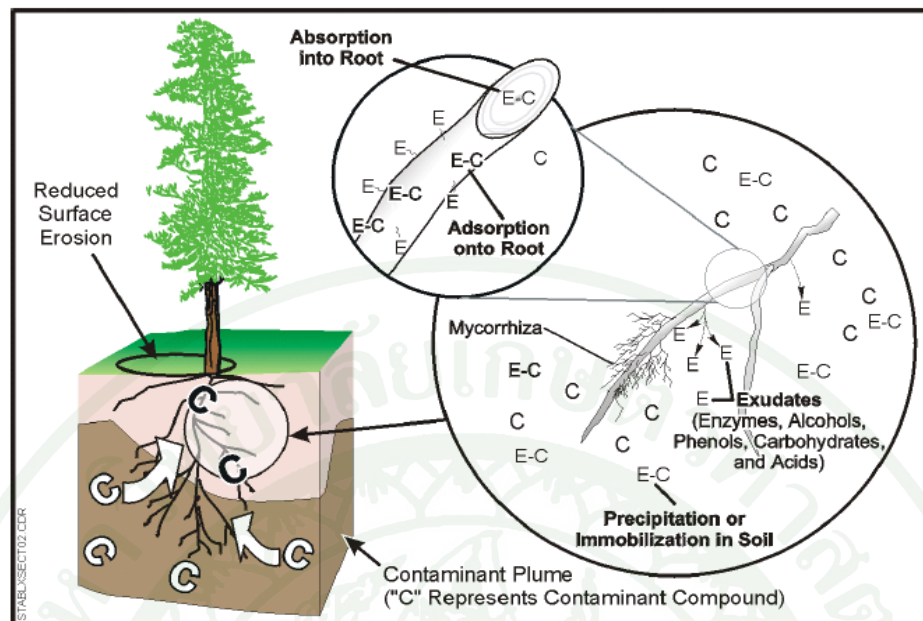
2.1.1 Phytoextraction เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในดินและตะกอนดิน โดยพืชจะดูดใช้สารมลพิษโดยผ่านราก แล้วเก็บสะสมสารมลพิษในเนื้อเยื่อพืช ดังแสดงในภาพที่ 2 กระบวนการนี้มีปัจจัยหลายประการที่จำกัดการบำบัดโลหะหนัก (metal phytoextraction) เช่น อัตราการดูดใช้โลหะหนักโดยราก ความต้านทานต่อพิษของโลหะหนัก เป็นต้น พืชที่ใช้ในการบำบัดมีความสามารถในการสะสมโลหะหนักสูงและสามารถเคลื่อนย้ายโลหะหนักไปสู่ส่วนเหนือดินของพืชได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้พืชยังมีกลไกในการลดความเป็นพิษของโลหะหนักและมีความทนต่อโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูง โลหะหนักที่สามารถบำบัดได้โดยวิธีนี้ เช่น เงิน แคดเมียม โคบอลต์ โครเมียม ทองแดง พรอท แมงกานีส โมลิบดีนัม นิกเกิล สังกะสี และตะกั่ว



ภาพที่ 2 กระบวนการ phytoextraction

ที่มา: ITRC (2001)

2.1.2 Phytostabilization เป็นการใช้พืชเพื่อยับยั้งหรือลดการเคลื่อนที่ของสารมลพิษในดินและตะกอนดิน โดยรากพืชจะจำกัดการเคลื่อนที่ของสารมลพิษในดินและตะกอนดิน (USEPA, 2000) ดังแสดงในภาพที่ 3 พืชที่ใช้ในการบำบัดมีความสามารถในการลดปริมาณการซึมผ่านของน้ำในโครงสร้างของดิน เพื่อเป็นการลดปริมาณสารมลพิษแพร่กระจายและปนเปื้อนไปสู่แหล่งน้ำใต้ดิน ป้องกันการสึกกร่อนของหน้าดินและการกระจายของสารมลพิษไปยังบริเวณอื่นๆ การบำบัดโดยวิธีนี้สามารถเกิดขึ้นได้ผ่านกระบวนการดูดซับ (sorption) การตกตะกอน (precipitation) และการเกิดสารเชิงซ้อน (complexation) โลหะหนักที่สามารถบำบัดได้โดยวิธีนี้ เช่น แคดเมียม โครเมียม ทองแดง สารหนู สังกะสี และตะกั่ว

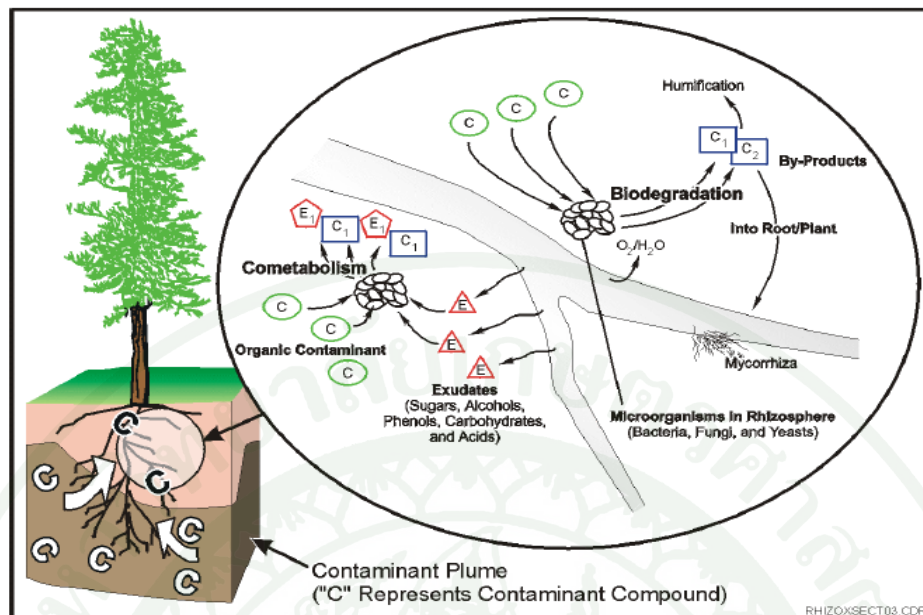


ภาพที่ 3 กระบวนการ phytostabilization

ที่มา: ITRC (2001)

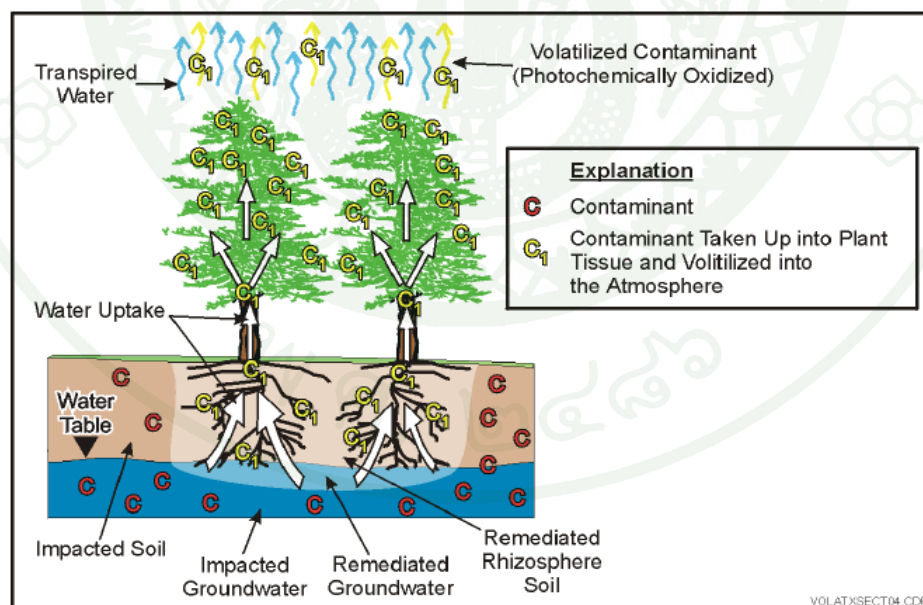
2.1.3 Rhizofiltration เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษ โดยรากพืชดักกรองสารมลพิษหรือดูดใช้สารมลพิษในน้ำ เช่น น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารมลพิษต่ำ (Ensley, 2000) ดังแสดงในภาพที่ 4 โลหะหนักที่สามารถบำบัดได้โดยวิธีนี้ เช่น แคดเมียม โครเมียม ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และตะกั่ว

2.1.4 Phytovolatilization เป็นการใช้พืชเพื่อบำบัดสารมลพิษ โดยพืชดูดใช้สารมลพิษแล้วเปลี่ยนรูป (transformation) สารมลพิษโดยกลไกภายในต้นพืชให้สารมลพิษอยู่ในรูปที่ระเหยได้และมีความเป็นพิษลดลงจากเดิม หลังจากนั้นกำจัดสารมลพิษที่อยู่ในรูปที่ระเหยได้ผ่านทางใบออกจากต้นพืช (USEPA, 2000) ดังแสดงในภาพที่ 5 โลหะหนักที่สามารถบำบัดด้วยวิธีนี้ เช่นปรอท



ภาพที่ 4 กระบวนการ rhizofiltration

ที่มา: ITRC (2001)



ภาพที่ 5 กระบวนการ phytovolatilization

ที่มา: ITRC (2001)

2.2 พืชที่มีลักษณะเหมาะสมสำหรับการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อน

ในการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนักด้วยเทคนิค phytoremediation สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือ ชนิดของพืชที่ใช้ในการบำบัด พืชแต่ละชนิดย่อมมีความสามารถในการดูดใช้และสะสมแตกต่างกัน พืชที่สามารถดูดใช้และสะสมโลหะหนักได้มากกว่าพืชทั่วไปเรียกว่า hyperaccumulator ซึ่งจากการศึกษาของ Cunningham *et al.* (1997) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ พบว่าพืชที่มีคุณสมบัติที่เป็น hyperaccumulator จะต้องมีลักษณะทั่วไปที่ต้องเข้าเกณฑ์ 2 ใน 3 หรือ 3 ใน 4 ข้อ โดยพิจารณาดังนี้

2.2.1 พืชนั้นสามารถดูดใช้และสะสมโลหะหนักได้ในปริมาณสูงโดยพบการสะสมแคดเมียมในส่วนเหนือดินของพืชสูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในน้ำหนักแห้ง พบการสะสมตะกั่ว ทองแดง โคบอลต์ โครเมียม และนิกเกิลในส่วนเหนือดินของพืชสูงกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในน้ำหนักแห้ง และพบการสะสมสังกะสีในส่วนเหนือดินของพืชสูงกว่า 10,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในน้ำหนักแห้ง (Baker and Brooks, 1989; Baker *et al.*, 1994 and Wei *et al.*, 2002)

2.2.2 พืชนั้นมีความสามารถในการเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากส่วนใต้ดินสู่ส่วนเหนือดินที่มากกว่า 1 (translocation factor; TF >1) (Mattina *et al.*, 2003)

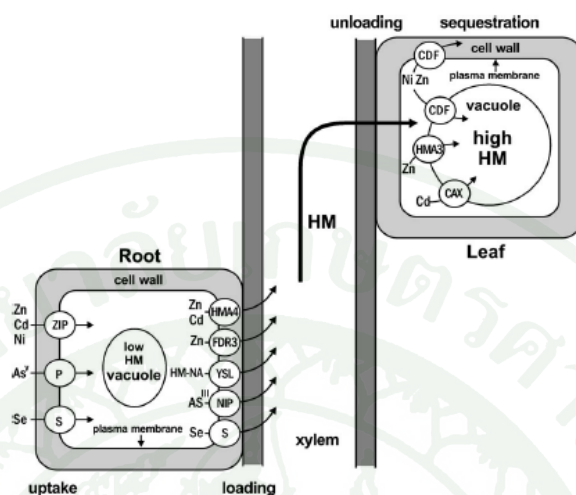
2.2.3 พืชนั้นมีปริมาณโลหะหนักในส่วนเหนือดินเมื่อเทียบกับปริมาณโลหะหนักในดินที่สกัดได้ในดินมีค่ามากกว่า 1 (bioaccumulation factor; BAF หรือ phytoextraction rate >1) (Nanda-Kumar *et al.*, 1995)

2.2.4 พืชนั้นมีปริมาณโลหะหนักในส่วนเหนือดินสูงกว่าพืชชนิดเดียวกันที่เจริญเติบโตในพื้นที่ไม่ปนเปื้อนโลหะหนัก 10-500 เท่า (Shen and Liu, 1998)

2.3 การดูดใช้โลหะหนักของพืช

โลหะหนักจะเคลื่อนย้ายจากดินในรูปแคตไอออนเข้าสู่พืช ดังแสดงในภาพที่ 6 เมื่อโลหะหนักภายนอกพืชมีความเข้มข้นสูงกว่าภายในราก การเคลื่อนที่เข้าของสารภายนอกสู่รากจะมากขึ้น กระบวนการดูดใช้โลหะหนักของพืชจะมีลักษณะคล้ายกับการดูดใช้ธาตุอาหารที่จำเป็นของพืชทั่วไป คือเมื่อน้ำเคลื่อนที่ผ่านไปตามผนังเซลล์จากเซลล์หนึ่งสู่อีกเซลล์หนึ่งโดยผ่านช่องที่เชื่อมระหว่างเซลล์ที่เรียกว่า apoplast จนถึงชั้น endodermis แล้วจะเคลื่อนที่ผ่านต่อไปยังท่อลำเลียงน้ำ (นิตย, 2541) ดังนั้นโลหะหนักที่ละลายอยู่ในสารละลายดินจึงสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่

ต้นพืชได้ เมื่อพืชมีการดูดใช้โลหะหนักโดยบริเวณราก โลหะหนักนั้นจะสามารถเคลื่อนที่ขึ้นสู่ส่วนเหนือดินของพืชได้ (Koeppel, 1977)



ภาพที่ 6 การเคลื่อนย้ายโลหะหนักจากดินเข้าสู่พืชผ่านทางรากและเคลื่อนย้ายไปยังส่วนเหนือดินของพืช

ที่มา: Rascio and Navari-Izzo (2011)

2.4 การบำบัดดินปนเปื้อนโลหะหนักด้วยพืช

Wenzel and Jockwer (1999) สํารวจพืชซึ่งเจริญเติบโตในพื้นที่ปนเปื้อนโลหะหนัก 18 จุด บริเวณเทือกเขาแอลป์ ประเทศออสเตรีย พบ *Minuartia verna* (Caryophyllaceae) และ *Biscutella laevigata* (Brassicaceae) เป็นพืชที่มีความสามารถในการสะสมตะกั่วมากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในส่วนเหนือดิน (ยอด ใบ และลำต้น) และพืชดังกล่าวมีความสามารถในการสะสมตะกั่วในส่วนเหนือดินมากกว่าในส่วนใต้ดิน (ราก)

ธนวรรณ (2546) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินโดยใช้ธูปฤาษีชนิดใบแคบ ทดสอบกับสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ 4,000, 8,000, 12,000, 16,000 และ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าต้นธูปฤาษีที่พบอยู่ทั่วไปในประเทศไทย มีสมบัติเป็น hyperaccumulator ของตะกั่ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งรากของธูปฤาษีมีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้มากถึง 4,943 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์การสะสมพืช (phytoextraction coefficient) สูงถึง 109

Yoon et al. (2006) ศึกษาการสะสมของตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในพืชพื้นเมืองซึ่งเจริญเติบโตในพื้นที่ปนเปื้อนรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา พบการปนเปื้อนของตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีอยู่ในระดับ 90-4,100, 20-990 และ 195-2,200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และจากการสำรวจพื้นที่การปนเปื้อนพบพืชทั้งหมด 36 ชนิดจากพืช 17 สายพันธุ์ และ *Phyla nodiflora* มีศักยภาพในการยับยั้งการเคลื่อนย้ายทองแดง และสังกะสี *Gentiana pennelliana* และ *Cyperus esculentus* มีศักยภาพในการยับยั้งการเคลื่อนย้ายตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี

พฤตนิภา (2550) ทำการศึกษาการบำบัดดินที่ปนเปื้อนสารตะกั่วโดยใช้หญ้าชนิดต่างๆ ซึ่งมีรายงานว่ามีความสามารถในการนำมาใช้เป็นพืชบำบัด คือ *Thysanolaena maxima* และ *Vetiveria zizanioides* พืชทั้ง 2 ชนิดมีความทนทานและสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีปริมาณตะกั่วความเข้มข้นสูง และพบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและความสามารถในการดูดใช้และสะสมตะกั่วของ *Thysanolaena maxima* แต่ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและความสามารถในการดูดใช้และสะสมตะกั่วใน *Vetiveria zizanioides*

Tamura et al. (2005) ศึกษาการดูดใช้และสะสมตะกั่วในปริมาณสูงและการต้านทานตะกั่วของ Common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) พบการสะสมตะกั่วในใบ 8,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ลำต้น 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง และราก 3,300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง ซึ่งบ่งชี้ได้ว่า Common buckwheat เป็น hyperaccumulator ชนิดใหม่ของตะกั่ว นอกจากนี้พบว่า Common buckwheat สามารถลดความเป็นพิษของ methylglycinediacetic acid trisodium ที่ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลต่อกิโลกรัม

Liu et al. (2008) ศึกษาการสะสมของตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในพืชพื้นเมืองซึ่งสามารถเจริญเติบโตในพื้นที่เหมืองแร่ตะกั่ว อำเภอเหอชิง (Heqing) มณฑลยูนนาน (Yunnan) ประเทศจีน เก็บตัวอย่างพืชจาก 3 พื้นที่ คือ พื้นที่เหมืองแร่ตะกั่ว พื้นที่การเกษตร และพื้นที่ริมแม่น้ำ พบพืช 19 ชนิดที่มีความสามารถในการสะสมตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี โดยพบความเข้มข้นของตะกั่ว ทองแดง และสังกะสีในส่วนเหนือดิน 6.3-2,029, 20-570 และ 36-690 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จากการสำรวจมีพืช 3 ชนิดที่มีศักยภาพในการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่ว คือ *Ricinus communis*, *Tephrosia candida* และ *Debregeasia orientalis*

3. สาบเสือ

Kingdom - Plantae (Plant)

Subkingdom - Tracheobionta

Superdivision - Spermatophyta

Division - Magnoliophyta

Class - Magnoliopsida

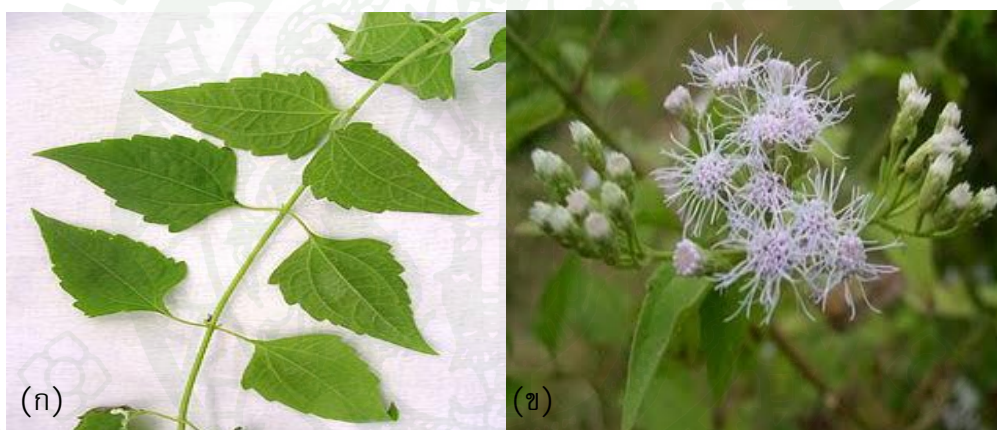
Subclass - Asteridae

Order - Asterales

Family - Asteraceae

Genus - *Chromolaena* DC.

Species - *Chromolaena odorata* (L.) King & H.E. Robins.



ภาพที่ 7 ลักษณะใบ (ก) และดอก (ข) ของสาบเสือ

3.1 ถิ่นกำเนิดและการแพร่กระจาย

สาบเสือเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาและถูกนำเข้ามาในอินเดียในปี 1840 จากนั้นแพร่กระจายสู่เบงกอล พม่า และไทย และพบว่าการแพร่กระจายทุกประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จีน หมู่เกาะแปซิฟิก และหมู่เกาะกวม ในปี 1940 พบว่าการแพร่กระจายไปยังไนจีเรีย คาเมอรูน บริเวณตอนเหนือของนิวเซาท์เวลส์และบริเวณชายฝั่งครีนแลนด์ในประเทศออสเตรเลีย สาบเสือมีการแพร่กระจายอยู่ในเขตร้อน ทั้งอเมริกาใต้ แอฟริกา เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Zachariades *et al.*, 2004)

3.2 ลักษณะทั่วไป

สาบเสือมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Chromolaena odorata* (L.) King & H.E. Robins มีชื่อสามัญว่า Bitter bush หรือ Siam weed จัดเป็นไม้ล้มลุก แตกกิ่งก้านสาขามีลักษณะเป็นทรงพุ่ม มีลำต้นสูง 1-2 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ใบเดี่ยวออกจากลำต้นที่ข้อแบบตรงกันข้าม ขอบใบหยัก ปลายใบแหลม ฐานใบกว้าง เส้นใบเห็นชัดเจน 3 เส้น เมื่อขยี้ใบจะมีกลิ่นของน้ำมัน ดอกเป็นช่อสีขาว ชมพูหรือฟ้าอมม่วง ประกอบด้วยดอกย่อย 15-25 ดอก ดังแสดงในภาพที่ 7 เมล็ดมีขนาดเล็กสีน้ำตาลหรือดำ (Liogier, 1997) สาบเสือจัดเป็นพืชวันสั้น ออกดอกในช่วงเดือนธันวาคมถึงมกราคม ดอกแพร่กระจายในฤดูร้อนและออกเป็นต้นกล้าในฤดูฝน สาบเสือสามารถเจริญเติบโตได้ในหลายพื้นที่ เช่น ในป่าที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,500 มิลลิเมตรต่อปี ทุ่งหญ้าและพื้นที่แห้งแล้งที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยน้อยกว่า 500 มิลลิเมตรต่อปี เมล็ดของสาบเสืองอกได้ดีเมื่อมีความชื้นในอากาศ 60-70% แต่อัตราการงอกจะลดลงเมื่อความชื้นในอากาศสูงกว่า 80% (Wilson, 2006)

3.3 การใช้ประโยชน์สาบเสือ

Rotkittikhun *et al.* (2006) สํารวจพืชซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่เหมืองแร่ตะกั่ว บ้านบ่องาม อำเภอนาทอง ภาณุ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งพบการปนเปื้อนของตะกั่วในระดับสูง 325-142,400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าสาบเสือเป็นพืชที่สามารถดูดซับและสะสมตะกั่วในส่วนเหนือดินสูงและส่วนใต้ดิน 3,520 และ 9,870 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ มีค่า translocation factor และ bioaccumulation factor คือ 0.37 และ 0.03 ตามลำดับ มีปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินสูงกว่าสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่ไม่ปนเปื้อนตะกั่ว 12.8 เท่า

Tanhan *et al.* (2007) ศึกษาการดูดซับและสะสมแคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสีด้วยสาบเสือ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การสำรวจสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่เหมืองแร่ตะกั่ว บ้านบ่องาม อำเภอนาทอง ภาณุ จังหวัดกาญจนบุรี พบว่าสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่เหมืองแร่มีการสะสมตะกั่วสูงถึง 1,377 และ 4,236 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน ตามลำดับ มีค่า translocation factor และ bioaccumulation factor ที่ 1.69 และ 0.52 ตามลำดับ และมีปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินสูงกว่าสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่ไม่ปนเปื้อนตะกั่ว 28.89 เท่า การศึกษาความสามารถในการดูดซับและสะสมโลหะหนักในระบบการผลิตพืชไร่ พบว่าการดูดซับแคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสีเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของโลหะเพิ่มขึ้น และที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรพบการสะสมตะกั่วสูงสุดคือ 1,772.3 และ 60,655.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสาบเสือเป็นพืชที่มีความสามารถในการสะสมตะกั่วได้ปริมาณมาก มีคุณสมบัติเป็น hyperaccumulator ในการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่ว

Atagana (2011) ศึกษาการบำบัดดินปนเปื้อนน้ำมันดิบและโลหะหนักด้วย สาบเสือ (*Chromolaena odorata* (L) King & H.E. Robinson) โดยทำการปลูกสาบเสือในดิน ปนเปื้อนน้ำมันดิบ 50,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปนเปื้อนแคดเมียม นิเกิล และสังกะสี 100-2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้อยู่ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทุกสัปดาห์เป็นเวลา 180 วัน พบว่าสาบเสือสามารถสะสมแคดเมียมและสังกะสีสูงสุด 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสะสมนิเกิล 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้สาบเสือสามารถลดการปนเปื้อนของ น้ำมันดิบร้อยละ 82

วิทย์ (2531) พบว่าในใบสาบเสือประกอบไปด้วย tannin, anisic acid, flavonoid glycosides, trihydric alcohol และน้ำตาล กรมวิชาการเกษตร (2550) ศึกษาการสกัดและแยก สารออกฤทธิ์จากสาบเสือ พบว่าในใบและดอกสาบเสือประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ฟีนอล ลิโมนีน อยู่ในน้ำมัน และเนบิโควโนนในสารสกัดแอลกอฮอล์ ซึ่งมีพิษเฉียบพลันต่อลูกปลานิลขนาด 2-3 เซนติเมตร สารฟีนอลในใบและดอกของสาบเสือมีค่า LC_{50} 1.25-8.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สารลิโมนีนในใบและดอกของสาบเสือมีค่า LC_{50} 2.11-4.4 มิลลิกรัมต่อลิตร สารเนบิโควโนนในใบและดอกของสาบเสือมีค่า LC_{50} 0.06-80 ไมโครกรัมต่อลิตร ในลูกปลานิลขนาดใหญ่ 7-8 เซนติเมตร ฟีนอลและสารลิโมนีนในใบและดอกของสาบเสือมีค่าความเป็นพิษเฉียบพลัน 5.0-24.8 และ 7.2-17.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

Thoden et al. (2007) ศึกษาบทบาทของสาบเสือในการลดการเข้าทำลายโดย ไร้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne incognita*) ในรากผักกาดหอม ทำการทดสอบเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพระหว่างรากสาบเสือที่บดละเอียดและสารสกัดหยาบจากรากสาบเสือที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0.1, 0.5, 1.0 และ 5.0 พบว่าทั้งรากสาบเสือที่บดละเอียดและสารสกัดหยาบจากราก สาบเสือสามารถลดการเข้าทำลายโดยไร้เดือนฝอยรากปมได้ และพบว่ารากสาบเสือที่บดละเอียด มีความสามารถในการลดการเข้าทำลายได้ดีกว่าสารสกัดหยาบจากรากสาบเสือ ซึ่งรากสาบเสือ บดละเอียดที่ความเข้มข้นร้อยละ 5.0 มีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากไม่พบการเข้าทำลายของ ไร้เดือนฝอยรากปมในรากผักกาดหอม

4. ไส้เดือนฝอยรากปม

Phylum - Nemata

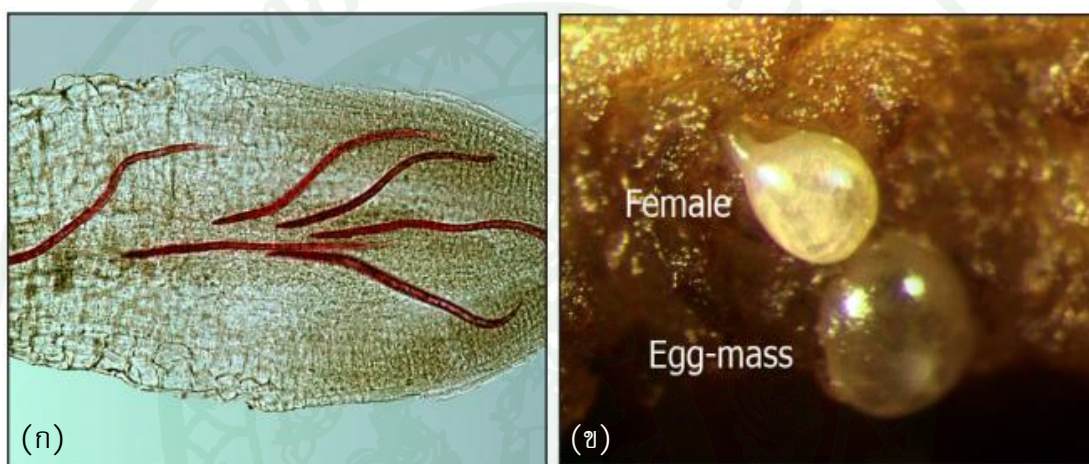
Class - Secernentea

Order - Tylenchida

Family - Heteroderidae

Sub-Family - Heteroderinae

Genus - Meloidogyne



ภาพที่ 8 ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 ที่เข้าทำลายรากพืช (ก) ตัวเต็มวัยเพศเมียและกลุ่มไข่ของไส้เดือนฝอยรากปม (ข)

ที่มา: Tiwari *et al.* (2009)

4.1 ลักษณะทั่วไป

ไส้เดือนฝอยรากปมมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Meloidogyne* spp. ซึ่งเป็นสาเหตุโรครากปมของพืชถึง 2,500 ชนิด ทั้งพืชไร่ ไม้ผล และไม้ดอกไม้ประดับ (Sasser, 1979) วงจรชีวิตของไส้เดือนฝอยรากปมมีดังต่อไปนี้

ระยะไข่ ไข่ไส้เดือนฝอยรากปมมีลักษณะกลมรี ผิวเรียบใส ขนาด 33-42 ไมโครเมตร × 78-97 ไมโครเมตร

ตัวอ่อนระยะที่ 1 ตัวอ่อนระยะนี้จะเกิดในไข่ที่มีการลอกคราบภายในไข่ 1 ครั้ง กลายเป็นตัวอ่อนระยะที่ 2

ตัวอ่อนระยะที่ 2 ตัวอ่อนระยะนี้จะออกจากไข่แล้วอยู่ในดิน ระยะนี้เป็นระยะเดียวที่จะเข้าทำลายพืชได้ ตัวอ่อนเมื่อเข้าไปอยู่ในรากพืชจะเพิ่มขนาดและมีรูปร่างยาวขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 8 (ก) ไข่เดือนฝอยจะดูดกินน้ำเลี้ยงและสร้างน้ำลายไปกระตุ้นเซลล์พืชบริเวณนั้นให้ขยายโตขึ้น ทำให้ส่วนของพืชค่อยๆ โตจนมีลักษณะเป็นปุ่มปม สุดท้ายจะมีการลอกคราบครั้งที่ 2 กลายเป็นตัวอ่อนระยะที่ 3

ตัวอ่อนระยะที่ 3 ไข่เดือนฝอยระยะนี้จะมีขนาดโตขึ้น และเซลล์พืชจะโตกว่าเดิม และจะมีการลอกคราบครั้งที่ 3 กลายเป็นตัวอ่อนระยะที่ 4

ตัวอ่อนระยะที่ 4 ตัวอ่อนระยะนี้เริ่มมีความแตกต่างระหว่างเพศผู้และเพศเมีย ไข่เดือนฝอยเพศผู้จะมีลักษณะขดงอคล้ายพยาธิ ในขณะที่เพศเมียมีลักษณะอ้วนป้อมกว่าเพศผู้

ตัวเต็มวัย ไข่เดือนฝอยเพศผู้จะลอกคราบครั้งที่ 4 กลายเป็นตัวเต็มวัยมีลักษณะเป็นเส้นยาวและออกจากรากพืชมีชีวิตอยู่อย่างอิสระ ส่วนไข่เดือนฝอยเพศเมียจะลอกคราบครั้งที่ 4 กลายเป็นตัวเต็มวัยที่มีลักษณะอ้วนกลม ดังแสดงในภาพที่ 8 (ข) ตัวจะค่อยๆ พองเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีไข่เต็มท้อง ไข่จะถูกวางออกมานอกลำตัวโดยมีเมือกห่อหุ้ม ไข่อาจจะผ่านการผสมจากเพศผู้หรือไม่ก็ได้ ตัวเต็มวัยเพศผู้มีขนาด 1.2-1.5 มิลลิเมตร × 30-60 ไมโครเมตร เพศเมียมีขนาด 0.40-1.30 × 0.27-0.75 มิลลิเมตร

วงจรชีวิตของไข่เดือนฝอยรากปมอาจจะสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมปกติ ถ้าสภาพแวดล้อมเหมาะสม (อุณหภูมิในดินประมาณ 27 องศาเซลเซียส) วงจรชีวิตของไข่เดือนฝอยจะใช้เวลา 17-25 วัน แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเพียง 15 องศาเซลเซียส อาจจะต้องใช้เวลาถึง 57 วัน จึงจะครบวงจรชีวิต (Sasser et al., 1980)

4.2 ไข่เดือนฝอยรากปมต่อการเจริญเติบโตของพืช

การเกิดปมเนื่องจากไข่เดือนฝอยรากปมในพืช พบเซลล์ขนาดใหญ่ผิดปกติ (giant cell) ที่มีนิวเคลียสภายในท่อน้ำท่ออาหาร ปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ 2 ทฤษฎี คือ

4.2.1 เซลล์ขนาดใหญ่เกิดเนื่องจากการแบ่งตัวแบบ mitosis ภายในเซลล์ที่มีนิวเคลียสเป็นแบบ diploid เซลล์หนึ่งหลาย ๆ ครั้ง โดยไม่มีการแบ่งผนังเซลล์ ซึ่งทำให้เกิดเซลล์หนึ่งเซลล์ที่มีนิวเคลียสเป็นจำนวนมาก

4.2.2 เซลล์ขนาดใหญ่เกิดจากการรวมตัวของ protoplasm ของเซลล์ข้างเคียง หลายๆเซลล์จนกลายเป็นหนึ่งเซลล์ ที่มีขนาดใหญ่และมีนิวเคลียสจำนวนมาก

ไส้เดือนฝอยนอกจากกระตุ้นให้เกิดเซลล์ขนาดใหญ่แล้ว ยังปล่อยส่วนของน้ำย่อยออกมาทำให้เซลล์ข้างเคียงเกิดการแบ่งตัวมากขึ้นจนทำให้มีการเพิ่มจำนวนและขนาดของเซลล์มากขึ้น มีผลทำให้เนื้อเยื่อบริเวณที่ไส้เดือนฝอยเข้าทำลายมีลักษณะบวมเป็นปม

4.3 การใช้สารสกัดจากพืชเพื่อควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม

วีระยศ (2540) ศึกษาการใช้สารสกัดหยาบจากพืช ได้แก่ สะเดา สาบเสือ และตะไคร้หอม เพื่อการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne incognita*) ในต้นมะเขือเทศ ทำการราดสารสกัดหยาบจากสะเดา สาบเสือ และตะไคร้หอมลงดินกระถางละ 100 มิลลิลิตร หลังจากใส่สารสกัดหยาบเป็นระยะเวลา 1 วัน ใส่สารละลายที่มีไส้เดือนฝอยในดินปลูกมะเขือเทศปริมาตร 1 มิลลิลิตร โดยใช้อัตราส่วนไส้เดือนฝอยต่อสารสกัดหยาบจากสะเดา สาบเสือ และตะไคร้หอม 1:1 และ 1:10 พบว่าสารสกัดหยาบจากพืชทั้ง 3 ชนิดอัตราส่วนไส้เดือนฝอยต่อสารสกัด 1:1 สามารถควบคุมการเกิดปมในรากมะเขือเทศได้ดีเมื่อเทียบกับอัตราส่วนไส้เดือนฝอยต่อสารสกัด 1:10 และดาร์ับควบคุม

Jothi et al. (2004) ทำการทดสอบผลของน้ำมันสกัดจากสะเดา ละหุ่ง และ *Madhuca indica* ในการควบคุมไส้เดือนฝอย *Pratylenchus delatrei* โดยใช้ความเข้มข้นของน้ำมันสกัดจากพืชทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้น 2, 5 และ 10 กรัม พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำมันสกัดของพืชทั้ง 3 ชนิดเพิ่มสูงขึ้นทำให้อัตราการตายของไส้เดือนฝอยเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน และยังพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง น้ำมันสกัดจากสะเดาที่ความเข้มข้น 10 กรัมในน้ำ 100 มิลลิลิตร ทำให้อัตราการตายของไส้เดือนฝอยสูงถึงร้อยละ 93

Adegbite and Adesiyun (2005) ศึกษาสารสกัดหยาบจากรากพืชต่อการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมในแปลงปลูกถั่วเหลือง โดยนำรากสาบเสือ สะเดา ละหุ่ง และตะไคร้ 25 กรัม บดกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรได้สารสกัดหยาบที่ไม่เจือจาง และเจือจางสารสกัดลง 5, 10 และ 20 เท่า ตามลำดับ เพื่อใช้ในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมในแปลงปลูกถั่วเหลือง พบว่าสารสกัดหยาบที่ไม่เจือจางจากรากสาบเสือและสะเดามีประสิทธิภาพในการยับยั้งการพักของไข่และทำให้ตัวอ่อนของไส้เดือนฝอยรากปมตายร้อยละ 100

Kong et al. (2006) ทำการทดสอบศักยภาพของน้ำมันสกัดจากพืชสำหรับใช้เป็นผลิตภัณฑ์ในการกำจัดไส้เดือนฝอย โดยทดลองใช้น้ำมันสกัดจากพืชทั้งหมด 88 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการควบคุมไส้เดือนฝอย *Bursaphelenchus xylophilus* พบว่าหลังจากเวลาผ่าน

ไป 1 ชั่วโมง น้ำมันสกัดจากซินนามอนที่ความเข้มข้น 0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดไส้เดือนฝอยดีที่สุด รองมาคือน้ำมันสกัดจากผักชีที่ความเข้มข้น 0.14 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

Olabiya *et al.* (2008) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและศักยภาพของสารสกัดหยาบจากพืชบางชนิดในการกำจัดไส้เดือนฝอย *Meloidogyne incognita* โดยใช้สารสกัดหยาบจากใบพืช 5 ชนิด ได้แก่ *Sida acuta*, *Euphorbia hirta*, *Andropogon gayanus*, *Cassia obtusifolia* และ *Phyllanthus amarus* ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 (น้ำหนักโดยปริมาตร) ในวันที่ 7 ของการทดลองพบว่าสารสกัดหยาบจากใบ *Euphorbia hirta*, *Cassia obtusifolia* และ *Phyllanthus amarus* ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 และ 20 และสารสกัดหยาบจากใบ *Sida acuta* และ *Andropogon gayanus* ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 ส่งผลให้ไส้เดือนฝอยตายร้อยละ 100 และพบว่าใบของ *Sida acuta* มีองค์ประกอบทางเคมีของ tannins, saponins, flavonoids และ sterols ใบของ *Euphorbia hirta* มีองค์ประกอบทางเคมีของ tannins, saponins, flavonoids และ alkaloids ใบของ *Andropogon gayanus* มีองค์ประกอบทางเคมีของ saponins, flavonoids และ alkaloids ใบของ *Cassia obtusifolia* มีองค์ประกอบทางเคมีของ tannins, flavonoids และ alkaloids และใบของ *Phyllanthus amarus* มีองค์ประกอบทางเคมีของ tannins, saponins, flavonoids และ alkaloids ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าองค์ประกอบทางเคมีในใบของพืชมีผลต่ออัตราการตายของไส้เดือนฝอย

Onifade *et al.* (2008) ทดสอบศักยภาพน้ำมันสกัดจาก *Haplophyllum tuberculatum* และ *Plectranthus cylindraceus* ในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne javanica*) โดยทำการทดลองในต้นมะเขือเทศ พบการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปม ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าตำรับการทดลองที่ใส่น้ำมันสกัดจากพืชทั้ง 2 ชนิด สามารถควบคุมและลดการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยเมื่อเทียบกับตำรับการทดลองที่ไม่มีการใส่น้ำมันสกัดจากพืช

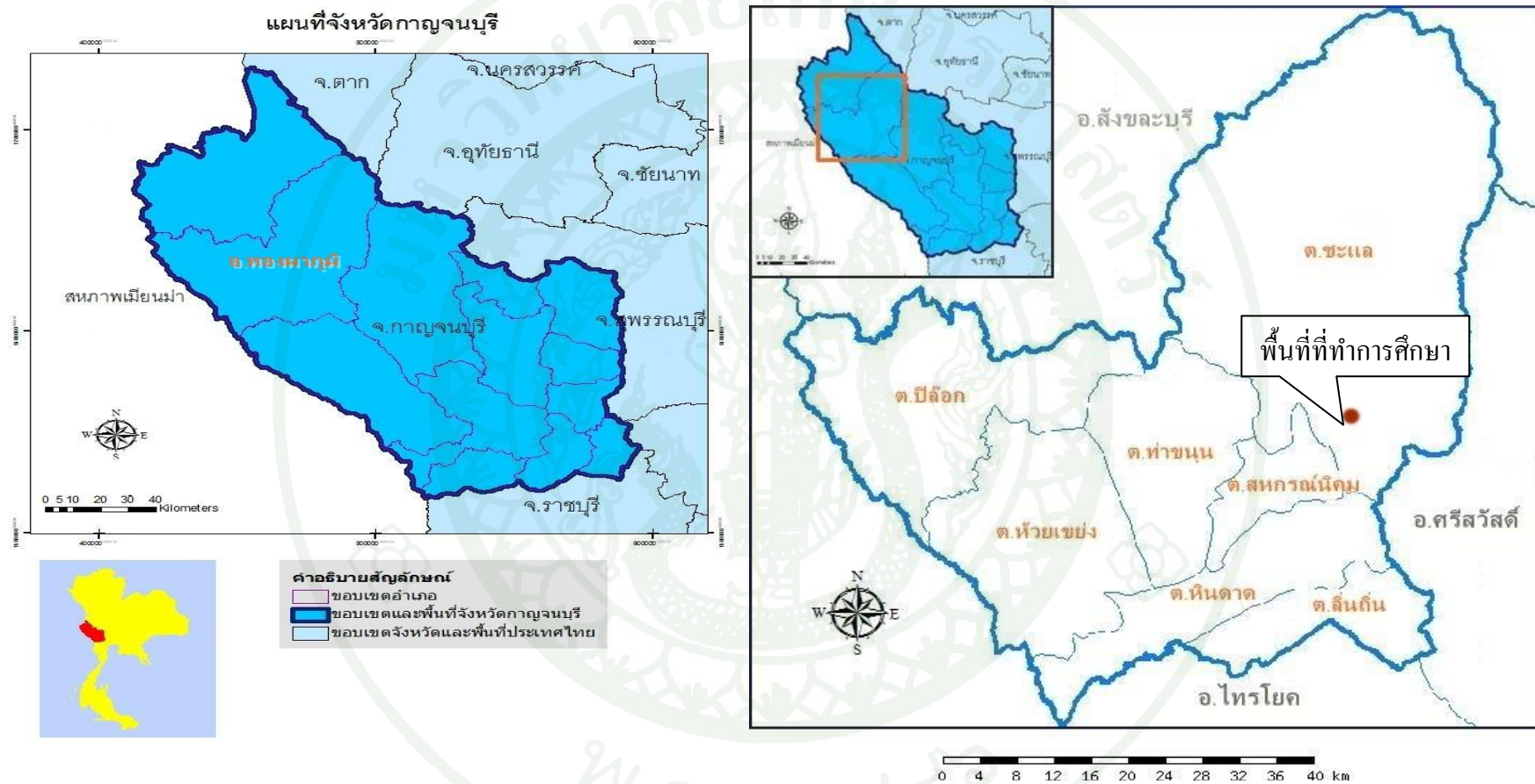
5. พื้นที่ที่ทำการศึกษา

5.1 ลักษณะพื้นที่บริเวณเหมืองแร่

พื้นที่เหมืองแร่เก่าซึ่งเดิมเป็นของบริษัทกาญจนบุรีเอ็กโพลเรชั่น แอนด์ ไมนิ่ง (เค็มโก) จำกัด บริเวณที่ตั้งประทานบัตรและคำขอประทานบัตรเหมืองแร่เค็มโก อยู่ที่ 670 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง บนพื้นที่ราบเชิงเขาระหว่างเขาตือกะโล ซึ่งเป็นเทือกเขาในกลุ่มแควน้อย (เขื่อนเขาแหลม) อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี กับเขาไม่มีชื่อ อยู่ที่ 832 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง และ 395 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ตามลำดับทางด้านตะวันออกซึ่งเป็นเทือกเขาในกลุ่มแควใหญ่ (เขื่อนศรีนครินทร์) อำเภอศรีสวัสดิ์ ดังแสดงในแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ดังแสดงในภาพที่ 9 และ 10 อยู่ในรวางที่ 4738 เขตป่าโครงการไม้กระยาเลยที่ผ่านการทำไม้ออกตามสัมปทานในเขตป่าสงวนแห่งชาติ เขาพระฤาษี-เขาป่อแร่ ตามกฎกระทรวงที่ 802 (พ.ศ. 2521) และอยู่ในเขตการปกครองบ้านหมู่ที่ 5 บ้านสองท่อ ตำบลชะแล อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี มีลำน้ำธรรมชาติห้วยชะนี เป็นทางน้ำขนาดเล็กกว้าง 3-5 เมตร โดยไหลไปในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปบรรจบกับห้วยลำคลองงู ซึ่งเป็นห้วยขนาดใหญ่กว้าง 10-15 เมตร รับน้ำจากห้วยไม้ไผ่และห้วยไม้ผาก ตรงส่วนบรรจบห้วยชะนีกับห้วยลำคลองงูนี้ น้ำจะไหลลงทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปบรรจบกับห้วยองผะ และห้วยคลิตี้ แล้วลงสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ รวมระยะทางจากจุดบรรจบห้วยชะนีถึงอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ประมาณ 30 กิโลเมตร

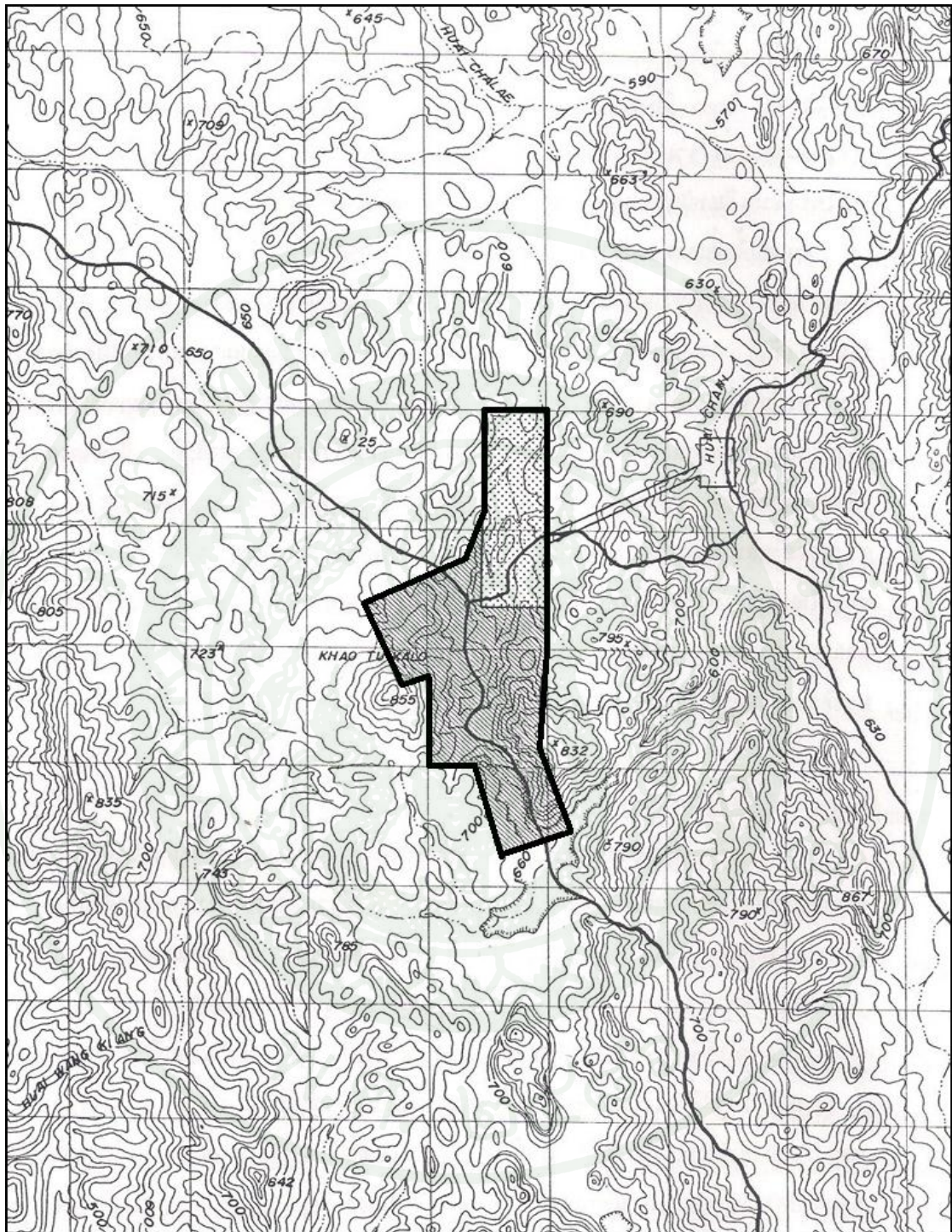
5.2 ลักษณะธรณีวิทยา

สายแร่สองท่อเหนือ เป็นสายแร่ตะกั่ว-สังกะสีแทรก อยู่ในหินปูนยุคออร์โดวิเซียน (ordovician) เป็นแร่ประเภทซัลไฟด์ คือ กาลีนา (PbS) กับสฟาเลอไรต์ (ZnS) แต่บางส่วนของโผล่ให้เห็นบนผิวดินเป็นแร่ตะกั่วคาร์บอเนต (PbCO_3) สายแร่วางตัวในแนวเกือบทิศเหนือ-ใต้ โดยเปียงเบนไปทางทิศตะวันออกเล็กน้อย ความยาวของสายแร่ที่สำรวจโดยพบประมาณ 650 เมตร ในทางตั้งสายแร่วางตัวเอียงไปทางทิศตะวันออกค่อนข้างชันมากประมาณ 60 องศา ความลึกตรงแนวเอียงของแร่ 150-200 เมตร และมีสายแร่หนา 4-5 เมตร ปริมาณสำรองของแร่ 1,280,000 ตัน ปริมาณโลหะในสายแร่ 12% โดยมีอัตราส่วนของตะกั่วกับสังกะสี 2-2.5:1 มีแร่ที่ปะปน ได้แก่ เงิน (Ag) พรอท (Hg) ไพไรต์ (FeS_2) แบไรต์ (BaSO_4) และควอร์ต (SiO_2) เป็นต้น



ภาพที่ 9 ที่ตั้งและบริเวณพื้นที่ที่ทำการศึกษา เมืองแร่เค็มโก อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

ที่มา: ดัดแปลงจาก สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2554)



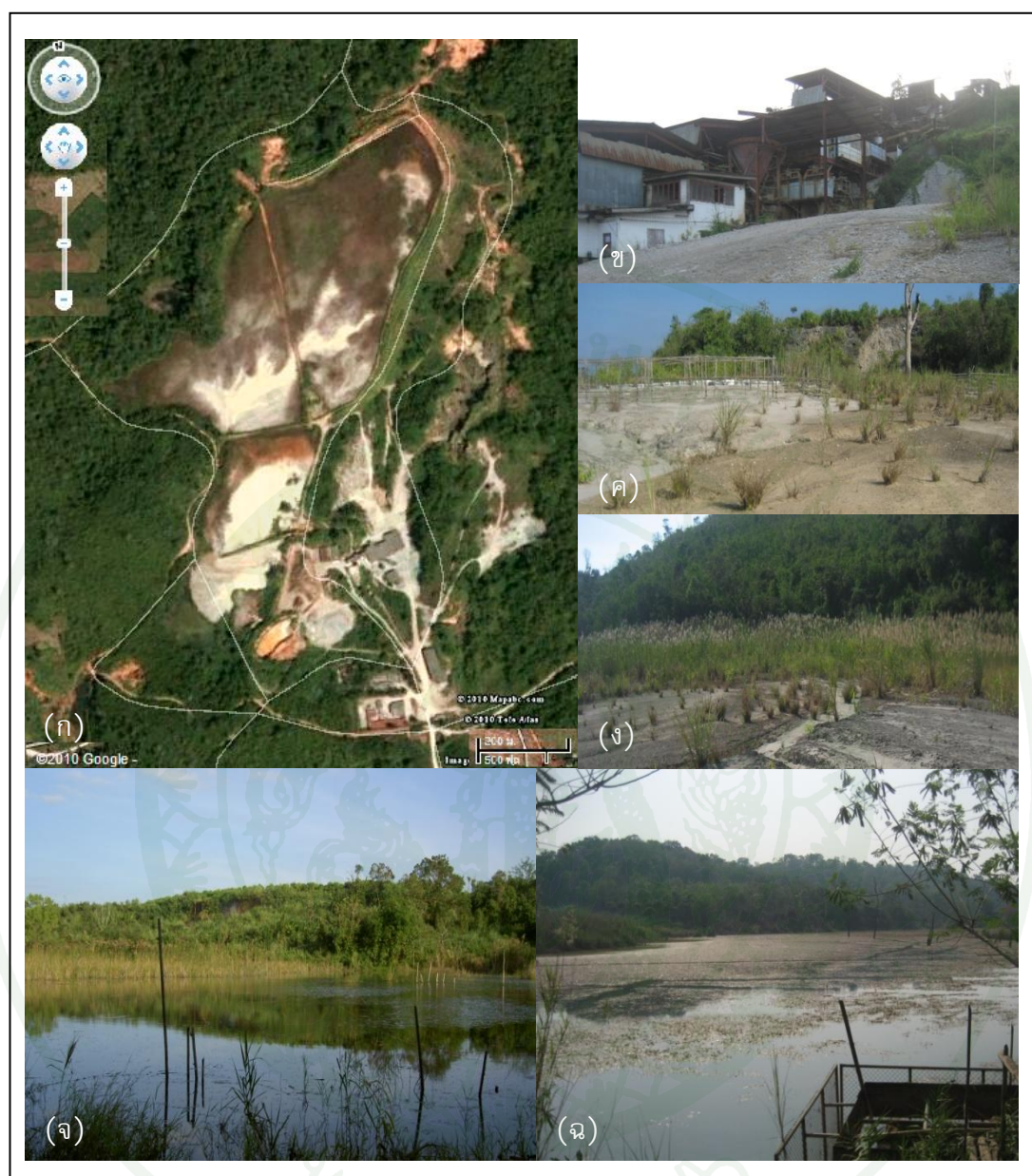
ภาพที่ 10 แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 พื้นที่เหมืองแร่เค็มโก อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

ที่มา: บริษัท เทสโก้ จำกัด (2529)

สายแร่สองท่อใต้ เป็นสายแร่ตะกั่ว-สังกะสีแทรก อยู่ในหินปูนยุคออร์โดวิเซียน (ordovician) เช่นเดียวกับสายแร่สองท่อเหนือ แต่มีความสลับซับซ้อนมากกว่า ความยาวของสายแร่ที่สำรวจพบโดยประมาณ 400 เมตร ในแนวตั้งสายแร่วางตัวเอียงไปทางทิศตะวันออก แต่มีความลาดชันน้อย คือ 25 องศา ความลึกตามแนวเอียงของสายแร่ 300 เมตร และสายแร่มีความหนา 3-4 เมตร ปริมาณสำรองของแร่ 1,100,000 ตัน ปริมาณโลหะในสายแร่ 7-8% โดยมีอัตราส่วนของตะกั่วกับสังกะสี 3:1 มีแร่ที่ปะปน ได้แก่ เงิน (Ag) พรอท (Hg) ไพไรต์ (FeS_2) แบบไรต์ (BaSO_4) และควอร์ต (SiO₂) เป็นต้น (บริษัท เทสโก้ จำกัด, 2529)

5.3 การประกอบกิจกรรมเหมืองแร่

เหมืองแร่ของบริษัทกาญจนบุรีเอ็กโซพลอเรชั่น แอนด์ ไมนิ่ง (เค็มโก) จำกัด เริ่มประกอบกิจกรรมเหมืองแร่ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2529 ถึง พ.ศ. 2551 ขณะประกอบกิจกรรมเหมืองแร่สามารถผลิตแร่ตะกั่วได้มากกว่า 360,000 ตันต่อปี พื้นที่การทำเหมืองนั้นพบว่ามีแบ่งพื้นที่ในการประกอบกิจกรรมออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ 1) พื้นที่ที่ใช้ในการขุดแร่ซึ่งเป็นการขุดแร่ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับในใต้ดินเพื่อหาสายแร่ในลักษณะการทำเหมืองอุโมงค์ 2) พื้นที่ที่ใช้ในการแต่งและเก็บกักแร่ (โรงแต่งแร่) ที่ใช้ในการคัดแยกและทำความสะอาดก้อนแร่เพื่อรอการเคลื่อนย้ายไปสู่การถลุงแร่ยังพื้นที่แหล่งอื่นๆ และ 3) พื้นที่ลานแร่และลานตะกอนหางแร่ที่ใช้ในการรองรับเศษซากของแร่ขนาดเล็กที่เหลือจากการแต่งแร่ นอกจากนี้ยังมีการสร้างบ่อเก็บกักน้ำ 2 บ่อ คือ บ่อดักตะกอน 1 และบ่อดักตะกอน 2 เพื่อใช้สำหรับการดักตะกอนแร่ที่อาจถูกพัดพาไปกับน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 พื้นที่ในการประกอบกิจกรรม เขื่อนแม่เฒ่าเค็มโก อำเภอดงพญาณี จังหวัดกาญจนบุรี
 ภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่เขื่อนแม่เฒ่าเค็มโก (ก) โรงแต่งแร่ (ข) ลานแร่ (ค)
 ลานตะกอนหางแร่ (ง) บ่อดักตะกอน 1 (จ) และบ่อดักตะกอน 2 (ฉ)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์การเก็บตัวอย่างดิน ตะกอนดิน น้ำ และพีชภาคสนาม

- 1.1 อุปกรณ์สำรวจดินมาตรฐาน
- 1.2 เครื่องมือเก็บตัวอย่างตะกอนดิน
- 1.3 ชุดเก็บตัวอย่างน้ำ
- 1.4 อุปกรณ์วัดคุณภาพน้ำภาคสนาม (WTW รุ่น cond 330i และ oxi 315i, Germany)
- 1.5 ถังเก็บตัวอย่าง
- 1.6 เชือกผูกถุงและปากกาเขียนพลาสติกที่ลบไม่ออก

2. อุปกรณ์การปลูกพืชทดสอบในเรือนทดลอง

- 2.1 ดินปนเปื้อนตะกั่วจากเหมืองแร่เค็มโก อำเภอนาทอง ภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต
- 2.2 กระถางสำหรับปลูกสาบเสือ พร้อมจานรองกระถาง
- 2.3 ต้นพันธุ์สาบเสือ จากพื้นที่ที่ไม่มีการปนเปื้อนตะกั่ว
- 2.4 ป้ายแสดงสิ่งทดลอง
- 2.5 บัวรดน้ำ

3. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

- 3.1 pH meter (TOA รุ่น HM-7E, Japan)
- 3.2 EC meter (SCHOTT รุ่น CG 855, Germany)
- 3.3 Fume hood (BOSS TECH, Thailand)
- 3.4 Digestion apparatus (VELP รุ่น DK 20 และ DK 42/26, Italy)
- 3.5 Micro Kjeldahl distillation apparatus
- 3.6 Spectrophotometer (MILTON ROY รุ่น spectronic 21, USA)
- 3.7 Atomic absorption spectrophotometer (VARIAN รุ่น AA240, Australia)
- 3.8 Stereoscopic microscope (OLYMPUS รุ่น S2-P7, Japan)
- 3.9 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (PRESICA รุ่น 120A, USA)

3.10 ตู้ควบคุมอุณหภูมิสำหรับบดตัวอย่างพืช (MEMMERT รุ่น TV 80b, Western Germany)

3.11 ครกบดตัวอย่างดิน

3.12 ตะแกรงร่อนดิน ขนาด 2, 0.4 และ 0.25 มิลลิเมตร (10, 40 และ 60 mesh) (ENDOCORIS, England)

3.13 เครื่องบดตัวอย่างพืช (POLYMIX รุ่น PX-MFC, Switzerland)

3.14 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และปริมาณตะกั่ว

3.15 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการสกัดสารสกัดหยาบจากสาบเสือ

3.16 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบศักยภาพของสารสกัดหยาบจากสาบเสือในการควบคุมไส้เดือนฝอย

วิธีการ

1. การทดลองที่ 1 การสำรวจการแพร่กระจายของตะกั่วในดิน ตะกอนดิน น้ำ และพืชเหมืองแร่เค็มโก อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

1.1 การเก็บตัวอย่างดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินจากเหมืองแร่เค็มโก 3 พื้นที่ ได้แก่ โรงแต่งแร่ ลานแร่ และลานตะกอนหางแร่ สุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร ตามวิธีการเก็บตัวอย่างดินมาตรฐานโดยสุ่มเก็บตัวอย่างดิน 15 จุด แล้วนำมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันเพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างดินในแต่ละพื้นที่ แล้วนำมาผึ่งลมให้แห้ง บดและร่อนด้วยตะแกรงมาตรฐานขนาด 2 มิลลิเมตร และ 0.5 มิลลิเมตร

1.2 การเก็บตัวอย่างตะกอนดินและน้ำ

สุ่มเก็บตัวอย่างตะกอนดินและน้ำจากบ่อดักตะกอน 1 และบ่อดักตะกอน 2

เก็บตัวอย่างตะกอนดินที่ความลึก 0-15 เซนติเมตรจากพื้นที่ต้งน้ำด้วยเครื่องดักตะกอนดิน (grab sample) เก็บตัวอย่างตะกอนดิน 5 จุดในลักษณะรูปกากบาท แล้วนำมาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันเพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างตะกอนดินในแต่ละบ่อดักตะกอน แล้วนำมาผึ่งลมให้แห้ง บดและร่อนด้วยตะแกรงมาตรฐานขนาด 2 มิลลิเมตร และ 0.5 มิลลิเมตร

ตัวอย่างน้ำ โดยหย่อนขวดเก็บตัวอย่างน้ำที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร แล้วรอสักครู่หนึ่ง เพื่อให้สภาพน้ำซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงจากการหย่อนขวดเก็บตัวอย่างกลับสู่สภาพเดิม จึงเปิดขวดให้น้ำไหลเข้าขวดเก็บตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างน้ำ 5 จุดเช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างตะกอนดิน จากนั้นทำการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (dissolved oxygen; DO) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ (total dissolved solid; TDS) และอุณหภูมิของน้ำ (temperature) โดยทำการตรวจวัดทันทีด้วยเครื่องมือวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม จดบันทึกค่าที่ได้ แล้วจึงทำการใส่ conc. HNO_3 จำนวน 2 มิลลิลิตร ลงในขวดบรรจุตัวอย่างให้มีค่า pH ต่ำกว่า 2 เพื่อป้องกันการตกตะกอนของโลหะหนักในตัวอย่างน้ำ และการดูดซึมโลหะหนักโดยผิวของภาชนะระหว่างรอวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ หลังจากนั้นทำการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยแช่ขวดตัวอย่างไว้ในน้ำแข็งเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในน้ำตัวอย่าง (ดัดแปลงจาก APHA, AWWA and WEF, 2005)

1.3 การเก็บตัวอย่างพืช

สุ่มเก็บตัวอย่างพืช ได้แก่ สาบเสือ (*Chromolaena odorata*) อ้อ (*Arundo donax*) และกระถิน (*Leucaena leucocephala*) ที่เจริญเติบโตและแพร่กระจายในเหมืองแร่เค็มโก 3 พื้นที่ ได้แก่ โรงแต่งแร่ ลานแร่ และลานตะกอนหางแร่ โดยเก็บตัวอย่างพืชกระจายทั่วพื้นที่ 15 จุดในแต่ละพื้นที่ แล้วนำตัวอย่างพืชชนิดเดียวกันมาผสมกันเพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างพืชในแต่ละพื้นที่ ล้างด้วยน้ำกรอง 2 ครั้ง ผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน แล้วบดเป็นผงละเอียด

1.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ

1.4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

การวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคดิน (particle size distribution) โดยวิธี pipette method (Day, 1965) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาแจกแจงประเภทของเนื้อดิน (soil textural class) โดยการเปรียบเทียบกับชั้นเนื้อดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (Soil Survey Staff, 2006)

1.4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

ค่า pH ดิน วัดโดยใช้ pH meter อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (ทศนิยม และ จงรักษ์, 2542)

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) โดยวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturation extract) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง electricity conductivity (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

วิเคราะห์ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) โดยการชิมชะไอออนบวกด้วยสารละลาย 1 N NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7.0) และแทนที่แอมโมเนียมไอออนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (10%) ในสภาพเป็นกรด กลั่นหาแอมโมเนียมไอออน แล้วคำนวณค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (Chapman, 1965)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) โดยวิธี Walkley and Black titration (Walkley and Black, 1934)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย H_2SO_4 และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี Kjeldahl method (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) ทำการสกัดดินโดยวิธี Bray II (Bray and Kurtz, 1945) และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี colorimetric (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) โดยนำดินมาสกัดด้วย 1N แอมโมเนียมอะซิเตต (NH_4OAc) ที่เป็นกลาง (pH 7.0) แล้ววัดหาปริมาณโพแทสเซียมด้วย atomic absorption spectrophotometer (AAS) (Chapman, 1965)

ปริมาณตะกั่วทั้งหมด (total lead) ย่อยสลายตัวอย่างดินด้วยวิธี wet oxidation โดยสกัดตัวอย่างดินด้วยกรดผสม $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{ClO}_4$ อัตราส่วน 5:2 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วทั้งหมดด้วย AAS (Michael *et al.*, 1982)

ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ (extractable lead) โดยนำดินมาสกัดด้วย 0.005 M DTPA pH 7.3 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ด้วย AAS (Lindsay and Norvell, 1978)

1.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนดินและน้ำในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างตะกอนดิน วิเคราะห์สมบัติทางเคมีบางประการได้แก่

ค่า pH วัดโดยใช้ pH meter เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1.4.2

ค่าการนำไฟฟ้า เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1.4.2

ปริมาณตะกั่วทั้งหมด เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1.4.2

วิเคราะห์ปริมาณปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ เช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1.4.2

1.6 การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในตัวอย่างพืช

วิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วทั้งหมดในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของตัวอย่างพืช ทำการย่อยสลายตัวอย่างพืชด้วยวิธี wet oxidation โดยสกัดตัวอย่างพืชด้วยกรดผสม $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{ClO}_4$ อัตราส่วน 5:2 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วทั้งหมดด้วย AAS

1.7 การวิเคราะห์ข้อมูลของตัวอย่างพืช

(1) ค่า translocation factor (TF) แสดงถึงความสามารถของพืชในการเคลื่อนย้ายตะกั่วจากส่วนใต้ดินสู่ส่วนเหนือดิน (Mattina *et al.*, 2003) โดยคำนวณได้จาก

$$\text{TF} = C_{\text{shoot}} / C_{\text{root}}$$

โดย C_{shoot} คือ ปริมาณของตะกั่วในส่วนเหนือดินของพืช
 C_{root} คือ ปริมาณของตะกั่วในส่วนใต้ดินของพืช

(2) ค่า bioaccumulation factor (BAF) หรือ phytoextraction rate (Nanda-Kumar *et al.*, 1995; Deram *et al.*, 2006; Khan *et al.*, 2006; Branquinho *et al.*, 2007) โดยคำนวณได้จาก

$$\text{BAF} = C_{\text{shoot}} / C_{\text{soil}}$$

โดย C_{shoot} คือ ปริมาณของตะกั่วในส่วนเหนือดินของพืช
 C_{soil} คือ ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในดิน

2. การทดลองที่ 2 การทดสอบศักยภาพของสาบเสือในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง และการใช้ประโยชน์สารสกัดหยาดจากสาบเสือซึ่งเป็นพืชบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม

2.1 การศึกษาชนิดต้นพันธุ์ของสาบเสือที่เหมาะสมในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว

2.1.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 2x3 factorial in completely randomized design (CRD) มี 2 ปัจจัย จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้ ปัจจัยแรกประกอบด้วยสาบเสือชนิดชุดปลูกและสาบเสือชนิดกิ่งปักชำ ปัจจัยที่สองประกอบด้วยระยะเวลาการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยสาบเสือ 3 ระยะเวลา ได้แก่

- | | |
|--------------------|-----------------------------------|
| ดำรับการทดลองที่ 1 | บำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยสาบเสือ |
| | ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก |
| ดำรับการทดลองที่ 2 | บำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยสาบเสือ |
| | ณ ระยะเวลา 60 วันหลังการย้ายปลูก |
| ดำรับการทดลองที่ 3 | บำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยสาบเสือ |
| | ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก |

มี 6 ดำรับการทดลอง และมีหน่วยทดลองทั้งหมด 18 กระถาง

2.1.2 การเตรียมต้นพันธุ์สาบเสือ

สาบเสือที่ใช้ในการทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างจากพื้นที่ไม่ปนเปื้อนตะกั่ว เขตสายไหม กรุงเทพฯ ในพิกัดละติจูดที่ 13 องศาเหนือ 90 ลิปดา 23 ฟลิปดา และลองจิจูดที่ 100 องศาตะวันออก 63 ลิปดา 11 ฟลิปดา โดยมีการเตรียมต้นพันธุ์ 2 แบบ คือ

สาบเสือชนิดชุดปลูก ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นพันธุ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 0.3 เซนติเมตร ทำการตัดแต่งกิ่งให้มีลักษณะคล้ายคลึงกันและมีความสูง 30 เซนติเมตรในทุกตัวอย่าง จากนั้นทำการย้ายปลูกไม่เกิน 24 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการบอบช้ำและลดปัญหาการชะงักการเจริญเติบโตของต้นพันธุ์

سابเลื้อชนิดกิ่งปักชำ ทำการสุมเก็บตัวอย่างต้นพันธุ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 0.3 เซนติเมตร ทำการตัดแต่งกิ่งให้มีลักษณะคล้ายคลึงกันและมีความยาว 30 เซนติเมตร จากนั้นทำการปลูกในกระถางเพาะกล้าเป็นเวลา 30 วัน เพื่อให้ต้นسابเลื้อมีระบบรากที่แข็งแรงก่อนทำการทดลองต่อไป

เหตุผลในการเลือกต้นพันธุ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 0.3 เซนติเมตร เนื่องจากในพื้นที่ทำการสุมเก็บตัวอย่างมีการกระจายตัวของต้นพันธุ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 0.3 เซนติเมตรสูง ซึ่งคาดการณ์ได้ว่าเป็นต้นพันธุ์ที่มีอายุใกล้เคียงกัน จึงเลือกนำมาใช้ในการทดลอง

2.1.3 การเตรียมดินสำหรับปลูก

นำตัวอย่างดินปนเปื้อนตะกั่วจากพื้นที่ลานตะกอนหางแร่ เมืองแร่เค็มโก อำเภอดงพญาณี จังหวัดกาญจนบุรี มาผึ่งให้แห้ง เลือกเศษพืชออกและทำการคลุกเคล้าดินให้ทั่ว จากนั้นชั่งใส่กระถางพลาสติกปริมาณ 10 กิโลกรัมต่อกระถาง จากนั้นย้ายต้นพันธุ์ سابเลื้อลงกระถาง รดน้ำวันละ 1 ครั้ง

2.1.4 การเก็บเกี่ยวسابเลื้อ

เก็บเกี่ยวسابเลื้อ ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังจากย้ายลงปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่ว ล้างด้วยน้ำกรอง 2 ครั้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของسابเลื้อ แล้วบดเป็นผงละเอียด

2.1.5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในตัวอย่างพืช

ทำการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของسابเลื้อ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในตัวอย่างพืชในการทดลองที่ 1.6

2.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูลของตัวอย่างพืช

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลของตัวอย่างพืชเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ข้อมูลของตัวอย่างพืชในการทดลองที่ 1.7

2.1.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม statistical analysis system (SAS version 9.0)

2.2 การศึกษาระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวสาบเสือที่เหมาะสมในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว

2.2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) มี 5 ดำรับการทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้

- | | |
|--------------------|---|
| ดำรับการทดลองที่ 1 | บำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยสาบเสือ
ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก |
| ดำรับการทดลองที่ 2 | บำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยสาบเสือ
ณ ระยะเวลา 45 วันหลังการย้ายปลูก |
| ดำรับการทดลองที่ 3 | บำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยสาบเสือ
ณ ระยะเวลา 60 วันหลังการย้ายปลูก |
| ดำรับการทดลองที่ 4 | บำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยสาบเสือ
ณ ระยะเวลา 75 วันหลังการย้ายปลูก |
| ดำรับการทดลองที่ 5 | บำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยสาบเสือ
ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก |

โดยมีจำนวนหน่วยทดลองทั้งหมด 15 กระถาง

2.2.2 การเตรียมต้นสาบเสือ

เก็บตัวอย่างต้นพันธุ์สาบเสือชนิดชุดปลูกที่เจริญเติบโตในพื้นที่ไม่ปนเปื้อนตะกั่ว เขตสายไหม กรุงเทพฯ ในพิกัดละติจูดที่ 13 องศาเหนือ 90 ลิปดา 23 พิลิปดา และลองจิจูดที่ 100 องศาตะวันออก 63 ลิปดา 11 พิลิปดา ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นพันธุ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 0.3 เซนติเมตร ทำการตัดแต่งกิ่งให้มีลักษณะคล้ายคลึงกันและมีความสูง 30 เซนติเมตรในทุกตัวอย่าง จากนั้นทำการย้ายปลูกไม่เกิน 24 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการบอบช้ำ และลดปัญหาการชะงักการเจริญเติบโตของต้นพันธุ์

2.2.3 การเตรียมดินสำหรับปลูก

นำตัวอย่างดินปนเปื้อนตะกั่วจากพื้นที่ลานตะกอนหางแร่ เหมืองแร่เค็มโก อำเภอนาทอง ภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี มาผึ่งให้แห้ง เลือกเศษพืชออกและทำการคลุกเคล้าดินให้ทั่ว จากนั้นชั่งใส่กระถางพลาสติกปริมาณ 10 กิโลกรัมต่อกระถาง แล้วทำการย้ายต้นสาบเสือลงกระถาง รดน้ำวันละ 1 ครั้ง

2.2.4 การเก็บเกี่ยวสาบเสือ

เก็บเกี่ยวสาบเสือ ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังจากย้ายลงปลูกในดิน ล้างด้วยน้ำกรอง 2 ครั้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของสาบเสือ แล้วบดเป็นผงละเอียด

2.2.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างพืช

ทำการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของสาบเสือ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในตัวอย่างพืชในการทดลองที่ 1.6

2.2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ค่า translocation factor (TF) และ bioaccumulation factor (BAF) เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.2

2.2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1.7

2.3 การใช้ประโยชน์สารสกัดหยาบจากสาบเสือซึ่งเป็นพืชบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม

2.3.1 การเตรียมสารสกัดหยาบจากสาบเสือ

เตรียมสารสกัดหยาบโดยใช้ส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของสาบเสือชนิดกิ่งปักชำจากการทดลองที่ 2.1 ล้างด้วยน้ำกรอง 2 ครั้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศา

เซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ นำตัวอย่างسابเสื่อแช่ในน้ำ (pH 6.8) อัตราส่วนسابเสื่อต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 10 แช่ให้เข้ากันเป็นเวลา 10-15 วินาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วกรองผ่านกระดาษกรอง สารสกัดหยาบที่ได้มีความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 10 (น้ำหนักโดยปริมาตร) จากนั้นทำการเจือจางสารสกัดหยาบให้มีความเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 1 และ 5 สารสกัดหยาบที่ได้นำไปใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม (ดัดแปลงจาก Thoden *et al.*, 2007)

2.3.2 การเตรียมตัวอ่อนไส้เดือนฝอยรากปมในระดับห้องปฏิบัติการ

ทำการแยกกลุ่มไข่ของไส้เดือนฝอยรากปมจากรากพืชที่เป็นโรครากปม ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากห้องปฏิบัติการไส้เดือนฝอย ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ออกมาแช่ในน้ำกลั่น ปั่นไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน เพื่อให้ไข่ฟักเป็นตัวอ่อนระยะที่ 2

2.3.3 การทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดหยาบจากسابเสื่อในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม

วางแผนการทดลองแบบ 2x4 factorial in completely randomized design (CRD) มี 2 ปัจจัย จำนวน 4 ข้ำ ดังนี้ ปัจจัยแรกประกอบด้วยความเข้มข้นของสารสกัดหยาบจากسابเสื่อ ได้แก่ ความเข้มข้นร้อยละ 1, 5 และ 10 ปัจจัยที่สองประกอบด้วยระยะเวลาการเติมน้ำแทนที่สารสกัดหยาบจากسابเสื่อกับไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 ได้แก่

- ตำรับการทดลองที่ 1 การแช่สารสกัดหยาบจากسابเสื่อ
ณ เวลา 12 ชั่วโมง
- ตำรับการทดลองที่ 2 การแช่สารสกัดหยาบจากسابเสื่อ
ณ เวลา 24 ชั่วโมง
- ตำรับการทดลองที่ 3 การแช่สารสกัดหยาบจากسابเสื่อ
ณ เวลา 36 ชั่วโมง
- ตำรับการทดลองที่ 4 การแช่สารสกัดหยาบจากسابเสื่อ
ณ เวลา 48 ชั่วโมง

โดยมีหน่วยทดลองทั้งหมด 48 หลุมตัวอย่าง นำสารสกัดหยาบผสมกับน้ำที่มีไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 อยู่ประมาณ 60 ตัวในอัตราส่วน 1:1 เมื่อแช่สารสกัดหยาบครบ 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ทำการดูดสารสกัดที่แช่ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2

ออกแล้วเติมน้ำเข้าไปแทนที่ จากนั้นตรวจนับร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง ภายใต้ stereoscopic microscope

3.2.4 การตรวจนับร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2

ทำการตรวจนับการตายของไส้เดือนฝอยรากปมในน้ำที่เติมแทนที่สารสกัดหยาบ โดยคำนวณร้อยละการตายได้จาก

$$\text{ร้อยละการตาย (mortality)} = \frac{\text{จำนวนตัวอ่อนไส้เดือนฝอยที่ตาย} \times 100}{\text{จำนวนตัวอ่อนไส้เดือนฝอยทั้งหมด}}$$

3.2.5 การตรวจสอบปริมาณตะกั่วที่ตกค้างหลังสกัดสารสกัดหยาบ

วิเคราะห์ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในสารสกัดหยาบและกากของسابเลื่อหลังสกัดสารสกัดหยาบ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในตัวอย่างพีชในการทดลองที่ 1.6

3.2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1.7

ผลและวิจารณ์

1. การทดลองที่ 1 การสำรวจการแพร่กระจายของตะกั่วในดิน ตะกอนดิน น้ำ และพืช เหมืองแร่เค็มโก อำเภอนาทอง ภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

1.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของดิน

สมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างดินจากพื้นที่เหมืองแร่เค็มโกดังแสดงในตารางที่ 2

พื้นที่โรงแต่งแร่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนตะกอน (silt loam) ปริมาณทรายร้อยละ 24.2 ปริมาณทรายแป้งร้อยละ 59 ปริมาณดินเหนียวร้อยละ 16.8 ค่า pH ดินเป็นกลาง สภาพการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 0.3 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเฉลี่ย 11.9 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยร้อยละ 3.3 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 0.03 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เฉลี่ย 0.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก โพแทสเซียมที่สกัดได้เฉลี่ย 9.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก

พื้นที่ลานแร่ มีเนื้อดินเป็นทราย (sand) ปริมาณทรายร้อยละ 87 ปริมาณทรายแป้งร้อยละ 6.2 ปริมาณดินเหนียวร้อยละ 6.8 ค่า pH ดินเป็นด่างปานกลาง สภาพการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 0.1 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเฉลี่ย 7.6 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยร้อยละ 1.9 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 0.01 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เฉลี่ย 0.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก โพแทสเซียมที่สกัดได้เฉลี่ย 4.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก

พื้นที่ลานตะกอนหางแร่ มีเนื้อดินเป็นทราย (sand) ปริมาณทรายร้อยละ 90.2 ปริมาณทรายแป้งร้อยละ 3 ปริมาณดินเหนียวร้อยละ 6.8 ค่า pH ดินเป็นด่างปานกลาง สภาพการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 0.1 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเฉลี่ย 4.3 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยร้อยละ 0.3 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยร้อยละ 0.01 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เฉลี่ย 6.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก โพแทสเซียมที่สกัดได้เฉลี่ย 12.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของดินเหมืองแร่เค็มโก อำเภอนาทอง จังหวัดกาฬสินธุ์

สมบัติของดิน	จุดเก็บตัวอย่างดิน		
	โรงแต่งแร่	ลานแร่	ลานตะกอนหางแร่
Texture ^{1/}	Silt loam	Sand	Sand
Sand (%)	24.2	87.0	90.2
Silt (%)	59.0	6.2	3.0
Clay (%)	16.8	6.8	6.8
pH ^{2/}	7.0	8.1	8.0
EC ^{3/} (dS m ⁻¹)	0.3	0.1	0.1
CEC ^{4/} (cmol kg ⁻¹)	11.9	7.6	4.3
OM ^{5/} (%)	3.3	1.9	0.3
Total N ^{6/} (%)	0.03	0.01	0.01
Available P ^{7/} (mg P kg ⁻¹)	0.5	0.3	6.8
Extractable K ^{4/} (mg K kg ⁻¹)	9.9	4.5	12.6

หมายเหตุ ^{1/} Pipette method (Day, 1965)

^{2/} pH meter (soil: water; 1: 1) (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

^{3/} Electric conductrometer

^{4/} สกัดด้วย NH₄OAc pH 7.0 (Chapman, 1965)

^{5/} Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934)

^{6/} Kjeldahl method (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

^{7/} Bray II method (Bray and Kurtz, 1945)

ค่า pH ดินในพื้นที่เหมืองแร่เค็มโก พบว่าพื้นที่โรงแต่งแร่อยู่ในช่วงกลาง พื้นที่ลานแร่และลานตะกอนหางแร่อยู่ในช่วงด่างปานกลาง ซึ่งมีค่า pH สูงขึ้นตามลักษณะความลาดชันของพื้นที่ดังแสดงในตารางที่ 3 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอิทธิพลของคาร์บอเนตไอออนซึ่งเป็นองค์ประกอบของแร่ตะกั่วเซอร์ไซด์ (PbCO₃) จากกิจกรรมการแต่งแร่ในพื้นที่โรงแต่งแร่คาร์บอเนตไอออนซึ่งแตกตัวจากกิจกรรมดังกล่าวถูกพัดพาลงสู่ที่ต่ำเกิดการสะสมของคาร์บอเนตไอออน ส่งผลให้ค่า pH ดินสูงขึ้น (Chen and Daroub, 2002) และจากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของดินพื้นที่เหมืองแร่เค็มโก พบว่าเป็นดินที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ เนื่องจากปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ในระดับที่ต่ำมาก สอดคล้องกับเพลินจิตร (2541) กล่าวว่า ดินที่ผ่านการทำเหมืองแร่มาแล้ว จะมีลักษณะเป็นดินทรายหรือดินทรายปนกรวด ธาตุอาหารต่างๆ และ

อินทรียวตถุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมีปริมาณต่ำมาก มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำและมีการระบายน้ำมากเกินไป เป็นสาเหตุให้ดินมีน้ำไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้สภาพภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นภูเขา ยังส่งเสริมให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินอีกด้วย

ตารางที่ 3 พิกัดกริดและระดับความสูงของพื้นที่ ณ จุดต่างๆ เหมืองแร่เค็มโก
อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

พื้นที่	พิกัดกริด UTM	ระดับความสูง
โรงแต่งแร่	47P 0478564 UTM 1641800	670 m MSL
ลานแร่	47P 0478268 UTM 1641787	664 m MSL
ลานตะกอนทางแร่	47P 0478212 UTM 1641779	664 m MSL
บ่อดักตะกอนที่ 1	47P 0478070 UTM 1641710	664 m MSL
บ่อดักตะกอนที่ 2	47P 0480792 UTM 1643355	659 m MSL

หมายเหตุ m MSL = เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

1.2 สมบัติทางเคมีบางประการของตะกอนดินและน้ำ

สมบัติทางเคมีบางประการของตะกอนดินในบ่อดักตะกอน 1 และบ่อดักตะกอน 2 ดังแสดงในตารางที่ 4 สมบัติทางเคมีบางประการของตะกอนดินในบ่อดักตะกอน 1 และบ่อดักตะกอน 2 พบว่าตะกอนดินในบ่อดักตะกอน 1 มีค่า pH 7.3 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงเป็นกลาง สภาพการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 1.0 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ปริมาณอินทรียวตถุเฉลี่ยร้อยละ 2.9 ตะกอนดินในบ่อดักตะกอน 2 มีค่า pH 7.6 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงด่างเล็กน้อย สภาพการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 0.6 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งจัดอยู่ในช่วงต่ำมาก ปริมาณอินทรียวตถุเฉลี่ยร้อยละ 3.1

ตารางที่ 4 สมบัติทางเคมีบางประการของตะกอนดินในบ่อดักตะกอน เข้มืองแร่เค็มโก
อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

สมบัติทางเคมี	จุดเก็บตัวอย่าง	
	บ่อดักตะกอน 1	บ่อดักตะกอน 2
pH ^{1/}	7.3	7.6
EC ^{2/} (dS m ⁻¹)	1.0	0.6
OM ^{3/} (%)	2.9	3.1

หมายเหตุ ^{1/} pH meter (soil: water; 1: 1) (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

^{2/} Electric conductrometer

^{3/} Walkley and Black method (Walkley and Black, 1934)

สมบัติทางเคมีบางประการของน้ำในบ่อดักตะกอน 1 และบ่อดักตะกอน 2 ดังแสดงในตารางที่ 5 น้ำในบ่อดักตะกอน 1 มีค่า pH 7.7 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงด่างเล็กน้อย อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 25.8 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total dissolved solids: TDS) เฉลี่ย 133.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen: DO) เฉลี่ย 4.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจัดอยู่ในช่วงคุณภาพน้ำพอใช้ น้ำในบ่อดักตะกอน 2 มีค่า pH 7.7 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงด่างเล็กน้อย อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ย 23.4 องศาเซลเซียส ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เฉลี่ย 231.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเฉลี่ย 4.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจัดอยู่ในช่วงคุณภาพน้ำพอใช้ นอกจากนี้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ แสดงให้เห็นว่าเกิดการไหลบ่าของอนุภาคที่มีประจุบวกในน้ำจากบ่อดักตะกอน 1 สู่อบ่อดักตะกอน 2 สอดคล้องกับที่ตั้งของบ่อดักตะกอน 1 ซึ่งอยู่สูงกว่าบ่อดักตะกอน 2 จึงส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในบ่อดักตะกอน 2 สูงกว่าบ่อดักตะกอน 1

ตารางที่ 5 สมบัติทางเคมีบางประการของน้ำในบ่อดักตะกอน เหมืองแร่เค็มโก
อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

สมบัติทางเคมี	จุดเก็บตัวอย่าง	
	บ่อดักตะกอน 1	บ่อดักตะกอน 2
pH ^{1/}	7.7	7.7
Temperature ^{2/} (°C)	25.8	23.4
Total dissolved solids (TDS) ^{2/} (mg l ⁻¹)	133.0	231.2
Dissolved oxygen (DO) ^{2/} (mg l ⁻¹)	4.9	4.4

หมายเหตุ ^{1/} pH meter (soil: water; 1: 1) (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

^{2/} เครื่องมือวัดคุณภาพน้ำมาตรฐาน

1.3 ปริมาณตะกั่วในดิน ตะกอนดิน น้ำ และพืช

จากการสำรวจพื้นที่เหมืองแร่เค็มโกพบตะกั่วแพร่กระจายในดิน ตะกอนดิน และน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 6 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดและตะกั่วที่สกัดได้ในดินพื้นที่ลานตะกอนหางแร่สูงสุด รองลงมาคือ โรงแต่งแร่ และลานแร่ ตามลำดับ โดยมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดเฉลี่ยเท่ากับ $75,529.4 \pm 2936.0$, $18,543.0 \pm 3,418.0$ และ $1,620.0 \pm 93.6$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และปริมาณตะกั่วที่สกัดได้เฉลี่ยเท่ากับ $1,114.6 \pm 53.1$, 837.7 ± 24.2 และ 375.6 ± 13.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากลักษณะของพื้นที่มีความลาดชัน ซึ่งบริเวณที่อยู่สูงที่สุดคือ โรงแต่งแร่ รองลงมาคือ ลานแร่ และลานตะกอนหางแร่ ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่ม เศษแร่ตะกั่วจากกระบวนการแต่งแร่จึงไหลมาสะสม ทำให้บริเวณลานตะกอนหางแร่มีปริมาณของตะกั่วสูงที่สุด นอกจากนี้ยังมีสาเหตุมาจากดินในพื้นที่เหมืองแร่เค็มโกมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และอนุภาคดินเหนียว ซึ่งสามารถดูดซับและลดการเคลื่อนย้ายของตะกั่วได้ในปริมาณต่ำ จึงทำให้เกิดการชะล้างของตะกั่วจากพื้นที่สูงลงสู่พื้นที่ลุ่ม ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินบริเวณพื้นที่เหมืองแร่เค็มโกจัดอยู่ในระดับที่เกินมาตรฐานคุณภาพดินจากประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติในปี พ.ศ. 2547 จากการพิจารณามาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอื่นนอกเหนือจากการอยู่อาศัยและเกษตรกรรมต้องมีปริมาณการปนเปื้อนของตะกั่วทั้งหมดในดินไม่เกิน 750 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2547ข)

ตารางที่ 6 ปริมาณตะกั่วในดิน ตะกอนดิน และน้ำ เหมืองแร่เค็มโก อำเภอกองคาญภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

จุดเก็บตัวอย่าง	ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	ตะกั่วทั้งหมด ^{1/}	ตะกั่วที่สกัดได้ ^{2/}
ดิน		
โรงแต่งแร่	18,543.0±3,418.0	837.7±24.2
ลานแร่	1,620.0±93.6	375.6±13.9
ลานตะกอนหางแร่	75,529.4±2936.0	1,114.6±53.1
ตะกอนดิน		
บ่อดักตะกอน 1	1,686.5±202.3	1,330.8±28.1
บ่อดักตะกอน 2	2,706.1±2090.9	692.2±35.3
น้ำ		
บ่อดักตะกอน 1	0.2±0.6	0.0
บ่อดักตะกอน 2	0.4±0.1	0.0

หมายเหตุ ^{1/} ย่อยสลายด้วยวิธี wet digestion (Michael *et al.*, 1982)

^{2/} สกัดด้วย DTPA pH 7.3 (Lindsay and Norvell, 1978)

ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในตะกอนดินในบ่อดักตะกอน 1 และบ่อดักตะกอน 2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,686.5±202.3 และ 2,706.1±2090.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งปริมาณตะกั่วทั้งหมดในตะกอนดินในบ่อดักตะกอน 1 มีปริมาณต่ำกว่าตะกั่วทั้งหมดในตะกอนดินในบ่อดักตะกอน 2 และปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในตะกอนดินในบ่อดักตะกอน 1 และบ่อดักตะกอน 2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,330.7±28.1 และ 692.2±35.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ซึ่งปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในตะกอนดินในบ่อดักตะกอน 1 มีปริมาณสูงกว่าตะกั่วที่สกัดได้ในตะกอนดินในบ่อดักตะกอน 2 โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ 1) ลักษณะที่ตั้งของบ่อดักตะกอน เนื่องจากบ่อดักตะกอน 1 เป็นบ่อขนาดเล็กอยู่ในพื้นที่สูง รับน้ำทั้งจากลานตะกอนหางแร่โดยตรง พักไว้ก่อนไหลลงสู่บ่อดักตะกอน 2 ซึ่งอยู่ในพื้นที่ต่ำกว่า บ่อดักตะกอน 2 เป็นบ่อขนาดใหญ่อยู่ในพื้นที่ลุ่ม สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้มาก 2) ปริมาณของพีชน้ำที่แพร่กระจายในบ่อดักตะกอน เนื่องจากในบ่อดักตะกอน 2 มีปริมาณพีชน้ำแพร่กระจายอยู่มากกว่าบ่อดักตะกอน 1 ดังแสดงในภาพที่ 12 ตะกั่วบางส่วนจึงถูกพีชน้ำดูดซับไว้ ซึ่งจากการศึกษาของ Williams *et.al.* (2002) ทดลองปลูกสาหร่ายหางกระรอก (*Hydrilla Verticillata*) ในระบบไฮโดรโพนิคที่มีสารละลายตะกั่ว 84.1 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ณ เวลา 1 สัปดาห์หลังการย้ายปลูก สาหร่ายหางกระรอกสามารถดูดซับตะกั่วได้ถึงร้อยละ 98

ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในน้ำในบ่อดักตะกอน 1 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2 ± 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในน้ำของบ่อดักตะกอน 2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.4 ± 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ไม่พบในบ่อดักตะกอนทั้ง 2 บ่อ แสดงให้เห็นว่าตะกั่วในน้ำถูกดูดซับไว้ที่ผิวของคอลลอยด์อินทรีย์ซึ่งมีปริมาณสูงในบ่อดักตะกอน จึงทำให้ไม่พบปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ สำหรับปริมาณตะกั่วทั้งหมดในน้ำในบ่อดักตะกอนทั้ง 2 บ่อจัดอยู่ในระดับที่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำ จากการพิจารณามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมจากประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติในปี พ.ศ. 2539 ที่กำหนดให้มีปริมาณของตะกั่วในน้ำทิ้งจากกิจกรรมต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2539)

จากปริมาณตะกั่วในพื้นที่เหมืองแร่เค็มโก พบว่าเกิดการแพร่กระจายของตะกั่วจากพื้นที่สูงลงสู่พื้นที่ต่ำ โดยเกิดการแพร่กระจายของตะกั่วจากโรงแต่งแร่สู่ลานตะกอนหางแร่และบ่อดักตะกอน 1 สู่บ่อดักตะกอน 2



ภาพที่ 12 การแพร่กระจายของพีชน้ำในบ่อดักตะกอน 1 (ก) และบ่อดักตะกอน 2 (ข)

ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในส่วนเหนื่อดินและส่วนใต้ดิน ค่า TF และค่า BAF ของพีชดังแสดงในตารางที่ 7 พื้นที่โรงแต่งแร่และลานแร่พบพีช 2 ชนิด ได้แก่ สาบเสือและอ้อเจริญเติบโตและกระจายตัวอยู่มากในพื้นที่ โดยพื้นที่โรงแต่งแร่ พบสาบเสือมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดในส่วนเหนื่อดินและส่วนใต้ดินเฉลี่ยเท่ากับ $2,012.0 \pm 312.7$ และ $4,476.8 \pm 1,008.0$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่า TF และ BAF เท่ากับ 0.45 และ 2.40 ตามลำดับ และอ้อมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดในส่วนเหนื่อดินและส่วนใต้ดินเฉลี่ยเท่ากับ 813.8 ± 28.3 และ $18,717.1 \pm 535.8$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่า TF และ BAF เท่ากับ 0.04 และ 0.97 ตามลำดับ พื้นที่ลานแร่ พบสาบเสือมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดในส่วนเหนื่อดินและส่วนใต้ดินเฉลี่ยเท่ากับ 230.2 ± 63.9 และ

2,904.8±736.0 มิลลิกรัมตอกิโลกรัม ค่า TF และ BAF เท่ากับ 0.08 และ 0.37 ตามลำดับ และอ้อยมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินเฉลี่ยเท่ากับ 117.7 ± 6.4 และ $5,280.2 \pm 95.6$ มิลลิกรัมตอกิโลกรัม ค่า TF และ BAF เท่ากับ 0.02 และ 0.19 ตามลำดับ พื้นที่ลานตะกอนหางแร่ พบพืช 2 ชนิด ได้แก่ สาบเสือและกระถินเจริญเติบโตและกระจายตัวอยู่มากในพื้นที่ โดยสาบเสือมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินเฉลี่ยเท่ากับ 91.1 ± 14.4 และ $1,922.3 \pm 280.6$ มิลลิกรัมตอกิโลกรัม ค่า TF และ BAF เท่ากับ 0.05 และ 0.08 ตามลำดับ และกระถินมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินเฉลี่ยเท่ากับ 498.3 ± 27.0 และ $4,466.7 \pm 124.8$ มิลลิกรัมตอกิโลกรัม ค่า TF และ BAF เท่ากับ 0.11 และ 0.45 ตามลำดับ

ค่า TF และค่า BAF ของพืชที่เจริญเติบโตในพื้นที่ลานแร่และลานตะกอนหางแร่ มีค่าต่ำ ซึ่งอาจเนื่องจากพื้นที่ลานแร่พบตะกั่วที่สกัดได้ปริมาณต่ำ พืชไม่สามารถดูดใช้และสะสมตะกั่วได้เต็มที่ จึงส่งผลให้ TF และ BAF ของพืชที่เจริญเติบโตในพื้นที่ลานแร่มีค่าต่ำ พื้นที่ลานตะกอนหางแร่ พบตะกั่วที่สกัดได้ปริมาณสูง เกิดความเป็นพิษของตะกั่วต่อพืช พืชไม่สามารถเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารได้ตามปกติ จึงส่งผลให้ TF และ BAF ของพืชที่เจริญเติบโตในพื้นที่ลานตะกอนหางแร่มีค่าต่ำ และค่า TF และค่า BAF ของพืชที่เจริญเติบโตในพื้นที่โรงแต่งแร่มีค่าสูง อาจเนื่องจากพื้นที่โรงแต่งแร่มีปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในปริมาณที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช พืชจึงสามารถเจริญเติบโตและดูดใช้ธาตุอาหารได้ตามปกติ จึงส่งผลให้พืชที่เจริญเติบโตในพื้นที่โรงแต่งแร่ มีค่า TF และ BAF สูงกว่าพืชที่เจริญเติบโตในพื้นที่อื่นๆ

ปริมาณตะกั่วในพืชสามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินศักยภาพการดูดใช้และสะสมตะกั่วได้ในปริมาณสูง (hyperaccumulator) เพื่อคัดเลือกพืชที่มีศักยภาพในการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่ว โดยพิจารณาจาก 1) ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของพืชสูงกว่า 1,000 มิลลิกรัมตอกิโลกรัม (Baker and Brooks, 1989) 2) พืชนั้นมีค่า TF มากกว่า 1 (Yanqun *et al.*, 2005) 3) พืชมีค่า BAF มากกว่า 1 (Bu-Olayan and Thomas, 2009) และ 4) ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของพืชที่เจริญเติบโตในพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่วสูงกว่าพืชที่เจริญเติบโตในพื้นที่ไม่ปนเปื้อน 10-500 เท่า (Shen and Liu, 1998) จากการพิจารณาตามหลักเกณฑ์ดังกล่าว พบว่าสาบเสือ ผ่านเกณฑ์ 3 ใน 4 ข้อของหลักเกณฑ์พิจารณา โดยสาบเสือมีปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินเฉลี่ย 2,012.0 มิลลิกรัมตอกิโลกรัม ค่า BAF เท่ากับ 2.4 และมีปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่วสูงกว่าสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่ไม่ปนเปื้อนตะกั่ว 23 เท่า นอกจากนี้สาบเสียยังมีการแพร่กระจายตัวสูง โดยพบว่าสาบเสือกระจายตัวและเจริญเติบโตได้ทุกพื้นที่จากการเก็บตัวอย่าง จึงพิจารณาได้ว่าสาบเสือเป็น hyperaccumulator ของตะกั่ว สอดคล้องกับ Rotkittikhun *et al.* (2006) ทำการสำรวจเหมืองแร่ตะกั่วบ่องาม อำเภอนาทอง ภาณุภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี พบสาบเสือเจริญเติบโตในพื้นที่และได้พิจารณาให้สาบเสือ เป็น hyperaccumulator ซึ่งเป็นพืชที่มีความเหมาะสมสำหรับ

การบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว โดยมีศักยภาพดูดใช้และสะสมตะกั่วได้ คือ มีปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดิน 3,520 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ค่า TF มากกว่า 1 และมีปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่วสูงกว่าสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่ไม่ปนเปื้อนตะกั่ว 10-500 เท่า จึงนำมาสู่การทดสอบศักยภาพของสาบเสือในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลองต่อไป

ตารางที่ 7 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน ค่า translocation factor (TF) และค่า bioaccumulation factor (BAF) ของพืชที่เจริญเติบโตในพื้นที่เหมืองแร่เค็มโก อำเภอนาทอง จังหวัดกาญจนบุรี

จุดเก็บตัวอย่างพืช	ชนิดพืช	ปริมาณตะกั่ว ^{1/} (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		TF	BAF
		ส่วนเหนือดิน	ส่วนใต้ดิน		
โรงแต่งแร่	<i>C. odorata</i>	2,012.0±	4,476.8±	0.45	2.40
		312.7	1,008.0		
	<i>A. donax</i>	813.8±28.3	18,717.1±	0.04	0.97
			535.9		
ลานแร่	<i>C. odorata</i>	230.2±63.9	2,904.8±	0.08	0.37
			736.0		
	<i>A. donax</i>	117.7±6.4	5,280.2±	0.02	0.19
			95.6		
ลานตะกอนหางแร่	<i>C. odorata</i>	91.1±14.4	1,922.3±	0.05	0.08
			280.6		
	<i>L. leucocephala</i>	498.3±27.0	4,466.7±	0.11	0.45
			124.8		

หมายเหตุ ^{1/} ย่อยสลายด้วยวิธี wet digestion (Michael et al., 1982)

2. การทดลองที่ 2 การทดสอบศักยภาพของسابเสือในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง

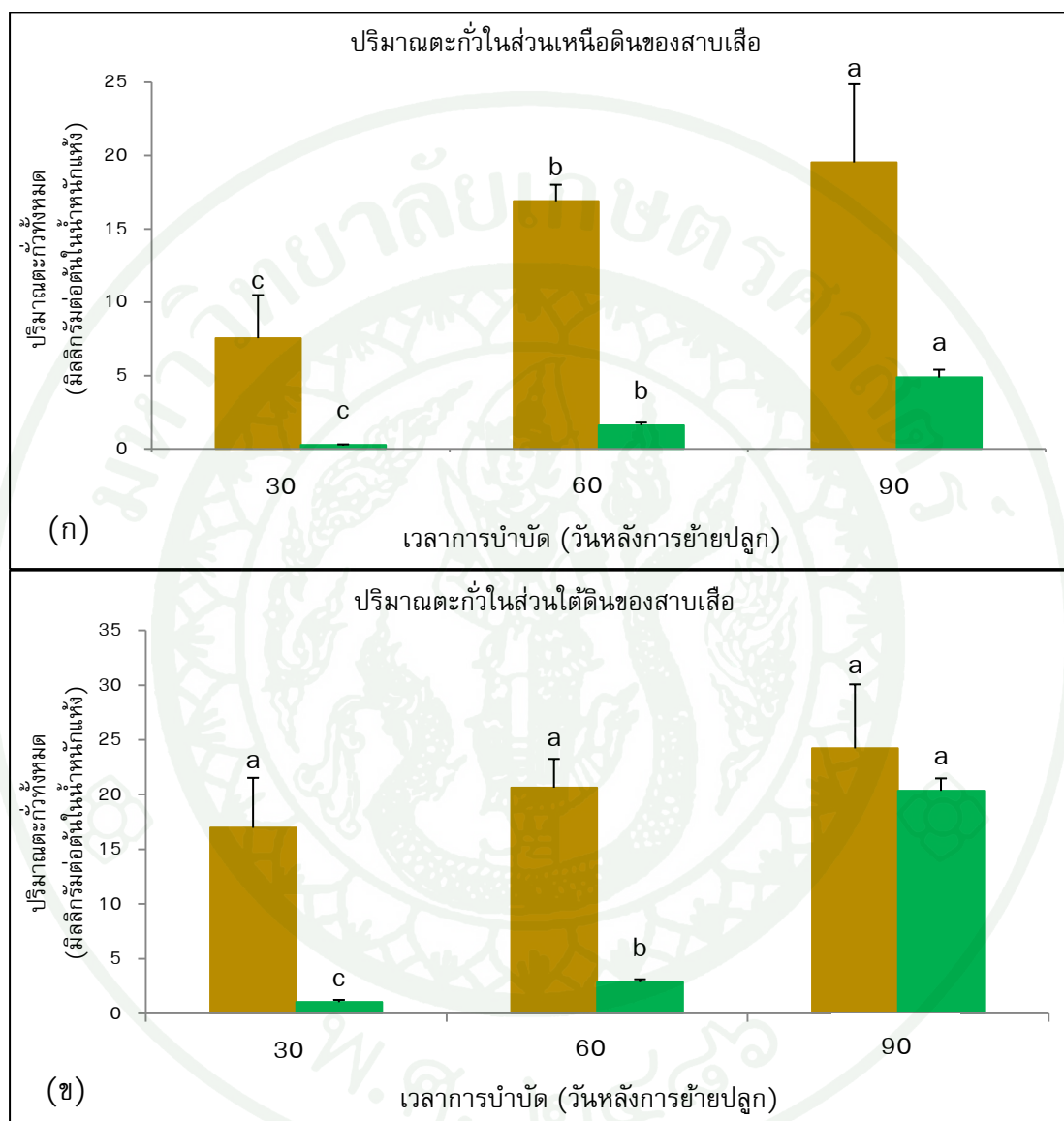
2.1 การศึกษาชนิดต้นพันธุ์ของسابเสือที่เหมาะสมในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว

2.1.1 ปริมาณตะกั่วในسابเสือ

ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของسابเสือชนิดชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำ หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก พบว่าปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของسابเสือชนิดชุดปลูก มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 7.6, 16.9 และ 19.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในน้ำหนักแห้งตามลำดับ และปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของسابเสือชนิดกิ่งปักชำ มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 0.3, 1.6 และ 4.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในน้ำหนักแห้งตามลำดับ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1 เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่าตะกั่วในส่วนเหนือดินของسابเสือชนิดชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณตะกั่วสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ ณ ระยะเวลา 60 และ 30 วันหลังการย้ายปลูก ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในภาพที่ 13ก และพบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดต้นพันธุ์ของسابเสือและระยะเวลาดำบด มีอิทธิพลต่อการดูดใช้และสะสมตะกั่วในส่วนเหนือดินของسابเสือ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1

ปริมาณตะกั่วในส่วนใต้ดินของسابเสือชนิดชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำ หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก พบว่าปริมาณตะกั่วในส่วนใต้ดินของسابเสือชนิดชุดปลูก มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 17.0, 20.7 และ 24.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในน้ำหนักแห้งตามลำดับ และปริมาณตะกั่วในส่วนใต้ดินของسابเสือชนิดกิ่งปักชำ มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1.1, 2.9 และ 20.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในน้ำหนักแห้งตามลำดับ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 2 เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่าตะกั่วในส่วนใต้ดินของسابเสือชนิดชุดปลูก หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และปริมาณตะกั่วในส่วนใต้ดินของسابเสือชนิดกิ่งปักชำหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณตะกั่วสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ ณ ระยะเวลา 60 และ 30 วันหลังการย้ายปลูก ดังแสดงในภาพที่ 13ข และพบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดต้นพันธุ์ของسابเสือและระยะเวลาดำบด มีอิทธิพลต่อการดูดใช้และสะสมตะกั่วในส่วนใต้ดินของسابเสือ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 2

ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของสาบเสือชนิดชุดปลูกสูงกว่าชนิดกึ่งปักชำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสาบเสือชนิดชุดปลูกมีศักยภาพในการดูดใช้และสะสมตะกั่วได้สูง



ภาพที่ 13 ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดิน (ก) และส่วนใต้ดิน (ข) ของสาบเสือชนิดชุดปลูก (■) และชนิดกึ่งปักชำ (■) หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก

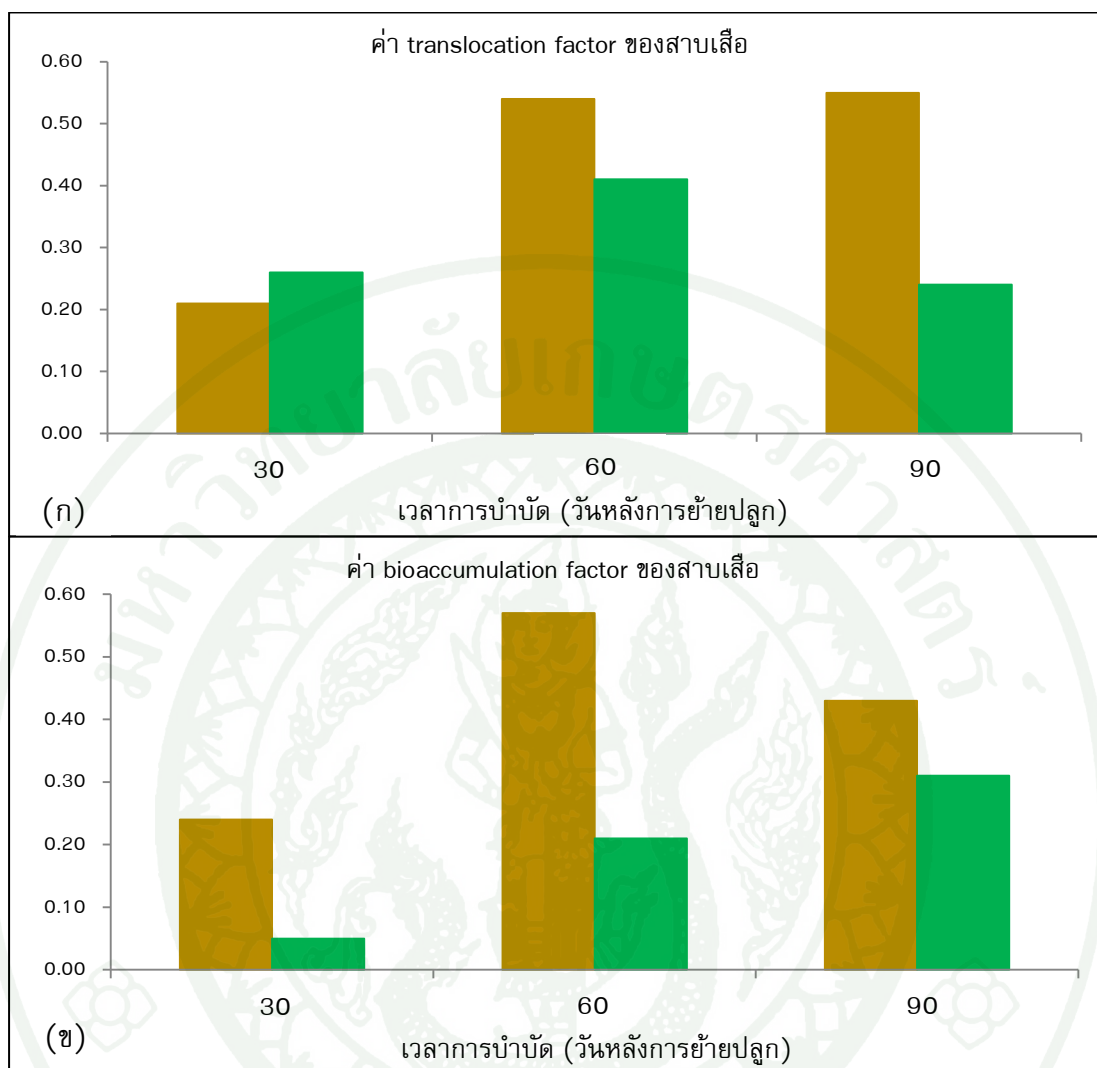
2.1.2 ค่า translocation factor (TF) และค่า bioaccumulation factor (BAF)

ค่า TF ของสาบเลื้อยชนิดขุดปลูกหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก เท่ากับ 0.2, 0.5 และ 0.6 ตามลำดับ และค่า TF ของสาบเลื้อยชนิดกิ่งปักชำหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก เท่ากับ 0.3, 0.4 และ 0.2 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 14ก

ค่า BAF ของสาบเลื้อยชนิดขุดปลูกหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก เท่ากับ 0.2, 0.6 และ 0.4 ตามลำดับ และค่า BAF ของสาบเลื้อยชนิดกิ่งปักชำหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก เท่ากับ 0.1, 0.2 และ 0.3 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 14ข

ค่า TF และ BAF ของสาบเลื้อยชนิดขุดปลูกสูงกว่าชนิดกิ่งปักชำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสาบเลื้อยชนิดขุดปลูกมีศักยภาพในการดูดใช้และสะสมตะกั่วได้สูง

การบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยการปลูกสาบเลื้อยชนิดขุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำ พบค่า TF และค่า BAF ของสาบเลื้อยหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก มีค่าต่ำกว่า 1 เนื่องจากตะกั่วที่สกัดได้ในดินมีปริมาณสูงจึงทำให้เกิดความเป็นพิษต่อพืช พืชจะเกิดการเจริญเติบโต มีการดูดใช้และสะสมตะกั่วได้น้อย จากการศึกษาของ Duffus (1980) พบว่าตะกั่วมีผลยับยั้งการเปลี่ยนแปลงพลาสติกในพืช รบกวนกระบวนการหายใจ ไมโทคอนเดรียซึ่งมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง และยับยั้งการเจริญเติบโตของรากและใบ



ภาพที่ 14 ค่า translocation factor (TF) (ก) และค่า bioaccumulation factor (BAF) (ข) ของสารตะกั่วชนิดชุดปลูก (■) และชนิดกิ่งปักชำ (■) หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก

2.1.3 ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสารตะกั่วที่เจริญเติบโตในดินปนเปื้อนตะกั่วและดินไม่ปนเปื้อนตะกั่ว

การบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยการปลูกสารตะกั่วชนิดชุดปลูก ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสารตะกั่วที่เจริญเติบโตในดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณสูงกว่าสารตะกั่วที่เจริญเติบโตในดินไม่ปนเปื้อน ณ เวลาเดียวกัน 11.7 เท่า ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสารตะกั่วที่เจริญเติบโตในดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 60 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณสูงกว่าสารตะกั่วที่เจริญเติบโตในดินไม่ปนเปื้อน ณ เวลา

เดียวกัน 36.1 เท่า และปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสาบเสือที่เจริญเติบโตในดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณสูงกว่าสาบเสือที่เจริญเติบโตในดินไม่ปนเปื้อน ณ เวลาเดียวกัน 16.0 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 8

การบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยการปลูกสาบเสือชนิดกิ่งปักชำ ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสาบเสือที่เจริญเติบโตในดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณสูงกว่าสาบเสือที่เจริญเติบโตในดินไม่ปนเปื้อน ณ เวลาเดียวกัน 6.6 เท่า ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสาบเสือที่เจริญเติบโตในดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 60 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณสูงกว่าสาบเสือที่เจริญเติบโตในดินไม่ปนเปื้อน ณ เวลาเดียวกัน 9.8 เท่า และปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสาบเสือที่เจริญเติบโตในดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณสูงกว่าสาบเสือที่เจริญเติบโตในดินไม่ปนเปื้อน ณ เวลาเดียวกัน 9.0 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสาบเสือที่เจริญเติบโตในดินปนเปื้อนตะกั่วและดินไม่ปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก

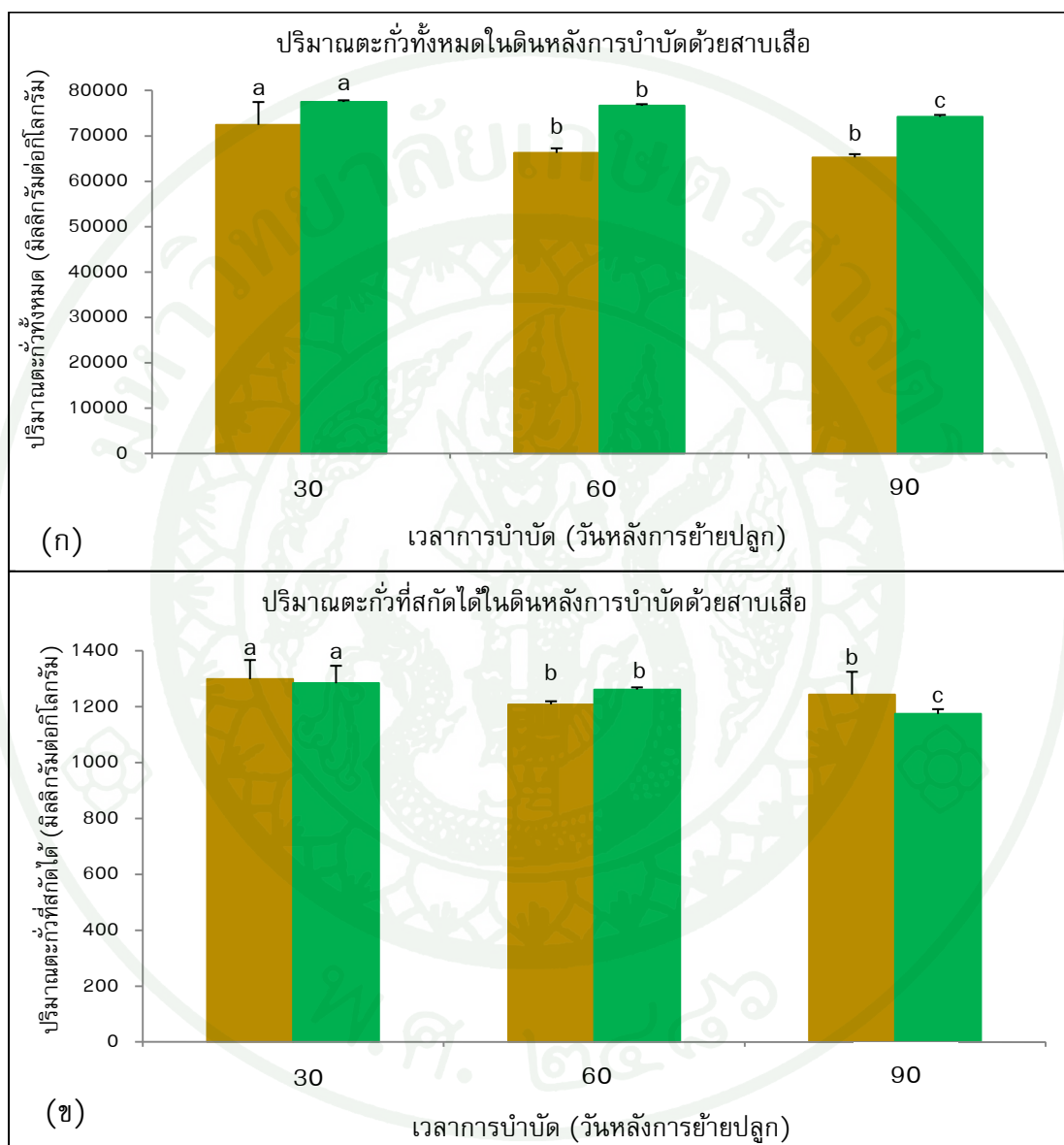
ระยะเวลาเก็บเกี่ยวสาบเสือ (วันหลังการย้ายปลูก)	ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสาบเสือ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในน้ำหนักแห้ง)		ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสาบเสือที่เจริญเติบโตในดินปนเปื้อนตะกั่วสูงกว่าสาบเสือที่เจริญเติบโตในดินไม่ปนเปื้อน (เท่า)
	ดินไม่ปนเปื้อนตะกั่ว	ดินปนเปื้อนตะกั่ว	
ชนิดชุดปลูก			
30	0.6	7.6	11.7
60	0.5	16.9	36.1
90	1.2	19.5	16.0
ชนิดกิ่งปักชำ			
30	0.05	0.3	6.6
60	0.2	1.6	9.8
90	0.5	4.9	9.0

2.1.4 ปริมาณตะกั่วในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเสือ

ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดขุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดขุดปลูก ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $72,436.9 \pm 5,046.9$, $66,263.8 \pm 1,013.1$ และ $65,267.1 \pm 730.2$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดกิ่งปักชำ ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $77,494.4 \pm 372.3$, $76,646.2 \pm 368.9$ และ $74,218.3 \pm 428.0$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 4 เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดขุดปลูก ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณตะกั่วทั้งหมดสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ ณ ระยะเวลา 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และปริมาณตะกั่วทั้งหมดหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดกิ่งปักชำ ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณตะกั่วทั้งหมดสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะเวลาการบำบัด ดังแสดงในภาพที่ 15ก และพบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดต้นพันธุ์ของสาบเสือและระยะเวลาบำบัด ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดิน ดังแสดงในตารางผนวกที่ 4

ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดขุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดขุดปลูก ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $1,298.3 \pm 68.4$, $1,207.5 \pm 11.6$ และ $1,243.3 \pm 81.4$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ และปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดกิ่งปักชำ ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $1,283.4 \pm 62.8$, $1,261.0 \pm 7.9$ และ $1,173.7 \pm 17.2$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 5 เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าปริมาณตะกั่วที่สกัดได้หลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดขุดปลูก ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณตะกั่วที่สกัดได้สูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ ณ ระยะเวลา 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และปริมาณตะกั่วที่สกัดได้หลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดกิ่งปักชำ ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณตะกั่วที่สกัดได้สูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกระยะเวลาการบำบัด ดังแสดงในภาพที่ 15ข และพบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างชนิดต้นพันธุ์ของสาบเสือและระยะเวลาบำบัด ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในดิน ดังแสดงในตารางผนวกที่ 5

สาบเลื้อชนิดชุดปลูกมีศักยภาพในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว โดยสามารถบำบัดปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินก่อนการบำบัดซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $75,529.4 \pm 2936.0$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้มีปริมาณลดลงซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $65,267.1 \pm 730.2$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก



ภาพที่ 15 ปริมาณตะกั่วทั้งหมด (ก) และปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ (ข) ในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเลื้อชนิดชุดปลูก (■) และชนิดกิ่งปักชำ (■) ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก

เมื่อประเมินศักยภาพของสาบเสือในการเป็น hyperaccumulator ตามหลักเกณฑ์พิจารณาซึ่งได้กล่าวไว้ข้างต้น พบว่าการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยการปลูกสาบเสือชนิดกิ่งปักชำไม่เข้าเกณฑ์พิจารณาทั้ง 4 ข้อ ดังแสดงในตารางที่ 9 และการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยการปลูกสาบเสือชนิดชุดปลูกเข้าเกณฑ์ 1 ใน 4 ข้อ คือมีปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่วสูงกว่าสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่ไม่ปนเปื้อนสูงกว่า 10 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 8 แต่เมื่อพิจารณาความเหมาะสมในการจัดเป็น hyperaccumulator พบว่าผลการทดสอบความสามารถในการบำบัดดินของสาบเสือยังไม่เข้าเกณฑ์ของพืชที่เป็น hyperaccumulator มีสาเหตุมาจากปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในดินจากพื้นที่ลานตะกอนหางแร่ซึ่งเป็นดินที่เลือกใช้ในการศึกษา มีปริมาณสูงและก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสาบเสือ ทำให้สาบเสือสามารถดูดใช้และสะสมตะกั่วได้ในปริมาณต่ำ จึงไม่เข้าเกณฑ์พิจารณาของ hyperaccumulator

เมื่อเปรียบเทียบศักยภาพในการดูดใช้และสะสมตะกั่วของสาบเสือชนิดกิ่งปักชำและชนิดชุดปลูกที่ปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ตามหลักเกณฑ์ทั้ง 4 ข้อดังที่ได้กล่าวมาแล้ว พบว่าสาบเสือชนิดชุดปลูกมีศักยภาพในการดูดใช้และสะสมตะกั่วสูงกว่าสาบเสือชนิดกิ่งปักชำตามเกณฑ์ทั้ง 4 ข้อ คือ 1) สาบเสือชนิดชุดปลูกมีปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินสูงกว่าสาบเสือชนิดกิ่งปักชำ 2) สาบเสือชนิดชุดปลูกมีค่า TF สูงกว่าสาบเสือชนิดกิ่งปักชำ 3) สาบเสือชนิดชุดปลูกมีค่า BAF สูงกว่าสาบเสือชนิดกิ่งปักชำ และ 4) ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสาบเสือชนิดชุดปลูกที่เจริญเติบโตในพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่วสูงกว่าสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่ไม่ปนเปื้อนสูง ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าส่วนเหนือดินของสาบเสือชนิดกิ่งปักชำที่เจริญเติบโตในพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่ว แสดงให้เห็นว่าสาบเสือชนิดชุดปลูกมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่วต่อไป

เมื่อพิจารณาถึงปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก พบว่ามีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นแต่ปริมาณตะกั่วทั้งหมดลดลง ซึ่งรูปของตะกั่วที่สกัดได้ที่เพิ่มสูงขึ้นในดินอาจก่อให้เกิดการแพร่กระจายของตะกั่วไปยังพื้นที่โดยรอบและก่อให้เกิดปัญหามลพิษขึ้น (Lin, 2002) และเมื่อพิจารณาปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ ณ ระยะเวลา 60 วันหลังการย้ายปลูก พบว่ามีตะกั่วต่ำกว่า ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก จากผลการทดลองดังกล่าวบ่งชี้ได้ว่าเมื่อระยะเวลาในการปลูกสาบเสือเพิ่มมากขึ้น การปลดปล่อยสารพิษจากรากพืชจะเพิ่มมากขึ้น (Kim *et al.*, 2009) และเปลี่ยนรูปตะกั่วทั้งหมดเป็นตะกั่วที่สกัดได้ในการศึกษาวิจัยเพื่อนำสาบเสือมาใช้ในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว จึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งในการศึกษาระยะเวลาเก็บเกี่ยวสาบเสือหลังการบำบัดดินที่เหมาะสม เพื่อให้สาบเสือมีความสามารถในการสะสมตะกั่วสูงสุด และมีปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในดินไม่สูงจนก่อให้เกิดการแพร่กระจายในดินโดยรอบ

ตารางที่ 9 การพิจารณาศักยภาพของต้นพันธุ์สาบเสือชนิดชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำในการดูดใช้และสะสมตะกั่วได้ในปริมาณสูง (hyperaccumulator)

หลักเกณฑ์พิจารณา	ต้นพันธุ์สาบเสือชนิดชุดปลูก		ต้นพันธุ์สาบเสือชนิดกิ่งปักชำ	
	ผลการบำบัด	ผลการพิจารณา	ผลการบำบัด	ผลการพิจารณา
1. ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของพืชสูงกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	<1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่เข้าเกณฑ์	<1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่เข้าเกณฑ์
2. ค่า translocation factor (TF) มากกว่า 1	<1	ไม่เข้าเกณฑ์	<1	ไม่เข้าเกณฑ์
3. ค่า bioaccumulation factor (BAF) มากกว่า 1	<1	ไม่เข้าเกณฑ์	<1	ไม่เข้าเกณฑ์
4. ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่วสูงกว่าสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่ไม่ปนเปื้อน 10-500 เท่า	>10 เท่า	เข้าเกณฑ์	<10 เท่า	ไม่เข้าเกณฑ์

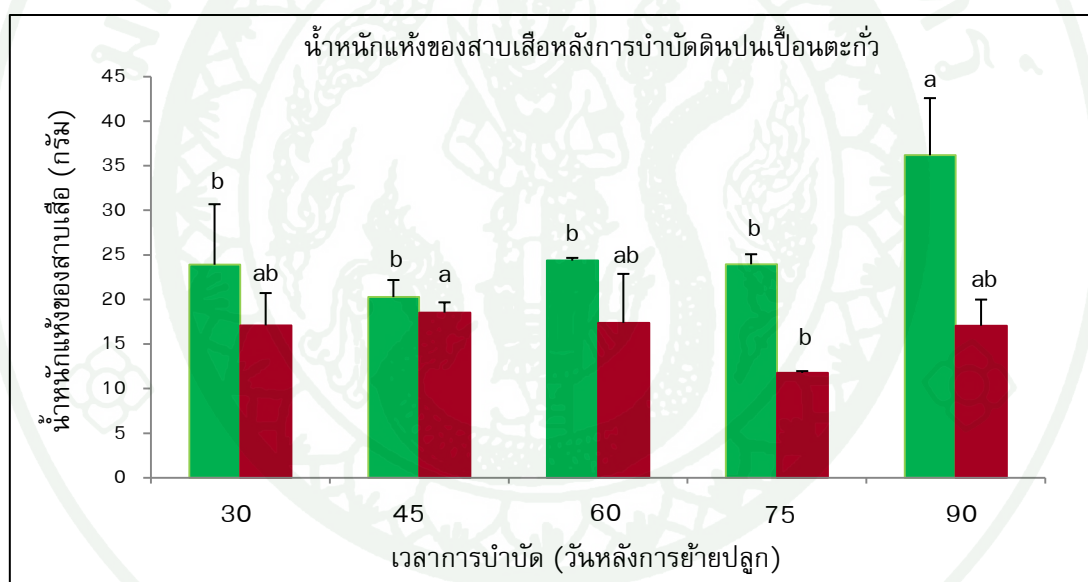
2.2 การศึกษาระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวสาบเสือที่เหมาะสมในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว

2.2.1 การเจริญเติบโตของสาบเสือในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว

การบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยการปลูกสาบเสือชนิดชุดปลูก น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของสาบเสือในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 23.9 ± 6.8 , 20.3 ± 1.9 , 24.4 ± 0.3 , 24.0 ± 1.1 และ 36.2 ± 6.4 กรัมตามลำดับ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 6 เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน พบว่าส่วนเหนือดินของสาบเสือหลังการบำบัด ณ

ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก มีน้ำหนักแห้งสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, และ 75 วันหลังการย้ายปลูก ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในภาพที่ 16

น้ำหนักแห้งส่วนใต้ดินของสาบเสือในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 17.1 ± 3.6 , 18.5 ± 1.2 , 17.4 ± 5.5 , 11.8 ± 0.2 และ 17.1 ± 9 กรัมตามลำดับ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 6 เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของน้ำหนักแห้งส่วนใต้ดิน พบว่าส่วนใต้ดินของสาบเสือหลังการบำบัด ณ ระยะเวลา 45 วันหลังการย้ายปลูก มีน้ำหนักแห้งสูงสุด และไม่แตกต่างทางสถิติกับ ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ ณ ระยะเวลา 75 วันหลังการย้ายปลูก ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในภาพที่ 16



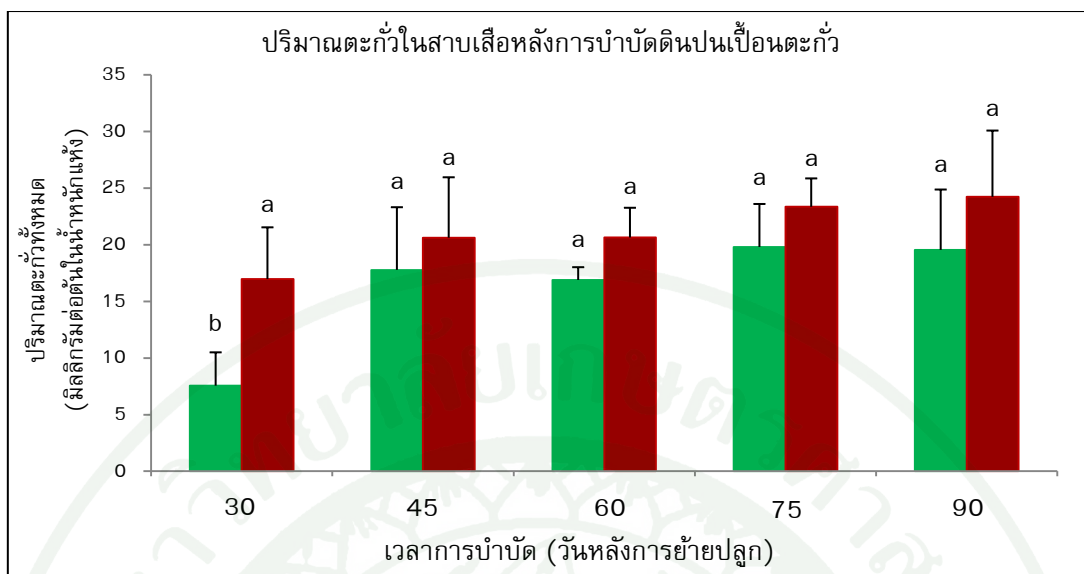
ภาพที่ 16 น้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน (■) และส่วนใต้ดิน (■) ของสาบเสือชนิดชุดปลูกหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก

2.2.2 ปริมาณตะกั่วในسابเลื้อ

การบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยการปลูกسابเลื้อชนิดขุดปลูก พบว่า ตะกั่วในส่วนเหนือดินของسابเลื้อหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 7.6 ± 2.9 , 17.8 ± 5.5 , 16.9 ± 1.1 , 19.8 ± 3.8 และ 19.5 ± 5.3 มิลลิกรัมต่อต้นในน้ำหนักแห้งตามลำดับ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 7 เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดิน พบว่าตะกั่วในส่วนเหนือดินหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 75 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณตะกั่วสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับ ณ ระยะเวลา 45, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในภาพที่ 17

ตะกั่วในส่วนใต้ดินของسابเลื้อหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 17.0 ± 4.6 , 20.6 ± 5.3 , 20.6 ± 2.6 , 23.4 ± 2.5 และ 24.2 ± 5.9 มิลลิกรัมต่อต้นในน้ำหนักแห้งตามลำดับ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 7 เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณตะกั่วในส่วนใต้ดินของسابเลื้อหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว พบว่าตะกั่วในส่วนใต้ดินหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในภาพที่ 17

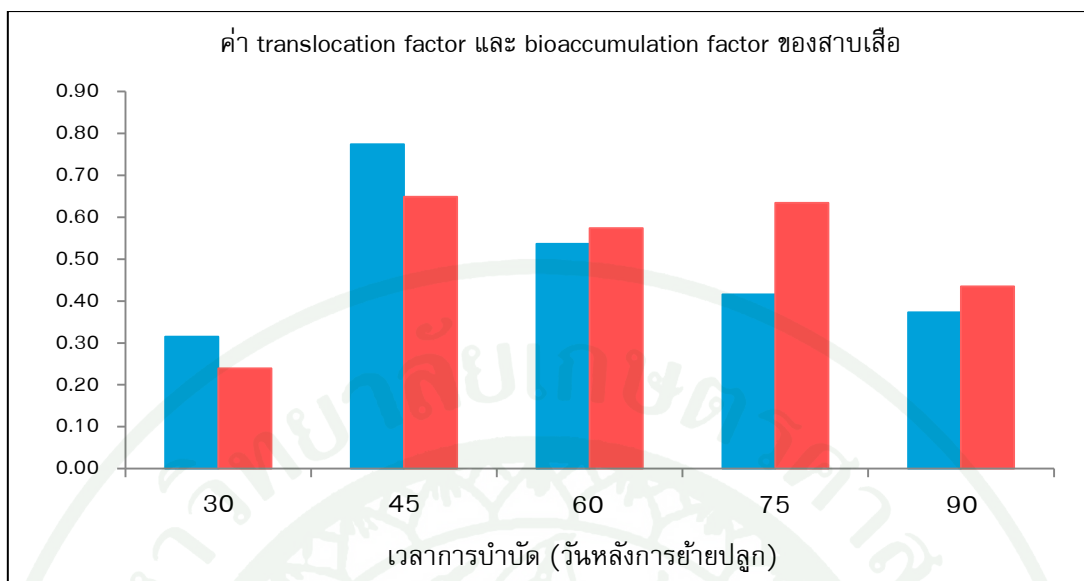
ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มคงที่ ณ ระยะเวลา 45 วันหลังย้ายปลูก ปริมาณตะกั่วในส่วนใต้ดินมีแนวโน้มคงที่ ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก และเมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวسابเลื้อที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว พบว่า ณ ระยะเวลา 45 วันหลังการย้ายปลูกเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวسابเลื้อ เนื่องจากมีปริมาณตะกั่วสะสมในต้นทั้งส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินสูง และทุกระยะเวลาการเก็บเกี่ยวسابเลื้อ พบว่าตะกั่วในส่วนใต้ดินของسابเลื้อมีปริมาณสูงกว่าส่วนเหนือดิน เนื่องจากตะกั่วสามารถรวมตัวกับซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) และฟอสเฟตไอออน (PO_4^{2-}) และตกตะกอนอยู่บริเวณผนังเซลล์ของรากพืช (Baker *et al.*, 2000) อีกทั้งตะกั่วยังสามารถจับกับสารอินทรีย์บริเวณรากพืชเกิดเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน (ligand) ซึ่งลดความสามารถในการเคลื่อนที่ของตะกั่ว (Rascio and Navari-Izzo, 2011) จึงทำให้ปริมาณตะกั่วในส่วนใต้ดินของسابเลื้อสูงกว่าในส่วนเหนือดินของسابเลื้อ



ภาพที่ 17 ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดิน (■) และส่วนใต้ดิน (■) ของสาบเสือชนิดชุดปลูก หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก

2.2.3 ค่า translocation factor (TF) และค่า bioaccumulation factor (BAF)

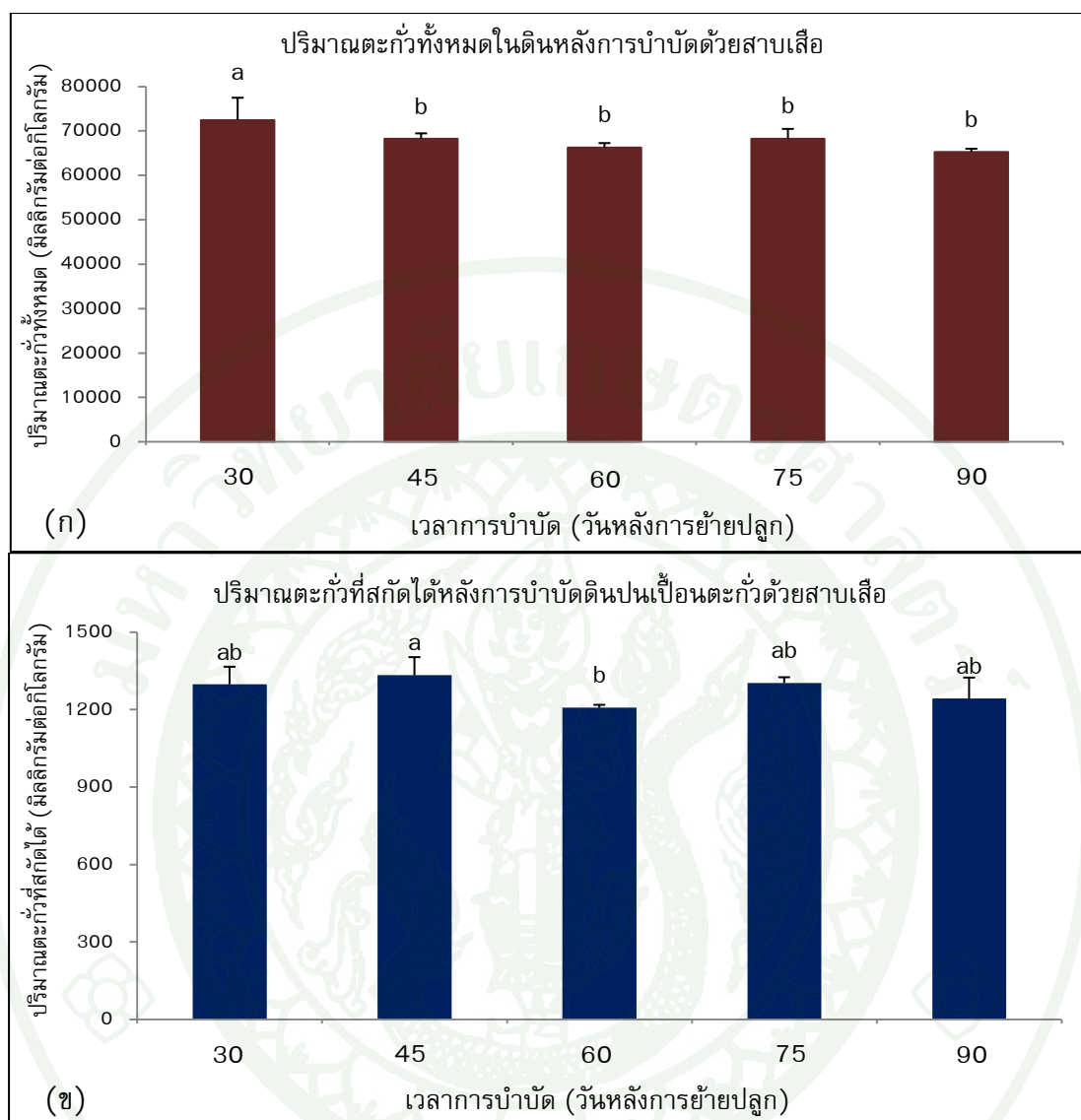
การบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยการปลูกสาบเสือโดยใช้ต้นพันธุ์ชุดชุดปลูก พบค่า TF ของสาบเสือหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก เท่ากับ 0.32, 0.77, 0.54, 0.42 และ 0.37 ตามลำดับ และค่า BAF ของสาบเสือหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก เท่ากับ 0.24, 0.65, 0.57, 0.63 และ 0.43 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 8 และภาพที่ 18 พบว่าเมื่อเวลาการบำบัด ณ ระยะเวลา 45 วันหลังการย้ายปลูกมีค่า TF และ BAF สูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ณ ระยะเวลา 45 วันหลังการย้ายปลูก สาบเสือสามารถดูดใช้และสะสมตะกั่วสูงสุด



ภาพที่ 18 ค่า translocation factor (TF) (■) และค่า bioaccumulation factor (BAF) (■) ของสาบเลื้อชนิดชุดปลูกหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก

2.2.4 ปริมาณตะกั่วในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเลื้อ

การบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยการปลูกสาบเลื้อชนิดชุดปลูก ตะกั่วทั้งหมดในดินหลังการบำบัด ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $72,436.9 \pm 5,046.9$, $68,227.3 \pm 1,333.3$, $66,263.8 \pm 1,207.5$, $68,250.0 \pm 2,215.6$ และ $65,267.1 \pm 730.2$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 9 เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณตะกั่วทั้งหมดหลังการบำบัด พบว่าตะกั่วทั้งหมดหลังการบำบัด ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณตะกั่วทั้งหมดสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ ณ ระยะเวลา 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในภาพที่ 19ก



ภาพที่ 19 ปริมาณตะกั่วทั้งหมด (ก) และปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ (ข) ในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดชุดปลูก ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก

ตะกั่วที่สกัดได้ในดินหลังการบำบัด ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ $1,298.3 \pm 68.4$, $1,333.3 \pm 70.6$, $1,207.5 \pm 11.6$, $1,303.8 \pm 22.3$ และ $1,243.3 \pm 81.4$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 9 เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณตะกั่วที่สกัดได้หลังการบำบัดพบว่าตะกั่วที่สกัดได้หลังการบำบัด ณ ระยะเวลา 45 วันหลังการย้ายปลูก มีปริมาณตะกั่วที่สกัดได้สูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับ ณ ระยะเวลา 30, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในภาพที่ 19ข

การบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยการปลูกสาบเสือชนิดชุดปลูกระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก พบว่าปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินลดลงและมีแนวโน้มคงที่ ณ ระยะเวลา 45 วันหลังการย้ายปลูก และปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ มีปริมาณเพิ่มขึ้น ณ ระยะเวลา 75 วันหลังการย้ายปลูก เนื่องจากอิทธิพลของสารขับจากรากพืช มีผลให้เกิดการเปลี่ยนรูปของ ตะกั่วจากรูปที่เคลื่อนย้ายไม่ได้มาสู่รูปที่เคลื่อนย้ายได้ Kim *et al.* (2009) พบความสัมพันธ์ ของปริมาณสารขับจากรากพืชที่แปรผันตามการเจริญเติบโตของพืช และ Liu *et al.* (2008) พบว่าสารขับจากรากพืชมีความสำคัญต่อปริมาณโลหะหนักในรูปที่พืชสามารถดูดใช้และสะสม ได้ และเมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวสาบเสือที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดดิน ปนเปื้อนตะกั่ว พบว่า ณ ระยะเวลา 45 วันหลังการย้ายปลูกเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการ เก็บเกี่ยวสาบเสือ เนื่องจากปริมาณตะกั่วทั้งหมดลดลง และยังลดโอกาสในการแพร่กระจายของ ตะกั่วซึ่งมีอิทธิพลมาจากสารขับรากพืชอีกด้วย

จากข้อมูลดังกล่าวจึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกระยะเวลาใน การเก็บเกี่ยวสาบเสือที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว โดยการใช้สาบเสือชนิดชุด ปลูกเป็นต้นพันธุ์ทำการปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่ว และเก็บเกี่ยว ณ ระยะเวลา 45 วันหลังการ ย้ายปลูก เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวสาบเสือมีแนวโน้มในการดูดใช้และสะสมตะกั่วคงที่ทั้งใน ส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน สอดคล้องกับปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังการบำบัดที่มี แนวโน้มลดลงคงที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสามารถบ่งชี้ได้ว่า ณ ระยะเวลาการเก็บเกี่ยว สาบเสือที่ 45 วันหลังการย้ายปลูก เป็นเวลาในการเก็บเกี่ยวสาบเสือที่เหมาะสมสำหรับการ บำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว โดยการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 45 วัน สามารถบำบัด ดินที่มีการปนเปื้อนของตะกั่วปริมาณ $75,529.4 \pm 2936.0$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้ลดลงเหลือ ปริมาณตะกั่ว $68,227.3 \pm 1,333.3$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 9 ของการบำบัดตะกั่ว ผลการศึกษาระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวสาบเสือสามารถนำไป ประยุกต์ใช้ในการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่วในพื้นที่จริง ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการปลูกพืช บำบัด และเพิ่มฤดูปลูกของพืชให้มีความถี่เพิ่มขึ้น โดยในระยะเวลา 1 ปีสามารถปลูกสาบเสือ เพื่อบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วได้ 8 ฤดูปลูก ซึ่งทำให้การบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่วด้วยเทคนิค phytoremediation มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามเมื่อประเมินศักยภาพของสาบเสือในการเป็น hyperaccumulator ของตะกั่ว ณ ระยะเวลา 45 วันหลังการย้ายปลูก ซึ่งเป็นระยะเวลาเก็บเกี่ยวสาบเสือที่เหมาะสม สำหรับการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว โดยพิจารณาตามหลักเกณฑ์ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น พบว่า สาบเสือมีลักษณะไม่เข้าเกณฑ์ของพืชที่เป็น hyperaccumulator ของตะกั่ว ซึ่งการพิจารณา ณ ระยะเวลา 45 วันหลังการย้ายปลูก พบปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินเฉลี่ยเท่ากับ 864.6 ± 198.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบค่า TF เท่ากับ 0.77 และ BAF เท่ากับ 0.65 และปริมาณตะกั่วในส่วน เหนือดินของสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่วสูงกว่าสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่

ไม่ปนเปื้อนตะกั่ว 11.24 เท่า ซึ่งมีสาเหตุมาจากระดับความเป็นพิษของตะกั่วในดินพื้นที่ลานตะกอนทางแร่ ซึ่งเป็นดินที่เลือกใช้ในการศึกษาที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และมีผลโดยตรงต่อศักยภาพในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว และจากการสำรวจการแพร่กระจายของพืชในผลการทดลองที่ 1.3 พบสาบเสือที่เจริญเติบโตในพื้นที่โรงแต่งแร่ซึ่งเข้าเกณฑ์เป็น hyperaccumulator ของตะกั่วเพียงพื้นที่เดียว จึงสันนิษฐานได้ถึงความสามารถของสาบเสือในการทนต่อระดับความเป็นพิษของตะกั่วในดิน เมื่อมีการปนเปื้อนของตะกั่วในดินสูงกว่าปริมาณตะกั่วที่พบในพื้นที่โรงแต่งแร่ โดยเฉพาะปริมาณตะกั่วที่สกัดได้เป็นรูปที่พืชสามารถดูดใช้และสะสมได้ จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสาบเสือ และมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว

2.3 การใช้ประโยชน์สารสกัดหยาบจากสาบเสือซึ่งเป็นพืชบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม

2.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดหยาบจากสาบเสือในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม

(1) การทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดหยาบของสาบเสือหลังการบำบัดดินปนเปื้อน ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก

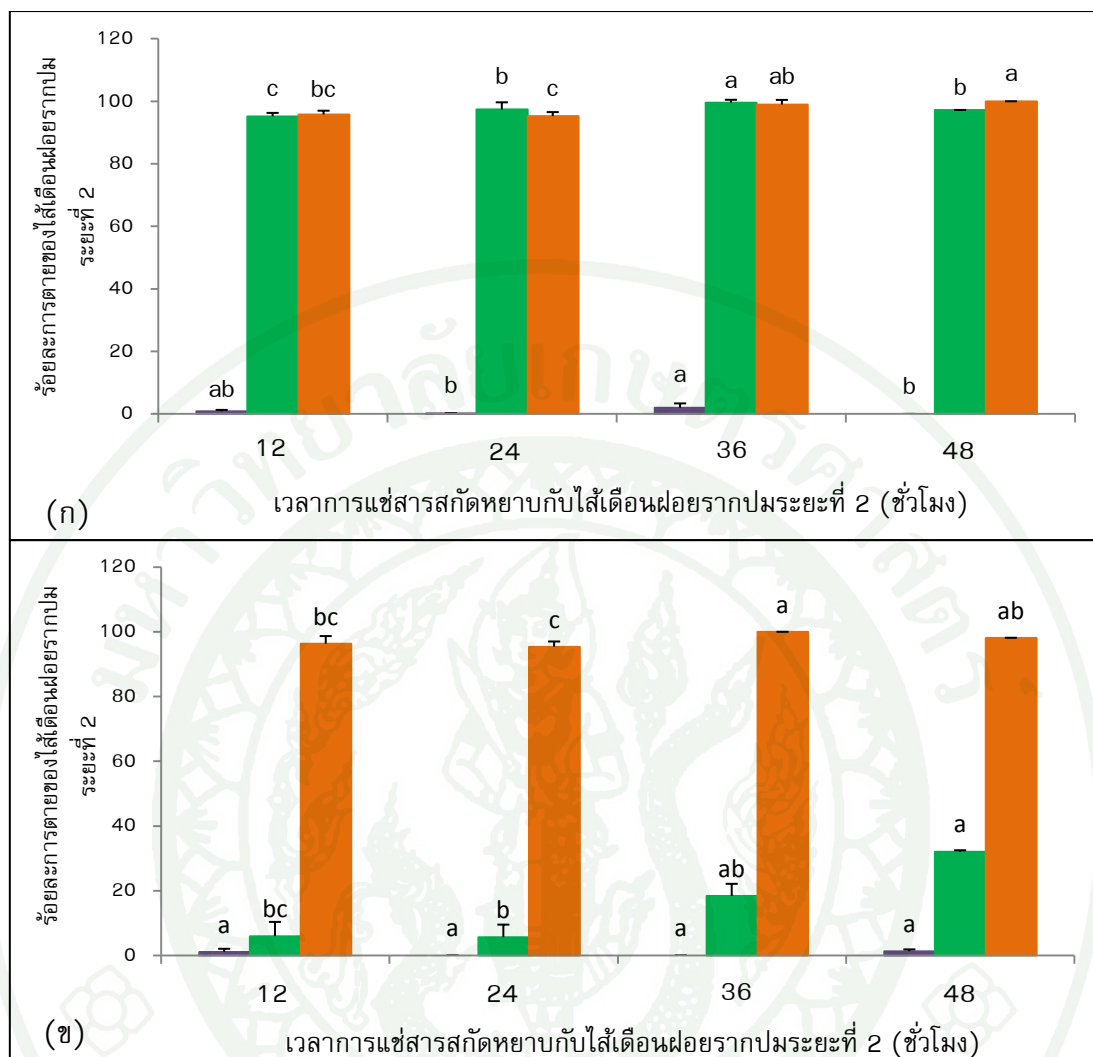
จากการทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดหยาบความเข้มข้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 มีร้อยละการตายเฉลี่ย ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 0.8, 0.2, 2.0 และ 0.0 ตามลำดับ ในส่วนเหนือดิน (ตารางผนวกที่ 10) และเท่ากับ 1.1, 0.0, 0.0 และ 1.2 ตามลำดับ ในส่วนใต้ดิน (ตารางผนวกที่ 11) เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของร้อยละการตาย พบว่า ณ เวลา 36 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเวลาอื่นที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในส่วนเหนือดิน (ภาพที่ 20ก) และ ณ เวลา 48 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับเวลาอื่น ในส่วนใต้ดิน (ภาพที่ 20ข)

จากการทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดหยาบความเข้มข้นร้อยละ 5 ส่งผลให้ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 มีร้อยละการตายเฉลี่ย ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 95.2, 97.4, 99.5 และ 97.2 ตามลำดับ ในส่วนเหนือดิน (ตารางผนวกที่ 10) และเท่ากับ 6.0, 5.6, 18.4 และ 32.1 ตามลำดับ ในส่วนใต้ดิน (ตารางผนวกที่ 11) เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติร้อยละการตาย พบว่า ณ เวลา 36 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเวลาอื่นที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ

ละ 95 ในส่วนเหนือดิน (ภาพที่ 20ก) และ ณ เวลา 48 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับเวลา 36 ชั่วโมง ในส่วนใต้ดิน (ภาพที่ 20ข)

จากการทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดหยาบความเข้มข้นร้อยละ 10 ส่งผลให้ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 มีร้อยละการตายเฉลี่ย ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 95.8, 95.3, 99.0 และ 100.0 ตามลำดับ ในส่วนเหนือดิน (ตารางผนวกที่ 10) และเท่ากับ 96.3, 95.4, 100.0 และ 98.2 ตามลำดับ ในส่วนใต้ดิน (ตารางผนวกที่ 11) โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติร้อยละการตาย พบว่า ณ เวลา 48 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับเวลา 36 ชั่วโมง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในส่วนเหนือดิน (ภาพที่ 20ก) และ ณ เวลา 36 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับเวลา 48 ชั่วโมง ในส่วนใต้ดิน (ภาพที่ 20ข)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดหยาบกับระยะเวลา มีอิทธิพลต่อการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 ดังแสดงในตารางผนวกที่ 10 และ 11



ภาพที่ 20 ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแพร่สารสกัดหยาบจาก ส่วนเหนือดิน (ก) และส่วนใต้ดิน (ข) ของสาบเสือความเข้มข้นร้อยละ 1 (■), 5 (■) และ 10 (■) ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมงหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก

(2) การทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดหยาบของสาบเสือหลังการบำบัดดินปนเปื้อน ณ ระยะเวลา 60 วันหลังการย้ายปลูก

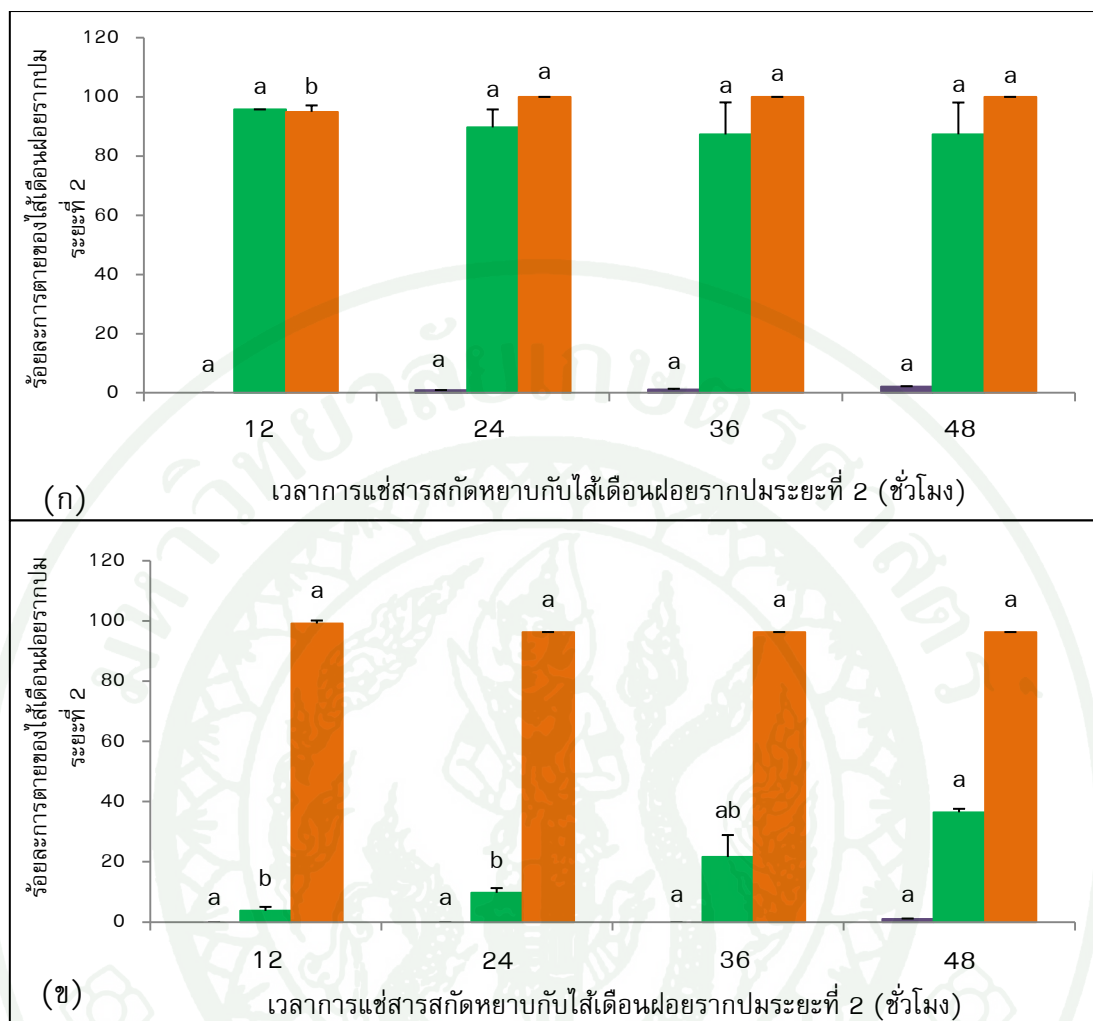
จากการทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดหยาบความเข้มข้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 มีร้อยละการตายเฉลี่ย ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 0.0, 0.9, 1.1 และ 2.1 ตามลำดับ ในส่วนเหนือดิน (ตารางผนวกที่ 12) และ เท่ากับ 0.0, 0.0, 0.0 และ 0.3 ตามลำดับ ในส่วนใต้ดิน (ตารางผนวกที่ 13) เมื่อทำการ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของร้อยละการตาย พบว่า ณ เวลา 48 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติจากเวลาอื่น ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน (ภาพที่ 21ก และ 21ข)

จากการทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดหยาบความเข้มข้นร้อยละ 5 ส่งผลให้ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 มีร้อยละการตายเฉลี่ย ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 95.8, 89.7, 87.3 และ 87.4 ตามลำดับ ในส่วนเหนือดิน (ตารางผนวกที่ 12) และเท่ากับ 3.7, 9.7, 21.6 และ 36.5 ตามลำดับ ในส่วนใต้ดิน (ตารางผนวกที่ 13) เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของร้อยละการตาย พบว่า ณ เวลา 12 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติจากเวลาอื่น ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในส่วนเหนือดิน (ภาพที่ 21ก) และ ณ เวลา 36 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเวลา 12 ชั่วโมง ในส่วนใต้ดิน (ภาพที่ 21ข)

จากการทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดหยาบความเข้มข้นร้อยละ 10 ส่งผลให้ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 มีร้อยละการตายเฉลี่ย ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 95.0, 100.0, 100.0 และ 100.0 ตามลำดับ ในส่วนเหนือดิน (ตารางผนวกที่ 12) และเท่ากับ 99.2, 96.3, 96.3 และ 96.3 ตามลำดับ ในส่วนใต้ดิน (ตารางผนวกที่ 13) เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติร้อยละการตาย พบว่า ณ เวลา 24, 36 และ 48 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเวลา 12 ชั่วโมง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในส่วนเหนือดิน (ภาพที่ 21ก) และ ณ เวลา 12 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเวลาอื่น ในส่วนใต้ดิน (ภาพที่ 21ข)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดหยาบกับระยะเวลา มีอิทธิพลต่อการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 12 และ 13



ภาพที่ 21 ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแพร่สักรักตหายจาก ส่วนเหนือดิน (ก) และส่วนใต้ดิน (ข) ของสาบเสือความเข้มข้นร้อยละ 1 (■), 5 (■) และ 10 (■) ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมงหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 60 วันหลังการย้ายปลูก

(3) การทดสอบประสิทธิภาพสารสักรักตหายของสาบเสือหลังการบำบัดดินปนเปื้อน ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก

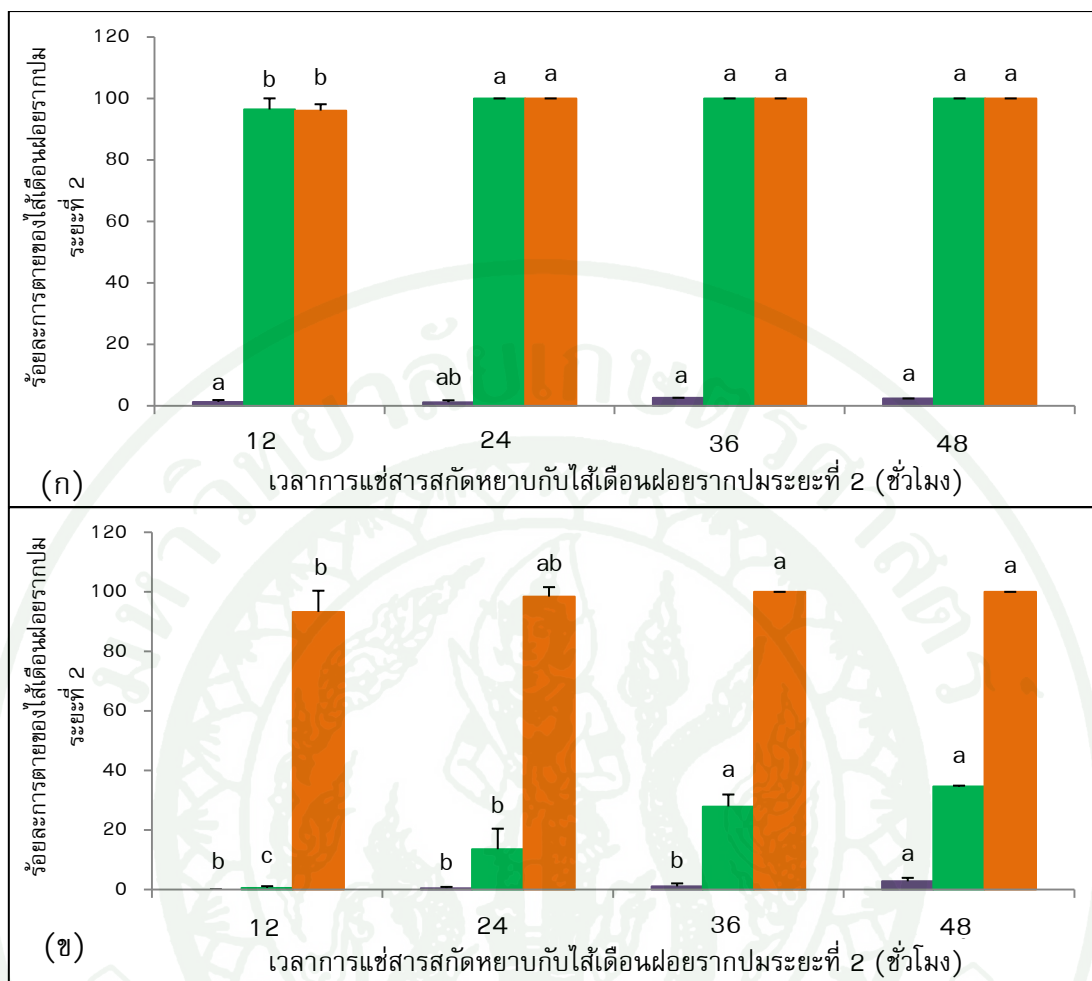
จากการทดสอบประสิทธิภาพสารสักรักตหายความเข้มข้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 มีร้อยละการตายเฉลี่ย ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 1.2, 1.1, 2.6 และ 2.3 ตามลำดับ ในส่วนเหนือดิน (ตารางผนวกที่ 14) และ เท่ากับ 0.0, 0.4, 1.0 และ 2.7 ตามลำดับ ในส่วนใต้ดิน (ตารางผนวกที่ 15) เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของร้อยละการตาย พบว่า ณ เวลา 36 ชั่วโมง มีร้อยละการ

ตายสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติจากเวลาอื่น ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในส่วนเหนือดิน (ภาพที่ 22ก) และ ณ เวลา 48 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับเวลา 36 ชั่วโมง ในส่วนใต้ดิน (ภาพที่ 22ข)

จากการทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดหยาบความเข้มข้นร้อยละ 5 ส่งผลให้ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 มีร้อยละการตายเฉลี่ย ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 96.4, 100.0, 100.0 และ 100.0 ตามลำดับ ในส่วนเหนือดิน (ตารางผนวกที่ 14) และเท่ากับ 0.5, 13.5, 27.9 และ 34.6 ตามลำดับ ในส่วนใต้ดิน (ตารางผนวกที่ 15) เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของร้อยละการตาย พบว่า ณ เวลา 24, 36 และ 48 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเวลา 12 ชั่วโมง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในส่วนเหนือดิน (ภาพที่ 22ก) และ ณ เวลา 48 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับเวลา 36 ชั่วโมง ในส่วนใต้ดิน (ภาพที่ 22ข)

จากการทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดหยาบความเข้มข้นร้อยละ 10 ส่งผลให้ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 มีร้อยละการตายเฉลี่ย ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 96.1, 100.0, 100.0 และ 100.0 ตามลำดับ ในส่วนเหนือดิน (ตารางผนวกที่ 14) และเท่ากับ 93.3, 98.4, 100.0 และ 100.0 ตามลำดับ ในส่วนใต้ดิน (ตารางผนวกที่ 15) เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติร้อยละการตาย พบว่า ณ เวลา 24, 36 และ 48 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเวลา 12 ชั่วโมง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในส่วนเหนือดิน (ภาพที่ 22ก) และ ณ เวลา 36 และ 48 ชั่วโมง มีร้อยละการตายสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับเวลา 24 ชั่วโมง แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเวลา 12 ชั่วโมง ในส่วนใต้ดิน (ภาพที่ 22ข)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดหยาบกับระยะเวลา มีอิทธิพลต่อการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 ดังแสดงในตารางผนวกที่ 14 และ 15



ภาพที่ 22 ร้อยละการตายของไม้เถื่อนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแช่สารสกัดหยาบจาก ส่วนเหนือดิน (ก) และส่วนใต้ดิน (ข) ของสาบเสือความเข้มข้นร้อยละ 1 (■), 5 (■) และ 10 (■) ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก

การทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดหยาบของสาบเสือในการควบคุม ไม้เถื่อนฝอยรากปม พบว่าสารสกัดหยาบจากส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของสาบเสือที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีประสิทธิภาพในการควบคุมไม้เถื่อนฝอยรากปมสูงสุด ส่งผลให้ไม้เถื่อนฝอยรากปมตายมากกว่าร้อยละ 90 ณ ระยะเวลา 24 ชั่วโมง รองลงมาคือ ความเข้มข้นร้อยละ 5 และความเข้มข้นร้อยละ 1 ตามลำดับ ซึ่งสารสกัดหยาบจากส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของสาบเสือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 ส่งผลให้ร้อยละการตายของไม้เถื่อนฝอยรากปมต่ำกว่าร้อยละ 20 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการควบคุมไม้เถื่อนฝอยรากปมต่ำ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ สืบศักดิ์ และคณะ (2535) ทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดด้วยน้ำของพืช 9 ชนิด คือ สะเดา ดาวเรือง สาบเสือ ละหุ่ง พิกุล ยี่โถ ประทัดจีน เลี่ยน และยูคาลิปตัส ในการควบคุมไม้เถื่อนฝอย

รากปม (*Meloidogyne incognita*) ในห้องปฏิบัติการ พบว่าที่ระดับความเข้มข้นสารสกัดด้วยน้ำต่อน้ำ 1:1 มีความเป็นพิษต่อไส้เดือนฝอยรากปมสูงกว่าที่ระดับความเข้มข้นสารสกัดด้วยน้ำต่อน้ำ 1:10 และใช้เวลา 24 ชั่วโมง มีความเป็นพิษต่อไส้เดือนฝอยรากปมสูงกว่าเวลา 12 ชั่วโมง และผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสาบเสือมีศักยภาพในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม ซึ่งจากการศึกษาผลของ pyrrolizidine alkaloids ในต้นสาบเสือเพื่อลดการเข้าทำลายราก ผักกาดหอมจากไส้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne incognita*) โดย Thoden *et al.* (2007) พบว่า pyrrolizidine alkaloids ที่ความเข้มข้น 70-350 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสกัดมาจากสารสกัดหยาบจากสาบเสือที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีประสิทธิภาพสามารถควบคุมการเข้าทำลายของไส้เดือนฝอยรากปมในผักกาดหอมได้

2.3.2 การตรวจสอบปริมาณตะกั่วทั้งหมดที่ตกค้างหลังสกัดสารสกัดหยาบ

สาบเสือหลังการสกัดสารสกัดหยาบ พบปริมาณตะกั่วทั้งหมดในสารสกัดหยาบจากสาบเสือและกากของสาบเสือหลังการสกัด ดังแสดงในตารางที่ 10

ผลการสกัดสารสกัดหยาบจากสาบเสือหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก พบตะกั่วทั้งหมดในสารสกัดหยาบความเข้มข้นร้อยละ 1, 5 และ 10 และกากหลังการสกัด มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1.4 ± 0.3 , 1.7 ± 0.3 , 3.5 ± 0.9 และ 40.9 ± 6.7 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ในส่วนเหนือดิน และ 1.3 ± 0.1 , 1.6 ± 0.2 , 3.7 ± 0.2 และ 252.3 ± 23.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ในส่วนใต้ดิน เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าในกากหลังการสกัดมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสารสกัดหยาบความเข้มข้นร้อยละ 1, 5 และ 10 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน

ผลการสกัดสารสกัดหยาบจากสาบเสือหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 60 วันหลังการย้ายปลูก พบตะกั่วทั้งหมดในสารสกัดหยาบความเข้มข้นร้อยละ 1, 5 และ 10 และกากหลังการสกัด มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1.4 ± 0.2 , 1.5 ± 0.1 , 2.5 ± 0.1 และ 255.0 ± 4.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ในส่วนเหนือดิน และ 1.9 ± 0.1 , 2.0 ± 0.0 , 2.5 ± 0.3 และ 611.7 ± 7.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ในส่วนใต้ดิน เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าในกากหลังการสกัดมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสารสกัดหยาบความเข้มข้นร้อยละ 1, 5 และ 10 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดิน

ผลการสกัดสารสกัดหยาบจากสาบเสือหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก พบตะกั่วทั้งหมดในสารสกัดหยาบความเข้มข้นร้อยละ 1, 5 และ 10 และกากหลังการสกัด มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 1.5 ± 0.1 , 1.8 ± 0.1 , 3.0 ± 0.7 และ 357.9 ± 18.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ในส่วนเหนื่อดิน และ 1.8 ± 0.2 , 1.8 ± 0.1 , 2.6 ± 0.0 และ $1,360.1 \pm 73.2$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ในส่วนใต้ดิน เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าในกากหลังการสกัดมีปริมาณตะกั่วทั้งหมดสูงสุด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสารสกัดหยาบความเข้มข้นร้อยละ 1, 5 และ 10 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งในส่วนเหนื่อดินและส่วนใต้ดิน

ผลการนำสาบเสือหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก มาทำการสกัดสารสกัดหยาบ แล้ววิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในสารสกัดหยาบและกากของสาบเสือ พบว่าตะกั่วมีการสะสมอยู่ที่กากของสาบเสือหลังการสกัดสารสกัดหยาบปริมาณสูง จึงทำให้ตะกั่วในสารสกัดหยาบจากสาบเสือที่ความเข้มข้นร้อยละ 10, 5 และ 1 มีปริมาณต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ho *et al.* (2008) ศึกษาการดูดใช้และสะสมตะกั่วในโปแก้ว (*Hibiscus cannabinus* L.) โดยใช้ Scanning transmission electron microscopy (STEM) ในการตรวจสอบปริมาณการแพร่กระจายของตะกั่ว พบการแพร่กระจายและการสะสมของตะกั่วในปริมาณสูงในบริเวณ parenchyma ของผนังเซลล์ในส่วนใต้ดินของพืช ภายหลังจากการบำบัดในดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว โดยตะกั่วตกตะกอนกับซิลเฟต คาร์บอเนต และฟอสเฟต ซึ่งจำกัดการเคลื่อนย้ายของตะกั่ว และ Islam *et al.* (2007) พบการแพร่กระจายและการสะสมของตะกั่วในบริเวณผนังเซลล์ในส่วนใต้ดินของต้น Kaju (*Elsholtzia argyi*) ภายหลังจากการบำบัด $Pb(NO_3)_2$ ในการทดลองระบบ hydroponic

นอกจากนี้ยังพบว่าการเลือกใช้ต้นพันธุ์ชนิดกึ่งปักชำสามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อจัดการกับสาบเสือหลังการบำบัดดินเบื้องต้นได้ เนื่องจากพืชชนิดเดียวกันจะมีกระบวนการเมตาบอลิซึมระดับทุติยภูมิเหมือนกัน ส่งผลให้มีการผลิตสารสำคัญ (secondary metabolite) ซึ่งเป็นสารที่พืชสร้างขึ้นมา แต่ไม่มีบทบาทโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช เป็นสารที่พบในพืชบางวงศ์ บางสกุลหรือบางชนิด และพบปริมาณเพียงเล็กน้อย (ลิลลี่ และคณะ, 2549) จากการศึกษาของ Jourand *et al.* (2004) พบสารประกอบกลุ่ม pyrrolizidine alkaloids ซึ่งเป็นสารสำคัญจากกระบวนการเมตาบอลิซึมระดับทุติยภูมิในส่วนเหนื่อดินและส่วนใต้ดินของต้น *Crotalaria sphaerocarpa* จากการปลูกแบบเพาะเมล็ด และผลการศึกษาของ Rosemann (2006) พบสารประกอบกลุ่ม pyrrolizidine alkaloids ใน *Crotalaria sphaerocarpa* จากการเก็บตัวอย่างพืชในพื้นที่ประเทศแอฟริกาใต้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพืชชนิดเดียวกันสามารถผลิตสารสำคัญจากกระบวนการเมตาบอลิซึมระดับทุติยภูมิชนิดเดียวกัน ถึงแม้ว่าจะมีลักษณะของแหล่งที่มาและการเจริญเติบโตของต้นพันธุ์ที่แตกต่างกัน

อย่างไรก็ตามจากการผลการศึกษาพบว่าสารสกัดหยาบและกากของสาบเสือหลังการสกัดมีปริมาณตะกั่วสะสมอยู่แตกต่างกัน ในสารสกัดหยาบที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ในส่วนเหนื่อดินและส่วนใต้ดิน มีปริมาณตะกั่วสะสมโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 3.0 และ 2.9 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินสาบเสือ ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ในการควบคุมไล่เดือนฝอยรากปมได้ ดังนั้นในการพิจารณาเพื่อนำสารสกัดดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ควรมีการควบคุมจำนวนครั้งที่ใช้โดยเฉลี่ยไม่เกิน 135 ครั้ง เพื่อควบคุมปริมาณตะกั่วในดินไม่ให้เกินค่ามาตรฐานคุณภาพดินจากประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติในปี พ.ศ. 2547 ซึ่งมีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม ต้องมีปริมาณการปนเปื้อนของตะกั่วทั้งหมดในดินไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2547ข) และในกากของสาบเสือหลังการสกัดมีตะกั่วสะสมในปริมาณสูง ซึ่งมีแนวทางการจัดการโดยการศึกษาของค้ประกอบทางเคมีด้วยวิธี steam explosion และ Wayman's method ซึ่งเป็นเทคนิคในการแยกองค์ประกอบทางเคมี เพื่อให้ได้องค์ประกอบหลักของพืชสี่ชนิดได้แก่ ส่วนที่ละลายน้ำได้ (water-soluble material fraction) ลิกนินที่มีมวลโมเลกุลต่ำ (methanol-soluble lignin fraction) ลิกนินที่มีมวลโมเลกุลสูง (Klason lignin fraction) และเซลลูโลส (cellulose fraction) ในชิ้นส่วนของพืช ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสารมูลค่าเพิ่มต่างๆ เช่น การผลิตเซลลูโลสบริสุทธิ์เพื่อใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์ การผลิตกาบไม้ การผลิตเยื่อกระดาษ และเรซิน นอกจากนี้เทคนิคดังกล่าวยังเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำโลหะหนักกลับมาใช้ใหม่ จากการบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่วด้วยเทคนิค phytoremediation (พิชญา, 2549; กนกศักดิ์, 2554; Kobayashi *et al.*, 2005)

ตารางที่ 10 ปริมาณตะกั่วในสารสกัดหยาบและกากของسابเสือหลังการสกัด ภายหลังจากบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก

سابเสือหลังการบำบัดดินปนเปื้อน ตะกั่ว	ปริมาณตะกั่วในสารสกัดหยาบจากسابเสือที่ความเข้มข้นต่างๆ ^{1/} (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ปริมาณตะกั่วในกากของسابเสือ หลังการสกัดสารสกัดหยาบ ^{1/} (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
	ร้อยละ 1	ร้อยละ 5	ร้อยละ 10	
ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก				
ส่วนเหนือดิน	1.4±0.3b	1.7±0.3b	3.5±0.9b	40.9±6.7a
ส่วนใต้ดิน	1.3±0.1b	1.6±0.2b	3.7±0.2b	252.3±23.5a
ณ ระยะเวลา 60 วันหลังการย้ายปลูก				
ส่วนเหนือดิน	1.4±0.1b	1.5±0.1b	2.5±0.1b	255.0±4.9a
ส่วนใต้ดิน	1.9±0.1b	2.0±0.0b	2.5±0.3b	611.7±7.5a
ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก				
ส่วนเหนือดิน	1.5±0.1b	1.8±0.1b	3.0±0.7b	357.9±18.8a
ส่วนใต้ดิน	1.8±0.1b	1.8±0.2b	2.6±0.0b	1,360.1±73.2a

หมายเหตุ ^{1/} ย่อยสลายด้วยวิธี wet digestion (Michael *et al.*, 1982)

ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การสำรวจเหมืองแร่เค็มโก อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี พบตะกั่วปริมาณสูงสะสมอยู่ทั้งในดิน ตะกอนดิน น้ำ และพืช ซึ่งพบปริมาณตะกั่วเฉลี่ยสูงสุดใน ดิน > ตะกอนดิน > พืช > น้ำ ตามลำดับ และจากการสำรวจพืชซึ่งเจริญเติบโตในพื้นที่ พบสาบเสือแพร่กระจายตัวสูงในพื้นที่เหมืองแร่ และยังพบว่าสาบเสือเป็น hyperaccumulator ของตะกั่ว
2. การทดสอบศักยภาพของสาบเสือในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง พบว่าสาบเสือมีความเหมาะสมในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว
3. การเลือกชนิดต้นพันธุ์ของสาบเสือที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว พบสาบเสือชนิดชุดปลูกซึ่งมีศักยภาพในการดูดใช้และสะสมตะกั่วเหมาะสมสำหรับการนำไปบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ด้วยเทคนิค phytoremediation
4. การศึกษาระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวสาบเสือที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว โดยการใช้สาบเสือชนิดชุดปลูกเป็นต้นพันธุ์ทำการปลูกในดินปนเปื้อนตะกั่ว พบว่าระยะเวลาการเก็บเกี่ยวสาบเสือที่ 45 วัน เป็นเวลาในการเก็บเกี่ยวสาบเสือที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ส่งผลให้ระยะเวลาในการบำบัดสั้นลง และในระยะเวลา 1 ปี สามารถเพิ่มฤดูปลูกสาบเสือในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วได้ 8 ฤดูปลูก ซึ่งทำให้การบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่วด้วยเทคนิค phytoremediation มีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น
5. แนวทางการจัดการสาบเสือหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว พบว่าสามารถใช้ประโยชน์สารสกัดหยาบจากสาบเสือในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม โดยสารสกัดหยาบจากส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของสาบเสือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 มีประสิทธิภาพในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปมสูง ส่งผลให้ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 ตายสูงกว่าร้อยละ 90 ณ ระยะเวลา 24 ชั่วโมง และการตรวจสอบปริมาณตะกั่วที่ตกค้างหลังสกัดสารสกัดหยาบ พบว่าตะกั่วมีการสะสมอยู่ที่รากของสาบเสือหลังการสกัดสารสกัดหยาบปริมาณสูง จึงส่งผลให้มีปริมาณตะกั่วในสารสกัดหยาบที่ความเข้มข้นร้อยละ 10, 5 และ 1 ในปริมาณต่ำ (1.4, 1.7 และ 3.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในส่วนเหนือดิน และ 1.7, 1.8 และ 2.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในส่วนใต้ดิน ตามลำดับ)

ข้อเสนอแนะ

1. การสำรวจเหมืองแร่เค็มโก อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี การเก็บตัวอย่างพืชซึ่งเจริญเติบโตในพื้นที่เหมืองแร่เค็มโก ควรเลือกตัวอย่างพืชที่มีอายุใกล้เคียงกัน โดยดูได้จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของพืชในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก (w/w) เพื่อลดความผิดพลาดในการประเมินศักยภาพการดูดใช้และสะสมตะกั่วได้ในปริมาณสูงของพืช
2. การทดสอบศักยภาพของสาบเสือในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง สามารถใช้ข้อมูลชนิดของต้นพันธุ์สาบเสือและช่วงเวลาเก็บเกี่ยวสาบเสือที่เหมาะสมในการให้คำแนะนำเพื่อการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่ว ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดพื้นที่ปนเปื้อนตะกั่วให้สูงขึ้น และควรทำการทดลองเพิ่มเติมในดินที่มีปริมาณการปนเปื้อนของตะกั่วแตกต่างกัน เพื่อศึกษาความสามารถในการทนต่อความเป็นพิษของตะกั่ว ซึ่งอาจส่งผลต่อศักยภาพในการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่วด้วยสาบเสือ
3. แนวทางการจัดการสาบเสือหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว สามารถใช้สารสกัดหยาบจากสาบเสือซึ่งมีประสิทธิภาพในการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม เพื่อใช้ในการผลิตสารกำจัดไส้เดือนฝอยต่อไป และควรทำการทดลองเพิ่มเติมถึงประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบกับพืชที่มีการเข้าทำลายจากไส้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne* spp.)

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กนกศักดิ์ อุดมสิน. 2554. ศักยภาพของسابเสื่อในการบำบัดดินที่ปนเปื้อนตะกั่ว และ การศึกษาปริมาณตะกั่วจากองค์ประกอบของพืชด้วยวิธี **Steam Explosion** และ **Wayman's Method**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2539. **มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง**. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html#s1, 22 กุมภาพันธ์ 2554.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2547ก. **เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการของสารเคมีเฉพาะเรื่อง: ตะกั่ว**. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2547ข. **มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์**. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_soil01.html#s2, 22 กุมภาพันธ์ 2554.
- กรมวิชาการเกษตร. 2550. **สรุปผลงานวิจัย 10 ปี สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร (พ.ศ. 2540-2549)**. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และ จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2542. **แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 7. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธนาวรรณ พาณิชพัฒน์. 2546. **ประสิทธิภาพการดูดซับสารตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินโดยใช้ธูปฤาษี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- นิตยา รัตนปนนท์ และ วิบูลย์ รัตนปนนท์. 2543. **สารพิษในอาหาร**. โรงพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- นิตย์ ศกุนรักษ์. 2541. **สรีรวิทยาของพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์นพบุรีการพิมพ์, เชียงใหม่.

บริษัท เทสโก้ จำกัด. 2529. รายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการเหมือง
อุโมงค์ แร่ตะกั่ว ตำบลชะแล อำเภอดงพญาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี.

บริษัท เทสโก้ จำกัด, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

พิมล เรียนวัฒนา และ ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. 2539. เคมีสภาวะแวดล้อม.

สำนักพิมพ์ไอ.เอส.พรินต์ติ้งเฮาส์, กรุงเทพฯ.

พิชญา ภูมิภัทร. 2549. การศึกษากระบวนการผลิตไฮโดรไลสจากกระบวนการเริ่มต้นปาล์ม
น้ำมันด้วยไอน้ำสำหรับการหมักไซลิทอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เพลินจิตร์ ชุมเรียง. 2541. การทดสอบถิ่นกำเนิดไม้สนทะเล (*Casuarina equisetifolia*)
ซึ่งปลูกบนที่ดินเหมือนแร่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พฤติภา โรจน์กิตติคุณ. 2550. การบำบัดดินที่ปนเปื้อนด้วยสารตะกั่วโดยใช้หญ้าชนิด
ต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยมหิดล.

มลิวรรณ บุญเสนอ. 2544. พิษวิทยาสภาวะแวดล้อม. มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

ไมตรี สุทธิจิตต์. 2531. สารพิษรอบตัวเรา. โรงพิมพ์ดาวคอมพิวกราฟิค, เชียงใหม่.

ลิลลี่ กาวิตะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และ สุรียา ตันติวิวัฒน์. 2549.

สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิกันดา ชัยบุตร. 2541. การศึกษาปริมาณโลหะหนักบางชนิดในน้ำ ดินตะกอนและ
เนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของปลาบางชนิดในแม่น้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิทย์ เทียงบุญธรรม. 2531. พจนานุกรมสมุนไพรไทย. สำนักพิมพ์ ไอ. เอส. พรินต์ติ้ง
เฮาส์, กรุงเทพฯ.

- วีระยศ วิเชียรปรากฏ. 2540. การใช้สารสกัดจากพืชบางชนิดเพื่อการควบคุมไส้เดือนฝอยรากปม (*Meloidogyne incognita*) ในต้นมะเขือเทศ. ปัญหาพิเศษ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2545. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2554. แผนที่จังหวัดกาญจนบุรี. แหล่งที่มา: <http://www.thaienergydata.in.th/province/71/>, 25 กุมภาพันธ์ 2554.
- สมิง เก่าเจริญ. 2541. ภาวะเป็นพิษจากสารตะกั่ว: หลักการวินิจฉัยและรักษาภาวะเป็นพิษ/สารพิษ. โรงพิมพ์คณะแพทยศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สิทธิชัย ตันธนะสฤดี. 2525. การวิเคราะห์สารปรอท แคดเมียม และตะกั่ว ในน้ำและดินตะกอนของลำธาร บริเวณการใช้ที่ดินประเภทต่าง ๆ บนที่สูงจังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สีปศักดิ์ สนิธิรัตน์, อนุชา อีรุณฉัตร และ วิไล สันติโสภาคี. 2535. ผลของสารสกัดและ root exudates จากพืชบางชนิดต่อไส้เดือนฝอยรากปม *Meloidogyne incognita*, น. 79-87. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 30. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Adegbite, A.A. and S.O. Adesiyun. 2005. Root extracts of plants to control root-knot nematode on Edible Soybean. **World J. Agric. Sci.** 1: 18-21.
- Alloway, B.J. 1990. **Heavy Metals in Soils**. Halsted Press, New York.
- APHA, AWWA and WEF. 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21st ed. American Public Health Association, Washington, D.C.
- Atagana, H.I. 2011. Bioremediation of co-contamination of crude oil and heavy metals in soil by phytoremediation using *Chromolaena odorata* (L) King & H.E. Robinson. **Water Air Soil Pollut.** 215: 261-271.

- Baker, A.J.M. and R.R. Brooks. 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – a review of their distribution, ecology and phytochemistry. **Biorecovery** 1: 81–126.
- Baker, A.J.M., R.D. Reeves and A.S.M. Hajar. 1994. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* J & C Presl (Brassicaceae). **New Phytol.** 127: 61–68.
- Baker, A.J.M., S.P. McGrath, R.R. Reeves and J.A.C. Smith. 2000. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. pp. 85–107. In N. Terry, G. Banuelos, eds. **Phytoremediation of Contaminated Soil and Water**. Lewis Publishers, Florida.
- Bazzaz, F.A., G.L. Rolfe and P. Windle. 1974. Differing sensitivity of corn and soybean photosynthesis and transpiration to lead contamination. **J. Environ. Qual.** 3: 156–158.
- Branquinho, C., H.C. Serrano, M.J. Pinto and M.A. Martins-Loucao. 2007. Revisiting the plant hyperaccumulation criteria to rare plants and earth abundant elements. **Environ. Pollut.** 146: 437–443.
- Bray, R.H. and N. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. **Soil Sci.** 59: 39–45.
- Bu-Olayan, A.H. and B.V. Thomas. 2009. Translocation and bioaccumulation of trace metals in desert plants of Kuwait governorates. **Res. J. Environ. Sci.** 3: 581–587.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891–901. In C.A. Black, ed. **Method of Soil Analysis Part II**. American Society of Agronomy, Madison.
- Chen, M. and S.H. Daroub. 2002. Characterization of lead in soils of a rifle/pistol shooting range in Central Florida, USA. **Soil Sediment contam.** 11: 1–17.

Chowdhury, A.R., N.J. Chinoy, A.K. Gautam, R.V. Rao, D.J. Parikh, G.M. Shah, H.N.

Highland and K.G. Patel. 1986. Effect of lead on human semen.

Adv. Contracept. Deliv. Syst. 2: 208–211.

Cunningham, S.D., J.R. Shann, D.E. Crowley and T.A. Anderson. 1997.

Phytoremediation of contaminated soil and water pp. 2–19. *In* E.L. Kruger, T.A.

Anderson, and J.R. Coats, eds. **Phytoremediation of Soil and Water**

Contaminants. American Chemical Society, Washington D.C.

Day, D.R. 1965. Particle fraction and particle size analysis, pp. 545–566.

In C.A. Black, ed. **Method of Soil Analysis Part II.** American Society of Agronomy, Madison.

Deram, A., F.O. Denayer, D. Petit and C.V. Haluwyn. 2006. Seasonal variations of cadmium and zinc in *Arrhenatherum elatius*, a perennial grass species from highly contaminated soils. **Environ. Pollut.** 140: 62–70.

Duffus, J.H. 1980. **Environment Toxicology: Resource and Environmental Science Series.** Edward Arnold Publishers Ltd., London.

Ensley, B.D. 2000. Rationale for the Use of Phytoremediation. pp. 3–11 *In* I. Raskin and B.D. Ensley, eds. **Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean-up the environment.** John Wiley Publishers, New York.

Ho, W.M., L.H. Ang and D.K. Lee. 2008. Assessment of Pb uptake, translocation and immobilization in kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) for phytoremediation of sand tailings. **J. Environ. Sci.** 20: 1341–1347.

Huang, X.P., Z.Y. Feng, W.L. Zhai and J.H. Xu. 1988. Chromosomal aberrations and sister chromatid exchanges in workers exposed to lead. **Biomed. Environ. Sci.** 1: 382–387.

IPCS. 1995. **Inorganic: Lead.** World Health Organization. Geneva.

- Islam, E., X.A. Yang, T.Q. Li, D. Liu, X.F. Jin and F.H. Meng. 2007. Effect of Pb toxicity on root morphology, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*. **J. Hazard. Mater.** 147: 806–816.
- ITRC. 2001. **Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance Document**. Available source: <http://www.itrcweb.org>, 18 October 2010.
- Jadia, C.D. and M.H. Fulekar. 2009. Phytoremediation of heavy metals: Recent techniques. **Afr. J. Biotechnol.** 8: 921–928.
- Jothai, G., R.S. Babu, S. Ramakrishnan and G. Rajendran. 2004. Management of root lesion nematode, *Pratylenchus delattrei* in crossandra using oil cakes. **Bioresour. Technol.** 93: 257–259.
- Jourand, P., S. Rapior, M. Fargette and T. Mateille. 2004. Nematostatic activity of aqueous extracts of West African *Crotalaria* species. **Nematology** 6: 765–771.
- Khan, S., Q. Cao, B.D. Chen and Y.G. Zhu. 2006. Humic acids increase the phytoavailability of Cd and Pb to wheat plants cultivated in freshly spiked contaminated soil. **J. Soils Sediments** 6: 236–242.
- Kim, S.H., H.W. Lim and I.S. Lee. 2009. Enhanced heavy metal phytoextraction by *Echinochloa crus-galli* using root exudates. **J. Biosci. Bioeng.** 109: 47–50.
- Kobayashi, F., C. Asada and Y. Nakamura. 2005. Phytoremediation of soil contaminated with heavy metals and recovery of valuable metals. **Anal. Sci.** 31: 476–480.
- Koeppel, D.E. 1977. The uptake distribution and effect of cadmium and lead in plants. **Sci. Total Environ.** 7: 197–206.
- Kong, J.O., S.M. Lee, Y.S. Moon., S.G. Lee and Y.J. Ahn. 2006. Nematicidal activity of plant essential oils against *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae). **J. Asia-Pac. Entomol.** 9: 173–178.

- Kucharski, R., U. Zielonka, A. Sas-Nowosielska, J.M. Kuperberg, A. Worsztynowicz and J. Szdzuj. 2005. A method of mercury removal from topsoil using low-thermal application. **Environ. Monit. Assess.** 104: 341–351.
- Lin, C.W. 2002. Mapping soil lead and remediation needs in contaminated soils. **Environ. Geochem. Health** 24: 23–33.
- Lindsay, W.L. and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 42: 421–428.
- Liogier, H.A. 1997. **Descriptive flora of Puerto Rico and adjacent islands. Vol. 5.** Editorial de la Universidad de Puerto Rico, San Juan.
- Liu, D., E. Islam, T.Q. Li, X.E. Yang, X.F. Jin and Q. Mahmood. 2008. Comparison of synthetic chelators and low molecular weight organic acids in enhancing phytoextraction of heavy metals by two ecotypes of *Sedum alfredii* Hance. **J. Hazard. Mater.** 153: 114–122.
- Mattina, M.J.I., W. Lannucci-Berger, C. Musante and J.C. White. 2003. Concurrent plant uptake of heavy metals and persistent organic pollutants from soil. **Environ. Pollut.** 124: 375–378.
- Meagher, R.B. 2000. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. **Curr. Opin. Plant Biol.** 3: 153–162.
- Michael, C.A. 1982. Nickel, cadmium and lead, pp. 739–767. In A.L. Page, ed. **Method of Soil Analysis: Part II.** American Society of Agronomy, Madison.
- Nanda-Kumar, P.B.A., V. Dushenkov, H. Motto and I. Raskin. 1995. Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. **Environ. Sci. Technol.** 29: 1232–1238.
- Nriagu, J.O. and J.M., Pacyna. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soil by trace metals. **Nature.** 333: 134–139.

- Obrocheva, N.V., E.I. Bystrova and I.V. Sergin. 2000. Root growth responses to lead in young maize seeding. **Plant and Soil** 200: 55–61.
- Olabiya, T.I., E.E.A. Oyedunmade, G.J. Ibikunle, O.A. Ojo, G.O. Adesina, K.A. Adelasoye and T.A. Ogunniran. 2008. Chemical composition and bio-nematicidal potential of some weed extracts on *Meloidogyne incognita* under laboratory conditions. **Plant Sci. Res.** 1: 30–35.
- Onifade, A.K., M. O. Fatope, M. L. Deadman and S. M.Z. Al-kindy. 2008. Nematicidal activity of *Haplophyllum tuberculatum* and *Plectranthus cylindraceus* oils against *Meloidogyne javanica*. **Biochem. Syst. Ecol.** 36: 679–683.
- Pendias, A.K. 2001. **Trace Elements in Soil and Plant.** 3rd ed. Boca Raton Inc., London.
- Pichtel, J. 2005. Phytoextraction of lead-contaminatd soils: current experience. pp. 225–248, *In* I. Ahmad, S. Hayat and J. Pichtel, eds. **Heavy Metal Contamination of Soil Problems and Remedies.** Science Publishers, U.S.A.
- Rascio, N. and F. Navari-Izzo. 2011. Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? **Plant Sci.** 180: 160–181.
- Robert, H.D. 1980. **Handbook of Poisoning.** Kluwer Academic Publishers, Singapore.
- Rosemann, M. 2006. **Analysis of pyrrolizidine alkaloids in Crotalaria species by HPLC–MS/MS in order to evaluate related food health risks.** Ph.D. thesis, University of Pretoria.
- Rotkittikhun, R., M. Kruatrachue, R. Chaiyarat, C. Ngernsansaruay, P. Pokethitiyook, A. Paijitprapaporn and A.J.M. Baker. 2006. Uptake and accumulation of lead by plants from the Bo Ngam lead mine area in Thailand. **Environ. Pollut.** 144: 681–688.

- Sasser, J.N. 1979. Economic importance of *Meloidogyne* in tropical countries. pp. 359–374. In F. Lamberti and C.E. Taylor, eds. **Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* species): Syatematics, Biology and Control**. Academic Press Inc., New York.
- Sasser, J.N., A.L. Taylor and L.A. Nelson. 1980. Ecological factors influencing survival and pathogenicity of *Meloidogyne* species. **J. Nematol.** 12: 237.
- Schmid, E., M. Bauchinger, S. Pietruk and G. Hall. 1972. Cytogenic action of lead in human peripheral lymphocytes *in vitro* and *in vivo*. **Mutat. Res.** 16: 401–406.
- Shen, Z.G. and Y.L. Liu. 1998. Progress in the study on the plants that hyperaccumulate heavy metal. **Plant Physiol. Com.** 34: 133–139.
- Singh, O.V, S. Labana, G. Pandey, R. Budhiraja and R. K. Jain. 2003. Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. **Appl. Microbiol. Biotechnol.** 61: 405–412.
- Soil Survey Staff. 2006. **Keys to Soil Taxonomy**. 10th ed. USDANRCS. US Government Printing Office, Washington D.C.
- Susan, B. 1996. **The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals**. 12th ed. Merck and Co., Inc., New Jersey.
- Tanhan, P., M. Kruatrachue, P. Pokethitiyook and R. Chaiyarat. 2007. Uptake and accumulation of cadmium, lead and zinc by Siam weed (*Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson). **Chemosphere** 68: 323–329.
- Tamura, H., M. Honda, T. Sato and H. Kamachi. 2005. Pb hyperaccumulation and tolerance in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). **J. Plant Res.** 118: 355–359.
- Terry, N. and G. Banuelos. 2000. **Phytoremediation of Contaminates Soil and Water**. Lewis Publishers, Florida.

- Thoden, T.C., M. Boppre and J. Hallmann. 2007. Pyrrolizidine alkaloids of *Chromolaena odorata* act as nematocidal agents and reduce infection of lettuce roots by *Meloidogyne incognita*. **Nematology** 9: 343–349.
- Tiwari, S., J.D. Eisenback and R.R. Youngman. 2009. **Root-knot Nematode in Field Corn**. Available source: <http://pubs.ext.vt.edu/444/444-107/444-107.pdf>, 22 August 2010.
- USEPA. 2000. **Introduction to Phytoremediation. EPA/600/R-99/107**. United States Environmental Protection Agency, OH.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degitjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. **Soil Sci.** 37: 29–38.
- Wei, C.Y., T.B. Chen and Z.C. Huang. 2002. Cretan bake (*Pteris cretica* L.): an arsenic-accumulating plant. **Acta. Ecol. Sin.** 22: 777–782.
- Wenzel, W.W. and F. Jockwer. 1999. Accumulation of heavy metals in plants grown on mineralized soils of the Austrian Alps. **Environ. Pollut.** 104: 145–155.
- Williams, M.T.G., V.A. Whalen, R.F. Benson and D.F. Martin. 2002. Accumulation and retention of lead by cattail (*Typha domingensis*), hydrilla (*Hydrilla verticillata*), and duckweed (*Lemna obscura*). **J. Environ. Sci. Health** 37: 1399–1408.
- Wilson, C. 2006. **Chromolaena odorata (herb)**. Available source: http://www.hear.org/species/chromolaena_odorata/, 10 August 2009.
- WHO. 1977. **Lead**. World Health Organization, Geneva.
- WHO. 1989. **Lead-Environmental Aspects**. World Health Organization, Geneva.
- WHO. 1996. **Guidelines for drinking-water quality**. 2nd ed. World Health Organization, Geneva.

Yanqun, Z., L. Yuan, C. Jianjun, C. Haiyan, Q. Li and C. Schwartz. 2005.

Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead–zinc mining area in Yunnan, China. **Environment. Int.** 31: 755–762.

Yoon, J., X. Cao, Q. Zhou and L.Q. Ma. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. **Sci. Total Environ.** 368: 456–464.

Zachariades, C., I. Senger and N.P. Barker. 2004. Evidence for a northern Caribbean origin for the southern African biotype of *Chromolaena odorata*, pp. 25–27. In M.D. Day and R.E. McFadyen. eds. **Proceedings of the Sixth International Workshop on Biological Control and Management of Chromolaena.** ACIAR Technical Reports 55. Canberra.



ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินของสาบเสือชนิดชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง

ระยะเวลาการบำบัด (วัน)	ปริมาณตะกั่วในสาบเสือ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในน้ำหนักแห้ง)		การทดลอง
	สาบเสือชนิดชุดปลูก	สาบเสือชนิดกิ่งปักชำ	
30	7.6±2.9c	0.3±0.1c	3.9b
60	16.9±1.1b	1.6±0.2b	9.3a
90	19.5±5.3c	4.9±0.5a	12.2a
ค่าเฉลี่ยปริมาณตะกั่วในสาบเสือ	14.7a	2.3b	
%CV	28.7		
F-test (ต้นพันธุ์สาบเสือ)	*		
F-test (ระยะเวลาการบำบัด)	*		
F-test (ต้นพันธุ์สาบเสือ x ระยะเวลาการบำบัด)	*		

หมายเหตุ เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ค่าเฉลี่ยในช่องส้อมหรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณตะกั่วในส่วนใต้ดินของสาบเสือชนิดชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง

ระยะเวลาการบำบัด (วัน)	ปริมาณตะกั่วในสาบเสือ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมในน้ำหนักแห้ง)		การทดลอง
	สาบเสือชนิดชุดปลูก	สาบเสือชนิดกิ่งปักชำ	
30	17.0±4.6a	1.1±0.2c	9.0b
60	20.7±2.6a	2.9±0.3	11.8b
90	24.2±5.9a	20.4±1.1a	22.3a
ค่าเฉลี่ยปริมาณตะกั่วในสาบเสือ	20.6a	8.1b	
%CV		21.6	
F-test (ต้นพันธุ์สาบเสือ)		*	
F-test (ระยะเวลาการบำบัด)		*	
F-test (ต้นพันธุ์สาบเสือ x ระยะเวลาการบำบัด)		*	

หมายเหตุ เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ค่าเฉลี่ยในช่องส้อมหรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 3 ค่า translocation factor (TF) และค่า bioaccumulation factor (BAF) ของ
สาบเลื้อยชนิดชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ
ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมใน
เรือนทดลอง

ระยะเวลาการปลูก (วัน)	TF		BAF	
	สาบเลื้อยชนิด ชุดปลูก	สาบเลื้อยชนิด กิ่งปักชำ	สาบเลื้อยชนิด ชุดปลูก	สาบเลื้อยชนิด กิ่งปักชำ
30	0.2	0.3	0.2	0.1
60	0.5	0.4	0.6	0.2
90	0.6	0.2	0.4	0.3

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณตะกั่วทั้งหมดในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำ ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง

ระยะเวลาการบำบัด (วัน)	ปริมาณตะกั่วในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		การทดลอง
	สาบเสือชนิดชุดปลูก	สาบเสือชนิดกิ่งปักชำ	
30	72,436.9±5,046.9a	77,494.4±372.3a	74,966.0a
60	66,263.8±1,013.1b	76,646.1±368.9b	71,455.0b
90	65,267.1±730.2b	74,218.3±428.0c	69,743.0c
ค่าเฉลี่ยปริมาณตะกั่วในดิน	67,989.2b	76,119.6a	
%CV		2.8	
F-test (ต้นพันธุ์สาบเสือ)		*	
F-test (ระยะเวลาการบำบัด)		*	
F-test (ต้นพันธุ์สาบเสือ x ระยะเวลาการบำบัด)		ns	

หมายเหตุ เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาณตะกั่วที่สกัดได้ในดินหลังการบำบัดด้วยสาบเสือชนิดชุดปลูกและชนิดกิ่งปักชำ ณ ระยะเวลา 30, 60 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง

ระยะเวลาการบำบัด (วัน)	ปริมาณตะกั่วในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		การทดลอง
	สาบเสือชนิดชุดปลูก	สาบเสือชนิดกิ่งปักชำ	
30	1,298.3±68.4a	1,283.4±62.7a	1,290.9a
60	1,207.5±11.6b	1,261.0±77.9b	1,234.3ab
90	1,243.3±81.4b	1,173.7±17.2c	1,208.5b
ค่าเฉลี่ยปริมาณตะกั่วในดิน	1,249.7a	1,239.4a	
%CV		4.3	
F-test (ต้นพันธุ์สาบเสือ)		ns	
F-test (ระยะเวลาการบำบัด)		*	
F-test (ต้นพันธุ์สาบเสือ x ระยะเวลาการบำบัด)		ns	

หมายเหตุ เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ค่าเฉลี่ยในช่องส้อมหรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 6 น้ำหนักแห้งของسابเสี้ยนดูดปลูกหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ
ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพ
ควบคุมในเรือนทดลอง

เวลาการบำบัด (วันหลังการย้ายปลูก)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	
	ส่วนเหนือดิน	ส่วนใต้ดิน
30	23.9±6.8b	17.1±3.6ab
45	20.3±1.9b	18.5±1.2a
60	24.4±0.3b	17.4±5.5ab
75	24.0±1.1b	11.8±0.2b
90	36.2±6.4a	17.1±2.9ab
%CV	12.9	16.4
F-test	*	*

หมายเหตุ เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่าง
กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณตะกั่วในส่วนเหนือดินและส่วนใต้ดินของสาบเสือชนิดชุดปลูกหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน หลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง

เวลาการบำบัด (วันหลังการย้ายปลูก)	ปริมาณตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อดินในน้ำหนักแห้ง)	
	ส่วนเหนือดิน	ส่วนใต้ดิน
30	7.6±2.9b	17.0±4.6a
45	17.8±5.5a	20.6±5.3a
60	16.9±1.1a	20.6±2.6a
75	19.8±3.8a	23.4±2.5a
90	19.5±5.3a	24.2±5.9a
%CV	23.0	19.8
F-test	*	ns

หมายเหตุ เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 8 ค่า translocation factor (TF) และค่า bioaccumulation factor (BAF) ของสาบเสือชนิดชุดปลูกหลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก ภายใต้สภาพควบคุมในเรือนทดลอง

เวลาการบำบัด (วันหลังการย้ายปลูก)	TF	BAF
30	0.32	0.24
45	0.77	0.65
60	0.54	0.57
75	0.42	0.63
90	0.37	0.43

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณตะกั่วในดินหลังการบำบัดด้วยสารเคลือบดินเหนียว
ณ ระยะเวลา 30, 45, 60, 75 และ 90 วันหลังการย้ายปลูก
ภายใต้สภาวะควบคุมในเรือนทดลอง

เวลาการบำบัด (วันหลังการย้ายปลูก)	ปริมาณตะกั่วในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	ตะกั่วทั้งหมด	ตะกั่วที่สกัดได้
30	72,436.9±5,046.9a	1,298.3±68.4ab
45	68,227.3±1,238.0b	1,333.3±70.6a
60	66,263.8±1,013.1b	1,207.5±11.6b
75	68,250.0±2,215.6b	1,303.8±22.3ab
90	65,267.1±730.2b	1,243.3±81.4ab
%CV	30.0	4.0
F-test	*	*

หมายเหตุ เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่าง
กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 10 ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแช่สารสกัด
หยาบจากส่วนเหนือดินของสาบเสือ ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48
ชั่วโมง หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการ
ย้ายปลูก

ระยะเวลาการเติมน้ำแทนที่ สารสกัดหยาบ	ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2			การ ทดลอง
	ความเข้มข้นของสารสกัดหยาบ			
	ร้อยละ 1	ร้อยละ 5	ร้อยละ 10	
12 ชั่วโมง	0.8±0.4bc	95.2±1.1c	95.8±1.2bc	63.7b
24 ชั่วโมง	0.2±0.0b	97.4±2.3b	95.3±1.3c	58.6c
36 ชั่วโมง	2.0±1.3a	99.5±0.9a	99.0±1.5ab	99.0a
48 ชั่วโมง	0.0±0.0b	97.2±0.0b	100.0±0.0a	49.6d
ค่าเฉลี่ยร้อยละการตายของ ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2	1.0c	71.5b	97.2a	
%CV		1.8		
F-test (ความเข้มข้นของสาร สกัดหยาบ)		*		
F-test (ระยะเวลาการเติม น้ำแทนที่สารสกัดหยาบ)		*		
F-test (ความเข้มข้นของสาร สกัดหยาบ x ระยะเวลาการ เติมน้ำแทนที่สารสกัดหยาบ)		*		

หมายเหตุ เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 11 ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแช่สารสกัด
หยาบจากส่วนใต้ดินของสาบเสือ ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง
หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 30 วันหลังการย้ายปลูก

ระยะเวลาการเติมน้ำแทนที่ สารสกัดหยาบ	ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2			การ ทดลอง
	ความเข้มข้นของสารสกัดหยาบ			
	ร้อยละ 1	ร้อยละ 5	ร้อยละ 10	
12 ชั่วโมง	1.0±0.6a	6.0±4.4bc	96.3±2.4bc	37.0b
24 ชั่วโมง	0.0±0.0a	5.6±3.9b	95.4±1.6c	33.6b
36 ชั่วโมง	0.0±0.0a	18.4±3.7ab	100.0±0.0a	39.5ab
48 ชั่วโมง	1.2±0.6a	32.1±0.4a	98.2±0.0ab	44.2a
ค่าเฉลี่ยร้อยละการตายของ ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2	0.4c	16.1b	97.9a	
%CV		19.9		
F-test (ความเข้มข้นของสาร สกัดหยาบ)		*		
F-test (ระยะเวลาการเติมน้ำ แทนที่สารสกัดหยาบ)		*		
F-test (ความเข้มข้นของสาร สกัดหยาบ x ระยะเวลาการ เติมน้ำแทนที่สารสกัดหยาบ)		*		

หมายเหตุ เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่าง
กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 12 ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแช่สารสกัด
หยาบจากส่วนเหนือดินของสาบเสือ ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48
ชั่วโมง หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 60 วันหลังการ
ย้ายปลูก

ระยะเวลาการเติมน้ำแทนที่ สารสกัดหยาบ	ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2			การ ทดลอง
	ความเข้มข้นของสารสกัดหยาบ			
	ร้อยละ 1	ร้อยละ 5	ร้อยละ 10	
12 ชั่วโมง	0.0±0.0a	95.8±0.0a	95.0±2.2b	63.6c
24 ชั่วโมง	0.9±0.0a	89.7±6.1 a	100.0±0.0a	72.1a
36 ชั่วโมง	1.1±0.3a	87.3±10.8a	100.0±0.0a	66.4b
48 ชั่วโมง	2.1±0.2a	87.4±10.7a	100.0±0.0a	67.1b
ค่าเฉลี่ยร้อยละการตายของ ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2	1.8c	97.0b	98.7a	
%CV	13.9			
F-test (ความเข้มข้นของสาร สกัดหยาบ)	*			
F-test (ระยะเวลาการเติมน้ำ แทนที่สารสกัดหยาบ)	*			
F-test (ความเข้มข้นของสาร สกัดหยาบ x ระยะเวลาการ เติมน้ำแทนที่สารสกัดหยาบ)	*			

หมายเหตุ เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 13 ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแช่สารสกัด
หยาบจากส่วนใต้ดินของสาบเสือ ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง
หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 60 วันหลังการย้ายปลูก

ระยะเวลาการเติมน้ำแทนที่ สารสกัดหยาบ	ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2			การ ทดลอง
	ความเข้มข้นของสารสกัดหยาบ			
	ร้อยละ 1	ร้อยละ 5	ร้อยละ 10	
12 ชั่วโมง	0.0±0.0a	3.7±1.3b	99.2±1.0a	34.3c
24 ชั่วโมง	0.0±0.0a	9.7±13.6a	96.3±0.0b	35.3bc
36 ชั่วโมง	0.0±0.1 a	21.6±17.3a	96.3±0.0b	38.2b
48 ชั่วโมง	0.3±0.0a	36.5±12.3a	96.3±0.0b	42.4a
ค่าเฉลี่ยร้อยละการตายของ ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2	0.3c	15.4b	97.0a	
%CV	25.5			
F-test (ความเข้มข้นของสาร สกัดหยาบ)	*			
F-test (ระยะเวลาการเติม น้ำแทนที่สารสกัดหยาบ)	*			
F-test (ความเข้มข้นของสาร สกัดหยาบ x ระยะเวลาการ เติมน้ำแทนที่สารสกัดหยาบ)	*			

หมายเหตุ เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ค่าเฉลี่ยในช่องสมมาตรหรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่าง
กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 14 ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแช่สารสกัด
หยาบจากส่วนเหนือดินของสาบเสือ ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48
ชั่วโมง หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการ
ย้ายปลูก

ระยะเวลาการเติมน้ำแทนที่ สารสกัดหยาบ	ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2			การ ทดลอง
	ความเข้มข้นของสารสกัดหยาบ			
	ร้อยละ 1	ร้อยละ 5	ร้อยละ 10	
12 ชั่วโมง	1.2±0.6a	96.4±3.6b	96.1±2.1b	64.4c
24 ชั่วโมง	1.1±0.6ab	100.0±0.0a	100.0±0.0a	72.9a
36 ชั่วโมง	2.6±0.0a	100.0±0.0a	100.0±0.0a	66.9b
48 ชั่วโมง	2.3±0.0a	100.0±0.0a	100.0±0.0a	66.9b
ค่าเฉลี่ยร้อยละการตายของ ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2	0.6b	99.1 a	99.0a	
%CV		2.1		
F-test (ความเข้มข้นของสาร สกัดหยาบ)		*		
F-test (ระยะเวลาการเติม น้ำแทนที่สารสกัดหยาบ)		*		
F-test (ความเข้มข้นของสาร สกัดหยาบ x ระยะเวลาการ เติมน้ำแทนที่สารสกัดหยาบ)		*		

หมายเหตุ เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าเฉลี่ยในช่องสดมภ์หรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ตารางผนวกที่ 15 ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2 หลังการแช่สารสกัด
หยาบจากส่วนใต้ดินของสาบเสือ ณ เวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง
หลังการบำบัดดินปนเปื้อนตะกั่ว ณ ระยะเวลา 90 วันหลังการย้ายปลูก

ระยะเวลาการเติมน้ำแทนที่ สารสกัดหยาบ	ร้อยละการตายของไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2			การ ทดลอง
	ความเข้มข้นของสารสกัดหยาบ			
	ร้อยละ 1	ร้อยละ 5	ร้อยละ 10	
12 ชั่วโมง	0.0±0.0b	0.5±0.5d	93.3±7.1b	37.8b
24 ชั่วโมง	0.4±0.4b	13.5±6.9c	98.4±3.2ab	43.7a
36 ชั่วโมง	1.0±1.0b	27.9±4.0b	100.0±0.0a	46.8ab
48 ชั่วโมง	2.7±1.2a	34.6±0.3a	100.0±0.0a	0.3c
ค่าเฉลี่ยร้อยละการตายของ ไส้เดือนฝอยรากปมระยะที่ 2	1.4c	17.5b	73.1a	
%CV	13.9			
F-test (ความเข้มข้นของสาร สกัดหยาบ)	*			
F-test (ระยะเวลาการเติม น้ำแทนที่สารสกัดหยาบ)	*			
F-test (ความเข้มข้นของสาร สกัดหยาบ x ระยะเวลาการ เติมน้ำแทนที่สารสกัดหยาบ)	*			

หมายเหตุ เครื่องหมาย * กำกับไว้แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ค่าเฉลี่ยในช่องสมมาตรหรือแถวเดียวกันที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันมีค่าไม่แตกต่าง
กันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี DMRT

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาววัชรโรบล สิทธิวิไล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	17 สิงหาคม 2529
สถานที่เกิด	จังหวัดกาญจนบุรี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีเกษตร)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-