

สมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสบู่ดำสายพันธุ์ระยองที่ปลูก
ในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม

เพชรไพลิน สุวรรณโชติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
คณะพัฒนาลังคมและสิ่งแวดล้อม
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

สมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสับปะรดดำสายพันธุ์ระยองที่ปลูก
ในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม
เพชรไพลิน สุวรรณโชติ
คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

รองศาสตราจารย์ ประธานกรรมการ
(ดร.รัชชัย สุภคิน)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กรรมการ
(ดร.ภักพงศ์ ปวงสุข)

อาจารย์ กรรมการ
(ละอองดาว แสงหล้า)

รองศาสตราจารย์ คณบดี
(ดร.สุรสิทธิ์ วชิรขจร)

วันที่.....ตุลาคม พ.ศ. 2551

บทคัดย่อ

ชื่อวิทยานิพนธ์	สมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสับปะรดสายพันธุ์ของ ที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม
ชื่อผู้เขียน	นางสาวเพชรไพลิน สุวรรณโชติ
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
ปีการศึกษา	2551

การศึกษาเรื่อง สมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสับปะรดสายพันธุ์ของที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม ได้กำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาไว้เพื่อ 1) ศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตและผลผลิตของสับปะรดสายพันธุ์ของที่สามารถทนทานต่อการปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน 2) ศึกษาระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่สับปะรดสายพันธุ์ของยังคงมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตและยังคงให้ผลผลิต และ 3) ศึกษาปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมทั้งในดินและในส่วนประกอบต่าง ๆ ของสับปะรดสายพันธุ์ของ ภายหลังจากการปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 4 ซ้ำ (Replications) ต่อหน่วยทดลอง โดยมีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินเป็นหน่วยทดลอง ดังนี้ หน่วยทดลองที่ 1: มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินตามธรรมชาติ หรือระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) (Q0) หน่วยทดลองที่ 2: เพิ่มระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100 พีพีเอ็ม (Q100) หน่วยทดลองที่ 3: เพิ่มระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 200 พีพีเอ็ม (Q200) หน่วยทดลองที่ 4: เพิ่มระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 300 พีพีเอ็ม (Q300) ทำการเปรียบเทียบสมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต และการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมทั้งในดินและในส่วนประกอบของพืชที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน

จากการศึกษา พบว่า สับปะรดสายพันธุ์ของมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตเฉพาะในหน่วยทดลองที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) เท่านั้น ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม สับปะรดไม่มีการให้ผลผลิต ซึ่งสมรรถภาพการเจริญเติบโตจะลดลงตามระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วน

(4)

ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินหลังการทดลองมีค่าลดลงจากก่อนการทดลอง อาจเนื่องมาจากระยะเวลาในการปลูกสับดูดำที่นานขึ้น หรืออาจเกิดจากการดูดซึมของพืช อีกส่วนหนึ่งเกิดจากการชะล้างโดยการรดน้ำและเกิดจากการชะล้างโดยฝน ส่วนปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในส่วนประกอบพืช พบว่า ในรากจะมีการสะสมของแคดเมียมมากที่สุด รองลงมาจะพบการสะสมของแคดเมียมในลำต้น น้ำมันสับดูดำ ใบ กาก และเมล็ดสับดูดำ ตามลำดับ

สรุปได้ว่า สับดูดำสายพันธุ์ของไม่สามารถมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตที่เป็นปกติได้ที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100 พีพีเอ็ม ขึ้นไป

ABSTRACT

Title of Thesis	Growth Performance and Productivity of <i>Jatropha curcas</i> Linn., Rayong Variety Planted in Cadmium Contaminated Soil
Author	Miss Pethpailin Suwannachote
Degree	Master of Sciences (Environmental Management)
Year	2008

This research of growth performance and productivity of *Jatropha curcas* Linn., Rayong variety planted in cadmium contaminated soil had the objectives as 1) study the growth performance and productivity of *Jatropha curcas* Linn., Rayong variety which endured to cadmium contaminated soil, 2) study the level of cadmium contamination in soil that *Jatropha curcas* Linn., Rayong variety maintained the growth performance and productivity, and 3) study the quantity of cadmium residue in soil and other components of *Jatropha curcas* Linn., Rayong variety after planting in cadmium contaminated soil by experimental plan of Completely Randomized Design (CRD) with 4 replications per treatment that the levels of cadmium contamination in soil were; at treatment 1: natural cadmium contaminated soil or the level of cadmium contamination at 0 ppm (control group: Q0), treatment 2: increased the level of cadmium contamination at 100 ppm (Q100), treatment 3: increased the level of cadmium contamination at 200 ppm (Q200), and treatment 4: increased the level of cadmium contamination at 300 ppm (Q300). The growth performance and productivity as well as cadmium contamination in soil and other components of plant were compared.

The study found that the *Jatropha curcas* Linn., Rayong variety had the growth performance and productivity only for treatment 1: natural cadmium contamination, whereas other treatments of 100, 200 and 300 ppm cadmium contamination, the *Jatropha curcas* Linn., had no productivity which the growth performance and productivity were decreased with higher cadmium contamination. The quantity of cadmium residue in soil after experiment was lower

(6)

which probably caused from longer period of planting or absorption of plant and other factor that might be from washing by watering and rain. The quantity of cadmium residue in components of plant found that there were the highest cadmium contamination in the root and lower in trunk, oil, leaf, refuse and seed, respectively.

In conclusion, the *Jatropha curcas* Linn., Rayong variety could not has normal growth performance and productivity in the level of cadmium contamination at 100 ppm up.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์อย่างดีจากบุคคลหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูล ข้อเสนอแนะ คำปรึกษา และกำลังใจ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ศุกดิษฐ์ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภักพงษ์ ปวงสุข และ อาจารย์ละอองดาว แสงหล้า กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำชี้แนะและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทุกขั้นตอนเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ นายพิศาล อัมรัตน์ และนายสุรเชษฐ์ สุนทรเวชพงษ์ ที่คอยเป็นกำลังใจ และช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างเต็มที่เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนและพี่ในรุ่น 11 ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือในระหว่างการศึกษาและระหว่างทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ดอกไม้อะและคุณพ่ออารมณ์ สุวรรณโชติ และพี่ ๆ ทุกคน ที่ได้อบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุนและส่งเสริม ช่วยเหลือให้คำปรึกษาแนะนำ และเป็นกำลังใจอย่างเสมอมา ช่วยแก้ไขปัญหาในด้านต่าง ๆ แก่ผู้เขียน ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความเคารพอย่างสูง

เพชรไพลิน สุวรรณโชติ

กันยายน 2551

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ปัญหาการวิจัย	3
1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	7
2.1 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับแคดเมียม	7
2.2 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนัก	26
2.3 กลไกทางกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับแคดเมียม	28
2.4 วิธีกรใช้พืชบำบัดมลพิษในสิ่งแวดล้อม	37
2.5 สถานการณ์ด้านพลังงานทดแทนในปัจจุบัน	41
2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับสบู่ดำ	44
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	67
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	72
3.1 กรอบแนวคิดและสมมติฐาน	72

	หน้า
3.2 การเตรียมพืชและดินที่ใช้ทดลอง	74
3.3 วิธีการศึกษา	75
3.4 เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล	79
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	80
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	82
4.1 สมรรถภาพการเจริญเติบโตและผลผลิตของสบู่ดำ	82
4.2 ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดิน	96
4.3 ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในส่วนประกอบของพืช	100
4.4 การวิเคราะห์สมบัติของดิน	107
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	112
5.1 สรุปผลการทดลอง	112
5.2 ข้อเสนอแนะ	115
บรรณานุกรม	116
ภาคผนวก	123
ภาคผนวก ก ภาพการเตรียมการทดลองและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	124
ภาคผนวก ข การสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยเครื่องบีบอัดน้ำมันสบู่ดำแบบใช้แรงงานคน	128
ภาคผนวก ค แบบบันทึกข้อมูล	132
ภาคผนวก ง วิธีการวิเคราะห์ดินและพืช	142
ภาคผนวก จ ภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสบู่ดำสายพันธุ์ระยอง	147
ภาคผนวก ฉ การเก็บตัวอย่างพืช	164
ประวัติผู้เขียน	167

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณแคดเมียมในดินบนชนิดต่าง ๆ (พีพีเอ็ม)	13
2.2 ปริมาณแคดเมียมในดินบนที่มีการปนเปื้อน (พีพีเอ็ม)	13
2.3 ปริมาณแคดเมียมในพืช (น้ำหนักแห้ง) พีพีเอ็ม	14
2.4 ปริมาณแคดเมียมในพืชที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อน (น้ำหนักแห้ง) พีพีเอ็ม	14
2.5 ค่า Bioconcentration Factor สำหรับแคดเมียม	16
2.6 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของแคดเมียมที่มีต่อมนุษย์โดยการกิน	17
2.7 ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทำให้มนุษย์ถึงแก่ชีวิต	18
2.8 มาตรฐานน้ำดื่ม	31
2.9 มาตรฐานปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในสถานประกอบการ ของต่างประเทศ	31
2.10 มาตรฐานแหล่งน้ำของประเทศต่าง ๆ	35
2.11 มาตรฐานอาหารของแต่ละประเทศ	36
2.12 ปริมาณ (ล้านลูกบาศก์เมตร) และมูลค่าการนำเข้าก๊าซธรรมชาติ จำแนกตามแหล่งของการนำเข้า (ล้านบาท)	42
2.13 ปริมาณ/มูลค่า และราคาการนำเข้าน้ำมันดิบ	42
2.14 ปริมาณการส่งออกปิโตรเลียม (ล้านลิตร)	43
2.15 ปริมาณการส่งออกน้ำมันสำเร็จรูป (ล้านลิตร)	43
2.18 องค์ประกอบทางเคมีของสบู่ดำ	47
2.19 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ – เคมีของสบู่ดำ	47
2.20 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ – เคมีของน้ำมันสบู่ดำ	48
2.21 การวิเคราะห์เปรียบเทียบกากเมล็ดสบู่ดำกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมัก	49
2.22 ธาตุอาหารของกากเมล็ดสบู่ดำที่เหลือจากการสกัดน้ำมันแล้ว	49
2.23 พื้นที่ปลูกสบู่ดำในการวิจัยคัดเลือกต้นพันธุ์แบบ Individual Plant Selection	51

2.24 ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลทางการเกษตรของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2546	63
2.25 ปริมาณเครื่องจักรกลทางการเกษตรของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2546 – 2547	63
2.26 ผลทดสอบเปรียบเทียบการใช้น้ำมันสปูดำกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก	64
2.27 การทดสอบไอเสียจากเครื่องยนต์เพื่อการเกษตรรุ่นต่าง ๆ	65
3.1 สมบัติทางฟิสิกส์ของชุดดินกระบี่ (Krahi: Kbi)	74
3.2 สมบัติทางเคมีของชุดดินกระบี่ (Krahi: Kbi)	75
3.3 ปริมาณแคะเมียมที่ใช้ในแต่ละระดับการปนเปื้อน	78
4.1 สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงและรัศมีทรงพุ่มของสปูดำ สายพันธุ์ระยะของที่ระดับการปนเปื้อนของแคะเมียมแตกต่างกัน	86
4.2 สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบและจำนวนกิ่งของสปูดำ สายพันธุ์ระยะของที่ระดับการปนเปื้อนของแคะเมียมแตกต่างกัน	91
4.3 การให้ผลผลิตของสปูดำสายพันธุ์ระยะของที่ระดับการปนเปื้อน ของแคะเมียมแตกต่างกัน	95
4.4 ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคะเมียมในดินของสปูดำสายพันธุ์ ระยะของที่ระดับการปนเปื้อนของแคะเมียมแตกต่างกัน	99
4.5 ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคะเมียมในส่วนประกอบพืชของสปูดำ สายพันธุ์ระยะของที่ระดับการปนเปื้อนของแคะเมียมแตกต่างกัน	106
4.6 สมบัติของดินที่มีต่อระดับการปนเปื้อนของแคะเมียมที่แตกต่างกัน	109

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กระบวนการ Phytoremediation	38
2.2 กระบวนการย่อยสลายสารปนเปื้อนในรากเพื่อนำไปสร้างเป็นส่วนประกอบเซลล์พืช	39
2.3 กระบวนการลำเลียงและการเก็บสะสมโลหะหนัก (ตะกั่ว) ไว้ที่ใบพืช	39
2.4 แผนผังการวิจัยและพัฒนาสายพันธุ์สบู่ดำและแนะนำสายพันธุ์ดีให้เกษตรกรปลูก	52
2.5 เครื่องหีบน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบไฮดรอลิก	61
2.6 เครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำโดยใช้แรงงานจากคน	62
3.1 กรอบแนวคิด	73
3.2 รูปแบบการทดลอง	76
3.3 ลักษณะการจัดวางกระถางภายในพื้นที่ปลูกจากการสุ่ม	77
3.4 การเก็บตัวอย่างดิน	77
3.5 การเตรียมสารแคดเมียมคลอไรด์ – 2.5 – ไฮเดรท ($\text{CdCl}_2 - 2.5 - \text{H}_2\text{O}$)	79
4.1 สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงของสบู่ดำสายพันธุ์ของ ที่ระดับการปนเปื้อนแตกต่างกัน	87
4.2 สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านรัศมีทรงพุ่มของสบู่ดำสายพันธุ์ของ ที่ระดับการปนเปื้อนแตกต่างกัน	88
4.3 สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบของสบู่ดำสายพันธุ์ของ ที่ระดับการปนเปื้อนแตกต่างกัน	92
4.4 การให้ผลผลิตของสบู่ดำสายพันธุ์ของที่ระดับการปนเปื้อนแตกต่างกัน	96
4.5 ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินของสบู่ดำสายพันธุ์ของที่ ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน	100

4.6 ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในส่วนประกอบพืชของสบู่ดำ สายพันธุ์ของที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน	107
4.7 การวิเคราะห์เนื้อดินเมื่อเริ่มการทดลองและหลังการทดลอง ที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน	110
4.8 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเมื่อเริ่มการทดลองและหลังการทดลองที่ระดับการ ปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน	111

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนัก อาทิ แคดเมียมในสิ่งแวดล้อมนับวันจะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ทั้งการปนเปื้อนที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์และการปนเปื้อนตามธรรมชาติในสิ่งแวดล้อม (ธวัชชัย สุภดิษฐ์, 2548: 253) อย่างไรก็ตามแม้ว่าธรรมชาติจะมีกระบวนการจัดการการปนเปื้อนด้วยตนเอง แต่เนื่องจากการปนเปื้อนในปัจจุบันส่วนใหญ่ได้สูงเกินกว่าที่ธรรมชาติปกคิจะจัดการตนเองได้ตามลำพัง จึงต้องเปลี่ยนรูปแบบการจัดการโดยต้องอาศัยมนุษย์เข้ามามีส่วนร่วม มนุษย์ต้องเข้ามาเกี่ยวข้องทั้งในแง่เศรษฐกิจ สังคม และการเมืองในการจัดการสิ่งแวดล้อม (สมพร แสงชัย, 2545: 74) ดังกรณีตัวอย่าง การเกิดการปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมและในผลิตภัณฑ์ เช่น ข้าว สัตว์น้ำ และน้ำดื่ม ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่ดาว ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก (พิศาลค์ วงศ์พานิช, 2548: 122) แม้ผลการศึกษาในพื้นที่ดังกล่าวยังได้คำตอบที่ไม่แน่ชัด แต่ผลกระทบที่เกิดขึ้นได้สร้างความเสียหายอย่างมากแก่ประชาชนที่อาศัยอยู่ในแถบนั้นทั้งในด้านสุขภาพ การประกอบอาชีพ การขายผลผลิต รวมทั้งวิถีชีวิตและความเป็นอยู่ เนื่องจากผลผลิตทางการเกษตรที่เกษตรกรผลิตได้นั้นไม่ได้รับการยอมรับสำหรับที่จะนำมาบริโภค เพราะผู้บริโภคเกิดความกลัวต่อผลกระทบจากการตกค้างของแคดเมียม ซึ่งการปนเปื้อนนี้นั้นอยู่ในระดับอันตรายที่สามารถทำให้เกิดโรค “อิตา อิตา” ได้ ดังที่เคยเกิดขึ้นที่ประเทศญี่ปุ่นมาแล้ว (ธวัชชัย สุภดิษฐ์, 2546: 93) โดยได้มีการตรวจพบแคดเมียมปนเปื้อนในดินบริเวณนั้นสูงถึง 61 – 207 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน และในข้าวเปลือกพบการปนเปื้อนจากการสุ่มเก็บถึงร้อยละ 95 และมีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานถึง 25 เท่า (กรมควบคุมมลพิษ, 2547: 32) อย่างไรก็ตามแม้ว่าในพื้นที่นั้นจะมีความเสี่ยงต่อผลกระทบในห่วงโซ่อาหาร แต่ประชาชนบางส่วนก็ยังประกอบอาชีพเพาะปลูกข้าวกันอยู่ เพราะการเพาะปลูกข้าวถือเป็นอาชีพหลักอาชีพหนึ่งในแถบนั้น การที่จะปรับเปลี่ยนอาชีพหลักของเกษตรกรไปประกอบอาชีพอื่นนั้นทำได้ลำบาก เนื่องจากเกษตรกร

ส่วนใหญ่มักขาดองค์ความรู้ที่เพียงพอและขาดองค์ประกอบในด้านเงินทุน รวมทั้งสังคมและวัฒนธรรมที่อาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงไป (อนันตชัย นุกูล, 2548)

ดังนั้น การที่จะนำผลการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินและให้ประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมนั้นยังคงสามารถประกอบอาชีพด้านการเพาะปลูกพืชตามวิถีชีวิตดั้งเดิมได้ จำเป็นที่จะต้องหาพืชที่มีเงื่อนไขตามข้อกำหนดหลายประการ ได้แก่ ต้องเป็นพืชที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจที่สามารถสร้างรายได้ให้กับผู้ปลูกได้ ให้ผลผลิตได้รวดเร็ว สามารถปลูกได้ง่าย และปลูกได้หลากหลายพื้นที่เช่นเดียวกับการเพาะปลูกพืชเดิมของเกษตรกร ไม่ใช่เทคโนโลยีในการผลิตที่สูงเนื่องจากเกษตรกรในบางพื้นที่ยังขาดการศึกษาเพียงพอในการปรับเปลี่ยนวิธีการเพาะปลูกพืช รวมทั้งต้องไม่สามารถนำมาบริโภคได้โดยตรงเพราะจะทำให้เกิดการแพร่กระจายของแคดเมียมสู่ห่วงโซ่อาหาร ซึ่งจะทำให้เป็นปัญหาที่ไม่จบสิ้น

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ประกอบกับสถานการณ์และปัญหาที่สำคัญของประเทศไทยอีกปัญหานึ่งในขณะนี้ คือ ปัญหาการขาดแคลนพลังงานและพลังงานมีราคาแพง เนื่องจากต้องมีการนำเข้าพลังงานในแต่ละปีมูลค่าหลายแสนล้านบาท (พรชัย เหลืองอพรพงศ์, 2548) แม้ว่าภาครัฐบาลได้พยายามหาแนวทางการแก้ไขเพื่อลดการนำเข้าพลังงาน ทั้งมาตรการลดการใช้พลังงานโดยการรณรงค์ให้คนไทยทั่วประเทศประหยัดพลังงานซึ่งจะต้องมีการกระทำอย่างต่อเนื่อง และมาตรการหาพลังงานทดแทนภายในประเทศมาใช้ (รัชชัย สุภคินฐ์, 2548: 172) แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการการใช้พลังงานในปัจจุบัน จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาหาแหล่งพลังงานทดแทนที่น่าสนใจและมีศักยภาพใหม่ให้เพิ่มมากขึ้น พลังงานทดแทนที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบัน คือ พลังงานทดแทนจากพืช (พลังงานชีวมวล) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มพวกที่ให้แป้งและน้ำตาลเพื่อนำมาทำเป็นแอลกอฮอล์ และแปลงเป็นเอทานอลเพื่อนำไปผสมกับน้ำมันเบนซิน 91 กลายเป็นก๊าซโซฮอล์ โดยพืชที่มีศักยภาพในกลุ่มนี้ ได้แก่ มันสำปะหลังและอ้อย ส่วนกลุ่มที่สองเป็นกลุ่มพืชที่สามารถนำมาทำให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยตรงเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล เรียกว่า ไบโอดีเซล พืชที่มีศักยภาพ ได้แก่ พืชน้ำมันทั่วไป อาทิ ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว และสบู่ดำ (สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร, 2548) โดยรัฐบาลได้มีนโยบายส่งเสริมให้มีการผลิตและใช้ไบโอดีเซลจากผลผลิตทางการเกษตรถึงร้อยละ 10 ของน้ำมันดีเซลทั่วประเทศ และมีนโยบายขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั่วประเทศถึงหนึ่งล้านไร่ (สมบัติ ชินะวงศ์, 2548) แต่นอกเหนือจากปาล์มน้ำมันที่ภาครัฐให้การสนับสนุนอยู่แล้ว สบู่ดำยังเป็นพืชน้ำมันอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการผลิตน้ำมันที่น่าสนใจมาก เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงถึงร้อยละ 34 และยังมีกระบวนการสกัดที่ไม่ยุ่งยาก (วิศัลย์ ธรรมประสิทธิ์, 2548: 52) และสามารถนำน้ำมันที่สกัดได้มาใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยตรงโดยไม่ต้องผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงหรือผ่านกระบวนการการผลิตไบโอดีเซลจากโรงงานแต่อย่างใด

ทำให้ต้นทุนในการแปรรูปเป็นพลังงานต่ำ แต่มีประสิทธิภาพสูงเช่นเดียวกับน้ำมันดีเซล (สุกัญญา พัวพันธ์, 2548)

สบู่ดำ เป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในทุกพื้นที่ของประเทศไทย เพราะไม่ต้องการน้ำมาก ทนทานต่อความแห้งแล้ง ให้ผลผลิตเร็ว โดยใช้ระยะเวลาเพียงประมาณ 8 เดือนในการเริ่มเก็บผลผลิต และเก็บผลผลิตได้ต่อเนื่องยาวนานกว่า 30 – 50 ปี นอกจากนั้นกากที่เหลือจากการสกัดน้ำมันยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร เช่น การทำปุ๋ยหมัก การเพาะเห็ด หรือใช้เป็นวัสดุเพาะต้นไม้ เป็นต้น จากการทดสอบ พบว่า ปุ๋ยจากกากเมล็ดสบู่ดำมีธาตุอาหารสูงกว่าปุ๋ยคอกบางชนิด นอกจากนี้ กากของสบู่ดำยังสามารถนำมาใช้ทำกระดาดได้อีกด้วย (สมศักดิ์ ศรีสมบูรณ์, ชาญวิทย์ ม่วงมิตร และสมยศ พิชิตพร, 2548: 132)

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทั้งการปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมที่นับวันจะเพิ่มมากขึ้นและปัญหาการขาดแคลนพลังงานภายในประเทศ การศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสบู่ดำสายพันธุ์ของที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม จะสามารถเป็นประโยชน์ในการนำสบู่ดำมาบำบัดแคดเมียมในดินต่อไป เนื่องจากสบู่ดำเป็นพืชที่มีคุณสมบัติสอดคล้อง กับเงื่อนไขความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมตามเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

1.2 ปัญหาการวิจัย

ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินระดับใดที่สบู่ดำสายพันธุ์ของยังคงมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตและยังคงให้ผลผลิต

1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสบู่ดำสายพันธุ์ของที่สามารถทนทานต่อการปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน
2. เพื่อศึกษาระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่สบู่ดำสายพันธุ์ของที่ยังคงมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตและยังคงให้ผลผลิต
3. เพื่อศึกษาปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมทั้งในดินและในส่วนประกอบต่าง ๆ ของสบู่ดำสายพันธุ์ของ ภายหลังจากการปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

1. สายพันธุ์ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ สายพันธุ์ระยอง ซึ่งจะมีถิ่นกำเนิดในแถบจังหวัดระยอง โดยจะทำการคัดเลือกต้นพันธุ์ที่เพาะมาจากเมล็ดพันธุ์สายพันธุ์ จำนวน 16 ต้นพันธุ์
2. แคลเมียมที่ใช้ในการวิจัยคือ สารแคลเมียมคลอไรด์-25-ไฮดรท ($\text{CaCl}_2 - 25 - \text{H}_2\text{O}$) จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
3. ดินที่ใช้ในการปลูกสายพันธุ์จะใช้ดินในพื้นที่เขตภาคตะวันออกคือ จังหวัดระยอง แหล่งของดินที่นำมาปลูกสายพันธุ์ คือ บ้านคลองป่าไม้ อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดระยอง ทำการเก็บดินโดยขุดดิน ลึกลงไปประมาณ 15 – 25 เซนติเมตร จัดเป็นชุดดินกระบี่ เนื้อดินเป็นดินร่วนถึงดินร่วนปนดินเหนียว มีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2549) ซึ่งจะใช้ดินในการปลูกสายพันธุ์กระถางละ 150 กิโลกรัม
4. กระถางที่ใช้ในการปลูกสายพันธุ์คือ กระถางปูนซีเมนต์แบบวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร สูง 30 เซนติเมตร

1.4.2 ขอบเขตด้านระยะเวลา

ระยะเวลาในการวิจัย ประมาณ 1 ปี (18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 – 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551)

1.4.3 ขอบเขตด้านพื้นที่

สถานที่ที่ใช้ในการวิจัย คือ บ้านเลขที่ 92/1 หมู่ 1 ตำบลห้วยยาง อำเภอแกลง จังหวัดระยอง โดยใช้พื้นที่ทำการวิจัยประมาณ 1 งาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสายพันธุ์ระยองที่สามารถทนทานต่อการปนเปื้อนของแคลเมียมในดิน
2. ทราบถึงระดับการปนเปื้อนของแคลเมียมในดินที่สายพันธุ์ระยองยังคงมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตและยังงให้ผลผลิต
3. ทราบถึงปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคลเมียมทั้งในดินและในส่วนประกอบต่างๆ ของสายพันธุ์ระยองภายหลังจากการปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนของแคลเมียม
4. ผลการวิจัยสามารถเป็นประโยชน์แก่หน่วยงานต่าง ๆ และผู้ที่สนใจทั่วไป

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1.6.1 นิยามศัพท์ทั่วไป

สบู่ดำ (Physic Nut) หมายถึง ต้นไม้ชนิดหนึ่ง มีแหล่งกำเนิดอยู่แถบอเมริกา มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas* Linn. จัดอยู่ในวงศ์ Euphorbiaceas ซึ่งเป็นพืชกลุ่มเดียวกับยางพารา มันสำปะหลัง มะขม และมะไฟ ซึ่งสบู่ดำที่ใช้ในการศึกษา คือ สบู่ดำสายพันธุ์ระยอง

โลหะหนัก (Heavy Metals) หมายถึง ธาตุโลหะที่มีน้ำหนักอะตอมสูง มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป เป็นธาตุที่มีอยู่ในตารางธาตุมีเลขอะตอมอยู่ในช่วง 23 – 92 อยู่ในคาบที่ 4 – 7 เช่นปรอท โครเมียม แคดเมียม สารหนู และตะกั่ว สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ แม้มีความเข้มข้นต่ำ และมีการสะสมในห่วงโซ่อาหารได้

แคดเมียม (Cadmium) หมายถึง โลหะหนักที่มีสัญลักษณ์ทางเคมี คือ Cd ลักษณะเป็นโลหะสีเงินขาว แวววาว ไม่มีกลิ่น มีน้ำหนักโมเลกุล 112.4 ความถ่วงจำเพาะ 8.65 จุดเดือดที่ 1,409 องศาฟาเรนไฮต์ จุดหลอมเหลว 610 องศาฟาเรนไฮต์

มลพิษดิน (Soil Pollution) หมายถึง ดินที่เสื่อมค่าจากเดิมและ/หรือมีสารพิษเกินขีดจำกัดจนมีอันตรายต่อสุขภาพและพืชนามัย ตลอดจนการเจริญเติบโตของมนุษย์และพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม

1.6.2 นิยามศัพท์เฉพาะ

การปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน (Cadmium Contamination in Soil) หมายถึง ปริมาณของแคดเมียมในดินทั้ง 4 ระดับ คือ 0, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (พีพีเอ็ม)

สมรรถภาพการเจริญเติบโตของสบู่ดำ (Growth Performance of Physic Nut) หมายถึง การเจริญเติบโตด้านความสูง รัศมีทรงพุ่ม จำนวนกิ่ง และจำนวนใบของสบู่ดำสายพันธุ์ระยองที่สามารถทนทานต่อการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่แตกต่างกันทั้ง 4 ระดับ คือ 0, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (พีพีเอ็ม)

ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียม หมายถึง ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินก่อนและภายหลังการทดลอง และปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในส่วนประกอบของพืช ได้แก่ ลำต้น ราก ใบ เมล็ด น้ำมันสบู่ดำ และกากสบู่ดำตามระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่แตกต่างกันทั้ง 4 ระดับ คือ 0, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (พีพีเอ็ม)

ผลผลิตของสบูดำ (Production of Physic Nut) หมายถึง จำนวนผลต่อต้น น้ำหนักผลสดทั้งหมดต่อต้น น้ำหนักผลแห้งทั้งหมดต่อต้น น้ำหนักผลสดต่อผล น้ำหนักผลแห้งต่อผล และจำนวนเมล็ดต่อผล ตามระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่แตกต่างกันทั้ง 4 ระดับ คือ 0, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน (พีพีเอ็ม)

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษา ตำรา เอกสาร และผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องให้ครอบคลุมเนื้อหาทุกขั้นตอน เพื่อเป็นพื้นฐานในการวิจัย โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนตัวต่าง ๆ ดังนี้

- 2.1 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับแคดเมียม
- 2.2 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนัก
- 2.3 กลไกทางกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับแคดเมียม
- 2.4 วิธีการใช้พืชบำบัดมลพิษในสิ่งแวดล้อม
- 2.5 สถานการณ์ด้านพลังงานทดแทนในปัจจุบัน
- 2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับสบู่ดำ
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับแคดเมียม

2.1.1 การบ่งชี้ลักษณะและคุณสมบัติ

2.1.1.1 การบ่งชี้ลักษณะ แคดเมียมเป็นธาตุอยู่ในกลุ่ม II b ของตารางพีริออดิก (Periodic Table of Elements) โดยมีเลขอะตอม (Atomic Number) เท่ากับ 48 มวลอะตอม (Atomic Weight) เท่ากับ 112.40 และเป็นโลหะหนักที่เป็นสีเงินแกมขาว

2.1.1.2 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมี แคดเมียมเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติเบาอ่อนดัดงอได้ง่าย และทนต่อการกัดกร่อน มีความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) เท่ากับ 8.65 และจุดหลอมละลาย (Melting Point) เท่ากับ 320 องศาเซลเซียส จุดเดือด (Boiling Point) เท่ากับ 767 องศาเซลเซียส มีเลขออกซิเดชัน เท่ากับ 2+ ความดันไอของแคดเมียม (Vapor Pressure) มีค่าเท่ากับ 1.4 mm ที่ 400 องศาเซลเซียส และ 16 mm ที่ 500 องศาเซลเซียส ดังนั้น ในกระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง เช่น การอบแร่ การบัดกรี การหลอมเศษเหล็ก และการเผาของเสีย จะทำให้มีไอของแคดเมียมออกมาได้ในระหว่างกระบวนการและไอของแคดเมียมในอากาศจะถูกออกซิไดซ์

อย่างรวดเร็วไปเป็นแคดเมียมออกไซด์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541: 9) และแคดเมียมเป็นธาตุที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในกรดอ่อน โดยละลายได้ดีในกรดไนตริก (Nitric Acid) และละลายได้มากในสารละลายแอมโมเนียมไนเตรท (Ammonium Nitrate) (สิทธิชัย ดันธนะสฤษฎ์, 2528: 128) แคดเมียมจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์แบบเฉียบพลันเมื่อรับประทานเข้าไป สารประกอบแคดเมียม เช่น แคดเมียมไนเตรท (Cadmium Nitrate: $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$) แคดเมียมซัลเฟต (Cadmium Sulfate: CdSO_4) แคดเมียมคลอไรด์ (Cadmium Chloride: CdCl_2) เป็นสารประกอบที่ไม่มีสีและละลายได้ดีในน้ำ นอกจากนี้แคดเมียมยังสามารถรวมกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมกับไซยาไนด์ (Cyanides) และเอมีน (Amines) (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) แคดเมียมเป็นธาตุอยู่ในกลุ่มเดียวกับสังกะสีในตารางธาตุ (อันดับที่ 30 กับ 48) จึงมีลักษณะทางฟิสิกส์และเคมีคล้ายคลึงกัน แต่แคดเมียมมีความเป็นพิษสูง และยังสามารถเข้ามาแทนที่สังกะสีในระบบเอนไซม์ เนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างของอะตอมคล้ายคลึงกัน โดยปกติจะพบแคดเมียมร่วมกับสังกะสีในดินเสมอ โดยมีอัตราส่วนแคดเมียมต่อสังกะสี (Cd/Zn) ในช่วงประมาณ 1 : 100 ถึง 1 : 1,000 (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539: 57)

2.1.2 การกำเนิดของแคดเมียม

แคดเมียมเป็นธาตุที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เมื่อเทียบกับโลหะหนักอื่น ๆ แล้วในธรรมชาติจะพบแคดเมียมในปริมาณที่น้อยกว่า คือ ประมาณ 0.20 ถึง 0.30 พีพีเอ็ม โดยจะพบอยู่ในรูปของสินแร่ Greenockite (CdS) ปะปนอยู่กับสินแร่อื่น ๆ เช่น พรอท ทองแดง สังกะสี และตะกั่ว ซึ่งจะพบอยู่ในรูปของสินแร่สังกะสีประมาณร้อยละ 0.30 ถึง 1.00 พีพีเอ็ม และอาจมากถึงร้อยละ 3 เช่น ปะปนอยู่กับสินแร่ Sphalerite (ZnS) หรือ Calamine (ZnCO_3) และภายในเปลือกโลกหินบะซอลต์และหินแกรนิตจะมีแคดเมียมปะปนอยู่ประมาณ 0.2 พีพีเอ็ม (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539: 61) แคดเมียมที่อยู่ในดินชนิดต่าง ๆ จะมีประมาณแคดเมียมที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของดินว่าสลายมาจากหินชนิดใด เช่น ดินที่สลายมาจากหินอัคนีจะมีแคดเมียมปะปนอยู่ประมาณ 0.1 ถึง 0.3 พีพีเอ็ม ดินที่สลายจากหินแปรมีแคดเมียมปะปนอยู่ประมาณ 0.10 ถึง 1.00 พีพีเอ็ม และดินที่สลายจากหินตะกอนมีแคดเมียมปะปนอยู่ประมาณ 0.30 ถึง 11.00 พีพีเอ็ม ส่วนในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีปริมาณแคดเมียมน้อย เนื่องจากแคดเมียมในรูปของซัลไฟด์และคาร์บอเนตมีความสามารถในการละลายที่ต่ำ (สิทธิชัย ดันธนะสฤษฎ์, 2528: 129) ในน้ำห่อก็มีแคดเมียมอยู่เช่นกัน น้ำห่อ 1 ม้วนจะมีแคดเมียมอยู่ประมาณ 1.40 ไมโครกรัม ส่วนใหญ่จะปะปนอยู่กับคว้นน้ำห่อและบางส่วนจะเข้าสู่ร่างกายของผู้สูบน้ำห่อ (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

2.1.3 การนำแคดเมียมมาใช้ประโยชน์

แคดเมียมถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้านทั้งทางด้านการเกษตรและการอุตสาหกรรม โดยด้านการเกษตรนำมาใช้เป็นองค์ประกอบหนึ่งของสารฆ่าวัชพืช สารฆ่าเชื้อรา และเป็นส่วนหนึ่งในการผลิตปุ๋ยฟอสเฟต ทางด้านอุตสาหกรรมจะถูกใช้ในอุตสาหกรรมทำสีทาบ้าน สีชุบโลหะ เพื่อป้องกันการกัดกร่อน และทำหน้าที่เป็น Stabilizer ในอุตสาหกรรมพลาสติก นำมาทำเป็นโลหะผสมกับอะลูมิเนียม โปรท แมกนีเซียม นิกเกิล แพลตตินัม เป็นต้น ซึ่งนำไปใช้ทำท่ออง เครื่องป้องกันไฟ เบ้าหลอม ส่วนประกอบของรถยนต์ แบตเตอรี่ โลหะบัดกรี ลวดโทรศัพท์ แคดเมียมยังถูกใช้ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วิทยุ นีออน ตะปู แหนบ เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

2.1.4 แหล่งที่มาและการปนเปื้อนของแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อม

2.1.4.1 แหล่งจากอากาศ

1) จากการหลอมหรือการถลุงโลหะ การทำแร่สังกะสีให้บริสุทธิ์ การทำเหมือง และการทำอุตสาหกรรมแคดเมียม ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้จะปล่อยไอ ผุ่น น้ำเสีย และกากตะกอนที่มีแคดเมียมปะปนอยู่ออกมา ส่วนมากจะอยู่ในรูปของไอแคดเมียม มนุษย์มีโอกาสดูดซับแคดเมียมในอากาศเข้าไปโดยตรงในปริมาณน้อยมาก แต่ไอแคดเมียมสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลและตกลงสู่ดินและน้ำ แล้วถูกพืชดูดเข้าไปสะสมได้ (สิทธิชัย ดันธนะสฤตย์, 2528: 131) ปริมาณแคดเมียมในอากาศจะมีอยู่ในช่วงตั้งแต่ 5 นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร ส่วนในพื้นที่ใกล้โรงหลอมอาจมีค่าเกือบ 0.3 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร (World Health Organization, 1992) นอกจากนี้ยังได้มีการคำนวณการตกสะสมในชั้นบรรยากาศของโลหะหนักที่มีต่อผิวดินด้วย ซึ่งผลการคำนวณพบว่าค่าเฉลี่ยของแคดเมียม คือ 20 กรัม/เฮกตาร์/ปี และพบด้วยว่าปริมาณของแคดเมียม ในบรรยากาศนั้นจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ (Pendias and Pendias, 1992: 365)

2) จากการเผาของเสียที่มีแคดเมียมประกอบอยู่ เช่น พลาสติก เม็ดสี โลหะเคลือบ เศษเหล็ก เป็นต้น โดยจะปล่อยแคดเมียมออกมาอยู่ในรูปแคดเมียมแอโรโซล (Cadmium Aerosols) เช่น แคดเมียมออกไซด์ (Cadmium Oxide) การเผานี้อาจเกิดการปนเปื้อนสู่อากาศได้

3) จากการใช้ถ่านหินและน้ำมันเชื้อเพลิง แคดเมียมเป็นธาตุปริมาณน้อยในเชื้อเพลิงฟอสซิล เมื่อใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้แคดเมียมจะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของไอและเถ้า โดยปริมาณแคดเมียมในถ่านหินจะอยู่ในช่วง 0.25 – 5.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และพบว่าในเถ้าจากถ่านหินมีปริมาณแคดเมียมสูงถึง 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมโดยเฉลี่ยใน Heating Oil ประมาณ 0.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

4) จากบุหรี พบว่า บุหรีมีแคดเมียม 1 ถึง 2 ไมโครกรัมต่อมวน และการสูบบุหรี่ 1 มวน จะมีแคดเมียมออกมาสู่บรรยากาศประมาณ 1.30 ไมโครกรัม และเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจประมาณร้อยละ 10 (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

จากการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในบรรยากาศของประเทศต่าง ๆ พบว่า แคดเมียมในบรรยากาศเขตชนบทมีปริมาณต่ำมากประมาณ 0.0001 – 0.043 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร แม้กระทั่งในเขตเมืองอุตสาหกรรมก็มีปริมาณแคดเมียมในบรรยากาศต่ำเช่นเดียวกัน ประมาณ 0.002 – 0.70 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ดังนั้น ปริมาณแคดเมียมที่ร่างกายจะได้รับโดยการหายใจจึงค่อนข้างน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่ได้รับจากสารอาหาร ส่วนปริมาณแคดเมียมในบรรยากาศบริเวณใกล้กับปล่องระบายอากาศเสียแคดเมียมอาจมีปริมาณสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ มาก ประมาณ 0.01 – 5 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

สำหรับประเทศไทย มีการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศบริเวณใกล้เคียงกับโรงงานถลุงสังกะสี บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด จังหวัดตาก ในรัศมีประมาณ 1 กิโลเมตร โดยการตรวจวัดในรูปของฝุ่นตก พบปริมาณต่ำมาก กล่าวคือ ในปี พ.ศ. 2528 – 2530 พบปริมาณแคดเมียมในบรรยากาศเฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีค่าประมาณ 0.007 – 0.02 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

2.1.4.2 แหล่งจากน้ำ

1) จากโรงงานชุบแคดเมียม ซึ่งของเสียจากโรงงานประเภทนี้จะมีแคดเมียมประมาณ 100 – 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีโลหะหนักอื่น ๆ รวมทั้งไซยาไนด์ (Cyanide) และสารเคมีอื่น ๆ ผสมอยู่ด้วย

2) จากอุตสาหกรรมถลุงแร่เหล็กและโลหะอื่น ๆ และจากอุตสาหกรรมตะกั่วและสังกะสี อุตสาหกรรมเหล่านี้จะปล่อยน้ำเสีย กากตะกอนที่มีแคดเมียมปะปนอยู่ออกมา

3) จากโรงงานกำจัดน้ำเสีย ซึ่งจะมีการปล่อยกากตะกอนของน้ำทิ้ง (Sewage Sludge) ซึ่งมีปริมาณแคดเมียมปนเปื้อนค่อนข้างสูง

จากการตรวจวัดปริมาณแคดเมียมในบ่อน้ำตื้น เขตอำเภอเมือง จังหวัดตาก ที่ใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค เมื่อเดือนมกราคม พ.ศ. 2532 โดยสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ มีปริมาณที่ต่ำมาก ค่าสูงสุดที่พบ คือ 0.18 ไมโครกรัม/ลิตร ค่ามาตรฐานของแคดเมียมที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำผิวดินซึ่งมีใช้ทะเล กำหนดให้ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) ในแหล่งน้ำธรรมชาติมีแคดเมียมปนเปื้อนอยู่ในพิสัย 0.50 – 14.60 ไมโครกรัม/ลิตร ในน้ำกลั่นมี 0.5 ไมโครกรัม/ลิตร (สิทธิชัย ตันธนะสฤษฎี, 2528: 133) และการดื่มน้ำ 1.50 ลิตรต่อวัน จะได้รับ

แคดเมียมจากน้ำในพืชน้อยกว่า 1 ไมโครกรัม ถึง 45 ไมโครกรัม ขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5 ไมโครกรัม/วัน

2.1.4.3 แหล่งจากอาหาร

สำหรับในพืชผักและข้าวที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม ส่วนหนึ่งเกิดจากฝุ่นแคดเมียมจากบรรยากาศตกสะสมที่ใบ ซึ่งถ้าอยู่ในรูปแคดเมียมละลายน้ำสามารถเข้าสู่พืชทางปากใบหรือผิวใบ และจากดินโดยซึมผ่านรากพืช นอกจากนั้นอาจได้รับจากการใช้ปุ๋ยฟอสเฟต การใช้ตะกอนจากโรงงานบำบัดน้ำเสีย พืชแต่ละชนิดมีความทนทานต่อความเป็นพิษของแคดเมียมที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่า ความสามารถทนทานต่อระดับความเข้มข้นของแคดเมียมจากน้อยไปมากตามลำดับ คือ พริกไทย ข้าวบาร์เลย์ และกะหล่ำปลี

2.1.4.4 แหล่งจากดิน

การสะสมแคดเมียมในดิน มาจากแหล่งปนเปื้อนหลายประเภท (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) คือ

1) จากปุ๋ยฟอสเฟต จะมีแคดเมียมปะปนอยู่ในปุ๋ยฟอสเฟต เนื่องจากหินฟอสเฟตที่เป็นวัตถุดิบมีแคดเมียมประมาณ 2 – 170 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังมีรายงานการศึกษาพบว่า การใช้ปุ๋ยฟอสเฟตจะไปเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน เพราะแคดเมียมฟอสเฟตจะละลายน้ำได้น้อยและส่วนที่ไม่ละลายน้ำพืชไม่สามารถดูดซึมได้จึงสะสมอยู่ในดินแต่ถ้ามีการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมร่วมด้วย แคดเมียมจะละลายได้มากขึ้น เนื่องจากแคดเมียมจะไปรวมตัวกับแอมโมเนียมเป็นไอออนที่ละลายน้ำได้ คือ $\text{Cd}(\text{NH}_3)_2^{+2}$ และ $\text{Cd}(\text{NH}_3)_4^{+2}$

2) จากกากตะกอนของน้ำทิ้ง กากตะกอนจากโรงงานกำจัดน้ำเสียมีระดับแคดเมียมค่อนข้างสูง โดยใช้กากตะกอนเหล่านี้เพื่อนำไปทำเป็นปุ๋ย ซึ่งจะเป็นการเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน และพบว่าพืชบางชนิด เช่น ข้าวสาลีและถั่วเหลือง สามารถดูดซึมแคดเมียมจากดินได้ดี ซึ่งความเข้มข้นของแคดเมียมในดินที่เก็บจากทุกภาคของประเทศไทย อยู่ระหว่าง 0.001 – 0.294 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณแคดเมียมในปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนผสมกับตะกอนจากโรงงานบำบัดน้ำเสีย พบปริมาณแคดเมียมถึง 5.98 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

3) จากการสีกกร่อนของสังกะสี อาจเกิดจากเหมือนแร่สังกะสี ซึ่งแคดเมียมเป็นสิ่งเจือปนในสังกะสี เมื่อโลหะหรือภาชนะที่ชุบสังกะสีเกิดการสีกกร่อน แคดเมียมก็จะกระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้

4) จากยางรถยนต์ที่สึกหรอ ยางรถยนต์จะมีแคดเมียมประกอบอยู่ประมาณ 20 – 90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยเป็นสิ่งเจือปนในซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide)

ปริมาณแคดเมียมในระดับปกติในดิน คือ 0.10 – 2.00 พีพีเอ็ม และเสนอค่าวิกฤติในดินที่เป็นอันตรายต่อคน คือ 1 – 3 พีพีเอ็ม (สุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539: 65)

จากการรวบรวมข้อมูลแคดเมียมในประเทศต่าง ๆ ของ สุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา (2539: 66) ปรากฏว่า ปริมาณแคดเมียมในดิน โดยทั่วไปมีค่าเฉลี่ย 0.07 – 1.00 พีพีเอ็ม โดยมีค่าเฉลี่ยสูงในชนิดดินฮิสโตซอลล์ ดังตารางที่ 2.1 ส่วนค่าเฉลี่ยของดินโดยทั่วไปมีค่า 0.53 พีพีเอ็ม สำหรับในดินที่มีการปนเปื้อนนั่นจะผันแปรไปตามแหล่งของของเสีย นั้น ๆ ดังตารางที่ 2.2 ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโลหะโดยปกติจะมีการปนเปื้อนของแคดเมียมสูงที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากอุตสาหกรรมโลหะของประเทศเบลเยียมและประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งจะผันแปรมากกว่าประเทศญี่ปุ่นมาก การปนเปื้อนแคดเมียมจากเหมืองสังกะสีจะมีเป็นอันดับสองรองลงมา แต่ในสหรัฐอเมริกา พบว่า มีค่าผันแปรมากกว่าญี่ปุ่น การใส่กากตะกอน 6 – 16 ตัน/เฮกตาร์/ปี รวม 5 ปี ทำให้มีการสะสมแคดเมียมในพื้นที่เกษตรกรรมของประเทศเนเธอร์แลนด์สูงถึง 15 – 57 พีพีเอ็ม ในขณะที่นำไปใช้ในนาของเกษตรกรชาวญี่ปุ่นที่มีการใช้ปุ๋ยหินฟอสเฟตและมีการชลประทานที่ดี มีการปนเปื้อนในดินอยู่ 2.20 – 8.30 พีพีเอ็ม สำหรับสวนในเมืองนั้นก็มีการปนเปื้อนเหมือนกันแต่ไม่มากเหมือนในแหล่งอื่น ๆ

ปริมาณแคดเมียมในพืชทั่วไปมีค่าต่ำ จะมีค่าสูงในพืชบางชนิด เช่น ผักกาดหอม ปริมาณ 0.66 พีพีเอ็ม หรือในใบผักโขม ปริมาณ 0.11 พีพีเอ็ม (น้ำหนัสดก) พืชกินใบหรือพืชหัวบางชนิด จึงเป็นตัวนำแคดเมียมสู่มนุษย์ ดังตารางที่ 2.3 เมื่อมีการปนเปื้อนแคดเมียมจะมีการสะสมที่รากมากที่สุด โดยจะสะสมในใบรองลงมา และมีการเคลื่อนย้ายสู่เมล็ดได้น้อย ดังตารางที่ 2.4 (สุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539: 68) และจากการศึกษาน้ำเอาตะกอนน้ำเสียมาผสมกับดินในอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วปลูกพืช 3 ชนิด ได้แก่ ผักบุ้ง มันเทศ มะเขือเปราะ จากการศึกษา พบว่า การปนเปื้อนของแคดเมียมอยู่ในพิสัย 0.02 – 2.20 พีพีเอ็ม มิได้เป็นอันตรายต่อพืชที่ปลูก แต่มีแคดเมียมเข้าไปสะสมในพืชได้มากขึ้นโดยสะสมในส่วนเหนือดินมากกว่าส่วนใต้ดิน (วรกาย อุดสาห์, 2542: 45)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณแคะเมียมในดินบนชนิดต่าง ๆ (พีพีเอ็ม)

ชนิดดิน	ค่าเฉลี่ย	พิสัย	ประเทศ
พอดซอลส์ และดินเนื้อหยาบ	0.21	0.08 – 0.47	สหรัฐอเมริกา
	0.07	0.01 – 0.24	โปแลนด์
	0.43	0.10 – 1.80	แคนาดา
ดินร่วนถึงดินเหนียว	0.27	0.08 – 0.55	สหรัฐอเมริกา โปแลนด์
	0.64	0.12 – 1.61	แคนาดา
ซิสโตซอลส์ และดินอินทรีย์อื่น ๆ	0.72	0.36 – 1.44	สหรัฐอเมริกา แคนาดา
			สหราชอาณาจักร
ดินต่าง ๆ	1.00	0.27 – 4.00	สหราชอาณาจักร
	0.45	0.03 – 2.53	ญี่ปุ่น

แหล่งที่มา: สุกมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539: 66.

ตารางที่ 2.2 ปริมาณแคะเมียมในดินบนที่มีการปนเปื้อน (พีพีเอ็ม)

แหล่งปนเปื้อน	พิสัย	ประเทศ	หมายเหตุ
เหมืองแร่สังกะสี	2 – 336	สหราชอาณาจักร	
	6 – 64	ญี่ปุ่น	
อุตสาหกรรมโลหะ	3 – 1,481	เบลเยียม	
	1.88 – 88	ญี่ปุ่น	
	26 – 1,500	สหรัฐอเมริกา	
สวนในเมือง	1 – 17	สหราชอาณาจักร	
	0.02 – 13.6	สหรัฐอเมริกา	
กากตะกอน	15 – 57	เนเธอร์แลนด์	6 – 16 ตัน น้ำหนักแห้งของกาก
พื้นที่ชลประทาน			ตะกอน/เฮกตาร์/ปี รวม 5 ปี
ปุ๋ย	2.2 – 8.3	ญี่ปุ่น	นาข้าว

แหล่งที่มา: สุกมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539: 67.

ตารางที่ 2.3 ปริมาณแคดเมียมในพืช (น้ำหนักแห้ง) พีพีเอ็ม

ชนิดพืช	ส่วนของพืช	พิสัย	หมายเหตุ
ข้าว	เมล็ด	0.01 – 0.11	เมล็ดไม่ขัดสี
ข้าวสาลี	เมล็ด	0.01 – 0.26	
ถั่วเหลือง	เมล็ด	0.29	
ถั่วโคลเวอร์	เหนือดิน	0.02 – 0.35	
หญ้า	ใบ	0.03 – 1.25	
กะหล่ำปลี	ใบ	0.05	
ผักกาดหอม	ใบ	0.12 – 0.66	

แหล่งที่มา: สุกมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539: 67.

ตารางที่ 2.4 ปริมาณแคดเมียมในพืชที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อน (น้ำหนักแห้ง) พีพีเอ็ม

แหล่ง	พืช	ส่วนของพืช	พิสัย	ประเทศ
เหมืองแร่เก่า	หญ้า	ใบ	1.1 – 2.0	สหราชอาณาจักร
	ถั่วโคลเวอร์	เหนือดิน	4.9	สหราชอาณาจักร
อุตสาหกรรมโลหะ	หญ้า	ใบ	8.2	สหราชอาณาจักร
	ผักกาดหอม	ใบ	45	ออสเตรเลีย
สวนในเมือง	ข้าว	เมล็ดไม่ขัดสี	0.72 – 4.17	ญี่ปุ่น
	กะหล่ำปลี	ใบนอก	1.1 – 3.8	สหราชอาณาจักร
	ผักกาดหอม	ใบ	0.9 – 7.0	สหรัฐอเมริกา
กากตะกอนในพื้นที่	ข้าว	เมล็ดไม่ขัดสี	5.2	ญี่ปุ่น
ชลประทานร่วมกับปุ๋ย	ข้าวโพด	ใบ	35	สหรัฐอเมริกา
	ถั่วเหลือง	เมล็ด	2.3	สหรัฐอเมริกา
	ข้าวสาลี	เมล็ด	5.5 – 14.23	โซเวียต
		ใบ	19 – 47	โซเวียต

แหล่งที่มา: สุกมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539: 68.

2.1.5 การแพร่หลายของสารเคมีโดยชีววิธี (Chemobiokinetics)

2.1.5.1 การดูดซึม (Absorption)

การดูดซึมของแคดเมียมในร่างกายจะขึ้นอยู่กับ การสูบบุหรี่และอัตราการดูดซึม แคดเมียมผ่านการกิน ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตรานี้ คือ ปริมาณเหล็กที่มีการสะสมอยู่ในร่างกายโดยเฉลี่ยอัตราการดูดซึมประมาณวันละ 1.60 – 12.50 ไมโครกรัม สำหรับผู้ใหญ่แถบยุโรป (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

2.1.5.2 การแพร่กระจาย (Distribution)

แคดเมียมมีคุณสมบัติของการมีพิษสะสมสูง เนื่องจากมีวงจรครึ่งชีวิต (Half – life) มากกว่า 10 ปี การสะสมจะมากขึ้นตามอายุ (จะแสดงผลอย่างช้าที่สุดเมื่ออายุ 50 – 60 ปี) ปริมาณครึ่งหนึ่งของแคดเมียมในร่างกายจะถูกเก็บสะสมอยู่ที่ตับและไต

2.1.5.3 อัตราการสะสม (Bioconcentration Factor)

อัตราการสะสมของแคดเมียมในสัตว์เกิดจากการสะสมผ่านระบบห่วงโซ่อาหาร ซึ่งแต่ละชนิดมีการสะสมที่แตกต่างกัน และเนื่องจากแคดเมียมมีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายสังกะสี ทำให้แคดเมียมสามารถเข้าไปแทนที่สังกะสีในเอนไซม์บางชนิด ด้วยเหตุนี้ทำให้น้ำที่ในการ Metabolic ถูกทำให้เปลี่ยนไปจากปกติ แคดเมียมสามารถไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตในน้ำได้ ในปลาส่วนใหญ่จะเก็บสะสมแคดเมียมไว้ที่ตับ ไต ลำไส้ และเหงือก ส่วนที่เหลือจำนวนน้อยจะเก็บไว้ที่เนื้อ โดยทั่วไปสัตว์ที่อยู่ริมฝั่งทะเลหรือสัตว์ที่เคลื่อนไหวช้า เช่น หอย กุ้ง ปู จะได้รับแคดเมียมได้ง่ายกว่าสัตว์น้ำที่เคลื่อนไหวเร็วหรือที่อยู่ในน้ำลึก ซึ่งการสะสมของแคดเมียมจะมีความสัมพันธ์อย่างมากกับความสามารถในการแลกเปลี่ยน Cation กล่าวคือ ถ้าความสามารถในการแลกเปลี่ยน Cation ในดินเพิ่มขึ้น ระดับปริมาณแคดเมียมในสิ่งมีชีวิตนั้นก็ลดลง นอกจากนี้ยังมีรายงานการสะสมแคดเมียมในสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น หอย ลูกยุงน้ำ จะมากกว่าการสะสมในสาหร่ายหรือในข้าว แต่ในกรณีที่ดินมีความสามารถในการแลกเปลี่ยน Cation ได้น้อย จะทำให้สาหร่ายสามารถสะสมแคดเมียมได้มากกว่าพวกสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังถึง 4 เท่า (กรมควบคุมมลพิษ, 2541) นอกจากนี้ในการรับเอาแคดเมียมเข้าไปครั้งแรก พบว่า สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำกระด้างจะได้รับเข้าไปได้เร็วกว่าสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำอ่อน แต่ถ้าพิจารณาถึงปริมาณแคดเมียมทั้งหมดที่ได้รับเข้าไป ปรากฏว่า สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำอ่อนจะเก็บสะสมเข้าสู่ร่างกายมากกว่า (ตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5 ค่า Bioconcentration Factor สำหรับแคดเมียม

ประเภทของสิ่งมีชีวิต	Bioconcentration Factor
พืชทะเล	1,000
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในทะเล	250,000
ปลาทะเล	3,000
พืชน้ำจืด	1,000
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในน้ำจืด	4,000
ปลาน้ำจืด	3,000

แหล่งที่มา: World Health Organization, 1992 อ้างถึงใน กรมควบคุมมลพิษ, 2541.

หมายเหตุ: Bioconcentration Factor เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของแคดเมียมในสิ่งมีชีวิต (น้ำหนักเปียก) หารด้วยความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำ

2.1.5.4 การขับถ่าย (Excretion)

แคดเมียมถูกขับออกจากร่างกายได้โดยผ่านทางไต แต่อัตราการขับออกจะน้อยกว่าอัตราการดูดซึม จึงมีผลทำให้เกิดการสะสมในร่างกาย โดยเฉพาะในไตและตับ นอกจากนี้ปริมาณแคดเมียมในปัสสาวะจะสะท้อนให้เห็นว่าในร่างกายมีปริมาณแคดเมียมอยู่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อร่างกายหรือไม่

2.1.6 ระดับของแคดเมียมในดินและตะกอนดิน

จากรายงานการศึกษาระดับแคดเมียมในดินตะกอนจากแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างในปี พ.ศ. 2519 โดยการเก็บตัวอย่างจากบริเวณ 9 สถานีตรวจ พบว่า มีระดับแคดเมียมระหว่าง 0.172 – 0.378 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของโลกในขณะนั้น (0.160 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และยังมีการตรวจวัดระดับแคดเมียมในตะกอนดินจากแม่น้ำสายต่าง ๆ ในปี พ.ศ. 2530 โดยพบว่า ระดับแคดเมียมในดินตะกอนจากแม่น้ำปราจีนบุรีและนครนายกมีน้อยกว่า 0.50 ไมโครกรัมต่อกรัม ในขณะที่ดินตะกอนจากแม่น้ำบางปะกงมีระดับแคดเมียมประมาณ 0.50 ไมโครกรัมต่อกรัม ส่วนตะกอนดินจากแม่น้ำปิงได้ตรวจพบอยู่ที่ระดับสูงสุดเมื่อเดือนมกราคม พ.ศ. 2532 เท่ากับ 0.027 ไมโครกรัมต่อกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

จากการศึกษาในดินที่มีปัญหามลภาวะในประเทศญี่ปุ่น พบว่า ปริมาณแคดเมียมในดินตะกอน (Sediment) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณสารอินทรีย์ที่สูญหายไปเป็นดินตะกอน ซึ่งชี้ให้เห็นว่า สารอินทรีย์เป็นสัดส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการสะสมของแคดเมียมในตะกอนดิน นอกจากนี้ จากรายงานการศึกษาว่าปัจจัยสำคัญที่มีต่อการดูดซับของแคดเมียมในดิน Silicon และ Aluminum Oxide คือ pH กล่าวคือ ในสถานะที่เป็นด่าง การดูดซับจะเพิ่มมากขึ้น และเมื่อ pH ลดลงต่ำกว่า 6 หรือ 7 จะทำให้แคดเมียมที่ถูกดูดซับอยู่บนสารเหล่านั้นหลุดออกมา

2.1.7 ความเป็นพิษของแคดเมียมและผลที่มีต่อระบบนิเวศ

2.1.7.1 ความเป็นพิษ

1) ความเป็นพิษต่อมนุษย์แบบเฉียบพลัน

(1) ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร ซึ่งจะเป็นระบบแรกในร่างกายที่จะได้รับพิษเมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมโดยการกิน ซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกินอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีการแคดเมียมปนเปื้อน โดยมีอาการ คือ รู้สึกคลื่นเหียนอย่างรุนแรง ตามด้วยอาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก ในรายที่เป็นมากจะมีอาการอย่างอื่นตามมาใน 2 ลักษณะ คือ อาจเกิดอาการช็อก และอาจทำให้เสียชีวิตได้ภายใน 24 ชั่วโมง หรือระบบการทำงานของไตล้มเหลวและอาจถึงกับเสียชีวิตภายใน 7 หรือ 14 วัน (ตารางที่ 2.6)

ตารางที่ 2.6 ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของแคดเมียมที่มีต่อมนุษย์โดยการกิน

ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัม)	อาการที่เกิดขึ้น
3 – 90	เกิดอาการอาเจียน แต่ไม่มีผลทำให้ถึงตาย
15	เกิดอาการอาเจียน
10 – 326	เกิดอาการความเป็นพิษอย่างรุนแรงแต่ไม่ถึงตาย
350 – 3,500	ปริมาณที่อาจทำให้ถึงตายได้
1,530 – 8,900	ปริมาณที่ทำให้ตายได้

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2541.

หมายเหตุ: โดยสรุปอย่างคร่าว ๆ ปริมาณที่ไม่มีผลต่อร่างกายแบบเฉียบพลันเมื่อกินเข้าไปครั้งเดียว คือ 3 มิลลิกรัม

(2) ความเป็นพิษต่อระบบหายใจ เนื่องจากการสูดหายใจเอาฝุ่นของแคดเมียม ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากกิจการอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการเชื่อมโลหะด้วยความร้อนสูง แต่โดยทั่วไปกระแสไฟฟ้าจะมีความเป็นพิษเป็นสองเท่าของฝุ่นที่เกิดจากความร้อน โดยอาการจะปรากฏหลังจากสูดหายใจฝุ่นเข้าไปแล้ว 2 – 3 ชั่วโมง คือ เกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลมและปอด ซึ่งรวมถึงอาการอื่น ๆ ด้วย เช่น ระคายเคืองที่จมูกและคอ ไอ ปวดศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก นอกจากนี้อาจมีอาการอย่างอื่นปรากฏด้วย เช่น คลื่นเหียน อาเจียน และท้องร่วง (ตารางที่ 2.7)

ตารางที่ 2.7 ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมที่ทำให้มนุษย์ถึงแก่ชีวิต

ปริมาณความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ระยะเวลาสูดหายใจ
5	8 ชั่วโมง
140 – 290	10 นาที
2,600	1 นาที
2,500 – 2,900	1 นาที

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2541.

(3) ความเป็นพิษต่อระบบอื่น ๆ พบว่า แคดเมียมมีความเป็นพิษต่อระบบอื่น ๆ เช่น ไต ตับ อัณฑะ ระบบประสาท ตับอ่อน ระบบที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเม็ดโลหิต ระบบเส้นเลือด และหัวใจ

2) ความเป็นพิษต่อมนุษย์แบบเรื้อรัง

ความเป็นพิษแบบเรื้อรังที่มีต่อมนุษย์หลังจากที่ร่างกายได้รับแคดเมียมในปริมาณปานกลางเข้าไปนานติดต่อกัน ความเป็นพิษมักจะไปปรากฏที่ปอดและไตเป็นส่วนใหญ่ ส่วนในระบบอื่น ๆ ก็มีปรากฏอาการเช่นเดียวกัน เช่น ที่กระดูก เม็ดโลหิต

(1) ความเป็นพิษต่อปอด ในคนงานที่หายใจเอาฝุ่นหรือฟุ้งของแคดเมียม (Cadmium Dust or Fume) จะทำให้เกิดอาการบวมหรือฟองของเนื้อเยื่อปอด และเกิดอาการหายใจขัด สำหรับปริมาณความเข้มข้นต่ำสุดของแคดเมียมที่จะก่อให้เกิดความเป็นพิษในระยะยาวยังไม่ทราบแน่ชัด แต่มีบางรายงานเสนอว่า การได้รับแคดเมียมในปริมาณความเข้มข้น 2 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร นานติดต่อกัน (วันละ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 70 ปี) เป็นระดับที่ไม่มีผลกระทบต่อปอด (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

(2) ความเป็นพิษต่อไต ในผู้ที่ได้รับแคลเซียมเข้าสู่ร่างกายนานติดต่อกัน เช่น คนงาน หรือชาวญี่ปุ่น โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุซึ่งบริโภคข้าวที่ปลูกในพื้นที่ปนเปื้อนด้วยแคลเซียมจนก่อให้เกิดโรคพิษแคลเซียมที่เรียกว่า โรคอไต – อไต จะพบความเป็นพิษที่ไตก่อนที่จะปอด กล่าวคือ จะเกิดแผลที่ไต รวมถึงการที่ไตขับปัสสาวะที่มีโปรตีนมากกว่าปกติ ซึ่งโปรตีนที่ขับออกมาส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ เช่น B₂, Microglobulin, Lysozyme, Ribonuclease, Retinol Binding Protein and Immunoglobulin Chains จากการศึกษา รายงานผลกระทบทางสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ห้วยแม่ดาว ตำบลพระธาตุผาแดง และตำบลแม่ดาว อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก ที่รับประทานผลผลิตทางการเกษตรที่ปนเปื้อนแคลเซียมหรือคัม น้ำที่ปนเปื้อนแคลเซียม เป็นผลให้ได้รับสารแคลเซียมสะสมในร่างกายอย่างคั่งเนื่องทุกวัน พบว่ามีชาวบ้านได้เสียชีวิตไปแล้วด้วยโรคไตวายกว่า 30 ราย (อนันตชัย นุกูล, 2548) สำหรับปริมาณที่คาดคะเนว่าเมื่อร่างกายได้รับเข้าไปด้วยการกินแล้วจะไม่เกิดผลต่อไต คือ วันละ 200 มิลลิกรัม ส่วนปริมาณแคลเซียมที่สะสมอยู่ในไตที่คาดว่าอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษขึ้นได้ คือ 200 ไมโครกรัม/กรัมของเนื้อไต (น้ำหนักเปียก) (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

(3) ความเป็นพิษต่อระบบเลือดเข้าสู่หัวใจ คือ ความดันโลหิตสูง

(4) ความเป็นพิษที่กระดูก ปรากฏเด่นชัดในกรณีการเกิดโรคอไต-อไต ในประเทศญี่ปุ่น จากการบริโภคข้าวที่มีแคลเซียมปนเปื้อนในปริมาณที่สูง ผู้ป่วยด้วยโรคนี้ส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุประมาณ 50 ปีขึ้นไป โรคนี้เป็นโรคกระดูกผุ คือ กระดูกจะพรุนงอโค้งได้ง่าย ทำให้กระดูกเสียรูปทรงและหักได้ง่าย และมีอาการปวดที่เอว ปวดก้นตามเนื้อขาและเจ็บที่กระดูกตลอดจนมีผลต่อการเคลื่อนไหวด้วย (ธวัชชัย สุกคิชฐ์, 2546: 93)

(5) ความเป็นพิษต่อระบบการสร้างเม็ดโลหิต จะเกิดในกลุ่มผู้ป่วยกรณีเกิดโรคอไต – อไต และกลุ่มคนงานที่ต้องสัมผัสกับแคลเซียมจะพบอาการของโรคโลหิตจาง

(6) ความเป็นพิษต่อดับ ความเป็นพิษต่อดับในมนุษย์ พบว่า จะทำให้การทำงานของของเอนไซม์ในระดับเปลี่ยนแปลงไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

3) ความเป็นพิษต่อสัตว์

แคลเซียมสามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์ได้อย่างมาก เมื่อเข้าสู่ร่างกายซึ่งแคลเซียมจะยับยั้งการทำงานของระบบเอนไซม์ โดยจะรบกวนการทำงานของเอนไซม์และโปรตีนที่มีโลหะประกอบ และฟอสโฟไลปิด (Phospholipid) เช่น สามารถเข้าแทนที่สังกะสีในระบบเอนไซม์ Carboxypeptidase ซึ่งจะทำให้การทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการสลายตัวของเปปไทด์ (Peptide) นั้นหมดไป (สุกมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2539: 70) นอกจากนี้ยัง

สามารถเข้าแทนที่สังกะสีในระบบเอนไซม์ Dehydrogenases และเอนไซม์ Carbonic Anhydrase มีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ชนิดดังกล่าวหมดไปด้วย

4) ความเป็นพิษต่อพืช

ความรุนแรงจากความเป็นพิษของแคดเมียมที่มีต่อพืชไม่แตกต่างจากสัตว์ โดยพบว่า ในปริมาณเพียงเล็กน้อย 1 – 10 พีพีเอ็ม จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และจากการศึกษาผลกระทบของแคดเมียมที่มีผลต่อความสูงและการแตกกอของข้าวสายพันธุ์ กข. 7 เห็นได้ชัดเจนที่ระดับ 1,000 พีพีเอ็ม แคดเมียม ส่วนอัตรา 1 – 100 พีพีเอ็ม แคดเมียมนั้นไม่ทำให้ความสูงและการแตกกอแตกต่างกันในทางสถิติ และผลต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งนั้นมีแนวโน้มให้เห็นที่ระดับ 10 พีพีเอ็ม แต่จะเด่นชัดยิ่งในระดับที่ 1,000 พีพีเอ็ม (ศิริพร พลายนูล, 2527: 36) และจากการศึกษาอิทธิพลของแคดเมียมที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของพืชอาหารสัตว์ พบว่า เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของแคดเมียมลงไปในดินก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณแคดเมียมในพืชที่ปลูกตามไปด้วย ซึ่งมีผลทำให้การเจริญเติบโตของหญ้าขนลดลงทั้งในส่วนของลำต้นและรากตามลำดับความเข้มข้น และพบว่า หญ้าขนนั้นสามารถทนความเป็นพิษของแคดเมียมโดยไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตได้ถึง 100 พีพีเอ็ม (อรรพรรณ ศิริรัตน์พิสัย, 2525 อ้างถึงใน สุนิสา แสงจันทร์, 2543: 15)

2.1.7.2 ผลที่มีต่อระบบนิเวศ

1) การเปลี่ยนแปลงของแคดเมียมในระบบนิเวศ (Huckabee and Blaylock 1973: 82) ได้ติดตามการเคลื่อนย้ายแคดเมียมจากระบบนิเวศบกถึงระบบนิเวศน้ำพบว่าเกือบร้อยละ 94 – 96 ของแคดเมียมจะสะสมในดิน สำหรับในน้ำแคดเมียมจะถูกสะสมในตะกอนอย่างรวดเร็วมากกว่าสะสมในสิ่งที่มีชีวิต ร้อยละ 20 ของแคดเมียมในน้ำจะอยู่ในรูปอนุภาคแขวนลอย และจากรายงานการศึกษาแคดเมียมที่สะสมในสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำจืดจะไม่มี Biomagnification ในห่วงโซ่อาหาร (Taylor, 1983: 33) นอกจากนี้มีการศึกษาผลของแคดเมียมที่มีต่อผู้ผลิตในระบบนิเวศน้ำ พบว่า ในพืชน้ำและสาหร่ายทะเลจะมีการสะสมแคดเมียมที่ส่วนรากมากกว่ายอดและใบ ส่วนในพืชบกนั้นผลของแคดเมียมที่มีต่อพืชเกี่ยวข้องกับคุณลักษณะดินเนื่องจากแคดเมียมละลายได้ดีกว่าโลหะหนักอื่น ๆ ดังนั้น แคดเมียมปริมาณเพียงเล็กน้อยที่ปนเปื้อนในดินก็จะถูกดูดซึมและสะสมในพืช ปกติพืชจะมีแคดเมียมในมวลแห้งน้อยกว่า 1 พีพีเอ็ม และในบางครั้งที่มีปริมาณแคดเมียมสูงในพืช แต่พืชมิได้แสดงอาการพิษ ซึ่งเป็นอันตรายในระบบห่วงโซ่อาหารเพราะพืชนั้นสามารถถ่ายทอดสารพิษนี้ให้กับผู้บริโภคในระดับต่าง ๆ ได้ ถั่วเหลืองซึ่งเป็นพืชอาหารที่สำคัญเป็นพืชที่ไวต่อผลทางลบของแคดเมียมพืชหนึ่ง เพราะแคดเมียมทำให้ ราก ลำต้น น้ำหนักปม และผลผลิตของถั่วเหลืองลดลง (Borges and Wollum, 1981: 216) นอกจากนี้แคดเมียมยังทำให้การตรึงไนโตรเจนลดลงและในปริมาณที่สูงมาก ๆ จะยับยั้งการเกิดปมของถั่วด้วย (Vigue, Pepper and Bezdicsek, 1981: 82)

2) แคลเมียมเป็นธาตุที่ละลายในน้ำได้ดีกว่าธาตุโลหะอื่น ๆ ที่สามารถเปลี่ยนแปลงเคลื่อนย้ายได้รวดเร็ว พืชสามารถดูดซึมแคลเมียมซึ่งมีวาเลนซ์ +2 หรืออยู่ในสภาพ Cd^{+2} เข้าไปในเนื้อเยื่อได้อย่างรวดเร็ว ถ้าความเป็นกรดหรือด่าง (pH) เหมาะสม เพื่อพิสูจน์ว่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมเป็นปัจจัยที่ควบคุมความสามารถในการดูดซึมแคลเมียมของพืช จากทดลองของ Mahler, Bingham and Chang (1981: 72) ปลูกพืชในดินที่มีสภาพความเป็นกรด – ด่างต่าง ๆ กัน พบว่า ในสภาพที่ดินเป็นกรดรุนแรง (pH 4.8 – 5.5) พืชจะสะสมแคลเมียมได้มากกว่าดินที่มีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.4 – 7.8) ทั้งนี้เพราะที่ pH สูงกว่า 7.25 จะเกิดเกลือแคลเมียมคาร์บอเนต (CdCO_3) หรือแคลเมียมฟอสเฟต ($\text{Cd}(\text{PO}_4)_2$) ซึ่งไม่ละลายน้ำ ดังนั้น ในสภาพที่เป็นด่างปฏิกิริยาของแคลเมียมอิสระจะลดลง (Cd^{+2}) นอกจากนี้ การศึกษาการดูดซึมแคลเมียมของพืชจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณของแคลเมียมในดินมีปริมาณที่สูง แต่มีค่า pH ต่ำ จากข้อมูลดังกล่าวจึงพอสรุปได้ว่าการดูดซึมและการสะสมแคลเมียมของพืชจะมากขึ้นเมื่อดินมีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ ดินมีความเป็นกรด (pH ต่ำกว่า 6.5) มีสารอินทรีย์น้อย มีความสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกที่ต่ำ มีอุณหภูมิสูงพอเหมาะ มีปริมาณแคลเมียมในดินมาก โครงสร้างทางเคมีของแคลเมียมในดินเหมาะสมที่พืชจะดูดซึมได้ ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เหมาะสม ได้แก่ ความชื้น อากาศ ปริมาณโลหะหนักอื่น ๆ

3) ผลของแคลเมียมที่มีต่อผู้บริโภครในระบบนิเวศ พบว่า ในหอยหน้าดินจะมีการสะสมแคลเมียมในระดับสูงบริเวณคืบและทางเดินหายใจมากกว่าเปลือก กล้ามเนื้อ หรืออวัยวะภายใน ความเข้มข้นของแคลเมียมในสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก (*Hyla azteca*) มีปริมาณ 1.0 – 51.3 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง ปริมาณแคลเมียมในปลาน้ำจืดในประเทศแคนาดาน้อยกว่า 0.4 ไมโครกรัม/กรัม (Wren, MacCrimmon and Loescher, 1983: 277) แมลงน้ำบางชนิดและกิ้งก่าจืด มีความสามารถที่จะทนทานพิษของแคลเมียมได้ โดยพบว่าที่ความเข้มข้น 238 ไมโครกรัม/ลิตร มีผลเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์จำพวก Caddisfly (*Hydropsyche betti*) และหนอนปลอกน้ำ (Stonefly) (*Pteronarcys dorsata*) สำหรับความเป็นพิษที่มีต่อปลานั้นจะแตกต่างกันในแต่ละระยะของการเจริญเติบโต โดยที่ระยะตัวอ่อน และระยะ Newly Hatched Alevins ทนทานต่อพิษได้ดีกว่าระยะ Older Alevins หรือระยะ Juveniles

4) การศึกษาผลของแคลเมียมที่มีต่อเด็ก พบว่า เด็กที่มีอายุน้อยจะมีความไวต่อแคลเมียมมากกว่าเด็กที่มีอายุมากกว่า จากการทดลองให้อาหารซึ่งมีแคลเมียมปริมาณ 200 ไมโครกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง กับเป็ดป่าระยะเต็มวัยเป็นเวลา 8.5 สัปดาห์ จะทำให้เกิดภาวะ Kidney Lesions สำหรับการศึกษาในสัตว์ป่า พบว่า ลักษณะทางคลินิกของความเป็นพิษของแคลเมียมที่สำคัญ คือ การเกิดโรคโลหิตจาง เกิดพัฒนาการของต่อมสืบพันธุ์ล่าช้า โรคข้อต่อมีการ

ขยายตัว โรคไตและตับถูกทำลาย และการเจริญเติบโตลดลง ซึ่งเป็นลักษณะที่คล้ายคลึงกับการขาดธาตุสังกะสี

5) ผลของการศึกษาความเป็นพิษของแคลเซียมที่มีต่อผู้ย่อยสลายในระบบนิเวศ พบว่า แคลเซียมจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ประเภท Prokaryotic เช่น แอคติโนไมซีต

2.1.8 การบำบัดเมื่อเกิดพิษ

2.1.8.1 การบำบัดเมื่อเกิดพิษแบบเฉียบพลัน

ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันที่ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการหายใจเอาไอแคลเซียมเข้าไป ซึ่งเนื่องมาจากอุตสาหกรรม อาการโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นทันทีที่ทั้ง ๆ ที่อาจจะมีการหายใจเข้าไปเพียงไม่กี่ชั่วโมง อาการที่เกิดขึ้น ได้แก่ แน่นหน้าอก ไอติดต่อกัน หายใจถี่ ปวดศีรษะ และสั่นด้วยความหนาว อาจถึงตายได้ สำหรับโดยการกินเกิดขึ้นได้น้อยมาก

1) การบำบัดรักษาผู้ป่วยที่มีอาการเฉียบพลัน ขั้นแรก ควรรักษาตามอาการที่เกิดขึ้น เพื่อไม่ให้เกิดอาการหมดสติ เช่น การทำให้เกิดอาการง่วงหลับ การบรรเทาการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ โดยการฉีดสารละลาย Sodium Bicarbonate และสาร Glucose – novocaine เข้าไปในเส้นเลือด และต้องให้ผู้ป่วยพักผ่อนและทำให้ร่างกายอบอุ่น

2) ในกรณีที่ความเป็นพิษของแคลเซียมเกิดขึ้นที่ระบบทางเดินอาหาร ควรรักษาตามอาการที่เกิดขึ้น เพื่อไม่ให้เกิดอาการหมดสติ และทำการล้างท้องด้วยสารละลาย Unithol ร้อยละ 5 ปริมาณ 200 – 300 มิลลิลิตร โดยผ่านทาง Probe ทั้งนี้เพื่อดูดซับพิษ

3) ในการบำบัดรักษาอาการระคายเคืองของระบบทางเดินหายใจ ทำได้โดยการให้ผู้ป่วยสูดหายใจร้อยละ 2 NaHCO_3 เพื่อทำให้ระบบทางเดินหายใจชุ่มชื้นและอุ่น พร้อมทั้งให้ผู้ป่วยดื่มน้ำแร่ที่เป็น Alkaline ในรายที่มีอาการไอต้องให้ Codeine และ Dionine

4) ในรายที่เนื้อเยื่อในปอดมีลักษณะบวม น้ำ บำบัดโดยการให้ออกซิเจน ร้อยละ 40 – 60 เพื่อช่วยในการหายใจ พร้อมทั้งฉีดร้อยละ 10 CaCl_2 10 – 20 มิลลิลิตร และร้อยละ 40 Glucose 20 มิลลิลิตร รวมกับ Ascorbic Acid 500 มิลลิลิตร นอกจากนี้ต้องฉีดยากระตุ้นหัวใจ เช่น Caffeine Corglucone และ Strophathin เป็นต้น และในบางรายต้องให้เลือดเข้าช่วยด้วย สำหรับในรายที่มีน้ำอยู่ในปอดมากจะต้องเจาะเพื่อคูลน้ำออก และควรให้ผู้ป่วยรับประทานยาประเภท Lipotropic วิตามิน Ascorbic และ Glutamine Acids ทั้งนี้เพื่อช่วยป้องกันการเกิดแผลที่ตับ

2.1.8.2 การบำบัดเมื่อเกิดพิษแบบเรื้อรัง

ในรายที่เป็นพิษแบบเรื้อรังนั้น ต้องทำการบำบัดรักษาในลักษณะที่เป็นการบำรุงร่างกายด้วยการให้อาหารที่อุดมไปด้วยวิตามิน โดยเฉพาะวิตามินดีและแคลเซียม และการลดความ

เป็นพิษที่เกิดขึ้นโดยการใช้ยาแก้พิษ ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพจะต้องดำเนินการทันทีเมื่อพบว่ามีอาการเกิดขึ้น ถ้าหากมาใช้ยาแก้พิษภายหลังจากที่อาการเกิดขึ้นเป็นระยะเวลานานแล้ว ประสิทธิภาพของยาแก้พิษก็จะลดลง

2.1.9 การจัดการของเสีย

2.1.9.1 ของเสียที่เป็นของแข็ง

1) การหมุนเวียนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ (Recycling) เช่น เศษโลหะหรือเศษชิ้นส่วนของโลหะแคดเมียม หรือสารประกอบแคดเมียม โดยการคัดแยกประเภทและแยกใส่ภาชนะบรรจุ พร้อมทั้งติดฉลากระบุชนิดให้ชัดเจนเพื่อนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตใหม่

2) โดยการถมที่ (Landfill) กล่าวคือ สารประกอบแคดเมียมในรูปสารละลายที่ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลาย จะมีลักษณะเป็นของแข็ง ซึ่งกากเหล่านี้จะถูกทำให้เป็นแท่งหรือก้อน (Solidification) ก่อนนำไปฝังหรือถมในที่เหมาะสมต่อไป

2.1.9.2 ของเสียที่เป็นของเหลว

1) ใช้กระบวนการบำบัดทางกายภาพควบคู่ไปกับทางเคมี (Physicochemical Treatment Process) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งโดยที่ปริมาณแคดเมียมในน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 0.2 – 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ในน้ำทิ้งโดยทั่ว ๆ ไป จะมีปริมาณแคดเมียมน้อยกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร และวิธีที่สามารถใช้ในการบำบัด ได้แก่ Ion Exchange, Electrolysis, Electrodialysis และ Cementation Adsorption แต่ปัจจุบันวิธีที่นิยมแพร่หลาย คือ การตกตะกอนแคดเมียมด้วยด่างให้อยู่ในรูปของ Hydroxide หรือในรูปของเกลือ ในกระบวนการนี้ด่างที่ใช้ในการตกตะกอน ได้แก่ ปูนขาว (Lime) Caustic Soda (Sodium Hydroxide) หรือ Sodium Carbonate จากนั้น ปล่อยตะกอนเหล่านั้นตกลงมาด้วยน้ำหนักของตะกอนเอง นอกจากนี้ ยังต้องใช้ระบบอื่น ๆ ควบคู่ไปด้วย เช่น

(1) ในกรณีที่น้ำทิ้งมีไซยาไนด์ หรือเกลือแอมโมเนีย ต้องกำจัดสารประกอบเหล่านี้ออกก่อน เนื่องจากสารประกอบเหล่านี้จะไปทำให้ประสิทธิภาพของการตกตะกอนลดลง

(2) น้ำใสจากการตกตะกอนทางเคมี เพื่อให้น้ำใสก่อนปล่อยทิ้ง มีปริมาณแคดเมียมลดลง จึงต้องผ่านเทคนิคอื่น ๆ ประกอบ เช่น Activated Carbon, Reverse Osmosis และ Ion Exchange อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลาย ๆ เทคนิครวมกัน

(3) สำหรับ Sludge ที่ตกตะกอนลงมา มีปริมาณของแข็งเพียงร้อยละ 2 – 10 และแคดเมียม 10 – 1,000 พีพีเอ็ม โดยต้องทำการลดปริมาตรด้วยการขจัดน้ำออกไปก่อน (Dewatering Process) เช่น การกรองด้วยการใช้สุญญากาศ หรือการใช้แรงดันสูง ๆ จะเหลือ

ตะกอนที่อยู่บนแผ่นกรอง ที่เรียกว่า Filter Cake ประมาณร้อยละ 15 – 25 และมีของแข็งร้อยละ 20 – 50 จากการนั้นจึงนำ Filter Cake ไปกำจัดทิ้งโดยการถมที่ (Landfill)

2) โดยการตกตะกอนให้อยู่ในรูปของ Sulphide เนื่องจากในการขจัดโลหะหนักแต่ละชนิดออกจากน้ำทิ้งให้ได้มากที่สุด โดยการตกตะกอนให้อยู่ในรูปของ Hydroxide ปัจจัยสำคัญ คือ ความเป็นกรด – ด่าง (pH) และองค์ประกอบหรือลักษณะของน้ำทิ้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตโลหะหนัก ซึ่งแคลเซียมจะออกจากน้ำทิ้งให้ได้มากที่สุด คือ การตกตะกอนให้อยู่ในรูปของ Hydroxide แล้วตามด้วยการตกตะกอนเอาแคลเซียมบางส่วนที่ยังเหลืออยู่ในน้ำทิ้งให้อยู่ในรูป Sulphide ข้อจำกัดของวิธีการตกตะกอนให้อยู่ในรูปของ Sulphide คือ Cadmium Sulphide ที่ตกตะกอนลงมามีแนวโน้มที่จะอยู่ในรูปของตะกอนแขวนลอย และ Hydrogen Sulphide (H_2S) ซึ่งเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากการที่ Sulphide Ions ทำปฏิกิริยากับน้ำ จะมีกลิ่นเหม็นและมีพิษต่อร่างกาย นอกจากนี้ ยังต้องกำจัด Sulphide ส่วนที่เหลืออยู่ในน้ำออกไปก่อนปล่อยน้ำทิ้ง เช่น โดยการ Oxidise ด้วย Manganese Salts

3) การแยกกลับมาใช้ประโยชน์ (Recovering) สำหรับสารประกอบแคลเซียมที่อยู่ในรูปของสารละลาย เช่น Cadmium Sulphate ทำได้โดยการตกตะกอนให้อยู่ในรูป Sulphides ทำให้ตะกอนแห้ง แล้วทำการแยก (Recovery) แคลเซียมต่อไป

4) ในกรณีของน้ำทิ้งจากการเคลือบโลหะด้วยแคลเซียมสามารถขจัดได้โดยการนำชิ้นส่วนโลหะที่ผ่านกระบวนการการเคลือบแคลเซียมล้างในถังหรือในอ่างน้ำที่ไม่ได้ปล่อยน้ำไหลทิ้งตลอด ทั้งนี้ เพื่อลดปริมาณแคลเซียมที่ออกมาพร้อมกับน้ำที่ปล่อยออกมา อีกทั้งการขจัดเอาแคลเซียมออกจากน้ำล้างดังกล่าวทำได้ง่ายขึ้น และการขจัดแคลเซียมออกมาทำได้โดยการเติมด่าง เนื่องจาก pH ที่สูง ๆ จะทำให้แคลเซียมตกตะกอน เช่น เติม Calcium Oxide ลงไปในอัตราส่วน 1 : 2 (Calcium Oxide 1 ส่วน ต่อ Cadmium 2 ส่วน) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการขจัดแคลเซียมได้สูงถึงร้อยละ 98.93

2.1.9.3 อากาศเสีย

แคลเซียมที่ปะปนกับอากาศเสียที่ระบายออกมา จะอยู่ในรูปของ Aerosols กำจัดโดยใช้ Electrofilter หรือ Bag Filter เพื่อจับ Calcium Aerosol ก่อนระบายอากาศเสียออกไป

2.1.9.4 ดินที่ปนเปื้อนด้วยแคลเซียม

จัดการได้โดยการขุดดินส่วนบนที่ถูกปนเปื้อนเพื่อนำไปฝัง ก่อนนำไปฝังจะต้องเดิมสารที่จะไปเปลี่ยนแคลเซียมที่ปนเปื้อนในดินให้อยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถดูดซึมได้ และถ้าหากจะปลูกพืชก็ควรจะปลูกพืชที่ทนทานต่อการเจริญเติบโตในดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะสูง และเป็นพืชชนิดที่ไม่สามารถนำมารับประทานได้ เพื่อที่ได้ไม่กลับสู่ห่วงโซ่อาหาร เช่น สนุ่นดำ

2.1.10 การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม

2.1.10.1 Dithizone Methods

การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้อาศัยหลักการที่ว่า แคดเมียมจะรวมตัวกับ Dithizone ในสถานะที่เป็นค่า เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงที่สูง และต้องขจัดโลหะอื่น ๆ ที่จะรวมตัวกับ Dithizone ออกไปก่อน ความถูกต้องของวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับวิธีการขจัดเอาโลหะอื่นออกไป และการปนเปื้อนของแคดเมียมในน้ำยาเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งวิธีนี้นิยมใช้ในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในตัวอย่างชีววัตถุ เช่น ปัสสาวะ ชิ้นส่วนอวัยวะ และในตัวอย่างอาหาร

2.1.10.2 Emission Spectroscopy หรือ Spectrography

การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้อาศัยหลักการที่ว่า อะตอมของโลหะจะถูกกระตุ้นโดยพลังงานหรือกระแสไฟฟ้า ให้แสงที่มีสีแตกต่างกันไป และแสงเหล่านี้จะถูกบันทึกลงบนแผ่นฟิล์ม ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อทราบชนิดและปริมาณของโลหะได้ ซึ่งวิธีนี้ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะในตัวอย่างชีววัตถุ

2.1.10.3 Neutron Activation

การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ทำได้โดยนำตัวอย่างเข้าอบรังสีนิวตรอน เพื่อให้เกิดเป็นเรดิโอไอโซโทป แล้ววิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่องมือวัดรังสี

2.1.10.4 Atomic Absorption Spectrophotometry

การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้อาศัยหลักการที่ว่า ฉีดตัวอย่างในรูปของสารละลายเข้าไปในช่องเผาอุณหภูมิสูง เพื่อให้อะตอมผ่านไปในแสงซึ่งมี Cathode เฉพาะชนิด ถ้าตัวอย่างนั้นมีโลหะอยู่ อะตอมจากโลหะจะดูดแสง และอ่านค่า Absorbance ออกมาเป็นเมตร โดยปกติเปลวไฟที่ใช้ในการเผาจะเป็น Acetylene แต่ก็สามารถใช้ Propane แทนได้ ในปัจจุบันวิธี Atomic Absorption เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม ซึ่งมีขีดความสามารถตรวจวัดได้ต่ำสุดถึง 0.005 ไมโครกรัม/กรัม

ในการศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในครั้งนี้จะใช้วิธี Atomic Absorption Spectrophotometry

2.2 ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนัก

2.2.1 พฤติกรรมของโลหะหนักในดิน

2.2.1.1 ความเป็นประโยชน์ของโลหะในดิน

ภายในดิน โลหะหนักมีความสัมพันธ์กับหลายองค์ประกอบ คือ ในสารละลายดิน ซึ่งเป็นไอออนโลหะอิสระ เป็นโลหะเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ ถูกยึดกับส่วนขององค์ประกอบของดินที่เป็นสารอนินทรีย์ที่บริเวณการแลกเปลี่ยนไอออนของดิน จับตัวกับอินทรีย์วัตถุในดิน ตกตะกอนเป็นรูปของ Oxides, Hydroxides, Carbonates และถูกตรึงอยู่ในโครงสร้างของแร่ซิลิเกต ในกระบวนการสกัดโลหะหนักจากดินนั้น โลหะที่ปนเปื้อนจะต้องมีความเป็นประโยชน์ กล่าวคือ พร้อมทั้งจะถูกดูดซึมโดยรากพืช ซึ่งความเป็นประโยชน์นี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายในสารละลายดิน โดยมีโลหะบางตัวนั้นมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนและอยู่ในรูปที่มีความเป็นประโยชน์สูง คือ สังกะสี และแคลเซียม แต่โลหะตัวอื่น เช่น ตะกั่ว ซึ่งจะตกตะกอนในดิน จะมีความเป็นประโยชน์น้อยกว่า

2.2.1.2 พฤติกรรมของแคลเซียมในดิน

แคลเซียมเคลื่อนที่ได้ดีในดินที่มีค่าพีเอชระหว่าง 4.5 – 5.5 ขณะที่สภาพดินเป็นด่าง แคลเซียมไม่ค่อยเคลื่อนที่ ซึ่งในสภาพดินเป็นกรดสภาพละลายได้ของแคลเซียมจะขึ้นอยู่กับออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เป็นโลหะที่เคลื่อนที่ได้ดีในพืช เมื่อเปรียบเทียบกับทองแดง โครเมียม ตะกั่ว และนิกเกิล จึงถูกทำลายจากส่วนรากไปยังส่วนต้น และใบอย่างสม่ำเสมอ ความเป็นพิษของแคลเซียมต่อพืช เกิดจากการที่แคลเซียมไปมีผลต่อเมตาบอลิซึมของพืช แคลเซียมมีผลยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการคายน้ำของพืชด้วย โดยคาดว่าแคลเซียมไปทำให้ปากใบปิด และมีผลไปยับยั้งการสังเคราะห์แสงของพืชทำให้ใบมีการต้านทานต่อการแพร่กระจาย (Diffusive Resistance) หรือการเคลื่อนย้ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมโลหะหนักในดินและพืช

คุณลักษณะของดินที่มีผลต่อการดึงดูดโลหะหนักของพืช คือ สภาพการละลายได้ อันมีบทบาทที่จะบ่งบอกถึงสภาพการขาดแคลนหรือเป็นพิษต่อพืช หรือมีมากจนเป็นสารมลพิษในดิน ซึ่งปัจจัยที่ควบคุมสภาพการละลายได้ของโลหะหนัก ได้แก่ เนื้อดิน วัตถุต้นกำเนิดดินสภาพกรด – ด่าง ชนิดและปริมาณสารประกอบอินทรีย์ในดินและในสารละลายดิน ไอออนของธาตุอื่นที่มีอยู่ในสารละลายดิน ระดับความชื้นในดิน อุณหภูมิของดิน และกิจกรรมจุลินทรีย์ของดิน (สุกมาศ พนิชศักดิ์

พัฒนา, 2540: 72) ตัวอย่างของคุณสมบัติของดินต่อการสะสมโลหะหนักในดินและในพืช มีดังนี้ คือ ด้านที่เกี่ยวกับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity: C.E.C.) โดยดินที่มีค่า C.E.C. สูง จะมีการดูดซับและกักเก็บโลหะหนักได้สูง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างเนื้อดิน ดินเหนียวจะมีการดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่าดินร่วนและดินทรายตามลำดับ เนื่องจากดินเหนียวจะมีค่า C.E.C. สูง

2.2.3 ความสัมพันธ์ของพืช – โลหะในบริเวณรากพืช

ความเป็นประโยชน์ของโลหะสำหรับการดึงดูดเข้าไปในราก ปัจจัยหลักของข้อจำกัดการดึงดูดโลหะภายในรากพืช คือ การเคลื่อนย้ายแบบช้า ๆ จากอนุภาคดินสู่ดินผิวราก สำหรับโลหะทุกชนิด ยกเว้น โปรทที่ระเหยได้ การเคลื่อนย้ายนี้จะเกิดขึ้นในสารละลายดินในดิน ความสามารถในการละลายของโลหะจะถูกจำกัดเนื่องจากการดูดซับ (Absorption) กับอนุภาคดิน ตะกั่วเป็นสารปนเปื้อนหลัก ๆ ที่เรารู้จักกันดี สำหรับดินที่ไม่มีการเคลื่อนย้ายซึ่งสาเหตุหลักเนื่องจากการตกตะกอนของโลหะเป็นรูปของ Insoluble Phosphates, Carbonates และ (Hydr) Oxides (Blaylock and Huang, 1999: 45) ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของความสามารถในการละลายโลหะในดินจึงเป็นสิ่งที่สำคัญในการเพิ่มศักยภาพในกระบวนการ Pb – phytoextraction โดยกลไกที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายของโลหะจากดินสู่พืช มีดังนี้คือ การพา (Convection) หรือ Mass Flow และการแพร่ (Diffusion) (Elio, Montrato and Simon, 2000: 23) เนื่องจากการพาของไอออนโลหะที่ละลายน้ำจะเคลื่อนที่จาก Soil Solids ไปยังผิวราก จากบริเวณ Rhizosphere น้ำจะถูกดูดซับโดยรากพืชเพื่อนำมาใช้แทนที่น้ำที่ถูกใช้ในการหายใจโดยใบ โดยการดูดน้ำจากบริเวณรากจะสร้าง Hydraulic Gradient โดยตรงจากดินไปยังราก ไอออนบางตัวจะถูกดูดซับโดยรากพืชมากกว่าอัตราของการใช้น้ำผ่าน Mass Flow ดังนั้น จะมีพื้นที่ที่ไม่มีอะไรเหลืออยู่เลยที่ถูกสร้างขึ้นใกล้กับรากพืช ซึ่งจะสร้าง Concentration Gradient โดยตรงจากสารละลายดินและอนุภาคดินที่จับตัวกับธาตุที่ถูกดูดซับอยู่ และสารละลายจะสัมผัสกับพื้นผิวของรากโดยมี Concentration Gradient เป็นตัวกระตุ้นการแพร่ของไอออนไปยังพื้นที่ว่างเปล่าที่อยู่รอบ ๆ รากพืช

พืชจะมีกลไกพิเศษในการเพิ่มความเข้มข้นของไอออนโลหะในสารละลายดิน ยกตัวอย่างเช่น ที่ปริมาณการใช้ไอออนต่ำ ๆ พืชอาจมีการเปลี่ยนสิ่งแวดล้อมทางเคมีของบริเวณรากพืชเพื่อกระตุ้นการปล่อยไอออนจากของแข็งในดินเข้าไปในสารละลาย เช่น กลไก Rhizosphere Acidification อันเนื่องจาก H^+ ที่ออกมาจากราก นอกจากนี้พืชบางชนิดยังสามารถควบคุมความสามารถในการละลายของโลหะในบริเวณรากโดยการปล่อยสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ออกมาจากราก ซึ่ง Root Exudates Complex Metal Ions จะเก็บไว้ในสารละลายสำหรับการดูดซับเข้าไปในราก

2.2.4 วิธีการบำบัดดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก

2.2.4.1 การใส่ปูนขาวเพื่อเพิ่มค่าพีเอช (pH) ของดินให้สูงขึ้น (> 6.5) จะช่วยลดการละลายได้ของโลหะบางชนิด เช่น ตะกั่ว และแคดเมียม

2.2.4.2 เพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งจะให้ผลเช่นเดียวกับการใส่ปูนขาว

2.2.4.3 เพิ่มการระบายอากาศ โลหะหนักจะถูกออกซิไดซ์ และละลายน้ำได้น้อย

2.2.4.4 ใช้ปุ๋ยฟอสเฟต ซึ่งการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในปริมาณที่มากจะเป็นการลดความเป็นประโยชน์ของไอออนบวกของโลหะ แต่ให้ผลตรงกันข้ามกับอาร์เซนิก อย่างไรก็ตามการใช้ฟอสเฟตมากเกินไปอาจทำให้เกิดมลพิษทางน้ำได้เช่นกัน

2.2.4.5 ใช้พืชที่มีความทนทาน และต้องเป็นพืชที่ไม่สามารถนำมาบริโภคได้โดยตรงเพราะจะทำให้เกิดการแพร่กระจายของโลหะหนัก เช่น แคดเมียม สู่ห่วงโซ่อาหาร ซึ่งเป็นวิธีการที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้

2.2.4.6 การนำหน้าดินจากแหล่งอื่นมาถมในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก

2.3 กลไกทางกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับแคดเมียม

2.3.1 มาตรการควบคุมภายในประเทศ

ประเทศไทยได้กำหนดให้มีพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 โดยพระราชบัญญัติดังกล่าวกำหนดวัตถุอันตรายออกเป็น 4 ประเภท คือ

วัตถุอันตรายชนิดที่ 1 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนด

วัตถุอันตรายชนิดที่ 2 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องแจ้งให้พนักงานเจ้าหน้าที่ทราบก่อนและต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดด้วย

วัตถุอันตรายชนิดที่ 3 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องได้รับอนุญาต

วัตถุอันตรายชนิดที่ 4 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่ห้ามมิให้มีการผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครอง

ซึ่งแคดเมียม (Cadmium) จัดอยู่ในประเภทที่ 3 ได้แก่ วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องได้รับอนุญาต

2.3.1.1 มาตรฐานความปลอดภัยในการทำงาน

ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมที่ยอมรับให้มีได้ในสถานประกอบการตามประกาศกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2520 เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) กำหนดไว้ดังนี้

1) ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นแคดเมียมในบรรยากาศการทำงานโดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงานปกติ ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และปริมาณความเข้มข้นที่อาจยอมรับให้มีได้ คือ 0.6 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

2) ปริมาณความเข้มข้นของฟุ้งแคดเมียม (Cadmium Fume) โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทำงานปกติ ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และปริมาณความเข้มข้นที่อาจยอมรับให้มีได้ คือ 3 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

2.3.1.2 มาตรฐานน้ำดื่ม

ในประเทศไทย ที่กำหนดโดยหน่วยงานต่าง ๆ ได้แก่ กระทรวงสาธารณสุข สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และกรมทรัพยากรธรณี ปริมาณที่ยอมรับให้มีได้ คือ 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร

2.3.1.3 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

1) ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมที่ยอมรับให้มีได้ในน้ำที่ระบายทิ้งออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ต้องไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2512) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512

2) ปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมที่ยอมรับให้มีได้ในน้ำที่ระบายทิ้งที่ออกจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทถลุงโลหะสังกะสี ต้องไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2521) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512

3) โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้โลหะหนักในกระบวนการผลิต ซึ่งมีปริมาณน้ำทิ้งตั้งแต่ 50 ลูกบาศก์เมตรขึ้นไป และมีปริมาณโลหะแคดเมียมตั้งแต่ 1,500 มิลลิกรัมต่อวันขึ้นไป โรงงานดังกล่าวต้องมีผู้ควบคุมและผู้ปฏิบัติงานประจำเครื่องเพื่อรับผิดชอบระบบป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ

2.3.1.4 มาตรฐานแหล่งน้ำ

ปริมาณความเข้มข้นของแคลเซียมที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำผิวดินมิใช่ทะเล ตามร่างประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการพลังงาน เรื่อง กำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินซึ่งมิใช่ทะเล คือ

- 1) ในน้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO_3 ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแคลเซียมต้องไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร
- 2) ในน้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO_3 เกินกว่า 100 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแคลเซียมต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร

2.3.1.5 มาตรฐานอากาศเสีย

มาตรฐานอากาศเสียที่มีแคลเซียมซึ่งยินยอมให้ระบายได้จากแหล่งกำเนิดทุกแห่งจะต้องไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (เป็นเกณฑ์ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมยึดถือใช้ในการภายในยังไม่ได้กำหนดเป็นกฎหมาย)

2.3.2 มาตรการควบคุมของต่างประเทศ

2.3.2.1 มาตรฐานน้ำดื่ม

ปริมาณความเข้มข้นของแคลเซียมหรือสารประกอบของแคลเซียมที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่ม ที่กำหนดโดยหน่วยงานต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.8

2.3.2.2 มาตรฐานในเลือด

ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ได้เสนอแนะว่า ในเลือดของคนงานไม่ควรมีแคลเซียมเกิน 15 มิลลิกรัม/ลิตร

2.3.2.3 มาตรฐานในปัสสาวะ

ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ได้เสนอแนะว่า ในปัสสาวะของคนงานไม่ควรมีแคลเซียมเกิน 15 มิลลิกรัม/ลิตร

2.3.2.4 มาตรฐานความปลอดภัยในการทำงาน

ค่าปริมาณความเข้มข้นของแคลเซียมและสารประกอบแคลเซียมที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศของสถานประกอบการ ที่กำหนดโดยหน่วยงานต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.8 มาตรฐานน้ำดื่ม

หน่วยงานหรือประเทศที่กำหนด	ปริมาณแคดเมียมที่ยอมรับให้มีได้ (มิลลิกรัม/ลิตร)
เชกโกสโลวาเกีย	0.01
สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี	0.006
กลุ่มประชาคมเศรษฐกิจยุโรป (EEC)	0.005
สหราชอาณาจักร	0.005
ญี่ปุ่น	0.01
สหรัฐอเมริกา	0.01
องค์การอนามัยโลก (WHO)	0.005

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2541.

หมายเหตุ: EEC หมายถึง European Economic Community

ตารางที่ 2.9 มาตรฐานปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมในสถานประกอบการของต่างประเทศ

หน่วยงานหรือประเทศที่กำหนด	ค่ามาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)			หมายเหตุ
	TWA	CLV	STEL	
เชกโกสโลวาเกีย (REG)	0.05	0.01	—	—
ญี่ปุ่น (REG)	0.05	—	—	—
สหรัฐอเมริกา (REC)	0.05	—	—	ใช้สำหรับการควบคุมสารแคดเมียมและสารประกอบ (ยกเว้น Cadmium Oxide และ Cadmium Pigments) ผุ่น และ ฟุ่ม
สวีเดน (REG)	0.02 (ผุ่นที่หายใจเข้า ไป)	—	—	TWE เป็นค่าเฉลี่ยใน 1 วันและ สำหรับโรงงานใหม่หรือ ปรับปรุง

ตารางที่ 2.9 (ต่อ)

หน่วยงานหรือ ประเทศที่กำหนด	ค่ามาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)			หมายเหตุ
	TWA	CLV	STEL	
สวีเดน (REG)	0.05 (ฝุ่นทั้งหมด)			เครื่องจักรให้ใช้ค่า ID – TWE = 0.01 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร
ACGIH	0.05	–	0.02	–
สหรัฐอเมริกา (REC)				
สหรัฐอเมริกา (REG)	0.2 (Cd Dust)	0.6 (Cd Dust)	–	–
	0.1 (Cd Fume)	0.3 (Cd Fume)		
องค์การอนามัยโลก WHO (REC)	0.01	–	–	ทั้ง Cd ในรูปของฝุ่น และฟุ้ง

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2541.

หมายเหตุ: TWA = Time Weighted Average ค่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยระยะเวลาทำงานปกติ 8 ชั่วโมงต่อวัน

CLV = Ceiling Value ค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้

STEL = Short Term Exposure Limit ค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาจำกัด ซึ่งปกติในเวลา 15 นาที ไม่ควรเกิดขึ้นมากกว่า 4 ครั้ง ใน 1 วัน

ACGIH = American Conference of Government Industrial Hygienists

REG เป็นเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนดเป็นข้อบังคับตามกฎหมาย

REC เป็นเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนดหรือเสนอแนะขึ้น ไม่ได้กำหนดเป็นตัวบทกฎหมาย

2.3.2.5 มาตรฐานน้ำทิ้ง

สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีได้กำหนดว่า ถ้ามีการระบายน้ำทิ้งที่มีแคดเมียมลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณปีละ 100 กรัม หรือมากกว่า การระบายน้ำทิ้งนั้นจะต้องเป็นไปตามกฎเกณฑ์ตามที่รัฐกำหนดไว้

กลุ่มประชาคมเศรษฐกิจยุโรป (EEC) ได้กำหนดไว้ว่า เพื่อป้องกันมิให้สารแคดเมียมหรือสารประกอบแคดเมียมเข้าไปปนเปื้อนในแหล่งน้ำใต้ดิน ประเทศสมาชิกจะต้องดำเนินการดังนี้

- 1) ห้ามมิให้มีการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินโดยตรง
- 2) การกำจัดน้ำทิ้งใด ๆ ก็ตามที่นำไปสู่การปนเปื้อนของแคดเมียมในแหล่งน้ำใต้ดิน จะต้องได้รับความเห็นชอบจากพนักงานเจ้าหน้าที่ผู้มีอำนาจก่อน
- 3) จะต้องนำเอามาตรการที่เป็นที่ยอมรับว่าเหมาะสมมาใช้ในการป้องกันการปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำใต้ดิน

นอกจากนี้ EEC ยังได้กำหนดค่าปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมที่ยอมให้ระบายทิ้งออกมาจากกิจการอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ได้ไม่เกิน 0.20 มิลลิกรัม/ลิตร

ในกรณีที่มีการระบายน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม Titanium Dioxide ประเทศสมาชิกสามารถเรียกร้องให้มีการติดตามตรวจสอบปริมาณแคดเมียมในน้ำที่ไม่ผ่านการกรอง หรือน้ำที่กรองแล้วและในตะกอนแขวนลอยอย่างใดอย่างหนึ่งอย่างน้อยปีละ 3 ครั้ง รวมทั้งให้มีการตรวจสอบในดินตะกอนและสิ่งมีชีวิต (Organisms) อย่างน้อยปีละครั้ง

ประเทศญี่ปุ่น ได้กำหนดค่าปริมาณแคดเมียมที่ยอมให้ปล่อยออกมากับน้ำทิ้งได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร

ประเทศอาร์เจนตินา ได้กำหนดค่าปริมาณแคดเมียมที่ยอมให้ปล่อยออกมากับน้ำทิ้งอุตสาหกรรมได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร

ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดเกี่ยวกับเรื่องน้ำทิ้ง ดังนี้

- 1) การระบายแคดเมียมทิ้งลงสู่แหล่งน้ำจะต้องได้รับอนุญาตจากรัฐก่อน
- 2) จะต้องรายงานให้รัฐทราบ เมื่อการระบายน้ำทิ้ง ดังต่อไปนี้ คือ เมื่อมีแคดเมียมเกิน 100 ไมโครกรัม/ลิตร มีแคดเมียมเกินค่าสูงสุด 5 ครั้ง ตามแบบฟอร์มของรัฐที่กำหนดไว้ และมีแคดเมียมเกินค่าสูงสุดที่ทาง EPA (Environmental Protection Agency) ตั้งเงื่อนไขไว้
- 3) วิธีการวิเคราะห์แคดเมียม ที่ใช้สำหรับเรื่องเกี่ยวกับน้ำทิ้ง ให้ใช้วิธี Atomic Absorption หรือ Colorimetry โดยการย่อย (Digestion) แคดเมียมทั้งหมด จากนั้นกรองเอาแคดเมียมที่ละลายอยู่ด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมครอน

4) การใช้สารเคมีใด ๆ เมื่อมีการสลาย หรือเก็บรวบรวมพวกน้ำมัน หรือสารเคมีที่หกจะต้องได้รับความเห็นชอบจาก EPA ก่อน

5) การระบายน้ำทิ้งซึ่งมีปริมาณแคดเมียม วันละเท่ากับหรือมากกว่า 45.5 กิโลกรัม ลงสู่ทะเลหรือบริเวณชายฝั่ง จะต้องแจ้งให้ EPA ทราบ เพราะเป็นปริมาณที่สูงสามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษได้

2.3.2.6 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ

ประเทศเชกโกสโลวาเกีย กำหนดค่ามาตรฐานของแคดเมียมในบรรยากาศโดยเฉลี่ยไม่เกินวันละ 0.003 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร หรือในรูปสารประกอบอนินทรีย์ของแคดเมียมโดยเฉลี่ยไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ในเวลา 30 นาที นอกจากนี้ ประเทศสหภาพแห่งสาธารณรัฐโซเวียตสังคมนิยม ได้กำหนดค่ามาตรฐานของแคดเมียมออกไซด์ (Cadmium Oxide) โดยเฉลี่ยไม่เกินวันละ 0.001 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร (คำนวณในรูปของ Cd)

2.3.2.7 มาตรฐานอากาศเสีย

ประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ได้กำหนดค่าของแคดเมียมที่ยอมรับให้ปล่อยออกจากแหล่งระบายอากาศเสีย ดังนี้

1) ปริมาณฝุ่นของแคดเมียมและฝุ่นของสารประกอบอนินทรีย์ของแคดเมียมที่ตกลงมาโดยคำนวณในรูปของแคดเมียมไม่เกิน 5 ไมโครกรัม/ตารางเมตร/วัน ทั้งนี้เพื่อป้องกันผลกระทบที่เกิดขึ้น ตลอดจนเหตุเคือคร้อนรำคาญ

2) ปริมาณฝุ่นแคดเมียมและฝุ่นของสารประกอบอนินทรีย์ของแคดเมียมที่ตกลงมาโดยคำนวณในรูปของแคดเมียมไม่เกิน 0.4 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้เพื่อป้องกันอันตรายที่จะมีต่อสุขภาพอนามัย

3) ถ้าปริมาณแคดเมียมที่ระบายออกมากับอากาศเสีย ซึ่งคำนวณไว้มีค่าเกิน 0.01 กิโลกรัม/เฮกตาร์ การติดตั้งเครื่องมืออุปกรณ์สำหรับโรงงานใหม่หรือเพิ่มเติมจะต้องได้รับการอนุญาตก่อน

4) ปริมาณฝุ่นของแคดเมียม พรอท รวมทั้งสารประกอบอนินทรีย์ของสารเหล่านี้ ที่ต้องระบายออกมากับอากาศเสียจะต้องไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และปริมาณที่ระบายออกมาจะต้องไม่เกิน 1 กรัม/เฮกตาร์

2.3.2.8 มาตรฐานแหล่งน้ำ

ปริมาณแคดเมียมในแหล่งน้ำ ที่แต่ละประเทศกำหนดไว้ ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 มาตรฐานแหล่งน้ำของประเทศต่าง ๆ

ประเทศ	ประเภทแหล่งน้ำ	ปริมาณแคดเมียม (มิลลิกรัม/ลิตร)
เชคโกสโลวาเกีย	อนุรักษ์เพื่อการบริโภค	0.01
กลุ่มประชาคมเศรษฐกิจยุโรป	เพื่อการบริโภค	0.005
เม็กซิโก	แหล่งน้ำเพื่อการประปาและเพื่อการ พักผ่อนหย่อนใจ	0.01
	แหล่งน้ำที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอนุรักษ์ สัตว์และพืชน้ำ	0.01
	แหล่งน้ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้ ประโยชน์เพื่อการเกษตรและการ อุตสาหกรรม	0.005
	บริเวณชายฝั่ง	0.001
	บริเวณปากแม่น้ำ	0.01
สหภาพแห่งสาธารณรัฐ	แหล่งน้ำทั่วไป	0.001
โซเวียตสังคมนิยม	แหล่งน้ำเพื่อการประมง	0.005
	น้ำทะเล	0.01

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2541.

2.3.2.9 มาตรฐานอาหาร

ค่าของแคดเมียมที่ยอมให้มีได้ในอาหารแต่ละประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์ปลา ธัญพืช ข้าว ถั่ว ผักและผลไม้ เครื่องดื่มต่าง ๆ สารเติมแต่งอาหาร รวมทั้ง อาหารทั่วไป ตามที่กำหนดโดยแต่ละประเทศต่าง ๆ โดยค่ามาตรฐานในอาหารจะมีปริมาณแคดเมียม ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 มาตรฐานอาหารของแต่ละประเทศ

หน่วยงานหรือประเทศ	ประเภทอาหาร	ค่ามาตรฐาน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)
CMEA	ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์	0.1 – 1.0
	ผลิตภัณฑ์นม	0.01 – 0.1
	ผลิตภัณฑ์ปลา	0.05
	ธัญพืช เช่น ข้าว ถั่ว	0.01
	ผัก	0.03 – 0.2
		0.3 (สำหรับผักแห้ง)
	ผลไม้	0.03 – 0.005
		0.5 (สำหรับผลไม้แห้ง)
	อาหารทารก	0.02 – 0.05
	อาหารอื่นๆ	0.02 – 0.5
	เครื่องดื่ม	0.01 – 0.05
	อาหารทั่วไป	0.02
เชคโกสโลวาเกีย	เครื่องดื่ม	0.01 (มิลลิกรัม/ลิตร)
สหรัฐอเมริกา	สารเติมแต่งอาหาร	0.1
สหภาพแห่งสาธารณรัฐ	ผลิตภัณฑ์ปลา	0.1
โซเวียตสังคมนิยม	ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์	0.05
	ผลิตภัณฑ์นม	0.01
	ธัญพืช	0.022
	ผัก ผลไม้	0.03
	เครื่องดื่ม	0.002

แหล่งที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2541.

หมายเหตุ: CMEA คือ Council for Mutual Economic Assistance

2.3.2.10 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการกำจัดแคดเมียม

สหรัฐอเมริกาได้กำหนดในการกำจัดของเสีย (ซึ่งไม่ใช่ของเสียจากบ้านเรือน) ต้องไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของแคดเมียมในแหล่งน้ำดื่มหรือน้ำใต้ดินเกิน 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร หรือไปเพิ่มปริมาณความเข้มข้นในแหล่งน้ำดังกล่าว ซึ่งเดิมมีความเข้มข้นของแคดเมียมเกินอยู่แล้ว นอกจากนั้น ประเทศสหราชอาณาจักร ห้ามใช้สารประกอบแคดเมียม เช่น Cadmium Chloride หรือ Cadmium Carbonate ซึ่งเป็นสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบดังกล่าวอาจเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งได้ นอกจากนี้ยังกำหนดว่าผู้ที่เป็นเจ้าของหรือดำเนินการเกี่ยวกับการเก็บ การบำบัด หรือจัดการของเสีย จะต้องติดตั้งระบบการตรวจสอบติดตามผลแหล่งน้ำใต้ดินและรายงานให้รัฐทราบเป็นระยะ ๆ ถึงปริมาณความเข้มข้นของแคดเมียมให้แหล่งน้ำนั้น สำหรับสารประกอบป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ที่เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งมีแคดเมียมประกอบอยู่ รวมทั้งภาชนะบรรจุ ห้ามกำจัดโดยการเผากลางแจ้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2541)

จากการศึกษาทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับแคดเมียม และปัญหาความรุนแรงของการปนเปื้อนของแคดเมียมดังที่ได้กล่าวมา จึงจำเป็นต้องศึกษาเพื่อหาพืชที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจชนิดอื่นแทนที่ในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมในระดับสูง อาทิ พื้นที่ห้วยแม่ดาว แต่ต้องเป็นพืชที่สามารถสร้างรายได้ให้กับผู้ปลูก ให้ผลผลิตได้อย่างรวดเร็ว สามารถปลูกได้ง่ายและปลูกได้ทั่วประเทศเช่นเดียวกับการเพาะปลูกพืชเดิมของเกษตรกร ไม่ใช่เทคโนโลยีในการผลิตที่สูง เพราะเกษตรกรในบางพื้นที่ยังขาดการศึกษาเพียงพอในการปรับเปลี่ยนวิธีการเพาะปลูกพืช รวมทั้งต้องไม่สามารถนำมาบริโภคได้โดยตรง เพราะจะทำให้เกิดการแพร่กระจายของแคดเมียมสู่ห่วงโซ่อาหาร ซึ่งจะทำให้เป็นปัญหาที่ไม่จบสิ้นนั้นจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างเร่งด่วน

2.4 วิธีการใช้พืชบำบัดมลพิษในสิ่งแวดล้อม

ไฟโตรมีเดียชัน (Phytoremediation) หรือการใช้พืชมาช่วยในการบำบัดมลพิษในสิ่งแวดล้อม ถือว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพอย่างยิ่งในการทำมาสะอาดดินที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก

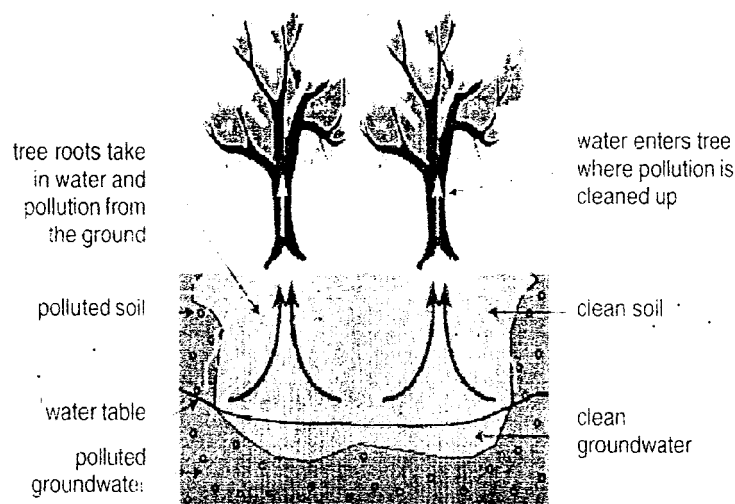
2.4.1 ความหมายของ Phytoremediation

Phytoremediation มาจากภาษากรีก ซึ่งคำว่า Phyto หมายถึง ต้นพืช และ Remediation ในภาษาละติน หมายถึง ราก (Remedium) หมายความว่า การทำลายสารพิษอย่างเหมาะสม ดังนั้น คำว่า Phytoremediation จึงหมายถึง การนำเอาพืชมาใช้ประโยชน์ในการบำบัดมลพิษในสภาพแวดล้อม เช่น

การปลูกพืชที่สามารถดูดซับสารโลหะหนักที่ตกค้างในดินหรือแหล่งน้ำ พืชจะนำเอาโลหะหนักไปเก็บไว้ในส่วนต่าง ๆ ของพืช หรือพืชสามารถเปลี่ยนสารโลหะหนักที่เป็นพิษนี้ให้เป็นสารที่ไม่เป็นพิษ เมื่อพืชได้รับสารโลหะหนัก ขึ้นในพืชจะถูกกระตุ้นให้แสดงออก ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีในการที่จะจับกับไอออนของโลหะหนักทำให้ความเป็นพิษลดน้อยลงแล้วนำมาเก็บสะสมในส่วนต่าง ๆ ของพืช (ภาพที่ 2.1)

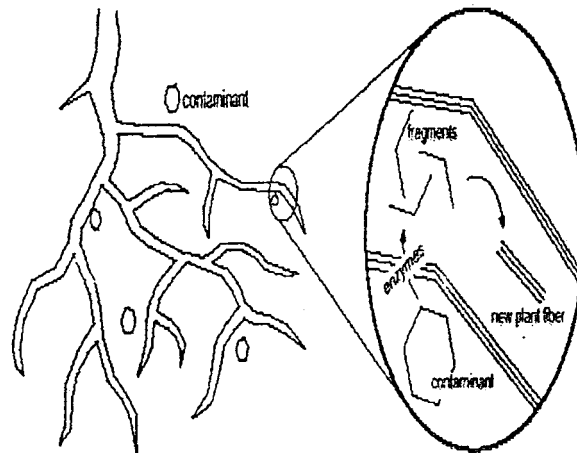
2.4.2 กระบวนการของ Phytoremediation

การนำเอาโลหะหนักเข้าสู่รากพืชสามารถเกิดขึ้นได้ 2 กระบวนการ คือ โดยการแพร่ (Diffusion) และการเคลื่อนย้ายของมวลสาร (Mass Transfer) เมื่อรากพืชดูดเอาโลหะหนัก สารเคมี โปรตีน หรือสารอื่น ๆ เข้าไปสู่ระบบลำเลียงสารในเซลล์พืช เอนไซม์ที่อยู่ในเซลล์พืชก็จะทำการย่อยสลายสารต่าง ๆ เหล่านี้ให้อยู่ในรูปของสารประกอบที่เล็กลงหรือมีความเป็นพิษลดลง ซึ่งพืชอาจนำสารที่ได้จากการย่อยสลายนี้ไปสร้างเป็นส่วนประกอบของเซลล์พืช หรือทำการเก็บสะสมสารประกอบที่มีความเป็นพิษต่ำเอาไว้ที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของต้นพืช ดังภาพที่ 2.2 และภาพที่ 2.3

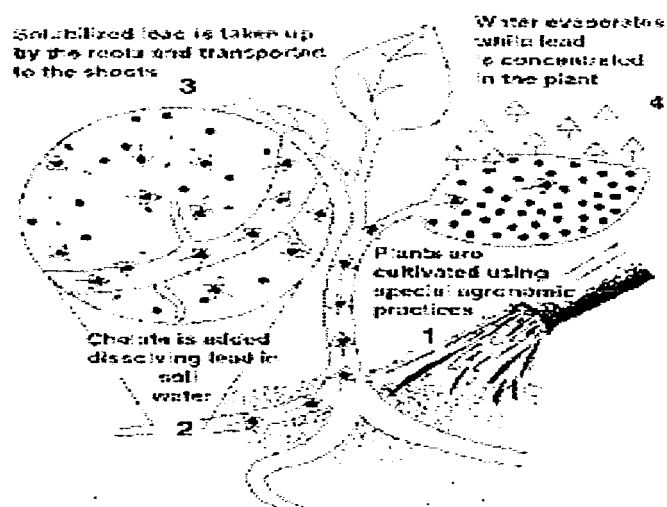


ภาพที่ 2.1 กระบวนการ Phytoremediation

แหล่งที่มา: Raskin, 2003: 3.



ภาพที่ 2.2 กระบวนการย่อยสลายสารปนเปื้อนในรากเพื่อนำไปสร้างเป็นส่วนประกอบเซลล์พืช
แหล่งที่มา: Raskin, 2003: 3.



ภาพที่ 2.3 กระบวนการลำเลียงและการเก็บสะสมโลหะหนัก (ตะกั่ว) ไว้ที่ใบพืช
แหล่งที่มา: Raskin, 2003: 3.

2.4.3 คุณสมบัติของพืชที่จะนำมาใช้ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัด

2.4.3.1 มีระบบรากที่ดี (Rhizosphere Process)

- 1) สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว
- 2) สามารถดูดซับสารโลหะหนักได้ดี

- 3) สามารถกักเก็บสารโลหะหนักได้ดี
- 4) สามารถลำเลียงสารโลหะหนักได้ดี (Metal Transport)

2.4.3.2 ข้อดีของการนำเอากระบวนการ Phytoremediation มาใช้

- 1) ค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก
- 2) กระบวนการนี้มีอันตรายน้อยเพราะเป็นกระบวนการทางธรรมชาติ
- 3) เป็นกระบวนการที่ไม่เป็นอันตรายต่อสภาพสิ่งแวดล้อม
- 4) ไม่จำเป็นต้องใช้พืชที่มีการตัดต่อยีนมาดูดซับโลหะหนัก

2.4.3.3 ข้อจำกัดของการนำเอากระบวนการ Phytoremediation มาใช้

- 1) การดูดซับสารโลหะหนักจะเกิดขึ้นแต่เฉพาะบริเวณที่รากพืชปกคลุมและหยั่งถึงเท่านั้น
- 2) พืชทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตในดินที่ปนเปื้อนได้
- 3) ปริมาณสารปนเปื้อนในดินต้องไม่มีปริมาณสูงมากจนก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบของรากพืชได้
- 4) น้ำต่าง ๆ ที่ชะสารปนเปื้อนลงสู่ดินจะทำให้ประสิทธิภาพของการดูดซับสารโลหะหนักของระบบรากลดลง
- 5) ระบบของรากพืชไม่สามารถดูดซับสารโลหะหนักได้ทุกชนิด ซึ่งปัจจัยในการลำเลียงสารโลหะหนักของรากจะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม เช่น ลม ฝน และความชื้นในดิน

2.4.4 การนำเอากระบวนการ Phytoremediation มาดูดซับโลหะหนักในประเทศไทย

ปัญหามลพิษทางดินที่เกิดขึ้นมาจากการปนเปื้อนของโลหะหนักจัดว่าเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งในประเทศไทย จนถึงปัจจุบันนี้ได้มีงานวิจัยหลายงานที่ศึกษาหาปริมาณโลหะหนักและนำเอาพืชหลายชนิดมาดูดซับสารโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในดิน อากาศ และน้ำ ตัวอย่างเช่น การศึกษาความสามารถของไม้ประดับ 3 ชนิด คือ กระจูดทอง ผักเป็ดเขียว และแพรวเชียงไฮ้ ในการดูดซับสารตะกั่วในดิน ผลการทดลอง พบว่า ผักเป็ดเขียว มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารตะกั่วได้ดีกว่ากระจูดทองและแพรวเชียงไฮ้ โดยการดูดซับสารตะกั่วจะมีค่า 2.87, 2.74 และ 1.93 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ที่ช่วงอายุ 45, 55 และ 65 วันตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณสารตะกั่วที่ตกค้างในแปลงดินทดลองที่มีปริมาณสารตะกั่วเริ่มต้น 0.76 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง พบว่าในแปลงดินทดลองปลูกผักเป็ดเขียวมีค่าปริมาณสารตะกั่วที่ตกค้างต่ำกว่าแปลงดินทดลองปลูกกระจูดทองและแพรวเชียงไฮ้ โดยมีค่าเหลืออยู่ 0.42, 0.34 และ 0.32 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ช่วงอายุ 45, 55 และ 65 วัน ตามลำดับ และค่าความเป็นกรด – ด่างในดินที่ช่วงอายุ 45, 55 และ 65

วัน มีค่า 6.60, 6.37 และ 7.40 ตามลำดับ (จงจิตร แสงประจักษ์ และปาวิณา นิวรรณสิน, 2546: บทคัดย่อ) นอกจากนี้การศึกษาดังกล่าวยังเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับสารตะกั่วในดินโดยใช้พืชตระกูลผักกาดและกะหล่ำ เช่น ผักกาดเขียวปลีและผักคะน้าที่ช่วงอายุ 45, 55 และ 65 วัน พบว่า ช่วงอายุ 45 วัน การดูดซับสารตะกั่วจะสูงที่สุด ผักกาดเขียวปลีมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารตะกั่วได้ 1.44 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าผักคะน้า (1.00 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และการดูดซับจะลดลงเมื่ออายุของผักมากขึ้น (จรีพร สมพงษ์ และแจ่มจันทร์ บำรุงเกาะ, 2545: บทคัดย่อ)

2.5 สถานการณ์ด้านพลังงานทดแทนในปัจจุบัน

ปัจจุบันปัญหาที่สำคัญของประเทศไทยอีกปัญหาหนึ่ง คือ ปัญหาการขาดแคลนพลังงาน และพลังงานมีราคาแพง เนื่องจากต้องนำเข้าพลังงานในแต่ละปีมูลค่าหลายแสนล้านบาท (พรชัย เหลืองอาพรพงศ์, 2548) ดังตารางที่ 2.12, 2.13, 2.14 และ 2.15 ภาครัฐบาลได้หาแนวทางการแก้ไขเพื่อลดการนำเข้าพลังงาน วิธีการหนึ่ง คือ มาตรการลดการใช้พลังงาน โดยการรณรงค์ให้คนไทยทั้งประเทศประหยัดพลังงาน ซึ่งจะต้องมีการกระทำอย่างต่อเนื่อง อีกวิธีการหนึ่ง คือ มาตรการการหาพลังงานทดแทนภายในประเทศมาใช้ (ธวัชชัย สุกดิษฐ์, 2548: 235) พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มาเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน (ธวัชชัย สุกดิษฐ์, 2548: 244) พลังงานทดแทนที่น่าสนใจและมีศักยภาพ คือ พลังงานทดแทนจากพืช (พลังงานชีวมวล) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก เป็นกลุ่มพวกที่ให้แป้งและน้ำตาลเพื่อนำมาทำเป็นแอลกอฮอล์ และแปลงเป็นเอทานอลเพื่อนำไปผสมกับน้ำมันเบนซิน 91 เป็นก๊าซโซฮอลล์ พืชที่มีศักยภาพในกลุ่มนี้ คือ มันสำปะหลังและอ้อย กลุ่มที่สอง เป็นกลุ่มพืชที่สามารถนำมาทำให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยตรงเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล เรียกว่า ไบโอดีเซล พืชที่มีศักยภาพ คือ พืชน้ำมันทั่วไป อาทิ ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว และสบู่ดำ (สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร, 2548) ในปัจจุบันรัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมให้มีการผลิตและใช้ไบโอดีเซลจากผลผลิตทางการเกษตรถึงร้อยละ 10 ของน้ำมันดีเซลทั่วประเทศ และมีนโยบายขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั่วประเทศถึงหนึ่งล้านไร่ (สมบัติ ชิมะวงศ์, 2548) แต่นอกเหนือจากปาล์มน้ำมันแล้ว สบู่ดำ ยังเป็นพืชน้ำมันอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการผลิตน้ำมันที่

น่าสนใจมาก เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงถึงร้อยละ 34 และมีกระบวนการสกัดที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน (วิศัลย์ ธรรมประสิทธิ์, 2548: 45) สามารถนำน้ำมันที่สกัดได้มาใช้กับเครื่องยนต์ได้ โดยตรงโดยไม่ต้องผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงหรือผ่านกระบวนการการผลิตไบโอดีเซลจากโรงงานทำให้ต้นทุนการใช้พลังงานต่ำและมีประสิทธิภาพสูงเช่นเดียวกับน้ำมันดีเซล (สุกัญญา พัวพันธ์, 2548)

ตาราง 2.12 ปริมาณ (ล้านลูกบาศก์เมตร) และมูลค่าการนำเข้าก๊าซธรรมชาติจำแนกตามแหล่งของการนำเข้า (ล้านบาท)

แหล่ง	พ.ศ. 2546		พ.ศ. 2547		พ.ศ. 2548		พ.ศ. 2549	
นำเข้า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
พม่า								
ขาดานา	188,030	22,835	212,217	23,758	191,120	26,728	196,506	34,031
เขตากุน	97,095	16,844	97,370	16,691	144,068	30,121	148,786	35,855
รวม	285,125	39,679	309,587	40,449	335,188	56,849	345,292	69,886

แหล่งที่มา: กรมธุรกิจพลังงาน, 2549.

ตาราง 2.13 ปริมาณ/มูลค่า และราคาการนำเข้าน้ำมันดิบ

พ.ศ.	ปริมาณ		มูลค่า ล้านบาท	ราคาเฉลี่ย	
	ด้านลิตร	ด้านบาร์เรล		บาท/บาร์เรล	เหรียญสหรัฐ/บาร์เรล
2546	45,025	283	345,642	1,221.35	29.34
2547	50,622	318	486,656	1,528.45	37.86
2548	48,033	302	644,850	2,185.93	52.60
2549	48,126	303	752,976	2,485.07	65.34

แหล่งที่มา: กรมธุรกิจพลังงาน, 2549.

ตาราง 2.14 ปริมาณการส่งออกปิโตรเลียม (ล้านลิตร)

ชนิด	พ.ศ. 2545	พ.ศ. 2546	พ.ศ. 2547	พ.ศ. 2548	พ.ศ. 2549
น้ำมันดิบ	2,830	3,519	3,287	3,806	3,858
คอนเดนเสท	291	—	—	—	—
ก๊าซโซลีนธรรมชาติ	56	48	76	172	126
รวม	3,177	3,567	3,363	3,978	3,984

แหล่งที่มา: กรมธุรกิจพลังงาน, 2549.

ตาราง 2.15 ปริมาณการส่งออกน้ำมันสำเร็จรูป (ล้านลิตร)

ชนิด	พ.ศ. 2545	พ.ศ. 2546	พ.ศ. 2547	พ.ศ. 2548	พ.ศ. 2549
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	1,270	1,426	1,649	1,755	1,067
เบนซินไร้สารตะกั่ว	221	251	316	739	514
ออกเทน 91					
เบนซินไร้สารตะกั่ว	1,009	857	1,043	1,283	1,408
ออกเทน 95					
น้ำมันเครื่องบิน	921	558	367	599	1,017
น้ำมันก๊าด	318	110	59	4	34
ดีเซลหมุนเร็ว	2,332	2,148	2,382	1,809	2,940
น้ำมันเตา	767	780	1,078	904	1,419
รวม	6,838	6,130	6,894	7,093	8,399

แหล่งที่มา: กรมธุรกิจพลังงาน, 2549.

หมายเหตุ: ปริมาณการส่งออกน้ำมันสำเร็จรูปรวมน้ำมันอากาศยาน

2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับสบู่ดำ

2.6.1 ลักษณะทั่วไปของสบู่ดำ

สบู่ดำ เป็นภาษาโปรตุเกส มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas* Linn. ซึ่งในพืชที่มีชื่อ Genus เดียวกันนี้มีมากกว่า 470 ชนิด (Species) สบู่ดำเป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae ซึ่งเป็นพืชกลุ่มเดียวกับไม้ยางพารา สบู่แดง ปัตตาเวีย ผื่นคันหรือมะละกอฝรั่ง หนุมานนั่งแท่น โป๊ยเซียน มะไฟ มันสำปะหลัง มะยม มะขามป้อม น้ำมันราชสีห์ และผักหวานบ้าน เป็นต้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549) โดยทั่วไปแล้ว สบู่ดำมีลักษณะเหมือนกับไม้ประดับ หนุมานนั่งแท่นมากที่สุด

ชื่อของสบู่ดำมีการเรียกแตกต่างกันไปตามท้องถิ่นภูมิภาค กล่าวคือ ภาคเหนือ เรียกว่า ละหุ่งฮั่ว ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เรียกว่า มะเยา หรือหมากเยา หรือสีหอด และภาคใต้ เรียก หงเทศ และภาคกลางเรียก สบู่ดำ เพราะเปลือกเมล็ดมีสีดำ (ทีมงานเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร, 2548) สบู่ดำ มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Physic Nut *Jatropha* หรือ Purging Nut ในภาษาโปรตุเกส เรียก Purgueira ชื่อทางพฤกษศาสตร์ของสบู่ดำ *Jatropha curcas* Linn. มาจากภาษากรีก ซึ่งเป็นคำรวมกันของคำว่า Jatro และ Tropha โดยที่ Jatro แปลว่า หมอ และ Tropha แปลว่า อาหาร ตามหลักฐานทางชีววิทยาสันนิษฐานว่า สบู่ดำ มีแหล่งกำเนิดอยู่แถบอเมริกากลาง ในประเทศเม็กซิโก การนำเข้ามายังประเทศไทยครั้งแรก เชื่อว่าเข้ามาโดยพ่อค้าชาวโปรตุเกสในสมัยกรุงศรีอยุธยา ซึ่งจนถึงในปัจจุบัน มีช่วงเวลายาวนานกว่า 300 ปี โดยทั่วไปสบู่ดำจัดเป็นพืชที่ทนทานต่อสภาพอากาศแห้งแล้ง สามารถเจริญเติบโตได้แค่การออกดอกและให้ผลจะต้องมีสภาพดินที่มีความชุ่มชื้น โดยสบู่ดำเป็นพืชที่ชอบน้ำ แต่ไม่ชอบน้ำขัง และมียางขาวเป็นฟอง เมล็ดในใช้สกัดน้ำมันอันเป็นส่วนประกอบในการทำสบู่ เนื่องจากในสมัยก่อนยังไม่มีสารเคมีที่ทำให้เกิดฟอง หรืออีกนัยหนึ่ง คือ เป็นสิ่งของที่ผลิตขึ้นสำหรับใช้ชำระล้างและฟอกผ้าให้สะอาด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

2.6.1.1 ลักษณะของสบู่ดำ

1) ราก

สบู่ดำที่เพาะมาจากเมล็ดจะมีรากแก้ว โดยจะมีการเจริญเติบโตในทางลึก แนวตั้งลงดิน แล้วมีการแตกรากแขนง การงอกรากออกจากเมล็ด ในระยะ 14 วันแรก จะมี 5 ราก โดยราก 4 รากจะแยกออกจากรากที่ 1 รากชุดแรกของสบู่ดำจะมีอายุสั้น ค่อยจากนั้นจะมีรากจริงเกิดขึ้น เมื่อต้นสบู่ดำมีอายุมากขึ้นจะมีรากฝอยกระจายอยู่ทั่วไป โดยจะมีรากลึกออกจากดินประมาณ 1 – 2 เมตรขึ้นไป การปลูกสบู่ดำด้วยเมล็ดจะทำให้มีรากแก้ว ซึ่งจะเป็นลักษณะที่ทำให้สบู่ดำมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม

2) ลำต้น

สับดูคำ เป็นต้นไม้ขนาดกลาง ไม้เนื้ออ่อน เปลือกลำต้นผิวเรียบสีเขียวเข้ม ปนน้ำตาล โดยธรรมชาติที่ไม่มีการตัดแต่งดูแล ลำต้นจะมีความสูงถึง 3 – 7 เมตร การเจริญเติบโตของสับดูคำทางลำต้นจะถูกควบคุมโดยปัจจัยทางสภาพแวดล้อมและการจัดการ เช่น ในสภาพแสงแดดดีจะมีการแตกกิ่งก้านสาขามาก ลำต้นของสับดูคำจะอวบเกลี้ยงไม่มีขน การแตกกิ่งก้านสาขาของสับดูคำอาจเกิดได้จำนวนมาก หากมีการตัดยอดหรือตัดแต่งกิ่ง เมื่อสับดูคำมีการเจริญเติบโตพอเหมาะ ถ้าหากมีการหักลำต้นและกิ่งจะมีน้ำยางใสเหนียวไหลออกมา ยางที่ไหลออกมานี้สามารถนำมาแปะเป็นลูกโป่งได้

3) ใบ

ลักษณะใบเป็นใบกว้าง จัดเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ที่มีใบขนาดใหญ่ ขณะเริ่มออกจะมีการบิดใบเลี้ยงที่อยู่ในเมล็ดโผล่พ้นผิวดิน ใบเลี้ยงมี 2 ใบ มีลักษณะกลมรี ขอบใบเรียบ ต่อจากนั้นจะมีการแตกใบจริงขึ้นมา โดยที่ใบจริง ขอบใบหยักเว้าเป็นแฉก 3 – 5 แฉก โคนใบสับดูคำมีส่วนเว้าลึกเป็นร่องรูปหัวใจ แต่สับดูคำบางพันธุ์ที่โคนใบไม่เว้าลึกซึ่งเป็นลักษณะของพันธุ์ที่มีสารพิษน้อย ขนาดใบจริงเมื่อสับดูคำโตเต็มที่จะมีขนาดใหญ่ 12 – 15 เซนติเมตรขึ้นไป เส้นใบเป็นแบบร่างแห ปลายใบแหลม ใบหนาเหนียวคล้ายหนังสัตว์ โดยมีเส้นกลางใบเกิดจากจุดตำแหน่งของโคนใบ สีของใบเป็นสีเขียวเข้ม เส้นใบของสับดูคำ มีเส้นหลักเกิดจากจุดเดียวกันที่จุดตำแหน่งก้านใบ โดยจะมีเส้นหลัก 5 – 7 เส้น แยกออกจากตำแหน่งก้านใบ ใบของสับดูคำมีคุณสมบัติพิเศษที่จะลดการคายน้ำ ถ้าสภาพแวดล้อมไม่ดี เช่น สภาพแห้งแล้ง ดินขาดน้ำ ซึ่งเป็นการอยู่รอดของสับดูคำ โดยจัดว่าเป็นพืชทนแล้ง

4) ดอก

การออกดอกของสับดูคำนั้นจะออกตามกิ่งเมื่อต้นสับดูคำมีอายุพอเหมาะ สภาพแวดล้อมดี และการจัดการอย่างถูกต้อง โดยจัดเป็นพืชที่ไม่ไวแสง สับดูคำในแต่ละต้นจะมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย ซึ่งอยู่ในช่อดอกเดียวกัน ช่อดอกส่วนแรกจะเป็นแบบแขนง (Racemose) ซึ่งมีก้านเดี่ยว ก้านช่อดอกยาว 3 – 8 เซนติเมตร ผิวมีขน ก้านดอกย่อยยาว 2 – 3 มิลลิเมตร และมีการแตกแขนงออกด้านข้างสลับกัน ส่วนช่อดอกจะแตกออกจากแขนงแรกเป็นแบบ Cymose ดอกสับดูคำเป็นแบบดอกเดี่ยว โดยในช่อดอกย่อยจะมีดอกตัวเมีย 1 ดอก ซึ่งอยู่ในตำแหน่งกลางของแขนง และมีดอกตัวผู้ 10 – 15 ดอก ช่อดอกของสับดูคำจะเกิดจากซอกใบหรือปลายกิ่ง ดอกย่อยมีใบประดับ 2 อัน รูป Linear ปลายแหลม กว้าง 1 – 2 มิลลิเมตร ยาว 2 – 5 มิลลิเมตร

(1) ดอกตัวผู้ จะเกิดในช่อดอกเดียวกับดอกตัวเมีย โดยในแต่ละช่อดอกย่อยจะมีช่อดอกตัวผู้ 10 – 15 ดอก ดอกตัวผู้แต่ละดอกมีก้านเกสร 10 ก้าน ซึ่งเป็นเป็น 2 กลุ่ม

กลุ่มละ 5 ก้านเกสร ก้านชูอับเรณูยาว 3 – 5 มิลลิเมตร อับเรณูสีเหลือง ละอองเกสรมีกลิ่นหอม และรสหวาน จึงเป็นที่ต้องการของแมลงที่ช่วยผสมพันธุ์

(2) ดอกตัวเมีย สีขาว มีกลีบดอก 5 กลีบ โดยจะมีก้านเกสร 3 ก้าน ดอกตัวเมียจะเกิดในช่อดอกเดียวกับดอกตัวผู้ โดยในแต่ละช่อดอกย่อยของแต่ละช่อจะมีดอกตัวเมียเฉลี่ยประมาณ 1 ดอก ดอกตัวผู้จะมี 3 – 4 รังไข่ รังไข่ (Superior Ovary) มีขนาดเล็ก ๆ ปกคลุม ก้านเกสรเพศเมียยาว 4 – 5 มิลลิเมตร ยอดเกสรเป็นแฉก 5 แฉก ยาว 1 – 2 มิลลิเมตร โดยที่จะมีการได้รับการผสมจากเกสรตัวผู้ทั้งในช่อดอกเดียวกัน หรือจากช่อดอกอื่นซึ่งอาจเป็นต้นเดียวกันหรือจากต้นอื่น โดยจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของดอกบาน 5 – 7 มิลลิเมตร สีเขียวอ่อน กลีบติดกันที่โคน ตอนปลายแยกเป็น 5 กลีบ กลีบรูปไข่ถึงรูปขอบขนาน ปลายมน กว้าง 1 – 2 มิลลิเมตร ยาว 2.5 – 3 มิลลิเมตร กลีบดอก 5 กลีบ สีเขียวอ่อน ติดกันเป็นรูปหม้อ ปลายแยกกันเป็น 5 กลีบ ปลายกลีบมน ขอบเรียบ กว้าง 2 – 3 มิลลิเมตร ยาว 4 – 6 มิลลิเมตร ด้านในกลีบมีขนาดเล็ก ๆ โคนกลีบด้านในมีต่อมสีเหลือง รูปรียาว 1 มิลลิเมตร ดอกตัวเมียที่ได้รับการผสมพันธุ์แล้วจะพัฒนาไปเป็นผลสดรูปค้ำต่อไป (ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดพิษณุโลก, 2548: 1)

5) ผลและเมล็ด

(1) การเกิดผล จะปรากฏหลังจากการที่ดอกตัวเมียได้รับการผสมเกสร ผลสดรูปค้ำมีสีเขียว เป็นช่อพวงมีหลายผล เมื่อสุกจะมีสีเหลืองสุกคล้ายลูกจันทน์ รูปผลมีลักษณะทรงกลมขนาดปานกลาง เปลือกหนาปานกลาง ผลหนึ่งส่วนมากมี 3 พู โดยแต่ละพูทำหน้าที่ห่อหุ้มเมล็ดไว้ และเมื่อแก่จะมีสีดำ โดยทั่วไปสดรูปค้ำจะสุกภายหลังการที่ดอกตัวเมียได้รับการผสมแล้วประมาณ 60 วัน ผลสดรูปค้ำมีขนาดประมาณ 3 เซนติเมตร สดรูปค้ำมีเมล็ด 2 – 4 เมล็ดต่อผล เมล็ดมีสีน้ำตาลผิวเรียบขณะสุกพอดี แต่เมื่อแห้งผิวเมล็ดจะไม่เรียบ ลักษณะรูปร่างเมล็ดยาวรี ผลแห้งเป็นแบบ Capsule รูปขอบขนาน มี 3 พู โดยมีความยาวประมาณ 1.50 เซนติเมตร กว้าง 0.80 – 1.00 เซนติเมตร น้ำหนักเมล็ดเมื่อผลสุกพอดีจะมีประมาณ 850 – 900 เมล็ดต่อ กิโลกรัม แต่เมื่อนำมาตากแดดให้มีความชื้นร้อยละ 10 – 12 จะมีจำนวนประมาณ 1,200 – 1,400 เมล็ดต่อ กิโลกรัม โดยทั่วไปจัดว่า สดรูปค้ำเป็นพืชที่มีน้ำหนักเมล็ดเบา

(2) เมล็ดสดรูปค้ำ เป็นเมล็ดรูปรี มีสีน้ำตาลผิวเรียบเป็นมัน ขนาดเล็กกว่าเมล็ดละหุ่งพันธุ์ลายขาวดำเล็กน้อย เมื่อแห้งผิวจะมีลักษณะหยาบ ตรงปลายเมล็ดมีจุดสีขาวเล็ก ๆ ติดอยู่ เมื่อเก็บไว้นานจุดนี้จะหดตัวเหี่ยวแห้งลง ขนาดของเมล็ดเฉลี่ยความยาว 1.70 – 1.90 เซนติเมตร หนา 0.80 – 0.90 เซนติเมตร น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 69.80 กรัม เมล็ดแต่ละเมล็ดประกอบด้วยเปลือกนอกและเนื้อในซึ่งเป็นส่วนที่มีน้ำมัน โดยทั่วไปเมล็ดสดรูปค้ำจะมีปริมาณน้ำมันประมาณร้อยละ 25 – 35 โดยน้ำหนัก ในเมล็ดมีสาร Curcin บริสุทธิ์ จะมีความเป็นพิษสูงมาก

ประมาณร้อยละ 18 โปर्टินร้อยละ 18.60 ไขมันร้อยละ 38 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 17 ไฟเบอร์ร้อยละ 15.50 และเถ้าร้อยละ 5.30 (สุกัญญา พัวพันธ์, 2549)

2.6.1.2 น้ำมันและกากน้ำมัน

1) น้ำมัน สบู่ดำมีน้ำมันอยู่ในส่วนของเนื้อในของเมล็ด ร้อยละน้ำมันขึ้นอยู่กับพันธุ์ สภาพแวดล้อม ความสมบูรณ์ และการจัดการ ในสภาพอากาศแห้งแล้ง จะมีร้อยละน้ำมันในเมล็ดสูง โดยทั่วไปเมล็ดสบู่ดำจะมีปริมาณน้ำมันร้อยละ 25 – 35 โดยน้ำหนัก น้ำมันสบู่ดำมีสีเหลือง อาจเรียกน้ำมันสบู่ดำว่า Hell Oil (ตารางที่ 2.18, 2.19 และ 2.20)

ตารางที่ 2.18 องค์ประกอบทางเคมีของสบู่ดำ

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง
ความชื้น	5.05 – 0.09
ไขมัน	46.34 – 0.87
โปर्टิน	22.00 – 0.29
เยื่อใย	14.80 – 0.57
เถ้า	5.00 – 0.06

แหล่งที่มา: เพิ่ม สุรรักษา และสนธยา มณฑาสวรรณ, 2549.

ตารางที่ 2.19 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ – เคมีของสบู่ดำ

สบู่ดำ	ร้อยละ
น้ำมันทั้งเมล็ดทั้งเปลือก	34.96
น้ำมัน เนื้อในเมล็ดแยกเปลือก	54.68
ความชื้น – ปริมาณน้ำที่ระเหยได้และอื่น ๆ	10.36

แหล่งที่มา: เพิ่ม สุรรักษา และ สนธยา มณฑาสวรรณ, 2549.

ตารางที่ 2.20 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ – เคมีของน้ำมันสบู่ดำ

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ – เคมี	ร้อยละ
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ที่ 25°C	0.9136
ดัชนีหักเห (Refractive Index) ที่ 25°C	1.4670
ค่ากรด (Free Fatty Acid, as Oleic)	4.80
ค่าสaponification (Saponification)	197.13
ค่าไอโอดีน (Iodine Value, Wijs) (กรัม/100 กรัมไขมัน)	97.08
ปริมาณน้ำและสิ่งระเหยได้ที่ 105°C (Water & Volatile Matter) (ร้อยละ)	0.107
ความหนืด (Viscosity) ที่ 25°C (Gardner)	50 CS

แหล่งที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549.

2) กากสบู่ดำ เป็นส่วนที่เหลือจากกระบวนการสกัดหรือหีบน้ำมัน ในกระบวนการหีบน้ำมันจะได้กากสบู่ดำประมาณร้อยละ 70 – 75 ดังนั้น ในกระบวนการหีบน้ำมันที่ใช้เมล็ดสบู่ดำ 4 กิโลกรัม เพื่อหีบน้ำมันให้ได้ประมาณ 1 กิโลกรัม จะได้กากสบู่ดำประมาณ 3 กิโลกรัม ในกากสบู่ดำที่เหลือจากกระบวนการหีบน้ำมันนี้จะเป็นส่วนที่มีประโยชน์มากเพราะกากสบู่ดำจะมีร้อยละไนโตรเจนสูง จึงสามารถนำไปใช้ทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ดี กากสบู่ดำไม่เหมาะแก่การทำเป็นอาหารคนและสัตว์ เพราะนอกจะเป็นพิษแล้ว ยังมีรสชาติขมด้วย กากสบู่ดำหลังจากการสกัดน้ำมันแล้ว จะมีองค์ประกอบที่มีไนโตรเจนประมาณร้อยละ 4.44 ฟอสฟอรัสร้อยละ 2.09 และโปตัสเซียมร้อยละ 1.68 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549) (ตารางที่ 2.21 และ 2.22)

ตารางที่ 2.21 การวิเคราะห์เปรียบเทียบกากเมล็ดสับดูดำกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมัก

ชนิดของปุ๋ย	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โปตัสเซียม
กากเมล็ดสับดูดำ	4.44	2.09	1.68
มูลกระบือ	0.97	0.68	1.66
มูลไก่	3.04	6.27	2.08
มูลเป็ด	2.37	2.10	1.09
ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว	0.81	0.18	0.68
ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา	1.43	0.46	0.48
ปุ๋ยหมักจากขยะ	1.25	0.25	0.65

แหล่งที่มา: เพิ่ม สุรักษา และสนธยา มณฑาสวรรณ, 2549.

ตารางที่ 2.22 ธาตุอาหารของกากเมล็ดสับดูดำที่เหลือจากการสกัดน้ำมันแล้ว

รายการ	กากเมล็ดสับดูดำ (ร้อยละ)
อินทรีย์วัตถุ	80.0
ไนโตรเจน	4.44
ฟอสฟอรัส	2.09
โปตัสเซียม	1.68
แคลเซียม	0.72
แมกนีเซียม	1.13
เหล็ก	0.0176
แมกกาเนียม	0.0064
ทองแดง	0.0023
โบรอน	0
กำมะถัน	0.02

แหล่งที่มา: ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดชัยนาท, 2548.

2.6.2 การคัดเลือกพันธุ์สุ่มค่า

ในการวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงพันธุ์พืชนั้น การคัดเลือกพันธุ์เป็นขั้นตอนที่สำคัญอันดับแรก ในการคัดเลือกจะประสบความสำเร็จมากน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความแปรปรวนในพันธุ์พืชที่ใช้ในการคัดเลือกร่วมกับความสามารถของนักปรับปรุงพันธุ์ที่จะใช้ประสบการณ์ทางวิทยาศาสตร์ (Sciences) และศิลปศาสตร์ (Arts) คือ ถ้าความแปรปรวนในพันธุ์มีน้อย หมายความว่าพืชแต่ละต้นภายในพันธุ์นั้นเกือบเหมือนกันหมดโอกาสที่จะคัดเลือกต้นพืชที่มีลักษณะตรงตามความต้องการก็มีน้อย ในการคัดเลือกพันธุ์สุ่มค่าเพื่อปรับปรุงพันธุ์ให้ได้พันธุ์ที่ดีนั้น จึงจำเป็นต้องเลือกพันธุ์ที่มีความแปรปรวนสูง ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

2.6.2.1 การรวบรวมพันธุ์

หน่วยงานวิจัยต่าง ๆ ได้รวบรวมพันธุ์สุ่มค่าจากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศไทยและต่างประเทศ ทั้งในรูปเมล็ดและท่อนพันธุ์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 – 2548 เก็บรักษาในห้องเย็นและปลูกไว้ในสภาพไร่ (Field Collection) จำนวน 14 แห่ง ได้แก่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน วิทยาเขตลพบุรี วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติจังหวัดสกลนคร สถานีวิจัยลพบุรี ศูนย์วิจัยพืชไร่นครราชสีมา ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 ส่วนแยกพืชสวน ศูนย์บริการวิชาการด้านพืชและปัจจัยการผลิตสกลนคร-(สบป.) มหาวิทยาลัยขอนแก่นมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดสุรินทร์ ตำบลวังเหนือ อำเภอวังเหนือ จังหวัดลำปาง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดน่าน และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดนครศรีธรรมราช ดังตารางที่ 2.23 จากนั้น นำพันธุ์และสายพันธุ์สุ่มค่าจากท้องถิ่นต่าง ๆ มาปลูกเพื่อศึกษาลักษณะต่าง ๆ และคัดเลือกแต่ละต้นที่มีลักษณะดี (Individual Plant Selection) จากทั้งหมดเพื่อนำไปทดสอบพันธุ์ต่อ ตัวอย่างลักษณะที่ดี เช่น ลักษณะของต้น กิ่ง และแขนงมีความสมบูรณ์ มีการออกดอกเร็ว ติดผลดก มีความต้านทานโรคและแมลงสูง อายุการเก็บเกี่ยวสั้น ระยะการแก่ของผลใกล้เคียงกันหรือพร้อมกัน และก้านผลมีความเหนียวสูง เป็นต้น

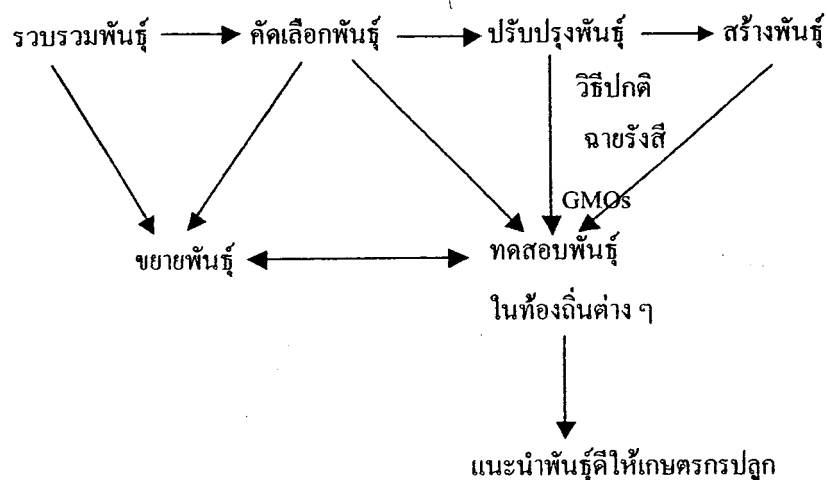
2.6.2.2 การคัดเลือกพันธุ์และขยายพันธุ์

คัดเลือกพันธุ์และสายพันธุ์ดีในท้องถิ่นต่าง ๆ ในตารางที่ 2.23 ด้วยสายตาและบันทึกผลผลิตของแต่ละต้นที่เห็นเด่นชัดเพื่อนำไปประเมินผลผลิตโดยปลูกทดสอบพันธุ์ในท้องถิ่นต่าง ๆ เพื่อจะขยายพันธุ์ให้ได้มากขึ้น เพิ่มผลการประเมินผลผลิตว่าสายพันธุ์ใดที่ให้ผลผลิตสูงจะได้มีพันธุ์นั้น ๆ มากกว่าที่เป็นอยู่และจะได้ทันต่อเหตุการณ์ ดังภาพที่ 2.4

ตารางที่ 2.23 พื้นที่ปลูกสบูดำในการวิจัยคัดเลือกรุ่นพันธุ์แบบ Individual Plant Selection

พื้นที่ปลูก	สายพันธุ์
1. ศูนย์วิจัยพืชไร่นครราชสีมา	ป่าหลวง และกำแพงแสน
2. สำนักวิจัย และพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 จังหวัดขอนแก่น (แปลง 1)	โคราช แพร่ ชัยนาท ขอนแก่น
3. สำนักวิจัย และพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 จังหวัดขอนแก่น (แปลง 2)	โคราช แพร่ ชัยนาท ขอนแก่น
4. มหาวิทยาลัยขอนแก่น	พันธุ์ผสมเปิด
5. ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น แปลงทดลองที่ จังหวัดอุดรธานี	โคราช แพร่ ชัยนาท ขอนแก่น
6. ศูนย์บริการวิชาการด้านพืชและปัจจัยการผลิต สกลนคร	โคราช แพร่ และชัยนาท
7. สถานีวิจัยลพบุรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (การทดลองที่ 4)	ขอนแก่น โคราช แพร่ และชัยนาท
8. สถานีวิจัยค้ำบวงษ์เหนือ จังหวัดลำปาง	ขอนแก่น โคราช แพร่ และชัยนาท
9. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช	ขอนแก่น D1 และพันธุ์พื้นเมือง นครศรีธรรมราช
10. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน	สายพันธุ์ที่คัดเลือกมาจากแปลง รวบรวมพันธุ์ ปี พ.ศ. 2547

แหล่งที่มา: สหคณนิสิตเก่ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2547.



ภาพที่ 2.4 แผนผังการวิจัยและพัฒนาสายพันธุ์สับดูและแนะนำสายพันธุ์ดีให้เกษตรกรปลูก
แหล่งที่มา: ชำนาญ จัตุรแก้ว, 2534.

2.6.2.3 การประเมินผลผลิตและการทดสอบสายพันธุ์

นำสายพันธุ์ดีไปทดสอบผลผลิตในท้องถิ่นต่าง ๆ โดยวางแผนการทดลองทางสถิติแบบ Randomized Complete Block (RCB) มี 3 ซ้ำ (Replications) ให้มีหลายท้องถิ่น (Multi – location Testing) เพื่อความแม่นยำที่จะเชื่อถือได้ โดยความร่วมมือกับนักวิชาการในท้องถิ่นต่าง ๆ เพื่อทราบปฏิกิริยาของพันธุ์กับสิ่งแวดล้อม (Genotype x Environment) เพื่อหาเสถียรภาพของพันธุ์ (Stability Parameters) ถ้าสายพันธุ์ใดดีเฉพาะท้องถิ่นก็ใช้พันธุ์นั้นได้ ถ้าพันธุ์ใดมีการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้มากแห่งก็ใช้พันธุ์นั้นได้กว้างขวางขึ้นในหลายท้องถิ่น

2.6.2.4 การปรับปรุงพันธุ์

มีการสร้างพันธุ์จากการประเมินความดีเด่นของพันธุ์และสายพันธุ์ ถ้าได้พันธุ์ดีมีสายพันธุ์ดีก็นำลักษณะดีต่าง ๆ ของสายพันธุ์ดีเหล่านั้นมาปรับปรุงพันธุ์ให้มีลักษณะดีต่าง ๆ ในพันธุ์เดียวกันให้มากยิ่งขึ้น โดยใช้หลักการปรับปรุงพันธุ์พืชและพันธุศาสตร์ พันธุ์ที่ได้จะเป็นพันธุ์ลูกผสมในชื่อต่าง ๆ เช่น พันธุ์ลูกผสมภายในพันธุ์พื้นเมือง (Indigenous Varietal Hybrid) พันธุ์ลูกผสมกับต่างประเทศ (Indigenous x Exotic) พันธุ์ลูกผสมต่าง ๆ เหล่านี้เมื่อนำไปทดสอบในท้องถิ่นต่าง ๆ โดยมีพันธุ์ตรวจสอบ (Check) เมื่อพบว่าดีกว่าพันธุ์ตรวจสอบก็จะแนะนำให้เกษตรกรปลูกต่อไป

พันธุ์สับดู (กรมวิชาการเกษตร, 2530: 2) สามารถแยกพันธุ์ได้ออกเป็น 3 พวก คือ

- 1) พันธุ์ที่ได้ผลทรงกลม ผลขนาดกลาง เป็นพันธุ์ธรรมดาทั่ว ๆ ไป พบมาก

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2) พันธุ์ที่ได้ผลทรงกลม ผลยาว เปลือกหนา จะพบบริเวณที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล 800 – 1,000 เมตร เช่น ที่ดอยมูเซอ จังหวัดตาก และอำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่

3) พันธุ์ที่ได้ผลทรงกลม ผลเล็ก พบที่จังหวัดทางภาคใต้

ในปี พ.ศ. 2530 กรมวิชาการเกษตรได้ดำเนินการคัดเลือกพันธุ์ที่มีลักษณะดีไว้เป็นแม่พันธุ์ โดยเน้นจุดประสงค์ในการผสมพันธุ์ คือ ทำให้มีผลตก มีดอกตัวเมียมากกว่าดอกตัวผู้ มีผลขนาดใหญ่ขึ้น เมล็ดและผลมีเปลือกบางและแก่เร็ว (กรมวิชาการเกษตร, 2530: 2) และได้ทำการปรับปรุงพันธุ์สุปคำเพื่อให้ผลผลิตสูงโดยใช้รังสีแกมมา เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ดีไว้ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ต่อไป โดยในปี พ.ศ. 2531 – 2533 ได้มีการทดสอบเปรียบเทียบพันธุ์เบื้องต้น ณ ศูนย์พัฒนาที่ดินเขต 5 จังหวัดขอนแก่น พบว่า พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงสุดเรียงตามลำดับ คือ พันธุ์โยธธรรพ์ แพร่ บุรีรัมย์ อุดรธานี และหนองคาย (วิมลรัตน์ ศุภรินทร์, มณฑะจิตร โสมภีร์, โกโค เฮช และนาค โพธิ์แท่น, 2533: 40)

2.6.3 การขยายพันธุ์

สุปคำสามารถขยายพันธุ์ได้ด้วยวิธีดังต่อไปนี้ คือ

2.6.3.1 การเพาะเมล็ด

โดยทั่วไปเมล็ดสุปคำจะไม่มีระยะพักตัว จึงสามารถนำไปเพาะได้ทันที แต่ถ้าจะเก็บเมล็ดไว้เพาะในฤดูถัดไป ควรนำไปตากแดดให้แห้ง 3 – 4 วัน ความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 10 – 12 และถ้าเก็บไว้นาน ๆ ก็ควรเก็บไว้ในที่แห้ง อากาศเย็น หรือเก็บในห้องเย็น ก็จะเก็บได้นานขึ้น ซึ่งจะใช้อุณหภูมิประมาณ 12 องศาเซลเซียส ก่อนนำเมล็ดเพาะ ถ้าหากต้องการให้มีคุณภาพ ควรนำเมล็ดมาจัดการเพื่อป้องกันการถูกทำลายโดยเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรค Collar Canker โรครากเน่า และโรคเหี่ยว วิธีการก็คือ การนำเมล็ดมาราดด้วยสารละลายโปแตสเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1 การเพาะเมล็ดนั้นนิยมเพาะในถุงพลาสติกสีดำ ซึ่งจะใช้ถุงขนาดประมาณ 6 นิ้ว โดยปกติจะทำการเพาะเลี้ยงเมล็ดในถุงพลาสติกประมาณ 2 – 3 เดือน และจะให้ผลผลิตประมาณ 8 – 10 เดือนหลังจากการปลูก การใช้ดินผสมเพื่อเพาะเมล็ดในถุงอาจใช้น้ำดินใส่ลงในถุงพลาสติก ข้อสำคัญ คือ ถ้าจะใช้ดินผสมเองจะต้องไม่มีเศษอินทรีย์วัตถุที่ยังสดอยู่เพราะจะทำให้ดินขาดธาตุอาหารในระยะแรก ๆ ถ้าจะผสมอินทรีย์วัตถุ พวกเศษพืชหรือมูลสัตว์จะต้องเป็นส่วนที่ย่อยหรือหมักเรียบร้อยแล้ว การออกของเมล็ดสุปคำจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ที่สำคัญคือ อายุ หรือความสุกแก่ของเมล็ดที่เก็บจากต้น (ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดชัยนาท, 2548)

การเพาะเมล็ดสุปคำ อาจทำได้ 3 แบบ คือ

1) การเพาะในโรงเรือนที่มีการพรางแสงด้วยตาข่าย เป็นการเพาะต้นกล้าที่สามารถรักษาระดับความชื้นในดินได้ดีและยาวนาน ในสภาพแปลงปลูกที่มีขนาดใหญ่ จะเป็นการ

ประหยัดน้ำ และสะดวกในการจัดการต่อไป การเพาะในโรงเรือนนี้อาจทำให้ต้นกล้าโตช้าไม่ค่อยแข็งแรง เพราะได้รับแสงน้อย

2) การเพาะต้นกล้าแบบกลางแจ้ง วิธีการ คือ การนำถุงพลาสติกมาใส่ดิน แล้วหยอดเมล็ด วางกลางแจ้ง วิธีการนี้ต้องรดน้ำมากขึ้น โดยเฉพาะในสภาพอากาศร้อน การเพาะแบบกลางแจ้ง ต้นกล้าจะโตเร็วและแข็งแรง เพราะสปูดำเป็นพืชที่ชอบแสงแดด

3) การเพาะเมล็ดในกระบะทราย เป็นวิธีที่ต้องการเพาะครั้งละมาก ๆ โดยการนำเมล็ดมาเพาะในกระบะทรายก่อนแล้วย้ายไปปลูกในถุงพลาสติกหลังการงอก วิธีการ คือ การนำเมล็ดวางเป็นแถว ระยะระหว่างแถว 2 เซนติเมตร หยอดเมล็ดให้ห่างกันระยะ 2 เซนติเมตร ตลอดแนวยาว เมื่อต้นอ่อนงอกก็ทำการย้ายลงถุงพลาสติก

จากรายงานการปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์และท่อนพันธุ์นั้นสปูดำมีการเจริญเติบโตและความสูงไม่แตกต่างกัน แต่การปลูกด้วยเมล็ดจะให้ผลผลิตที่ต่ำกว่า ขณะที่การปลูกด้วยท่อนพันธุ์ที่มีความยาว 45 เซนติเมตร จะให้ผลผลิตสูงกว่าที่ความยาว 15, 30 และ 60 เซนติเมตร คือ มีผลผลิต 133, 79, 110 และ 107 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (วิมลรัตน์ สุกรินทร์, วิไลรัตน์ กุลพัชรานุรักษ์, มณเฑียร โสมภีร์ และนาค โพธิ์แท่น, 2532: 13)

2.6.3.2 การปักชำกิ่ง

การปักชำกิ่ง เพื่อใช้เป็นวัสดุปลูกนั้นทำได้โดยการตัดกิ่งที่มีสีเขียวชุ่มปน้ำตาลเล็กน้อย เป็นกิ่งที่มีอายุพอสมควร หรือกิ่งที่ไม่อ่อนหรือแก่เกินไป การที่ใช้กิ่งที่อ่อนไปนั้นอาจไม่คิดผล วิธีการก็ทำได้โดยการตัดกิ่งมาปักชำลงในดินที่บรรจุในถุงเช่นเดียวกับการเพาะเมล็ด การเตรียมกิ่งพันธุ์อาจมีการตัดใบบางส่วนทิ้ง การปักชำกิ่งควรปักให้ตั้งตรง ขนาดของกิ่งที่เหมาะสมประมาณ 20 เซนติเมตร โดยถ้ามีท่อนพันธุ์เพียงพอลายาวได้ถึง 1 เมตร การปักชำด้วยท่อนพันธุ์นี้ จะมีระบบรากไม่ทนทานเท่ากับต้นที่งอกจากเมล็ด

2.6.3.3 การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

ปัจจุบันทางกรมวิชาการเกษตรได้ทำการขยายพันธุ์โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้แล้ว ซึ่งได้ผลเช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชชนิดอื่นทั่วไป (พรชัย เหลืองอาภาพงษ์, 2548)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ต้นกล้าสปูดำที่เพาะจากเมล็ด เนื่องจากสปูดำที่เพาะจากเมล็ดจะมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม และสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าการใช้ท่อนพันธุ์

2.6.4 ขั้นตอนการปลูกสบู่ดำ

2.6.4.1 การเลือกพื้นที่

โดยทั่วไป สบู่ดำจัดเป็นพืชที่มีความสามารถขึ้นได้ทุกภูมิภาค แต่จะเจริญเติบโตได้ดี ให้ผลผลิตได้สูง และมีความเหมาะสมในสภาพต่าง ๆ พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกสบู่ดำมี ดังนี้คือ พื้นที่ราบหรือที่ลาดเทโดยไม่ควรเป็นพื้นที่ที่มีน้ำขัง มีการระบายน้ำได้ดี เนื้อดินร่วนปาน กลางจนถึงดินเหนียว ความอุดมสมบูรณ์ของดินปานกลางถึงดี หน้าดินลึกปานกลาง ปริมาณน้ำฝน ในรอบปี 300 – 1,000 มิลลิเมตร ก็สามารถปลูกสบู่ดำได้ ที่สำคัญ คือ การกระจายน้ำฝนในรอบปี เพราะสบู่ดำจะให้ผลผลิตดีตลอดทั้งปีจำเป็นต้องมีน้ำ ระดับความสูงจากน้ำทะเลประมาณ 0 – 500 เมตร ตัวแปรในการเลือกพื้นที่ปลูกสบู่ดำ ได้แก่ สภาพพื้นที่ทั่วไป ที่ลุ่ม – ดอน เนื้อดิน คุณสมบัติดิน ขนาดพื้นที่ในการปลูก แหล่งน้ำ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549) และ นอกจากนี้สภาพพื้นที่ที่ควรจะปลูก คือ พื้นที่ดอน น้ำไม่ท่วมขัง กลางแจ้ง แสงแดดจัด ไม่อยู่ใต้ร่มเงา ต้นไม้ใหญ่ เช่น ปลูกบนคันนา นาดอน หัวไร่ปลายนา ริมรั้วบ้าน แนวรั้วเขตไร่ที่ติดต่อกัน และที่รกร้างว่างเปล่าที่ไม่มีประ โยชน์ และฤดูที่เหมาะสม คือ ในช่วงเดือนเมษายน – พฤษภาคม (ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดชัยนาท, 2548)

2.6.4.2 การเตรียมพื้นที่ปลูก

เป็นการปรับพื้นที่ทั่วไปให้มีสภาพเหมาะสมในด้านการเข้าไปปฏิบัติงาน การทำทางระบายน้ำ การวางระบบน้ำ การวางระบบการขนส่ง การบำรุงรักษา และการจัดการทั่วไป

1) สภาพแปลงปลูกเดิมที่รกร้างว่างเปล่า ก็จะมีดินไม้หรือวัชพืชขึ้น การเตรียมพื้นที่ปลูกจะต้องทำปรับพื้นที่ให้เหมาะสมแก่การปลูกสบู่ดำ กระบวนการเตรียมพื้นที่ อาจมีความจำเป็นต้องใช้รถไถคันดินไม้และวัชพืชขึ้นมากองรวมแล้วปล่อยให้แห้ง 1 – 2 เดือน เพื่อรอให้แห้งและทำลาย การบุกเบิกเตรียมพื้นที่ปลูกนี้สภาพพื้นที่เดิมเป็นที่ดินรกร้างมีต้นไม้เล็กหรือมีวัชพืชขึ้นปะปนเล็กน้อยก็อาจใช้แรงงานคนตัดฟันหรือเผาบางส่วน

2) สภาพแปลงปลูกเดิมที่เคยทำการปลูกพืชมาแล้ว ในสภาพที่เดิมที่เคยทำการเกษตรในการปลูกสบู่ดำ ก็จะต้องมีการเตรียมพื้นที่ปลูก ซึ่งสภาพนี้ก็จะ เป็นสภาพเดิมที่มีเพียงวัชพืชขนาดเล็ก และมีซากพืชเดิมหลงเหลืออยู่ การเตรียมพื้นที่จะต้องมีการตัดฟันวัชพืชก่อนที่จะไถพรวนเตรียมดิน

2.6.4.3 การเตรียมดิน

การเตรียมดินนี้อาจมีความจำเป็นหรือไม่มีความจำเป็นแล้วแต่สภาพดินและความต้องการของผู้ปลูก อาจใช้วิธีการที่ไม่มีไถพรวนดินก็ได้ ในกรณีที่ต้องให้ดินมีความเหมาะสม

ต่อสบูดำก็อาจมีการเตรียมดิน โดยการไถบุกเบิก 1 ครั้ง แล้วไถพรวน 1 ครั้ง การไถทั้งสองครั้งจะเป็นการทำให้แปลงสบูดำมีความสะอาดขึ้น การปลูกสบูดำในพื้นที่ลุ่ม อาจมีความจำเป็นต้องปลูกสบูดำในการยกร่อง ซึ่งจะต้องมีการเตรียมดินและแปลงปลูกโดยการทำแนวยกร่อง แล้วปลูกบนร่องปลูกตามระยะแนวปลูกที่กำหนด วิธีการปลูกแบบนี้จะช่วยป้องกันการท่วมของน้ำในฤดูฝนได้

2.6.4.4 การวางแผนกำหนดระยะปลูก

ระยะปลูกอาจทำได้หลายระบบ ซึ่งปัจจุบันมีการใช้ระยะปลูกคือ 2 x 2 เมตร 2 x 2.5 เมตร 3 x 2.5 เมตร หรือ 3 x 3 เมตร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549) และจากรายงานการปลูกสบูดำที่ระยะ 1.0 x 0.5 เมตร ให้ผลผลิตสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระยะปลูก 0.5 x 0.5, 1.0 x 1.0, 1.0 x 1.5 และ 1.5 x 1.5 เมตร (วิมลรัตน์ ศุกรินทร์ และคณะ, 2532: 13)

2.6.4.5 การเตรียมหลุมปลูกและการปลูก

1) การขุดหลุมปลูกสบูดำนั้นถ้าหากสภาพดินเดิมมีความสมบูรณ์พอสมควร ก็อาจขุดหลุมใหญ่กว่าขนาดถุงพลาสติกของต้นกล้าเล็กน้อย แต่ถ้าเป็นดินเลวก็อาจมีความจำเป็นต้องขุดหลุมให้กว้างและลึกมากขึ้นเพื่อจะได้ใส่หน้าดิน หรือปุ๋ยคอกลงไปบริเวณหน้าหลุมและรอบ ๆ ถุง การขุดหลุมปลูกควรใช้ตำแหน่งที่ถูกต้องซึ่งได้จากการกำหนดระยะปลูก หลุมควรมีขนาด 30 x 30 เซนติเมตร และลึก 30 เซนติเมตร โดยที่ควรขุดหลุมก่อนการย้ายปลูกประมาณ 7 – 15 วัน เพื่อเป็นการตากหลุมก่อนปลูก

2) การปลูกต้นกล้า ทำได้โดยการถอดหรือฉีกถุงพลาสติกออก นำต้นกล้าใส่ลงในหลุม ซึ่งก่อนวางควรใส่ปุ๋ยฟอสเฟต หน้าดิน และดินผสม ลงไปเพื่อเร่งการเจริญเติบโตระยะแรก เมื่อวางต้นกล้าก็ทำการกลบดินด้านข้างและกดให้แน่น

2.6.4.6 การตัดแต่งกิ่ง

การตัดแต่งกิ่งจะเป็นการทำให้สบูดำมีการให้ผลผลิตสูง ควรตัดแต่งกิ่งครั้งแรกภายหลังการปลูกลงดิน 2 – 3 เดือน การตัดแต่งกิ่งครั้งแรก ควรตัดแต่งกิ่งให้สูงจากพื้นดิน 30 เซนติเมตร เมื่อมีการตัดแต่งกิ่งแล้ว จะเกิดการแตกกิ่งก้านในส่วนล่าง และเกิดมีการแตกยอดขึ้นมาใหม่ การตัดแต่งกิ่งถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นเนื่องจากการจะเป็นการกระตุ้นให้มีการแตกกระโถงใหม่แล้ว ยังเป็นการควบคุมการเจริญเติบโตทางความสูงของสบูดำ ควรจะควบคุมไม่ให้ต้นสบูดำมีความสูงเกิน 2 เมตร การสูงมากเกินไปจะทำให้เกิดข้อจำกัดในการเข้าไปเก็บเกี่ยว การเลี้ยงต้นให้มีจำนวนกระโถงมาก ๆ นั้นมีความสำคัญเพราะยังมีกระโถงมากก็มีโอกาสทำให้ได้ผลผลิตสูง โดยที่ทุกกระโถงในส่วนยอดจะมีการเกิดช่อดอกในชอกใบ นอกจากนี้ปริมาณใบมีความสำคัญมาก เพราะในแต่ละต้นถ้ามีใบมากก็จะมีความสามารถในการให้ผลผลิตสูง มีคุณภาพ แต่การเกิดใบจำนวนมากนี้อาจทำให้เกิดการ

บดบังแสงซึ่งกันและกัน ดังนั้น ควรมีการเคาะใบและรูดใบทิ้งบางส่วน ซึ่งจะทำให้ต้นโปร่งขึ้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

จากการศึกษาการตัดแต่งกิ่ง พบว่า สบู่คำจะเจริญเติบโตขึ้นเรื่อย ๆ ไม่ค่อยแตกกิ่ง ดังนั้น ควรจะตัดแต่งกิ่งเพื่อให้แตกแขนง โดยพบว่าการตัดแต่งกิ่งที่ความสูง 1.5 เมตร จะให้ผลผลิตสูงสุด ส่วนการตัดที่ความสูง 1 เมตร จะให้ผลผลิตน้อยที่สุด (วิมลรัตน์ สุกรินทร์, วิไลรัตน์ กุลพัชรานุรักษ์ และมณเฑียร โสมภีร์, 2532: 21)

2.6.5 การบำรุงรักษา

2.6.5.1 การให้น้ำและการระบายน้ำ

สบู่คำเป็นพืชที่ต้องการน้ำตลอดทั้งปี แต่ไม่ต้องการสภาพน้ำขังท่วม ดังนั้น จึงต้องมีทั้งการให้น้ำและระบายน้ำแก่สบู่คำ ซึ่งจะให้น้ำแก่สบู่คำในเฉพาะช่วงฤดูแล้ง วิธีการ คือ การให้น้ำน้อย ๆ แต่บ่อยครั้ง ในช่วงฤดูแล้งควรให้น้ำเดือนละ 2 – 4 ครั้ง นอกจากนี้ควรมีเศษพืชคลุมดินรอบโคนหรือพรวนเศษฟาง เพื่อป้องกันความร้อนจากแสงแดด

2.6.5.2 การจัดการวัชพืช

การปลูกสบู่คำในฤดูฝน จะมีวัชพืชขึ้นมากมาย ดังนั้น การกำจัดวัชพืช โดยเฉพาะในบริเวณรอบโคน จัดเป็นสิ่งจำเป็น การกำจัดวัชพืชทำได้โดยการถากหรือถอนบริเวณรอบโคน โดยจะต้องมีรัศมีรอบโคนอย่างน้อย 1 เมตร และการกำจัดวัชพืชรอบโคนอย่างน้อยเดือนละครั้ง ส่วนฤดูแล้งอาจทำการกำจัดวัชพืชน้อยครั้งลง วิธีการจัดการวัชพืช อาจทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การฉีดพ่นสารเคมี การใช้มือถอน การใช้จอบถาก และการคลุมโคนดินด้วยวัสดุต่าง ๆ เช่น ฟางข้าว หรือพลาสติก การใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช เช่น สารไกลโฟเสต (Glyphosate) หรือพาราควัท (Paraquat) ซึ่งมีความเหมาะสมแตกต่างกันในฤดูฝน เป็นวัชพืชขึ้นต้น ควรใช้สารไกลโฟเสต ส่วนในฤดูแล้ง วัชพืชที่ขึ้นเป็นแบบธรรมชาติ ควรใช้สารพาราควัท

2.6.5.3 โรคและแมลงศัตรูพืชในสบู่คำ

1) โรคที่พบในสบู่คำ มีหลายชนิด ได้แก่ โรค Damping Off และโรครากเน่า (Root Rot) สาเหตุจากเชื้อ *Phytophthora* spp. และ *Fusarium* spp. โรคใบจุด (Leaf Rot) สาเหตุจากเชื้อ *Helminthosporium* spp. และ *Cercospora* spp. โรค Die Back สาเหตุจากเชื้อ *Pinnaspis* spp. (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

2) แมลงศัตรูพืชที่พบในสบู่คำ ได้แก่

(1) เพลี้ยแป้ง ซึ่งจะทำลายยอดและใบอ่อนของต้นสับทำให้ใบหักมีรูปร่างบิดเบี้ยว เนื่องจากถูกคูดน้ำเลี้ยง พบกระจายอยู่ทั่วไปแปลง เข้าทำลายได้ทุกช่วงในรอบปี มีมากในช่วงฤดูแล้ง

(2) เพลี้ยไฟ เข้าทำลายได้ทุกฤดู ส่วนมากพบร่วมกับไรแดง เพลี้ยไฟจะดูดน้ำเลี้ยงบริเวณใต้ใบของพืชสับดำ ทำให้ใบเหลืองซีดและร่วงในที่สุด

(3) ไรแดง พบในช่วงฤดูหนาว และแห้งแล้ง ทำความเสียหายรุนแรงต่อต้นสับดำ อาจทำให้ใบร่วงทั้งต้น มีการเพิ่มจำนวนรวดเร็ว ต้นที่ถูกไรแดงลงจะมีใบสีเหลืองและร่วงหมดต้นภายในเวลาที่รวดเร็ว ต้องมีการตรวจตราและกำจัดอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการแพร่กระจายไปทั่วแปลง

(4) หนอนชอนใบ หนอนชนิดนี้จะเข้าทำลายใบโดยเข้าไปในชั้นระหว่างผิวใบด้านบนและด้านล่าง ทำให้ใบมีแผลคล้ายจุดไหม้ และเมื่อกินอาหารเต็มที่แล้วก็ออกมาสร้างดักแด้บริเวณมุมใบแล้วกลายเป็นผีเสื้อตัวเล็ก ๆ บินออกไป หนอนชนิดนี้ส่วนใหญ่จะเข้าทำลายต้นสับดำที่มีขนาดเล็ก ทำให้ใบมีแผลคล้ายจุดไหม้เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ทำให้ใบแห้งกรอบ ถ้าใบได้รับความเสียหายมากก็จะร่วงในที่สุด สับดำต้นเล็กจะประสบปัญหามากกว่าต้นใหญ่ เพราะมีใบน้อย เมื่อใบถูกทำลายทำให้การเจริญเติบโตของต้นสับดำหยุดชะงัก

(5) ไรขาว พบการเข้าทำลายของไรขาวได้ทุกฤดู ซึ่งจะเข้าทำลายสับดำอายุ 1 – 6 เดือน ค่อนข้างรุนแรง เนื่องจากไรขาวมีขนาดเล็กมาก และการเข้าทำลายมีลักษณะคล้ายโรคไวรัสในพืช ไรขาวจะดูดกินน้ำเลี้ยงที่ใบ ก้านช่อดอก และยอด ทำให้เกิดการแตกพุ่มแข็ง ช่อดอกไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้การเจริญเติบโตของสับดำชะงัก รวมทั้งทำให้ผลผลิตของสับดำลดลง ไรขาว ถือว่าเป็นแมลงศัตรูพืชที่ทำความเสียหายรุนแรงมากเมื่อเทียบกับแมลงอื่น ๆ (ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดชัยนาท, 2548)

3) การควบคุมแมลง

การควบคุมแมลงให้ใช้สารกำจัดแมลงดังนี้

- (1) คาร์บาริล อัตรา 50 กรัมค่อน้ำ 20 ลิตร (เพลี้ยแป้ง และเพลี้ยไฟ) ฉีดช่วงเช้าหรือช่วงเย็นที่มีแสงแดดอ่อน
- (2) ฟิฟอนิล อัตรา 10 กรัมต่อต้น (หนอนชอนใบ) ขุดหลุมฝังที่โคนต้น
- (3) เควเทน อัตรา 50 มิลลิลิตรค่อน้ำ 20 ลิตร (ไรแดง) ฉีดพ่นช่วงเช้าหรือช่วงเย็นที่มีแสงแดดอ่อน

(4) อะบาเมกดิน อัตรา 30 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร (หนอนซอนใบ) ถัดพ้นช่วงเช้าหรือช่วงเย็นที่มีแสงแดดอ่อน

(5) ไคโคโฟ อัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร (ไรขาว) ถัดพ้นช่วงเช้าหรือช่วงเย็นที่มีแสงแดดอ่อน

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะยังพบแมลงที่กล่าวมาข้างต้นอยู่ หากไม่ทำความเสียหายมากนัก และมีแมลงจัดอยู่ในระดับที่มีไม่มาก ก็ควรลดการใช้สารเคมี เนื่องจากสับดูเป็นพืชผสมข้ามต้องอาศัยแมลง เช่น ผึ้ง และแมลงที่เป็นประโยชน์หลายชนิด หากพ่นสารกำจัดแมลง แมลงพวกนี้จะตายไปด้วย ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการผลิตผสมเกสรของสับดู

2.6.5.4 การใส่ปุ๋ย

1) ปุ๋ยเคมี สับดูต้องการปุ๋ยเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ชนิดของปุ๋ยที่ใช้ คือ ปุ๋ยสูตรเสมอ 15 – 15 – 15 จำนวนต้นละ 50 กรัมต่อน้ำ ในการใส่แต่ละครั้ง หรืออาจใส่ปุ๋ยยูเรีย 20 – 30 กรัมต่อน้ำ และสับดูเป็นพืชน้ำมัน ดังนั้น จึงมีการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟตอย่างมาก จึงมีความจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยพวกซูเปอร์ฟอสเฟต ช่วยเร่งการเจริญเติบโต

2) ปุ๋ยอินทรีย์ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์นี้จะช่วยให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินดีขึ้น ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ คือ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปริมาณการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อาจใช้ประมาณ 0.5 – 1.0 กิโลกรัมต่อน้ำ ในการใส่แต่ละครั้ง โดยใส่ปีละ 2 – 3 ครั้ง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549)

จากการศึกษา ปริมาณการใส่ปุ๋ยในผลการทดลองของดินชุดวาริน ปี พ.ศ. 2532 พบว่า สับดูตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยในโตรเจนและโปแตสเซียมสูง โดยให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 84 – 88 แต่มีการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสฟอรัสต่ำ คือ ร้อยละ 29 อาจเนื่องมาจากดินชุดวารินขาดปุ๋ยในโตรเจนและฟอสฟอรัส ส่วนการทดลองใส่ปุ๋ยสูตร 15 – 15 – 15 ที่อัตราต่างๆ พบว่า เมื่อใส่ปุ๋ยเพิ่มขึ้น สับดูจะให้ผลผลิตสูงขึ้น จนถึงอัตรา 48 กิโลกรัมต่อไร่ จากนั้นผลผลิตก็จะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยโดยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของกรมส่งเสริมการเกษตรที่รายงานว่า การใช้ปุ๋ยสูตร 15 – 15 – 15 อัตรา 10 – 60 กิโลกรัมต่อไร่ ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ไม่คุ้มทุน น่าจะมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ (วิมลรัตน์ สุกรินทร์ และคณะ, 2532: 37)

2.6.6 การเก็บเกี่ยว

ผลสุกของสับดูจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองสด โดยปกติผลสับดูจะสุกภายหลังการผสมเกสร 60 วัน ผลผลิตสับดู ผลสับดูแต่ละลูกมีจำนวน 3 เมล็ด ผลสดและน้ำหนักเมล็ดสดของ

สบู่ดำโดยทั่วไปจะมีความชื้นร้อยละ 35 – 40 โดยที่ปริมาณความชื้น (ร้อยละความชื้น) ของเมล็ดสบู่ดำขณะเก็บเกี่ยวจะขึ้นอยู่กับ อายุของผลสบู่ดำ และสภาพแวดล้อม ถ้าเป็นฤดูแล้งจะมีร้อยละความชื้นต่ำกว่าช่วงการเก็บเกี่ยวในฤดูฝน

2.6.7 ประโยชน์ของสบู่ดำ

2.6.7.1 ประโยชน์ของส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำ

1) ส่วนของใบ สามารถนำมาเป็นผักได้ ใช้รักษาโรคริดสีดวงทวาร มีการใช้ใบของสบู่ดำทำเป็นยาชงกินแก้ไอ ทำเป็นยาต้มแก้ท้องเสีย ลดไข้ แก้ไอ ใช้ใบตำพอกหรือคั้นเอาแต่น้ำทารักษาแผลเรื้อรัง ฝี และลดอาการอักเสบ

2) ส่วนของก้านใบ สามารถนำมาทาบ ๆ ใช้แปรงฟันได้ แก้โรคเหงือกบวมยาง (Latex) ของต้นสบู่ดำสามารถใช้เป็นสารต้านมะเร็ง และใช้ในการห้ามเลือด ใช้ผสมเกลือกวาดปากเด็ก แก้ลิ้นเป็นฝ้าขาวและปากพุพอง ป้ายรักษาโรคปากนกกระจอก และแก้ปวดฟันได้

3) ส่วนของลำต้น ตัดเป็นท่อนค้ำน้ำให้เด็กกินแก้เซ็งตามลขโมย ตัดเป็นท่อนแช่น้ำอาบแก้โรคพุพอง ใช้เป็นแนวรั้วป้องกันสัตว์เลื้อย เช่น โค กระบือ ม้า แพะ เข้าทำลายผลผลิต และสารสกัดจากต้น ใช้รักษาโรคไฟไหม้ โรคเรื้อน หิด แผลสะเก็ด ฝีดาษ และเป็นยาถ่าย

4) ส่วนของเมล็ด ใช้เป็นยารักษาโรคข้ออักเสบ โรคเก๊าท์ โรคตัวเหลือง ตาเหลือง และหีบเป็นน้ำมัน ใช้ทดแทนน้ำมันคัสเซล ใช้บำรุงรากผม ใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้กากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน ซึ่งมีธาตุอาหารหลักมากกว่าปุ๋ยหมักและมูลสัตว์หลายชนิด ยกเว้นมูลไก่ที่มีฟอสฟอรัสและโปตัสเซียมมากกว่า (สมาคมคนน่ารัก, 2548)

2.6.7.2 ประโยชน์ของสบู่ดำในเชิงพาณิชย์

1) การใช้ประโยชน์จากลำต้นพืชสบู่ดำ หลังการตัดแต่งกิ่ง จะมีกิ่งที่ถูกตัดแต่งจำนวนมากซึ่งอาจนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ขยายพันธุ์ด้วยการปักชำ ทำเชื้อเพลิง ผลิตกระดาษ ทำไม้อัด และทำยารักษาโรค

2) การใช้ประโยชน์จากเมล็ดพืชสบู่ดำ ได้แก่ ใบโอดีเซล เชื้อเพลิงแท่ง สบู่ ปุ๋ยอินทรีย์ เครื่องสำอาง ยารักษาโรค น้ำมันหล่อลื่น

3) การใช้ประโยชน์จากกากเมล็ดสบู่ดำ ในกากเมล็ดสบู่ดำมีน้ำหนักระมาณร้อยละ 75 สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ดังนี้ ใช้ทำเชื้อเพลิงแท่ง ใช้ทำปุ๋ยหมัก ทำสารสกัดชีวภาพโดยเฉพาะการนำไปเป็นสารกำจัดศัตรูพืช พวกโรคและแมลง รวมทั้งการนำสบู่ดำไปใช้เพื่อเป็นอาหารสัตว์แต่ควรเลือกพันธุ์สบู่ดำที่ไม่มีสารพิษ หรือหากใช้พันธุ์ที่ปลูกกันทั่วไปจะต้องมีการสกัดสารพิษออกก่อน

4) การใช้ประโยชน์จากเปลือกของผลสบู่ดำที่เอาเมล็ดออกแล้ว ได้แก่ เชื้อเพลิงชีวภาพทดแทนน้ำมันดีเซล ปุ๋ยหมัก และน้ำหมักชีวภาพ

5) การใช้ประโยชน์จากใบของพืชสบู่ดำ ได้แก่ เชื้อเพลิงชีวภาพทดแทนน้ำมันดีเซล เลี้ยงไหมแต่ต้องเป็นพันธุ์ที่ไม่มีสารพิษ ทำสารสกัดชีวภาพ ทำยารักษาโรคแต่ต้องเป็นพันธุ์ที่ไม่มีสารพิษ รวมทั้งผลิตกระดาษ

2.6.8 การสกัดน้ำมันสบู่ดำ

การสกัดน้ำมันสบู่ดำ (ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดชัยนาท, 2548) สามารถทำได้ 3 วิธี คือ

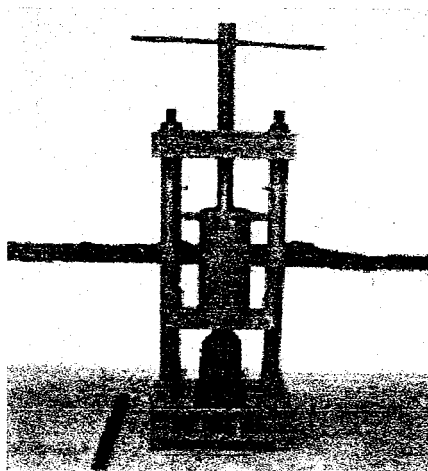
2.6.8.1 การสกัดในห้องปฏิบัติการ โดยใช้วิธีบดให้ละเอียดแล้วสกัดด้วยตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ จะได้น้ำมันร้อยละ 34.96 จากเมล็ดรวมเปลือก และร้อยละ 54.68 จากเนื้อเมล็ด สำหรับวิธีการนี้เป็นการสกัดที่ได้ผลผลิตในรูปน้ำมันใบ โอเลเซลสูงกว่าการสกัดด้วยกระบวนการอื่นทั้งหมด แต่มีการลงทุนที่สูงและยุ่งยากในทางปฏิบัติ ตลอดจนไม่คุ้มทุน

2.6.8.2 การสกัดด้วยระบบไฮดรอลิก จะได้น้ำมันประมาณร้อยละ 25 – 30 มีน้ำมันตกค้างในกากร้อยละ 10 – 15 แต่การใช้วิธีการนี้อุปกรณ์ของเครื่องจักรมีราคาสูง เช่น กระบอกลไฮดรอลิก ทำให้การซ่อมบำรุงมีค่าใช้จ่ายสูงตามขึ้นไปด้วย จึงไม่เป็นที่นิยมที่จะใช้ระบบนี้มาทำการหีบน้ำมันจากเมล็ดของพืชสบู่ดำ เนื่องจากมีต้นทุนสูง ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 เครื่องหีบน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบไฮดรอลิก
แหล่งที่มา: สมาคมเครื่องจักรกลไทย, 2549.

2.6.8.3 การสกัดด้วยระบบอัดเกลียว จะได้น้ำมันประมาณร้อยละ 25 – 30 มีน้ำมันตกค้างในกากร้อยละ 10 – 15 ซึ่งการสกัดหรือหีบน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำด้วยระบบนี้ จะเป็นที่ยอมรับมากในหมู่เกษตรกร ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 เครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำโดยใช้แรงงานจากคน
แหล่งที่มา: สุรพล ชามาตย์, 2549.

การสกัดน้ำมันด้วยวิธีที่ 2.6.8.2 จะต้องนำเมล็ดมาทุบพอแตกแล้วนำไปเพิ่มความร้อน โดยการนำไปตากแดด หรือนึ่ง หรือนำเข้าตู้อบ ก่อนนำเข้าเครื่องสกัด เพื่อให้การสกัดน้ำมันกระทำได้ง่ายขึ้น น้ำมันที่ได้จากการสกัดจะต้องนำไปกรองสิ่งสกปรกออกหรือทิ้งให้ตกตะกอนก่อนนำไปใช้งาน ส่วนวิธีที่ 2.6.8.3 จะใช้เมล็ดของพืชสบู่ดำส่งเข้าสู่กระบวนการหีบด้วยสกรูเกลียวอัด ขับเคลื่อนกำลังโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องต้นแรง ทำให้มีกำลังการผลิตสูงขึ้นกว่าการใช้แรงงานคน การสกัดด้วยวิธีทั้ง 2 วิธีนี้ น้ำมันที่ได้สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่เกษตรกรใช้ได้เลยโดยตรง ไม่ต้องใช้น้ำมันชนิดอื่นมาผสมอีก ซึ่งเป็นคุณสมบัติพิเศษเฉพาะ ทำให้เกษตรกรมีความสะดวกที่จะใช้งาน

2.6.9 การทดสอบน้ำมันสบู่ดำกับเครื่องยนต์

การใช้น้ำมันสบู่ดำกับเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันดีเซล ถือว่ามีความสำคัญมากในทาง การเกษตร ดังตารางที่ 2.24 จะแสดงถึงปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลทางการเกษตรของประเทศ ในปี พ.ศ. 2546 นอกจากนี้ในทางการเกษตรของไทย เครื่องจักรกลทางการเกษตรที่เกษตรกรใช้กันส่วนใหญ่ต้องใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถแสดงได้ในตารางที่ 2.25

ตารางที่ 2.24 ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลทางการเกษตรของประเทศ ปี พ.ศ. 2546

ภาคเศรษฐกิจ	การใช้ดีเซล (หน่วย/ลิตร)	คิดเป็นร้อยละ
การขนส่ง	12,542,496,000	71.82
การเกษตร	3,744,866,600	21.44
อุตสาหกรรมการผลิต	977,547,000	5.60
การก่อสร้าง	128,765,000	0.74
ไฟฟ้า	52,001,000	0.30
เหมืองแร่	17,875,000	0.10
รวม	17,463,550,000	100.00

แหล่งที่มา: เพิ่ม สุรรักษา และสนธยา มณฑาสวรรณ, 2549.

ตารางที่ 2.25 ปริมาณเครื่องจักรกลทางการเกษตรของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2546 – 2547

ชนิดของเครื่องจักร	จำนวน (เครื่อง)	ชนิดเชื้อเพลิง
รถไถเดินตาม	3,737,015	ดีเซล
เครื่องสีข้าว	3,004,699	ดีเซล
เครื่องนวดข้าวและกะเทาะเมล็ด	2,378,130	ดีเซล
รถจักรยานยนต์	2,224,007	เบนซิน
รถบรรทุก 4 ล้อ	2,378,130	ดีเซล
เครื่องพ่นสารเคมี	1,680,655	เบนซิน
เครื่องสูบน้ำ	1,611,500	ดีเซลและเบนซิน
รถเกษตรกร	1,156,871	ดีเซล
เครื่องเก็บเกี่ยว	1,045,236	ดีเซล
รถบรรทุกเล็กขึ้นไป	954,732	ดีเซล
เครื่องอัดวัชพืช	674,887	เบนซิน

แหล่งที่มา: เพิ่ม สุรรักษา และสนธยา มณฑาสวรรณ, 2549.

ตารางที่ 2.24 และตารางที่ 2.25 แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของน้ำมันดีเซลที่มีต่อการเกษตรของไทย ซึ่งสบูดำเป็นพืชที่น่าสนใจในการนำมาเป็นพลังงานทดแทน นอกจากนี้ น้ำมันที่ได้จากการหีบจากเมล็ดพืชสบูดำ สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่เกษตรกรใช้อยู่ได้เลยโดยไม่ต้องใช้น้ำมันชนิดอื่นผสมอีก ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก ประเภทลูกสูบเดียวได้เลย ทำให้เกษตรกรมีความสะดวกที่จะใช้งานและสามารถหีบใช้ได้เอง

ตารางที่ 2.26 ผลทดสอบเปรียบเทียบการใช้น้ำมันสบูดำกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

การทำงานของเครื่องยนต์ (รอบ/นาที)	อัตราการกินน้ำมันสบูดำ (จีซี/ชั่วโมง)	อัตราการกินน้ำมันดีเซล (จีซี/ชั่วโมง)
1,500	498	500
1,600	494	498
1,700	528	540
1,800	576	586
1,900	614	629
2,000	665	696
2,100	720	758
2,200	770	804
2,300	852	869

แหล่งที่มา: ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดชัยนาท, 2548.

จากตารางที่ 2.26 เป็นการทดสอบโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กคูโบต้า ET 70 ปรากฏว่าเครื่องยนต์เดินเรียบสม่ำเสมอ ไม่มีการน็อก สามารถเร่งเครื่องยนต์ได้ตามปกติและการใช้น้ำมันสบูดำสิ้นเปลืองน้อยกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย ส่วนตารางที่ 2.27 เป็นตารางเปรียบเทียบเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อการเกษตรรุ่นต่าง ๆ ที่ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันสบูดำ แล้วทำการตรวจวัดวิเคราะห์เขม่าควันและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ทำการเปรียบเทียบเพื่อแสดงให้เห็นการเกิดมลพิษทางอากาศจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์

ตารางที่ 2.27 การทดสอบไอเสียจากเครื่องยนต์เพื่อการเกษตรรุ่นต่าง ๆ

เครื่องยนต์	รอบ/ นาที	น้ำมันสบูดำ		น้ำมันดีเซล	
		เขม่าควัน (ร้อยละ)	คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) (พีพีเอ็ม)	เขม่าควัน (ร้อยละ)	คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) (พีพีเอ็ม)
คูโบต้า	840	12.0	550	10.5	650
7 แรงม้า	2,160	13.0	450	14.5	750
	2,600	12.0	725	12.5	500
ยันมาร์	1,000	11.5	500	10.0	500
18 แรงม้า	1,600	14.5	650	15.5	500
	2,200	18.5	650	19.0	600
เฉลี่ย	1,733	13.4	587	13.7	583

แหล่งที่มา: ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดชัยนาท, 2548.

จากตารางที่ 2.27 เป็นการทดสอบและวิเคราะห์ไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันสบูดำและน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง พบว่า ค่าเขม่าควันของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันสบูดำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 13.4 ค่าเขม่าควันของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 13.7 ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 40.0 ส่วนคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันสบูดำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 587 พีพีเอ็ม และน้ำมันดีเซลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 583 พีพีเอ็ม ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 6 หรือ 60,000 พีพีเอ็ม ค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันสบูดำไม่พบ ในขณะที่น้ำมันดีเซลพบค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) เท่ากับ 125 พีพีเอ็ม

ผลจากการทดสอบกับเครื่องยนต์ เมื่อเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันสบูดำครบ 1,000 ชั่วโมง ได้ถอดชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ออกมาตรวจสอบ เลื้อยสูบ ลูกสูบ แหวน ลื่น หัวฉีด และอื่น ๆ ไม่พบยางเหนียวจับ ทุกชิ้นยังคงสภาพดีเหมือนเดิม แสดงว่า น้ำมันสบูดำสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเพื่อการเกษตรได้ ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนในการประกอบอาชีพของเกษตรกร (ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดชัยนาท, 2548)

การทดสอบน้ำมันสบู่น้ำกับเครื่องยนต์ของ กรมวิชาการเกษตร (2530) ได้สรุปผลการทดสอบการใช้น้ำมันจากพืช 3 ชนิด คือ น้ำมันสบู่ดำ น้ำมันปาล์มผสม และน้ำมันมะพร้าวผสม เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในการเดินเครื่องยนต์ ดังนี้

- 1) เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิด จะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่า แต่มีประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล
- 2) เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันสบู่ดำ ปาล์มผสม สามารถผลิตกำลังสูงสุดได้สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันมะพร้าวผสม ผลิตกำลังสูงสุดได้ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล
- 3) ไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพืช 3 ชนิด จะสะอาดกว่าไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล
- 4) น้ำมันเครื่องหลังการทดสอบทุก 100 ชั่วโมง ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันพืชให้ค่าความเป็นด่างสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล เพราะน้ำมันพืชไม่มีส่วนผสมของกำมะถัน
- 5) การศึกษาจุดคุ้มทุน เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบแล้วนำค่าสมรรถนะต่าง ๆ มาเปรียบเทียบ และคำนึงถึงผลรอบข้างที่เกิดขึ้น เช่น ความสะอาดของไอเสีย ความสะดวกในการใช้งาน และราคาของน้ำมัน กล่าวได้ว่า การนำน้ำมันพืชมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลในปี พ.ศ. 2530 ยังไม่ถึงจุดคุ้มทุน แต่ถ้าเกิดวิกฤตการณ์ทางด้านน้ำมันแล้ว น้ำมันจากพืชนับเป็นแหล่งพลังงานที่เหมาะสมในการที่จะนำมาทดแทนน้ำมันดีเซลได้
- 6) ใช้น้ำมันสบู่ดำร้อยละ 30 ผสมน้ำมันเบนซินร้อยละ 70 (โดยปริมาตร) กับรถจักรยานยนต์ฮอนด้า 2 จังหวะ พบว่า เครื่องเดินเรียบปกติ ถ้าผสมเกินร้อยละ 30 เครื่องจะติดยาก กำลังตก เมื่อเดินเครื่องนาน 500 ชั่วโมง และถอดส่วนต่าง ๆ ดู ไม่พบความสึกหรอหรือผิดปกติ
- 7) ใช้น้ำมันสบู่ดำร้อยละ 10 ผสมกับน้ำมันเบนซินร้อยละ 90 (โดยปริมาตร) กับเครื่องปั่นไฟฮอนด้า 4 จังหวะ พบว่า ได้ผลดีไม่มีปัญหา
- 8) น้ำมันสบู่ดำ สามารถผสมกับน้ำมันดีเซลและเบนซินได้ดี โดยไม่จำเป็นต้องล้างถังเมื่อใช้น้ำมันแต่ละชนิดหมดลง

2.6.10 ผลการวิจัยการผลิตสบู่ดำในประเทศไทย

โครงการวิจัยการผลิตสบู่ดำที่สำคัญของประเทศไทย 2 โครงการ ได้แก่ โครงการวิจัยและพัฒนาสายพันธุ์ต้นสบู่ดำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และโครงการเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ พระชนมพรรษา 72 พรรษา ของกรมส่งเสริมการเกษตร ส่วนการศึกษาสายพันธุ์สบู่ดำในประเทศไทย ดำเนินการโดยกระทรวงเกษตร

และสหกรณ์ กรมส่งเสริมการเกษตร และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พบว่า มีหลายสายพันธุ์ให้ผลผลิตสูง 100 – 800 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี โดยปริมาณผลผลิตขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และการดูแลรักษาที่เหมาะสม

ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดชัยนาท (2548) ได้ดำเนินโครงการการส่งเสริมการใช้น้ำมันสบู่ดำกับเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อการเกษตร โดยการจัดทำแปลงสาธิตปลูกต้นสบู่ดำจำนวน 3 แปลง แปลงที่ 1 คือ แปลงบ้านโป่งกำแพงแสน หมู่ที่ 18 ตำบลเนินฆ้อ กิ่งอำเภอนีนฆ้อ จังหวัดชัยนาท พื้นที่ 5 ไร่ ปลูกเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2544 ระยะปลูก 150 x 100 เซนติเมตร จำนวนต้นที่ปลูกทั้งสิ้น 5,300 ต้น ใช้ต้นกล้าจากการเพาะเมล็ด ปัจจุบันให้ผลผลิตแล้ว แปลงที่ 2 คือ แปลงสาธิตภายในศูนย์ พื้นที่ปลูก 2 ไร่ ปลูกเมื่อ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2544 ระยะปลูก 150 x 200 เซนติเมตร ใช้ต้นกล้าจากการเพาะเมล็ด จำนวน 600 ต้น และจากท่อนพันธุ์จำนวน 480 ต้น รวม 1,080 ต้น ปัจจุบันให้ผลผลิตแล้ว แปลงที่ 3 คือ แปลงสาธิตบ้านดงเกตุพลวง ตำบลหนองขุ่น อำเภอลำลูกเกด จังหวัดชัยนาท พื้นที่ปลูก 5 ไร่ ปลูกเมื่อ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2546 ระยะปลูก 100 x 250 เซนติเมตร ใช้ต้นกล้าจากการเพาะเมล็ด จำนวน 1,600 ต้น และจากท่อนพันธุ์จำนวน 1,600 ต้น รวม 3,200 ต้น ปัจจุบันให้ผลผลิตแล้ว

จากข้อมูลการวิจัยข้างต้น จะเห็นได้ว่า สบู่ดำ เป็นพืชน้ำมันที่มีศักยภาพชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นพืชพลังงานทดแทนได้ โดยคาดว่าจะจะเป็นพืชที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจที่สามารถนำมาทดแทนการปลูกพืชเดิมของเกษตรกรในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมเกินค่ามาตรฐานได้ เนื่องจากผลผลิตที่ได้ คือ น้ำมันสบู่ดำ ซึ่งมีการนำมาใช้เป็นประโยชน์ทางอ้อม ไม่ได้นำมาบริโภคผ่านห่วงโซ่อาหารโดยตรง อย่างไรก็ตามการศึกษาเกี่ยวกับการดูดซึมโลหะหนักเข้าสู่ลำต้นของพืชสบู่ดำและความทนทานต่อแคดเมียมของสบู่ดำเป็นอย่างไรในขณะนี้ยังไม่มีผลการศึกษาออกมารวมทั้งการตกค้างของโลหะหนักในน้ำมันสบู่ดำจะส่งผลต่อการตกค้างของแคดเมียมในไอเสียหรือไม่ก็ยังไม่มีการศึกษาอย่างแน่ชัดออกมาเช่นกัน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 การบำบัดแคดเมียมโดยใช้พืชชนิดต่าง ๆ

ศิริลักษณ์ กล้าการขาย (2548: บทคัดย่อ) ศึกษาการบำบัดแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินโดยใช้หญ้าแฝก 5 สายพันธุ์ ดูดซึมแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินที่มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงและต่ำ 2 ชุด และผลการเจริญเติบโตของราก ลำต้น และใบของหญ้าแฝก ตลอดจนการตกค้างของแคดเมียมในดิน ผลการทดลอง พบว่า หญ้าแฝกสายพันธุ์เลขดูดซึมแคดเมียมได้ดีกว่าสายพันธุ์

อินเดียพระราชทานและศรีลังกาอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่ต่างจากสายพันธุ์นครสวรรค์และประจวบคีรีขันธ์ ส่วนการดูดซึมไว้ที่รากไม่ต่างกันทุกสายพันธุ์

สุรเชษฐ์ วงศ์เทาว์ (2548: บทคัดย่อ) ศึกษาเรื่อง ความเป็นพิษของแคดเมียมต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าพรรณไม้ท้องถิ่น 3 ชนิด ได้แก่ มะค่าแต้ มะค่าโมง และมะม่วงกะล่อน ซึ่งเป็นพรรณไม้ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ต่ำและมีอัตราการรอดชีวิตสูงในแปลงปลูกป่า โดยทำการปลูกพืชทั้ง 3 ชนิดลงในกระถางที่บรรจุดินหนัก 4 กิโลกรัม ที่ปนเปื้อนสารละลาย CdCl_2 โดยแบ่งระดับความเข้มข้นของแคดเมียมออกเป็น 0, 50, 250 และ 500 mg/kg ความเข้มข้นละ 4 กระถาง บันทึกข้อมูลด้านความสูง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นทุกสัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ จากผลการทดลอง พบว่า พรรณไม้ทั้ง 3 ชนิดในชุดควบคุมและชุดทดลองมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน มะค่าแต้ไม่แสดงอาการผิดปกติ แต่มะค่าโมงเกิดอาการใบเหลืองและมีการผลัดใบ ส่วนมะม่วงกะล่อนแสดงอาการยอดอ่อนไหม้ ซึ่งจากผลการทดลองต้นกล้าที่น่าจะเหมาะสมในการไปปลูกในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม คือ มะค่าแต้ และมะม่วงกะล่อน ซึ่งสามารถทนต่อความเป็นพิษของแคดเมียมได้ดี

สุภาพร พงศ์ธรพฤษ (2545: บทคัดย่อ) ศึกษาการสะสมของตะกั่วและแคดเมียมในผักประเภทบรีโกลใบ คือ ผักบุ้ง ผักกาดเขียว ผักคะน้า ผักกาดหอม และต้นหอม ประเภทบรีโกลหัว คือ ผักกาดหัว หัวหอม และบรีโกลผล คือ แตงกวา มะเขือเทศ และข้าวโพดฝักอ่อน พบว่า ผักกาดหอมมีการสะสมของตะกั่วและแคดเมียมมากกว่าพืชชนิดอื่น ๆ และมีค่าเกินมาตรฐานการปนเปื้อน

ในประเทศอังกฤษมีการใช้พืชบำบัดสารพิษจากสิ่งแวดล้อม (Phytoremediation) โดยใช้ต้นไม้บำบัดพื้นที่ที่มีการปนเปื้อน โดยคิดจากการเจริญเติบโตจากการได้รับโลหะหนักโดย Pulford and Watson (2002: Abstract) ได้ให้ความหมาย Phytoremediation ว่าเป็นกระบวนการที่ใช้พืชในการกำจัดสารพิษจากสิ่งแวดล้อม หรือทำให้มีความเป็นอันตรายลดลง โดยจำแนกออกเป็น 5 แบบด้วยกันคือ

Phytoextraction พืชกำจัดโลหะออกจากดินและทำให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นในส่วนที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ของพืช

Phytodegradation พืชและจุลินทรีย์ย่อยสลายสารพิษที่เป็นสารอินทรีย์

Rhizofiltration รากพืชดูดซับโลหะจาก Waste Streams

Phytostabilisation พืชจะลดการเคลื่อนย้ายและความเป็นประโยชน์ของสารพิษในสิ่งแวดล้อมทั้งในรูปการตรึงไว้ (Immobilisation) หรือการป้องกันการเคลื่อนย้าย

Phytovolatilisation เป็นความสามารถระเหยได้ของสารพิษไปยังในบรรยากาศผ่านทางพืช

ในประเทศอิตาลีมีการใช้พืช Canola (*Brassica napus*) และ Radish (*Raphanus sativus*) ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม ศึกษาการเจริญเติบโตโดยการปลูกในกระถางที่ดินมีการปนเปื้อนของแคดเมียม พบว่า พืชทั้ง 2 ชนิด สามารถทนทานได้ในระดับปานกลาง โดย Radish มีความสามารถทนทานได้ดี โดยมีน้ำหนักแห้งรวมสูงกว่า และปริมาณการสะสมของโลหะหนัก พบว่า สังกะสีมีการดูดซึมในส่วนของลำต้น (ที่อยู่เหนือดิน) และรากมากที่สุด (Marchiol and Simon, 2004)

มนพ รุ่งสุข (2538: 51) ศึกษาปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักในหญ้าแฝกหอม โดยพบว่า การดูดซึมปริมาณแคดเมียมของหญ้าแฝกหอมพันธุ์อินโคเนียเซียในส่วนของลำต้น เมื่อเริ่มตัดส่วนใบนำคอกซ์มาวิเคราะห์ พบว่า ปริมาณแคดเมียม 0.18 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่ออายุ 1 และ 3 เดือน พบปริมาณแคดเมียม 0.35 และ 0.22 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ จากค่าเฉลี่ย 0.25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแคดเมียมจะอยู่ในช่วง 0.18 – 0.35 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยสูงสุดเมื่ออายุ 1 เดือน คือ 0.35 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และในส่วนของราก เมื่อเริ่มตัดส่วนใบนำรากมาวิเคราะห์ พบปริมาณแคดเมียม 0.29 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่ออายุ 1 และ 3 เดือน พบปริมาณแคดเมียม 0.39 และ 0.43 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ จากค่าเฉลี่ย 0.37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ปริมาณแคดเมียมจะอยู่ในช่วง 0.29 – 0.43 มิลลิกรัม/กิโลกรัม โดยสูงสุดเมื่ออายุ 3 เดือน คือ 0.43 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จากค่าเฉลี่ยของรากมีความสามารถดูดซึมแคดเมียมได้มากกว่าส่วนของลำต้น

อัจจิมา มีพริ้ง (2547: บทคัดย่อ) ศึกษาความสามารถดูดซับโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินของหญ้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์ พบว่า หญ้าแฝกทั้ง 3 กลุ่มพันธุ์ มีความสามารถในการดูดซึมปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินได้ โดยมีแนวโน้มว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีปริมาณโลหะหนักสะสมในรากมากที่สุด รองลงมาเป็นในส่วนของใบและลำต้น การเจริญเติบโตหรือมีความทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก พบว่า หญ้าแฝกกลุ่มสายพันธุ์มอนโคเจริญเติบโตหรือมีความทนทานต่อความเป็นพิษของโลหะหนักได้มากที่สุด ส่วนปริมาณดอกค้างของโลหะหนักในดิน พบว่า สารหนูเหลือปริมาณตกค้าง 50.25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตะกั่ว 50.16 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และแคดเมียมเหลือปริมาณน้อยมากจนไม่สามารถตรวจวัดได้

2.7.2 การสะสมแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม

เจนวิทย์ วงษ์สาณุน (2548: บทคัดย่อ) ศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่ดาว อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก พบว่า มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำผิวดิน น้ำบ่อตื้น พืชผักผลไม้ และสัตว์น้ำจืด อยู่ในระดับปกติ แต่ในตะกอนดินและดินจากแปลงนามีค่าการปนเปื้อนของแคดเมียมในระดับที่สูงนำไปสู่การปนเปื้อนในข้าวที่ปลูก

ในแปลงนาเหล่านั้นให้มีระดับแคดเมียมสูงตามไปด้วย การประเมินความเสี่ยง พบว่า ประชาชนมีความเสี่ยงสูงต่อการได้รับแคดเมียมหากบริโภคข้าวที่ปลูกในพื้นที่ และยังพบอีกว่าแม้จะไม่มีการผลิตข้าวและไม่มี การบริโภคข้าวที่ปนเปื้อน แต่ประชาชนก็ยังมี ความเสี่ยงสูงต่อการได้รับแคดเมียมจากดินผ่านการสัมผัสดินโดยไม่ตั้งใจ

ในปี พ.ศ. 2544 – 2546 หน่วยงาน International Water Management Institute ซึ่งเป็นหน่วยงานจากต่างประเทศ ได้ตรวจพบว่า บริเวณพื้นที่ห้วยแม่ดาว ตำบลพระธาตุผาแดง และตำบลแม่ดาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เป็นพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมสูงเกินค่ามาตรฐานและส่งผลให้ประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่กว่า 6,000 คนเสี่ยงต่อการเป็นโรคไต และโรคที่เกี่ยวข้องกระดูก (อนันตชัย นุกูล, 2548) ในพื้นที่แห่งนี้ พบว่า มีการทำเหมืองสังกะสีมานานหลายปี โดยเป็นโรงงานถลุงสังกะสีของ บริษัท ผาแดง อินดัสทรี จำกัด และเหมืองสังกะสีของ บริษัท ตาก ไม่นิ่ง จำกัด ซึ่งในแหล่งแร่สังกะสีนั้นได้มีการตรวจพบแคดเมียมปะปนรวมอยู่ด้วย จากการตรวจดินในนาข้าว 154 แปลง พบการปนเปื้อนของแคดเมียมอยู่ในช่วง 61 – 207 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานของยุโรปที่กำหนดไว้ที่ 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน 20 – 70 เท่า และเมื่อตรวจสอบเมล็ดข้าวที่สีแล้ว พบว่า ร้อยละ 95 ของเมล็ดข้าวตัวอย่าง มีปริมาณแคดเมียมเกินค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของสำนักงานอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (อนันตชัย นุกูล, 2548) แสดงว่า พืชประเภทข้าวสามารถดูดซึมแคดเมียมเข้าไปในผลผลิตได้

พิชิต พงษ์สกุล, สุรทิน แก้วโรจน์, สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์ และจรรย์ จันทร์เจริญสุข (2543: บทคัดย่อ) ศึกษาการดูดซึมแคดเมียมในดินและปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับในดิน จากตัวอย่างดินจากจังหวัดต่าง ๆ ในประเทศไทยจำนวน 33 ตัวอย่าง โดยการเขย่าดินในสารละลาย 0.01 M CaCl_2 ซึ่งมี CaCl_2 ละลายอยู่ในอัตรา 0, 2, 4, 8 และ 16 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า เมื่อใช้ Freundlich Equation แสดงให้เห็นว่าความเป็นกรด – ด่าง และร้อยละของอินทรีย์วัตถุ (OM) มีอิทธิพลมากต่อการเปลี่ยนของค่า Cadmium Buffering Capacity ส่วนร้อยละของอนุภาคดินเหนียว (Clay) มีผลต่อ Cadmium Buffering Capacity ในระดับที่ต่ำกว่า

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงให้เห็นถึงผลกระทบและความร้ายแรงของปัญหาการปนเปื้อนของแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อมและในผลิตภัณฑ์ เช่น ข้าว สัตว์น้ำ และน้ำดื่ม ซึ่งได้มีผู้ที่ศึกษาวิจัยโดยใช้พืชชนิดต่าง ๆ เช่น หล�าแฝก และผักที่บริโภคได้ ทั้งเพื่อใช้ในการบำบัดแคดเมียมในดิน และเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่าง ๆ ต่อระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแต่ละระดับการปนเปื้อน แต่ยังไม่ มีผู้ที่ศึกษาวิจัยโดยนำสบูดำมาใช้ในการศึกษา ดังนั้น จึงมีความสนใจที่จะนำสบูดำมาใช้ในการศึกษา ซึ่งจะทำให้การศึกษาเรื่องสมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสบูดำที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม โดยใช้สบูดำสายพันธุ์ระยะของการศึกษา

เนื่องจากเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทุกพื้นที่ ทนทานต่อความแห้งแล้ง ให้ผลผลิตเร็ว ไม่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของแคดเมียมสู่ห่วงโซ่อาหาร และยังใช้ผลิตเป็นพลังงานทดแทนได้อีกด้วย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง สมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสับดำสายพันธุ์ระยะที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียม ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาตามขั้นตอน ดังนี้

- 3.1 กรอบแนวคิดและสมมติฐาน
- 3.2 การเตรียมพืชและดินที่ใช้ในการทดลอง
- 3.3 วิธีการศึกษา
- 3.4 เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 กรอบแนวคิดและสมมติฐาน

3.1.1 กรอบแนวคิด

การวิจัยนี้จัดเป็นการทดลองแบบระบบเปิด เนื่องจากได้ทำการปลูกต้นสับดำไว้กลางแจ้ง โดยสามารถแยกประเภทของตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

3.1.1.1 ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) คือ

ปริมาณการปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดินหรือพีพีเอ็ม) ในแต่ละระดับ โดยสามารถแบ่งระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมได้ดังนี้ คือ ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ 0, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน

3.1.1.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variables) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

- 1) สมรรถภาพการเจริญเติบโตและผลผลิตของสับดำสายพันธุ์ระยะ
- 2) ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดิน
- 3) ปริมาณการดูดซึมแคดเมียมในแต่ละส่วนประกอบของสับดำ

3.1.1.3 ตัวแปรควบคุม สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

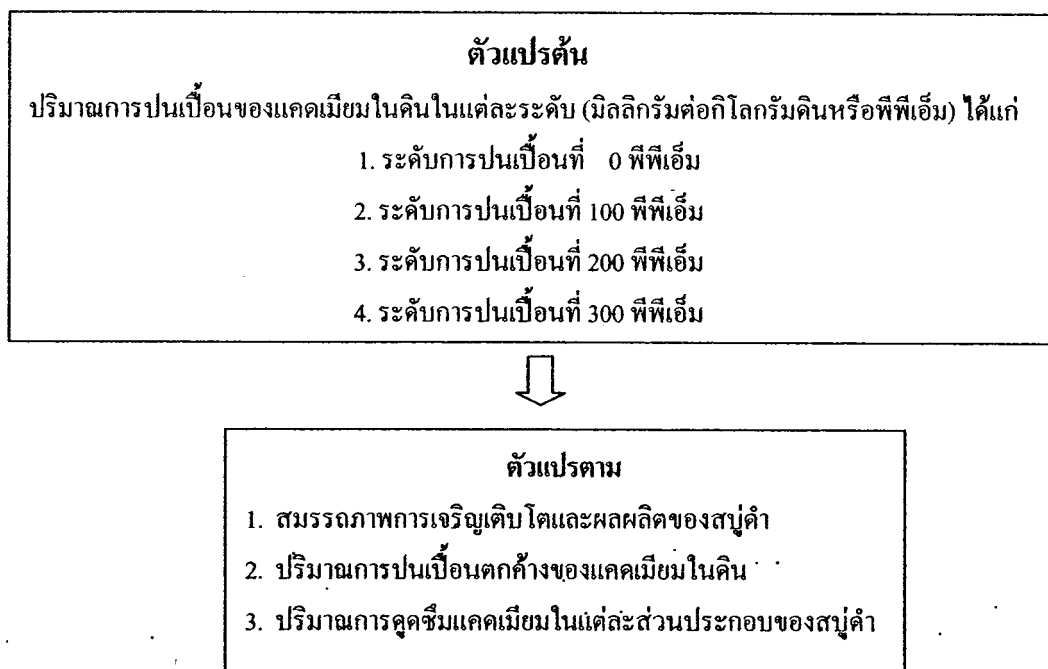
- 1) ปริมาณของดินต่อกระถาง เท่ากับ 150 กิโลกรัม
- 2) ปริมาณของน้ำที่ใช้รดสับดำต่อกระถาง เท่ากับ 2 บัวรดน้ำ/2 วัน

3.1.1.4 ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ในการวิจัยครั้งนี้ คือ

- 1) แสงแดด
- 2) อุณหภูมิ
- 3) ความชื้นในอากาศ
- 4) ปริมาณน้ำฝน
- 5) วัชพืช โรคต่าง ๆ ของพืช และแมลงศัตรูพืช

3.1.2 สมมติฐาน คือ

ที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกันทำให้สมรรถภาพการเจริญเติบโตและผลผลิตของสับปะรดสายพันธุ์ของแตกต่างกัน



ภาพที่ 3.1 กรอบแนวคิด

3.2 การเตรียมพืชและดินที่ใช้ทดลอง

3.2.1 การคัดเลือกต้นพันธุ์สบูดำ

การคัดเลือกต้นพันธุ์สบูดำจะใช้สบูดำสายพันธุ์ระยอง ซึ่งมาจากการเพาะเมล็ด โดยจะเพาะเมล็ดสบูดำในถุงเพาะ ใช้เวลาในการเพาะเมล็ดประมาณ 3 เดือน คัดเลือกต้นพันธุ์ที่มีความแข็งแรง ลำต้นตั้งตรง ไม่โค้งงอ ลักษณะของใบสมบูรณ์ไม่แคระแกรน ซึ่งจะใช้ต้นพันธุ์ทั้งหมด จำนวน 16 ต้นพันธุ์

3.2.2 การเตรียมดินในการทดลอง

ดินที่ใช้ในการปลูกสบูดำเป็นดินร่วนถึงดินร่วนปนดินเหนียว มีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเทา จัดเป็นชุดดินกระบี่ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2549) ทำการเก็บดินโดยชุดดินลึกลงไปประมาณ 15 – 25 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ดินประมาณ 2,400 กิโลกรัม และนำดินที่ได้มากองรวมกันทำการบดและคลุกเคล้าดินให้เข้ากัน จากนั้นทำการแบ่งดินออกเป็น 4 ส่วน เพื่อทำการผสมแคลเซียมคลอไรด์ – 2.5 – ไฮเดรท ($\text{CdCl}_2 - 2.5 - \text{H}_2\text{O}$) ในดินแต่ละส่วนให้มีระดับที่ 0, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ทำการสุ่มตัวอย่างดินในดินแต่ละส่วนจำนวน 4 ซ้ำ โดยใส่ดินที่ผสมกับแคลเซียมคลอไรด์ – 2.5 – ไฮเดรท ($\text{CdCl}_2 - 2.5 - \text{H}_2\text{O}$) ในแต่ละระดับการปนเปื้อนละ 4 กระถาง รวมทั้งหมด 4 ระดับ เท่ากับ 16 กระถาง กระถางละ 150 กิโลกรัม

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางฟิสิกส์ของชุดดินกระบี่ (Krabi: Kbi)

สมบัติทางฟิสิกส์	ชุดดินกระบี่ (Krabi: Kbi)
ความลึกชั้นดิน (เซนติเมตร)	12 – 25
ชื่อชั้นดิน	BA
ร้อยละของอนุภาคดินขนาด 0.05 – 2.0 มิลลิเมตร	42.80
ร้อยละของอนุภาคดินขนาด 0.002 – 0.05 มิลลิเมตร	34.80
ร้อยละของอนุภาคดินขนาด < 0.002 มิลลิเมตร	22.40
ร้อยละของอนุภาคดินขนาด 1.0 – 2.0 มิลลิเมตร	0.40
ร้อยละของอนุภาคดินขนาด 0.5 – 1.0 มิลลิเมตร	0.90
ร้อยละของอนุภาคดินขนาด 0.25 – 0.5 มิลลิเมตร	7.50
ร้อยละของอนุภาคดินขนาด 0.10 – 0.25 มิลลิเมตร	18.20

แหล่งที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน, 2549.

ตารางที่ 3.2 สมบัติทางเคมีของชุดดินกระบี่ (Krabi: Kbi)

สมบัติทางเคมี	ชุดดินกระบี่ (Krabi: Kbi)
ความลึกชั้นดิน (เซนติเมตร)	12 – 25
ความเป็นกรด – ค่า pH ในน้ำ	5.60
ความเป็นกรด – ค่า pH ใน KCL	4.70
ปริมาณฟอสฟอรัส (พีพีเอ็ม)	3.90
ปริมาณโปแตสเซียม (พีพีเอ็ม)	22.50
คาร์บอนในดิน (ร้อยละ)	0.81
ไอออนบวกของแคลเซียม (cmol/kg)	1.50
ไอออนบวกของแมกนีเซียม (cmol/kg)	1.20
ไอออนบวกของโปแตสเซียม (cmol/kg)	0.05
ไอออนบวกของโซเดียม (cmol/kg)	0.30
ปริมาณไอออนบวกรวม (cmol/kg)	3.05
ปริมาณกรดที่สกัดได้ (cmol/kg)	5.10
ปริมาณไอออนรวมทั้งหมด (cmol/kg)	8.15
ความจุไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ (CEC ของดิน)	4.10
ความจุไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ (CEC 100 กรัม)	18.30
ความอิ่มตัวด้วยค่าของดิน (ร้อยละ)	74.00
ความอิ่มตัวด้วยค่าของดินจากการคำนวณ (ร้อยละ)	37.00
ไอออนของอะลูมิเนียม โปแตสเซียมคลอไรด์ (cmol/kg)	73.50

แหล่งที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน, 2549.

3.3 วิธีการศึกษา

3.3.1 แผนการทดลอง

3.3.1.1 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 4 ซ้ำ (Replications) ต่อหน่วยทดลอง โดยมีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินตามหน่วยทดลอง ดังนี้

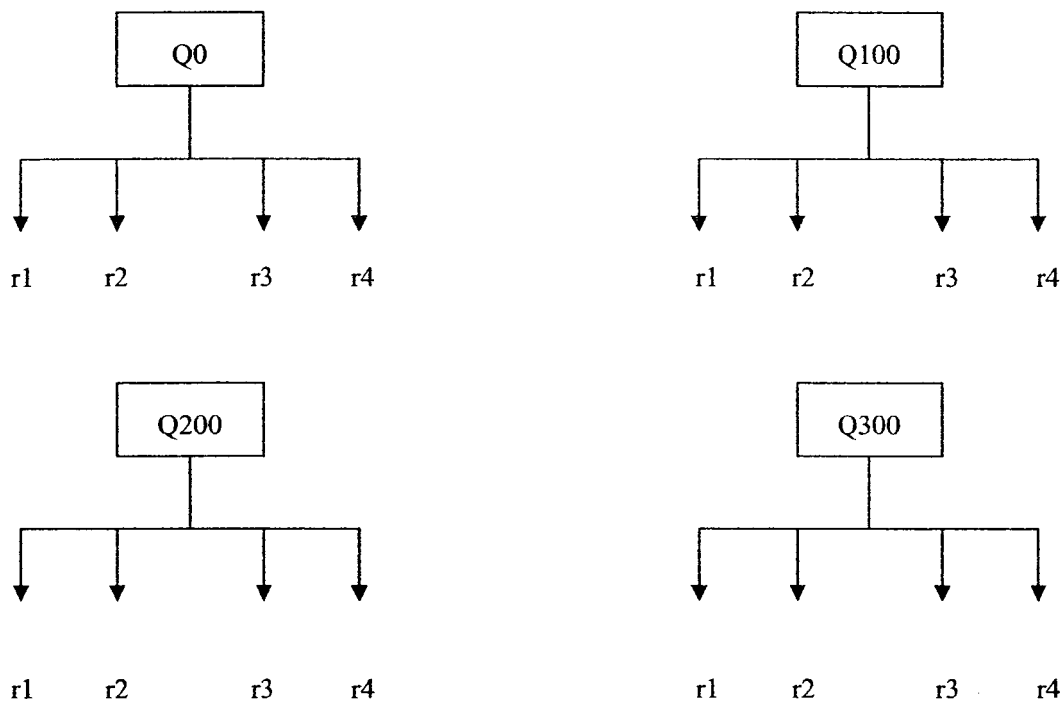
หน่วยทดลองที่ 1: มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินตามธรรมชาติ หรือระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม)(Q0)

หน่วยทดลองที่ 2: เพิ่มระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100 พีพีเอ็ม (Q100)

หน่วยทดลองที่ 3: เพิ่มระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 200 พีพีเอ็ม (Q200)

หน่วยทดลองที่ 4: เพิ่มระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 300 พีพีเอ็ม (Q300)

โดยสามารถเขียนรูปแบบการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 รูปแบบการทดลอง

3.3.1.2 การเตรียมพื้นที่ทดลอง

ปรับพื้นที่ในการทดลองให้เป็นพื้นที่โล่ง ซึ่งจะใช้พื้นที่ประมาณ 1 งาน จัดวางกระถางปูนซีเมนต์แบบวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร ความสูง 30 เซนติเมตร จำนวน 16 กระถาง แถวละ 4 กระถาง จำนวน 4 แถว ระยะห่างระหว่างกระถางแต่ละหน่วยทดลอง ประมาณ 1 เมตร จากนั้นทำการจับสลากลำดับเพื่อจัดวางสับคั่วตามระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน 4 ระดับ คือ 0, 100, 200 และ 300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ดังแสดงในภาพที่ 3.3 และได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

Q300r2	Q200r4	Q100r4	Q0r3
Q0r1	Q0r4	Q200r2	Q100r3
Q100r2	Q0r2	Q300r4	Q200r1
Q200r3	Q300r3	Q100r1	Q100r1

ภาพที่ 3.3 ลักษณะการจัดวางกระถางภายในพื้นที่ปลูกจากการสุ่ม

3.3.2 การดำเนินการทดลอง

3.3.2.1 การเก็บตัวอย่างดิน

ในการเก็บตัวอย่างดินนั้นจะกระทำเป็น 2 ช่วงด้วยกัน คือ ช่วงแรกเป็นการเก็บตัวอย่างของดินเมื่อเริ่มการปลูกสับคำ จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 4 ตัวอย่าง และจะทำการเก็บตัวอย่างของดินอีกครั้งเมื่อสิ้นสุดการทดลองจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 4 ตัวอย่าง เช่นกัน ซึ่งในการเก็บตัวอย่างดินทั้ง 2 ช่วงนั้น จะเก็บตัวอย่างดินของสับคำสายพันธุ์ของตามระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่แตกต่างกัน รวมตัวอย่างทั้ง 2 ช่วง เท่ากับ 8 ตัวอย่าง โดยในการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ปริมาณการตกค้างของแคดเมียมในดินจะส่งตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย



ภาพที่ 3.4 การเก็บตัวอย่างดิน

3.3.2.2 การเตรียมสารแคดเมียมคลอไรด์ – 2.5 – ไฮเดรท ($\text{CdCl}_2 - 2.5 - \text{H}_2\text{O}$)

ดิน 150 กิโลกรัม หรือดินต่อกระถาง จะต้องผสมกับแคดเมียมคลอไรด์ – 2.5 – ไฮเดรท ($\text{CdCl}_2 - 2.5 - \text{H}_2\text{O}$) ในแต่ละระดับการปนเปื้อน โดยมีวิธีวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมที่ใช้ในแต่ละระดับการปนเปื้อน ดังนี้

$\text{CdCl}_2 - 2.5 - \text{H}_2\text{O}$	มีมวลโมเลกุลเท่ากับ	228.35
Cd	มีมวลโมเลกุลเท่ากับ	112.40
ถ้า Cd 112.40 กรัม	จะใช้ $\text{CdCl}_2 - 2.5 - \text{H}_2\text{O}$ เท่ากับ	228.35 กรัม

ที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100 พีพีเอ็ม :

$$\begin{aligned} \text{Cd } 100 \times 10^{-3} \text{ g} \quad \text{จะใช้ } \text{CdCl}_2 - 2.5 - \text{H}_2\text{O} \text{ เท่ากับ } & \frac{228.35 \times 100 \times 10^{-3} \text{ g}}{112.40} \\ & = 0.203 \text{ g/1 kg Soil} \\ & = 30.45 \text{ g/150 kg Soil} \end{aligned}$$

ที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 200 พีพีเอ็ม :

$$\begin{aligned} \text{Cd } 200 \times 10^{-3} \text{ g} \quad \text{จะใช้ } \text{CdCl}_2 - 2.5 - \text{H}_2\text{O} \text{ เท่ากับ } & \frac{228.35 \times 200 \times 10^{-3} \text{ g}}{112.40} \\ & = 0.406 \text{ g/1 kg Soil} \\ & = 60.90 \text{ g/150 kg Soil} \end{aligned}$$

ที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 300 พีพีเอ็ม :

$$\begin{aligned} \text{Cd } 300 \times 10^{-3} \text{ g} \quad \text{จะใช้ } \text{CdCl}_2 - 2.5 - \text{H}_2\text{O} \text{ เท่ากับ } & \frac{228.35 \times 300 \times 10^{-3} \text{ g}}{112.40} \\ & = 0.609 \text{ g/1 kg Soil} \\ & = 91.35 \text{ g/150 kg Soil} \end{aligned}$$

ตารางที่ 3.3 ปริมาณแคดเมียมที่ใช้ในแต่ละระดับการปนเปื้อน

ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม (พีพีเอ็ม)	ปริมาณแคดเมียมที่ใช้ (กรัมต่อดิน 150 กิโลกรัม)
0	0
100	30.45
200	60.90
300	91.35



ภาพที่ 3.5 การเตรียมสารแคดเมียมคลอไรด์-2.5 - ไฮเดรท ($\text{CdCl}_2 \cdot 2.5 - \text{H}_2\text{O}$)

3.3.2.3 การเก็บตัวอย่างพืช

เมื่อสุบุดำให้ผลผลิตจะนำเมล็ดของสุบุดำที่ได้แต่ละระดับการปนเปื้อนมาสกัดน้ำมันโดยใช้เครื่องบีบอัดน้ำมันสุบุดำแบบใช้แรงงานคน ณ ศูนย์ฝึกอบรมปฏิบัติการด้านการจัดการพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน และได้แสดงภาพไว้ในภาคผนวก ข หลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันและกากสุบุดำที่ได้ รวมทั้งตัวอย่างของส่วนประกอบพืช ได้แก่ ลำต้น ราก ใบ เมล็ด น้ำมัน และกากสุบุดำ ซึ่งจะทำให้การเก็บตัวอย่างส่วนประกอบพืชเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในส่วนประกอบพืช โดยจะทำการส่งตัวอย่างพืชไปวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3.2.4 การดูแลรักษา

การดูแลรักษาสุบุดำที่ปลูกในการทดลอง เช่น การถอนวัชพืชในกระถาง และถ้าหากเกิดโรคหรือแมลงศัตรูพืชจะใช้สะเดาผสมน้ำฉีดเพื่อป้องกันและรักษา

3.4 เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลจะใช้แบบบันทึกข้อมูล โดยแบ่งตามระยะเวลาในการปลูกสุบุดำ และระยะที่สุบุดำให้ผลผลิตครั้งแรก ได้แก่

1. แบบบันทึกข้อมูลทุกระยะ 2 เดือน ซึ่งจะทำให้การเก็บข้อมูลสมรรถภาพการเจริญเติบโตในด้านความสูงของต้นสุบุดำ และรัศมีทรงพุ่ม

2. แบบบันทึกข้อมูลที่ระยะ 6 เดือน ซึ่งจะมีการเก็บข้อมูลของจำนวนกิ่งและจำนวนใบ
3. เมื่อสรุปค่าให้ผลผลิตครั้งแรกจะทำการเก็บข้อมูลในด้านระยะการติดดอก ระยะการติดผล จำนวนผลต่อต้น น้ำหนักผลสดและผลแห้งทั้งหมดต่อต้น น้ำหนักสดและแห้งต่อผล และจำนวนเมล็ดต่อผล สำหรับรูปแบบบันทึกข้อมูลสรุปค่าได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก

3.4.2 อุปกรณ์ที่เก็บรวบรวมข้อมูลและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. กระถางปูนซีเมนต์แบบวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร สูง 30 เซนติเมตร
2. หัวฉีดพ่นกำจัดแมลง
3. ฝักบัวรดน้ำ
4. กล้องถ่ายรูป ยี่ห้อ Cannon รุ่น T50
5. เครื่องชั่งละเอียดและเครื่องชั่งหยาบ ยี่ห้อ Philips
6. เครื่องมือวิเคราะห์หาแคดเมียมในตัวอย่างดิน (AAS) ณ ห้องปฏิบัติการของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
7. วัสดุสำนักงานที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและรายงานผล เช่น ปากกา คอมพิวเตอร์ สมุด เป็นต้น

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 การวิเคราะห์ดิน

3.5.1.1 วิเคราะห์ปริมาณการตกค้างของแคดเมียมในดิน โดยจะส่งตัวอย่างของดินไปวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ คือ Association of Official Analysis Chemists (AOAC) วิเคราะห์ผลโดยการอ่านค่าจากเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ยี่ห้อ Analytik Jena รุ่น NVAA 300 ใช้ความยาวคลื่น 213.8 นาโนเมตร รายละเอียดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง

3.5.1.2 การวิเคราะห์เนื้อดิน (Soil Texture)

วิเคราะห์กลุ่มขนาดอนุภาคดิน ด้วยวิธี Hydrometer ใช้ Hydrogen Peroxide (H_2O_2) เป็นสารกำจัดอินทรีย์วัตถุ รายละเอียดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง

3.5.1.3 การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุในดิน (Organic Matter) โดยใช้ $K_2Cr_2O_7$ และ H_2SO_4 เป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนแล้วไตเตรตด้วย Fe_2SO_4 อินทรีย์วัตถุคำนวณโดยคูณร้อยละของอินทรีย์คาร์บอนด้วย 1.724 รายละเอียดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง

3.5.2 การวิเคราะห์พืช

ทำการเก็บตัวอย่างพืชของสับลำสาขพันธุ์ของเมื่อสิ้นสุดการทดลอง แยกส่วนของราก ส่วนของใบ และส่วนของลำต้นเหนือดิน เมล็ด น้ำมันสับลำ และกากของสับลำ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนของแคดเมียมตกค้างด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) โดยส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมตกค้างในสับลำสาขพันธุ์ของ ณ ห้องปฏิบัติการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย รายละเอียดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง

3.5.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS เวอร์ชัน 6.12 (SAS, 1996: 10) ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ย (Analysis of Variance: ANOVA) ของสมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสับลำ และการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินและในส่วนประกอบของพืชที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองโดยใช้สถิติ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

การศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสับลำสาขพันธุ์ของที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมแต่ละระดับ ซึ่งสามารถแบ่งระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินได้ดังนี้ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม มีรายละเอียดของผลการทดลองดังต่อไปนี้

- 4.1 สมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสับลำ
- 4.2 ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดิน
- 4.3 ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในส่วนประกอบของพืช
- 4.4 การวิเคราะห์สมบัติของดิน

4.1 สมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสับลำ

การวิเคราะห์สมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสับลำสาขพันธุ์ของสามารถแบ่งได้ ดังนี้คือ

ทุกระยะเวลา 2 เดือน ค่าวิเคราะห์ ได้แก่ ความสูง และรัศมีทรงพุ่ม

ที่ระยะเวลาการทดลอง 6 เดือน ค่าวิเคราะห์ ได้แก่ จำนวนกิ่ง และจำนวนใบ

การให้ผลผลิตของสับลำเมื่อสับลำให้ผลผลิตครั้งแรก คือ ระยะเวลาการทดลอง 8 เดือน องค์ประกอบของผลผลิต ได้แก่ จำนวนผลต่อต้น น้ำหนักผลสดทั้งหมดต่อต้น (กรัม) น้ำหนักผลแห้งทั้งหมดต่อต้น (กรัม) น้ำหนักผลสดต่อผล (กรัม) น้ำหนักผลแห้งต่อผล (กรัม) และจำนวนเมล็ดต่อผล

4.1.1 สมรรถภาพการเจริญเติบโตของสับลำสาขพันธุ์ของ

4.1.1.1 สมรรถภาพการเจริญเติบโตของสับลำสาขพันธุ์ของด้านความสูง และรัศมีทรงพุ่มที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ระยะเวลาในการทดลอง คือ ทุกระยะเวลา 2 เดือน ดังตารางที่ 4.1 และได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ

1) ด้านความสูง

สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงของสับคำสายพันธุ์ของที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ระยะเวลาในการทดลอง คือ ทุกระยะเวลา 2 เดือน ดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

จากการทดลอง สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงของสับคำสายพันธุ์ของที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม เมื่อเริ่มการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงเฉลี่ยสูงสุด คือ 18.75 เซนติเมตร รองลงมา คือ หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100 พีพีเอ็ม (Q100) และ 300 พีพีเอ็ม (Q300) ตามลำดับ โดยมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 18.25 และ 17.50 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 200 พีพีเอ็ม (Q200) จะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 16.50 เซนติเมตร และนับตั้งแต่ภายหลังจากการทดลอง 2 เดือน เป็นต้นไปจนถึงภายหลังจากการทดลอง 8 เดือน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งภายหลังจากการทดลอง 8 เดือน ในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงเฉลี่ยสูงสุด คือ 136.00 เซนติเมตร รองลงมา คือ หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100 พีพีเอ็ม (Q100) และ 200 พีพีเอ็ม (Q200) ตามลำดับ โดยมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 25.08 และ 23.03 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 300 พีพีเอ็ม (Q300) จะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 22.25 เซนติเมตร ซึ่งทุกหน่วยทดลองจะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทดลองที่นานขึ้น

จะเห็นได้ว่า หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะแตกต่างกับหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม เนื่องจาก สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงของสับคำสายพันธุ์ของจะลดลงตามระดับการปนเปื้อนที่เพิ่มสูงขึ้น กล่าวคือ เมื่อระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงทำให้สับคำไม่สามารถมีการเจริญเติบโตด้านความสูงได้ตามปกติ เมื่อเทียบกับหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม)

สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงจะลดลงตามระดับการปนเปื้อนที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจาก ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลต่อความเป็นพิษของแคดเมียมต่อพืชสูงขึ้นตามไปด้วย ความเป็นพิษของแคดเมียมจะส่งผลต่อพืช ทำให้ต้นแคระแกร็น

ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ บุปผา แหม่มประเสริฐ (2527: 37) ที่ได้ทำการศึกษาเรื่อง ผลกระทบของแควเมียมในแอคติเวตเตดสตัคซ์ที่มีต่อพืชผัก และธาตุอาหารบางชนิด พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของแควเมียมในดิน ทำให้ความสูงของต้นพืชผักทั้ง 3 ชนิด คือ ผักคะน้า ผักกาดขาว และ ผักกวางตุ้ง มีแนวโน้มลดลง เช่นในสัปดาห์ที่ 6 เมื่อความเข้มข้นของแควเมียมในดินเป็น 0, 1, 10, 100 และ 1,000 พีพีเอ็ม ความสูงเฉลี่ยของต้นผักคะน้าเป็น 9.89, 10.39, 10.89, 9.56 และ 7.39 เซนติเมตร ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของความสูงของต้นผักกาดขาวเป็น 16.83, 16.83, 17.33, 17.33 และ 14.56 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของความสูงของผักกวางตุ้งเป็น 32.44, 33.67, 35.67, 31.67 และ 29.00 เซนติเมตร ตามลำดับ จากข้อมูลจะได้ข้อสังเกตว่าที่ระดับความเข้มข้นของแควเมียมในดินเป็น 1,000 พีพีเอ็ม ความสูงของผักทั้ง 3 ชนิดจะน้อยที่สุด และเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับผักที่ปลูกในกระถางที่ใส่แควเมียมลงในดินน้อยหรือไม่ได้ใส่แควเมียมลงไป ในดินเลย นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ สรตนา เสนาะ (2548: 23) ที่ศึกษาเรื่อง การดูดซึมธาตุโลหะหนักของหญ้าแฝก ทานตะวัน และข้าว ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนสังกะสี แควเมียม และตะกั่ว พบว่า ความสูงของหญ้าแฝก ทานตะวัน และข้าวที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนทั้ง 4 ระดับ คือ ที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนสูงมาก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 227 พีพีเอ็ม (ระดับสูงมากเกินกว่าค่ามาตรฐานของสหภาพยุโรปกำหนด) มีค่าความสูงเฉลี่ยน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่ปลูกในดินที่ไม่มีการปนเปื้อน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.002 พีพีเอ็ม (ที่ระดับ 0 พีพีเอ็ม) ดินที่ปนเปื้อนต่ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3 พีพีเอ็ม (ระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐานของสหภาพยุโรปกำหนด) และดินที่ปนเปื้อนสูงซึ่งมีค่าเท่ากับ 48 พีพีเอ็ม (ระดับสูงกว่าค่ามาตรฐานของสหภาพยุโรปกำหนด) แต่ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ ศิริลักษณ์ กล้าการขาย (2548: 45) ที่พบว่า ผลของความเข้มข้นต่อแควเมียมต่อความสูงของหญ้าแฝก 5 สายพันธุ์ที่ปลูกในกระถางที่มีความเข้มข้นของแควเมียม 3 ระดับคือ 0, 10 และ 20 พีพีเอ็ม นาน 30, 60 และ 90 วัน มีความสูงไม่แตกต่างกัน โดยจะมีความสูงเฉลี่ย 48.50, 56.00 และ 51.50 เซนติเมตร ตามลำดับ สาเหตุ เพราะที่ระดับความเข้มข้นของแควเมียมที่ 10 และ 20 พีพีเอ็ม ไม่มีผลทำให้ความเจริญเติบโตที่เป็น Vegetative คือ ความสูง และ Yield คือ รากและใบของหญ้าแฝกแตกต่างไปจากการปลูกหญ้าแฝกในดินที่ไม่มีการปนเปื้อนของแควเมียม (0 พีพีเอ็ม) สาเหตุที่ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ ศิริลักษณ์ กล้าการขาย (2548: 45) เนื่องจาก การศึกษาทั้งสองนี้ มีการใช้ปริมาณความเข้มข้นของแควเมียมในการทดลองปริมาณที่ต่ำ คือ ที่ระดับ 0, 10 และ 20 พีพีเอ็ม หญ้าแฝกจึงยังมีการเจริญเติบโตด้าน ความสูง น้ำหนักใบแห้ง และรากอยู่ในระดับปกติได้ และนอกจากนี้หญ้าแฝกยังมีระบบรากที่ส่งเสริมการเพิ่มจุลินทรีย์พวกเอ็นโดไรโซไมโครไรซา ซึ่งจะออกเส้นใยเข้าสู่เซลล์รากพืชและช่วยในการย่อยสลายแควเมียมผ่านทางกระบวนการ Rhizosphere ซึ่งเป็นการย่อยสลายตัวของสารปนเปื้อนในดินผ่านทางการทำงานของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในระบบรากพืช (ศิริลักษณ์ กล้าการขาย, 2548: 56)

2) ด้านรัศมีทรงพุ่ม

สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านรัศมีทรงพุ่มของสับลำสาขพันธุ์ระยองที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ระยะเวลาในการทดลอง คือ ทุกระยะเวลา 2 เดือน ดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.2

จากการทดลอง สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านรัศมีทรงพุ่มของสับลำสาขพันธุ์ระยองที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม เมื่อเริ่มการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 300 พีพีเอ็ม (Q300) จะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านรัศมีทรงพุ่มเฉลี่ยมากที่สุด คือ 13.63 เซนติเมตร รองลงมา คือ หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100 พีพีเอ็ม (Q100) และ 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) ตามลำดับ โดยมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านรัศมีทรงพุ่มเฉลี่ยเท่ากับ 11.19 และ 10.00 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 200 พีพีเอ็ม (Q200) จะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านรัศมีทรงพุ่มเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 8.69 เซนติเมตร และนับตั้งแต่ภายหลังจากการทดลอง 2 เดือน เป็นต้นไป จนถึงภายหลังจากการทดลอง 8 เดือน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งภายหลังจากการทดลอง 8 เดือน พบว่า ในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านรัศมีทรงพุ่มเฉลี่ยมากที่สุด คือ 33.81 เซนติเมตร รองลงมา คือ หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100 พีพีเอ็ม (Q100) และ 200 พีพีเอ็ม (Q200) ตามลำดับ โดยมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านรัศมีทรงพุ่มเฉลี่ยเท่ากับ 6.06 และ 3.19 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 300 พีพีเอ็ม (Q300) จะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านรัศมีทรงพุ่มเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 2.50 เซนติเมตร

จะเห็นได้ว่า รัศมีทรงพุ่มของหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะแตกต่างกับรัศมีทรงพุ่มของหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม เนื่องจากสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านรัศมีทรงพุ่มของสับลำสาขพันธุ์ระยองจะลดลงตามระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้น กล่าวคือ เมื่อระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านรัศมีทรงพุ่ม ทำให้สับลำไม่สามารถมีการเจริญเติบโตด้านรัศมีทรงพุ่มได้ตามปกติ

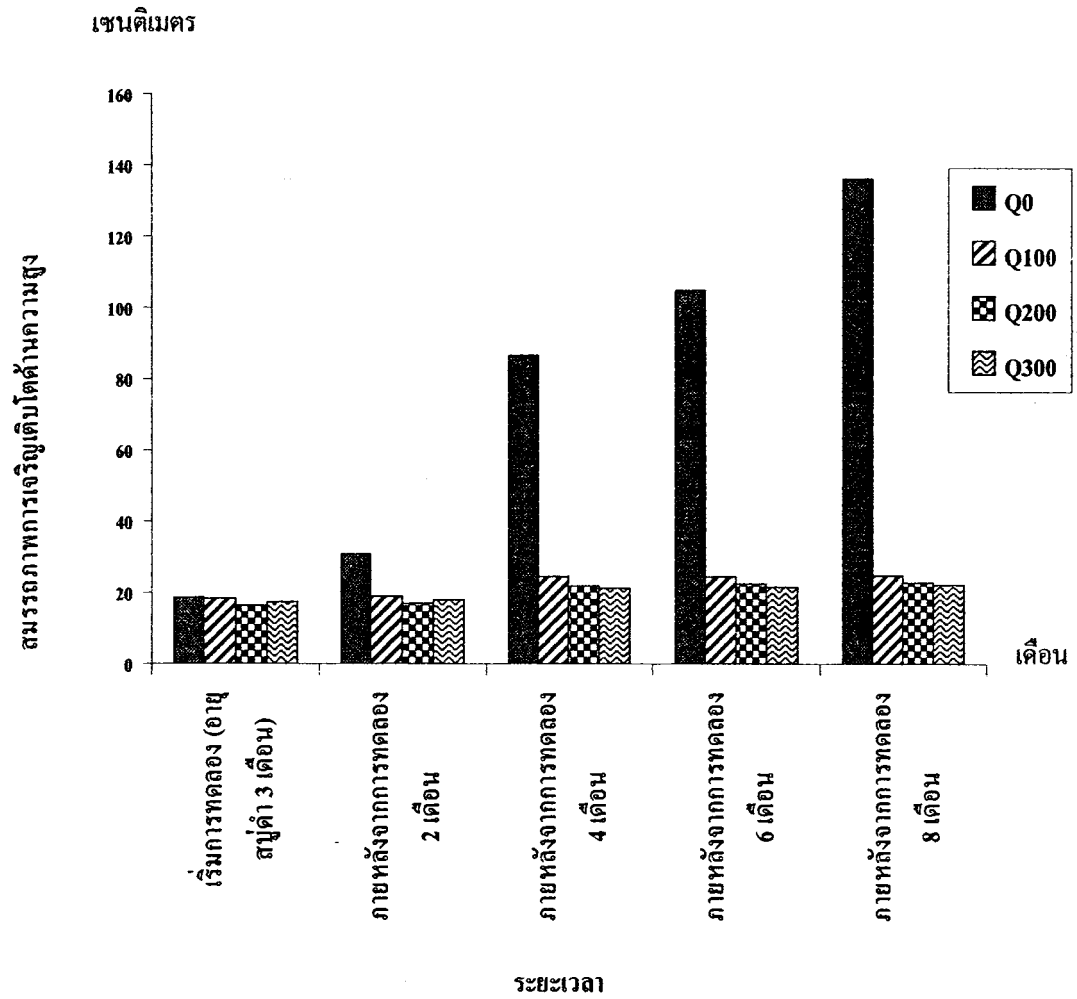
เมื่อพิจารณาหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) พบว่า มีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านรัศมีทรงพุ่มเป็นไปอย่างปกติ และมีรัศมีทรงพุ่มที่มากกว่าที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม

ตารางที่ 4.1 สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงและรัศมีทรงพุ่มของสับดำสายพันธุ์ระยะที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน

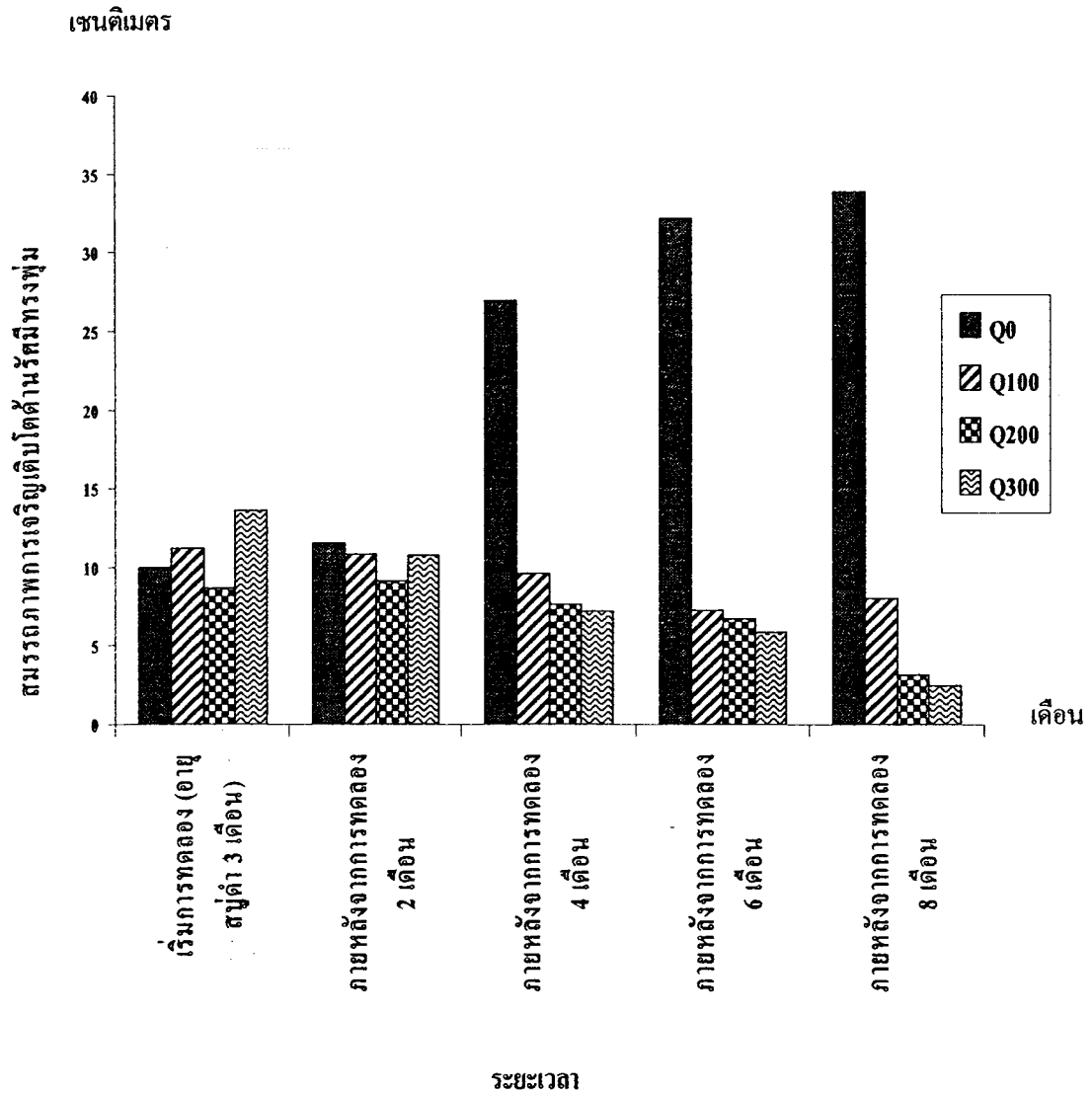
ระยะเวลา	หน่วยทดลอง			
	Q0	Q100	Q200	Q300
เริ่มการทดลอง (อายุสับดำ 3 เดือน)				
ความสูง (ซม.)	18.75	18.25	16.50	17.50
รัศมีทรงพุ่ม (ซม.)	10.00	11.19	8.69	13.63
ภายหลังจากการทดลอง 2 เดือน				
ความสูง (ซม.)	30.75 ^a	19.00 ^b	17.10 ^b	18.05 ^b
รัศมีทรงพุ่ม (ซม.)	11.56 ^a	10.81 ^b	7.75 ^b	9.15 ^b
ภายหลังจากการทดลอง 4 เดือน				
ความสูง (ซม.)	86.63 ^a	24.50 ^b	22.00 ^b	21.38 ^b
รัศมีทรงพุ่ม (ซม.)	26.94 ^a	9.56 ^b	7.69 ^b	7.19 ^b
ภายหลังจากการทดลอง 6 เดือน				
ความสูง (ซม.)	105.00 ^a	24.75 ^b	22.50 ^b	21.75 ^b
รัศมีทรงพุ่ม (ซม.)	32.13 ^a	7.31 ^b	6.75 ^b	5.88 ^b
ภายหลังจากการทดลอง 8 เดือน				
ความสูง (ซม.)	136.00 ^a	25.08 ^b	23.03 ^b	22.25 ^b
รัศมีทรงพุ่ม (ซม.)	33.81 ^a	6.06 ^b	3.19 ^b	2.50 ^b

หมายเหตุ: ^{ab} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Q0 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม; Q100 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100 พีพีเอ็ม; Q200 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 200 พีพีเอ็ม; Q300 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 300 พีพีเอ็ม



ภาพที่ 4.1 สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงของพันธุ์ดำสายพันธุ์ของที่ระดับการปนเปื้อนแตกต่างกัน



ภาพที่ 42 สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านรัศมีทรงพุ่มของสับดำสายพันธุ์ของที่ระดับการปนเปื้อนแตกต่างกัน

4.1.2.2 สมรรถภาพการเจริญเติบโตของสับดำสายพันธุ์ของด้านจำนวนใบ และจำนวนกิ่งที่ระดับการปนเปื้อนของแคว้นแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ที่ระยะเวลาการทดลอง 6 เดือน ดังตารางที่ 4.2

1) ด้านจำนวนใบ

สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบของสบู่ดำสายพันธุ์ของที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ที่ระยะเวลาการทดลอง 6 เดือน ดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3

จากการทดลอง สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบของสบู่ดำสายพันธุ์ของที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม เมื่อเริ่มการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) คือ ในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบเฉลี่ยมากที่สุด คือ 11.00 ใบ รองลงมา คือ หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100 พีพีเอ็ม (Q100) และ 300 พีพีเอ็ม (Q300) ตามลำดับ โดยมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 10.75 และ 9.65 ใบ ตามลำดับ ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 200 พีพีเอ็ม (Q200) จะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 9.15 ใบ และเมื่อระยะเวลาภายหลังการทดลอง 6 เดือน พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กล่าวคือ ในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบเฉลี่ยมากที่สุด คือ 36.10 ใบ รองลงมา คือ หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100 พีพีเอ็ม (Q100) และ 200 พีพีเอ็ม (Q200) ตามลำดับ โดยมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 3.05 และ 2.95 ใบ ตามลำดับ ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 300 พีพีเอ็ม (Q300) จะมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 2.90 ใบ

จะเห็นได้ว่า หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะมีจำนวนใบที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาทดลองที่เพิ่มขึ้น แต่หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม มีการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบลดลงตามระดับการปนเปื้อนและระยะเวลาการทดลองที่นานขึ้น อาจเนื่องมาจาก เมื่อเพิ่มระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมสูงขึ้นจะส่งผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบทำให้ไม่สามารถมีการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบได้ตามปกติ เมื่อเทียบกับหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม)

สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบจะลดลงตามระดับการปนเปื้อนที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจาก ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลต่อความเป็นพิษของแคดเมียมต่อพืชสูงขึ้นตามไปด้วย ความเป็นพิษของแคดเมียมจะส่งผลต่อพืช ทำให้เกิดอาการใบเหลือง (Chlorosis) ในพืช (Benavides et al., 2005: 16) ซึ่งอาการใบเหลือง (Chlorosis) เกิดจากการ

ที่แคดเมียมเข้าไปทำให้อัตราส่วนระหว่างเหล็กต่อสังกะสีภายในดินพืชลดลง โดยเข้าไปแย่งจับแทนเหล็กทำให้พืชดูดซึมเหล็กได้น้อยลง (Shrama et al., 2004: 128) และมีความเจริญเติบโตผิดปกติ มีใบอ่อน โดยที่เนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบมีสีเหลืองซีด ปลายใบม้วน ใบร่วง และยังมีผลต่อการเปิดปิดปากใบพืช Permeability ของเยื่อหุ้มเซลล์ ยับยั้งการสังเคราะห์แสงของคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นสาเหตุให้จำนวนใบของสับจาลลดลงตามระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ สรตนา เสนาะ (2548: 63) ที่ศึกษาเรื่อง การดูดซึมธาตุโลหะหนักของหญ้าแฝก ทานตะวัน และข้าว ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนสังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว พบว่า จำนวนใบของทานตะวันที่มีอายุ 60 วัน ซึ่งปลูกในดินที่ปนเปื้อนทั้ง 4 ระดับ คือ ที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนสูงมาก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 277 ฟิฟิเอ็ม (ระดับสูงมากเกินกว่าค่ามาตรฐานของสหภาพยุโรปกำหนด) มีค่าของจำนวนใบเฉลี่ยน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่ปลูกในดินที่ไม่ที่ปนเปื้อน (ที่ระดับ 0 ฟิฟิเอ็ม) ดินที่ปนเปื้อนต่ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3 ฟิฟิเอ็ม (ระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐานของสหภาพยุโรปกำหนด) และดินที่ปนเปื้อนสูง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 48 ฟิฟิเอ็ม (ระดับสูงกว่าค่ามาตรฐานของสหภาพยุโรปกำหนด) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ บุปผา แซ่มประเสริฐ (2527: 37) เรื่อง ผลกระทบของแคดเมียมในแอคติเวตเตดสลิคจ์ ที่มีต่อพืชผัก และธาตุอาหารบางชนิด พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียมในดินมีผลทำให้จำนวนใบของผักคะน้า ผักกาดขาว และผักกวางตุ้งมีแนวโน้มลดลง เช่น ในสัปดาห์ที่ 6 เมื่อความเข้มข้นของแคดเมียมในดินเป็น 0, 1, 10, 100 และ 1,000 ฟิฟิเอ็ม ค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักคะน้าเป็น 12.78, 10.22, 9.00, 9.00 และ 9.00 ใบ ตามลำดับ ส่วนผักกาดขาวเป็น 19.33, 18.78, 18.78, 16.33 และ 15.11 ใบ ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยจำนวนใบของผักกวางตุ้งเป็น 16.56, 13.78, 12.11, 11.89 และ 10.56 ใบ ตามลำดับ

2) ด้านจำนวนกิ่ง

สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนกิ่งของสับจาลสายพันธุ์ระยองที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 ฟิฟิเอ็ม ที่ระยะเวลาการทดลอง 6 เดือน ดังตารางที่ 4.2

จากการทดลอง สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนกิ่งของสับจาลสายพันธุ์ระยองที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 ฟิฟิเอ็ม เมื่อเริ่มการทดลองและระยะเวลาภายหลังการทดลอง 6 เดือน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) คือ ไม่มีกิ่งในทุกหน่วยทดลอง

จะเห็นได้ว่า การเพิ่มระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินมีผลต่อการเจริญเติบโตของสับจาลในด้านความสูง รัศมีทรงพุ่ม จำนวนใบ และจำนวนกิ่ง ลดลงตามระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ การศึกษาของ อำนวย อำเมือง (2528: 70) พบว่า การ

เจริญเติบโตของข้าวจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณโลหะหนักในดินให้มากขึ้น ส่วนความเข้มข้นของโลหะหนัก ข้าวสามารถทนความเป็นพิษของโลหะหนักได้ถึง 100 พีพีเอ็ม

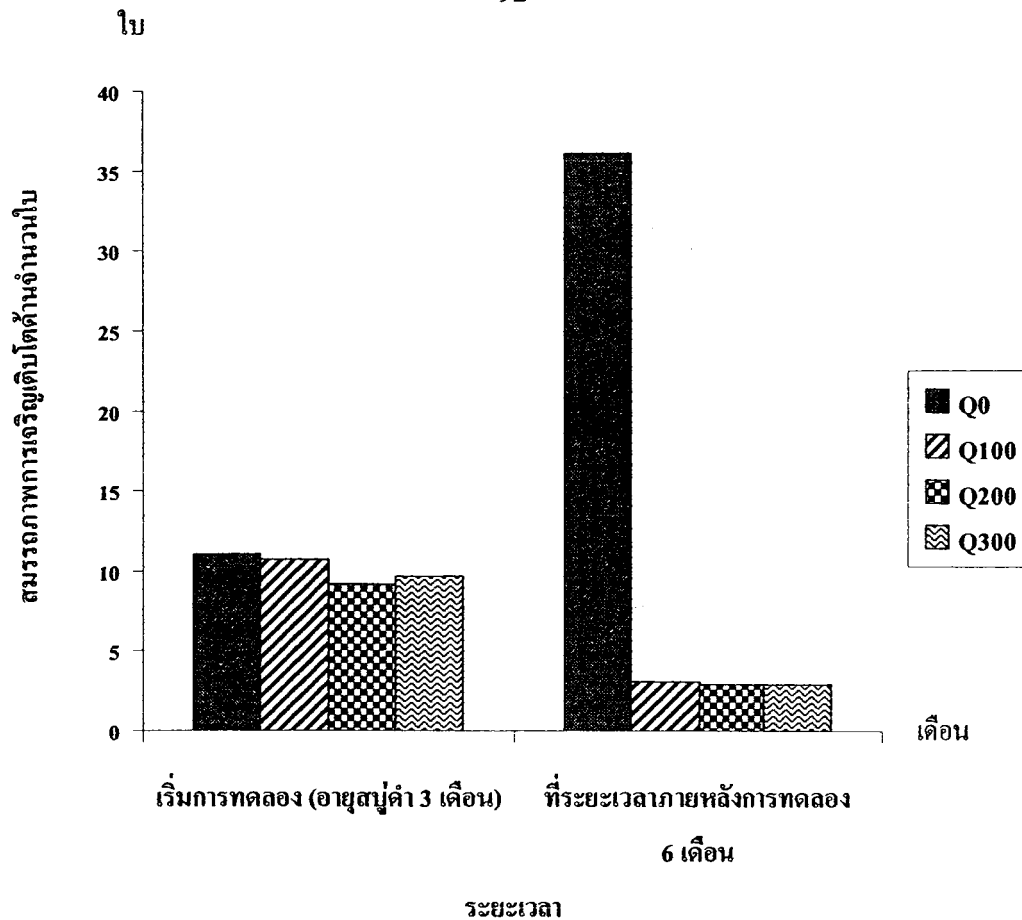
ตารางที่ 4.2 สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบและจำนวนกิ่งของสับคาสาขพันธุ์ระยะของที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน

ระยะเวลา	หน่วยทดลอง			
	Q0	Q100	Q200	Q300
เริ่มการทดลอง (อายุสับคา 3 เดือน)				
จำนวนใบ	11.00	10.75	9.15	9.65
จำนวนกิ่ง	—	—	—	—
ที่ระยะเวลาการทดลอง 6 เดือน				
จำนวนใบ	36.10 ^a	3.05 ^b	2.95 ^b	2.90 ^b
จำนวนกิ่ง	—	—	—	—

หมายเหตุ: ^{ab} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Q0 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม; Q100 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100 พีพีเอ็ม; Q200 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 200 พีพีเอ็ม; Q300 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 300 พีพีเอ็ม

— หมายถึง ไม่มีจำนวนกิ่ง



ภาพที่ 4.3 สมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านจำนวนฝักของสับปะรดสายพันธุ์ของที่ระดับการปนเปื้อนแตกต่างกัน

4.1.2 การให้ผลผลิตของสับปะรดสายพันธุ์ของ

สับปะรดสายพันธุ์ของจะมีการให้ผลผลิตครั้งแรก เมื่อระยะเวลาการทดลอง 8 เดือน องค์ประกอบของผลผลิต คือ ด้านจำนวนผลต่อต้น น้ำหนักผลสดทั้งหมดต่อต้น (กรัม) น้ำหนักผลแห้งทั้งหมดต่อต้น (กรัม) น้ำหนักผลสดต่อผล (กรัม) น้ำหนักผลแห้งต่อผล (กรัม) และจำนวนเมล็ดต่อผล ที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ดังตารางที่ 4.3

4.1.2.1 ด้านจำนวนผลต่อต้น

การให้ผลผลิตของสับปะรดสายพันธุ์ของด้านจำนวนผลต่อต้นที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.4

จากการทดลอง จำนวนผลต่อต้นของสับปะรดสายพันธุ์ของที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม พบว่า หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะให้ผลผลิตสับปะรดด้านจำนวนผลต่อต้นเฉลี่ยเท่ากับ 11 ผล

ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม สบู่ดำไม่ให้ผลผลิต

เมื่อพิจารณาหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) พบว่า การให้ผลผลิตด้านจำนวนผลต่อต้นเป็นไปอย่างปกติ คือ มีการให้ผลผลิต ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม จะไม่ให้ผลผลิตเลย เนื่องจากสบู่ดำไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ

4.1.2.2 ด้านน้ำหนักรากผลสดทั้งหมดต่อต้น

การให้ผลผลิตของสบู่ดำสายพันธุ์ของด้านน้ำหนักรากผลสดทั้งหมดต่อต้นที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.4

จากการทดลอง น้ำหนักรากผลสดทั้งหมดต่อต้นของสบู่ดำสายพันธุ์ของที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม พบว่า หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะให้ผลผลิตสบู่ดำด้านน้ำหนักรากผลสดทั้งหมดต่อต้นเฉลี่ย เท่ากับ 154.25 กรัม ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม สบู่ดำไม่ให้ผลผลิต

เมื่อพิจารณาหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) พบว่า การให้ผลผลิตด้านน้ำหนักรากผลสดทั้งหมดต่อต้นเป็นไปอย่างปกติ คือ มีการให้ผลผลิต ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม จะไม่ให้ผลผลิตเลย เนื่องจากสบู่ดำไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ

4.1.2.3 ด้านน้ำหนักรากแห้งทั้งหมดต่อต้น

การให้ผลผลิตของสบู่ดำสายพันธุ์ของด้านน้ำหนักรากแห้งทั้งหมดต่อต้นที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.4

จากการทดลอง น้ำหนักรากแห้งทั้งหมดต่อต้นของสบู่ดำสายพันธุ์ของที่มีระดับการปนเปื้อนแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม พบว่า หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะให้ผลผลิตสบู่ดำด้านน้ำหนักรากแห้งทั้งหมดต่อต้นเฉลี่ย เท่ากับ 33.75 กรัม ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม สบู่ดำไม่ให้ผลผลิต

เมื่อพิจารณาหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) พบว่า การให้ผลผลิตด้านน้ำหนักรากแห้งทั้งหมดต่อต้นเป็นไปอย่างปกติ คือ มีการให้ผลผลิต ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม จะไม่ให้ผลผลิตเลย เนื่องจากสบู่ดำไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ

4.1.2.4 ด้านน้ำหนักผลสดต่อผล

การให้ผลผลิตของสับุ้คำสายพันธุ์ระยองด้านน้ำหนักผลสดต่อผลที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.4

จากการทดลอง น้ำหนักผลสดต่อผลของสับุ้คำสายพันธุ์ระยองที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม พบว่า หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะให้ผลผลิตสับุ้คำด้านน้ำหนักผลสดต่อผลเฉลี่ย เท่ากับ 7.72 กรัม ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม สับุ้คำไม่ให้ผลผลิต

เมื่อพิจารณาหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) พบว่า การให้ผลผลิตด้านน้ำหนักผลสดต่อผลเป็นไปอย่างปกติ คือ มีการให้ผลผลิต ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม จะไม่ให้ผลผลิตเลย เนื่องจากสับุ้คำไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ

4.1.2.5 ด้านน้ำหนักผลแห้งต่อผล

การให้ผลผลิตของสับุ้คำสายพันธุ์ระยองด้านน้ำหนักผลแห้งต่อผลที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.4

จากการทดลอง น้ำหนักผลแห้งต่อผลของสับุ้คำสายพันธุ์ระยองที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม พบว่า หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะให้ผลผลิตสับุ้คำด้านน้ำหนักผลแห้งต่อผลเฉลี่ย เท่ากับ 1.70 กรัม ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม สับุ้คำไม่ให้ผลผลิต

เมื่อพิจารณาหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) พบว่า การให้ผลผลิตด้านน้ำหนักผลแห้งต่อผลเป็นไปอย่างปกติ คือ มีการให้ผลผลิต ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม จะไม่ให้ผลผลิตเลย เนื่องจากสับุ้คำไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ

4.1.2.6 ด้านจำนวนเมล็ดต่อผล

การให้ผลผลิตของสับุ้คำสายพันธุ์ระยองด้านจำนวนเมล็ดต่อผลที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.4

จากการทดลอง จำนวนเมล็ดต่อผลของสับุ้คำสายพันธุ์ระยองที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่แตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม พบว่า หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) สับุ้คำสายพันธุ์ระยองจะให้จำนวนเมล็ดเฉลี่ย เท่ากับ 3

เมล็ดต่อผล ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม สบู่ดำไม่ให้ผลผลิต

เมื่อพิจารณาหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) พบว่า การให้ผลผลิตด้านจำนวนเมล็ดต่อผลเป็นไปอย่างปกติ คือ มีการให้ผลผลิต ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม จะไม่ให้ผลผลิตเลย เนื่องจากสบู่ดำไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ

จะเห็นว่าการให้ผลผลิตของสบู่ดำทั้งในด้านจำนวนผลต่อต้น น้ำหนักผลสดทั้งหมดต่อต้น น้ำหนักผลแห้งทั้งหมดต่อต้น น้ำหนักผลสดต่อผล น้ำหนักผลแห้งต่อผล และจำนวนเมล็ดต่อผล สบู่ดำจะให้ผลผลิตที่หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) เท่านั้น ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม สบู่ดำไม่ให้ผลผลิตเลย

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ สรรตนา เสนาะ (2548: 65) ที่พบว่า น้ำหนักแห้งของเมล็ดทานตะวันที่ปลูกในดินปนเปื้อนแคดเมียมระดับต่าง ๆ จะมีน้ำหนักเฉลี่ยของเมล็ดลดลงตามระดับการปนเปื้อนที่เพิ่มสูงขึ้น และสอดคล้องการศึกษาของ บุญผา แซ่มประเสริฐ (2548: 38) ที่พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียมลงไปดินจะทำให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นผักคะน้า ผักกาดขาว และผักกวางตุ้งลดลง และน้ำหนักรากของผักทั้ง 3 ชนิดก็ลดลงเช่นกัน แสดงว่าการเพิ่มแคดเมียมลงไปดินที่ใช้ในการปลูกผักทั้ง 3 ชนิดนี้ มีผลทำให้น้ำหนักของพืชผักทั้ง 3 ชนิดลดลง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ นันทกานต์ ชุนโห (2549: 42) เรื่อง การดูดซับแคดเมียมในดินและการดูดกินโดยผักกาดขาวในชุดดินปากช่อง และชุดดินธนบุรี พบว่า น้ำหนักสดและแห้งของผักกาดขาวที่ปลูกในดินที่ใส่แคดเมียมอัตราต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน คือ ผักกาดขาวที่ปลูกในดินสองชุดที่อัตราแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม มีน้ำหนักสดและแห้งเฉลี่ยสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผักกาดขาวที่ปลูกในดินที่ใส่แคดเมียมอัตรา 50 และ 100 พีพีเอ็ม

ตารางที่ 4.3 การให้ผลผลิตของสบู่ดำสายพันธุ์ระยะของที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน

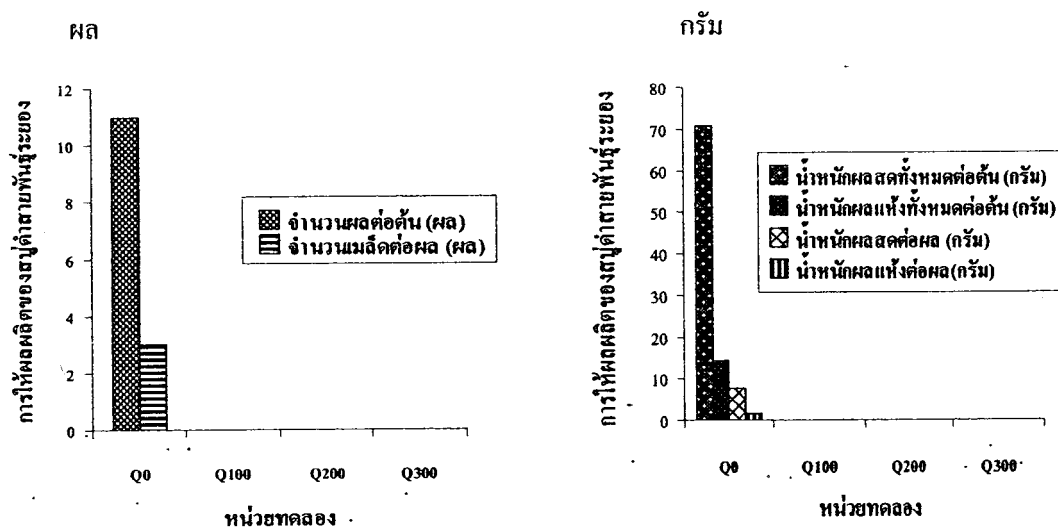
ผลผลิตของสบู่ดำ	หน่วยทดลอง			
	Q0	Q100	Q200	Q300
จำนวนผลต่อต้น (ผล)	11.00	—	—	—
น้ำหนักผลสดทั้งหมดต่อต้น (กรัม)	154.25	—	—	—
น้ำหนักผลแห้งทั้งหมดต่อต้น (กรัม)	33.75	—	—	—

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ผลผลิตของสบู่ดำ	หน่วยทดลอง			
	Q0	Q100	Q200	Q300
น้ำหนักผลสดต่อผล (กรัม)	7.72	—	—	—
น้ำหนักผลแห้งต่อผล (กรัม)	1.70	—	—	—
จำนวนเมล็ดต่อผล (ผล)	3.00	—	—	—

หมายเหตุ: — หมายถึง ไม่ให้ผลผลิต

Q0 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม; Q100 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100 พีพีเอ็ม; Q200 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 200 พีพีเอ็ม; Q300 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 300 พีพีเอ็ม



ภาพที่ 4.4 การให้ผลผลิตของสบู่ดำสายพันธุ์ระยะของที่ระดับการปนเปื้อนแตกต่างกัน

4.2 ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดิน

ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินแต่ละระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่แตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนตกค้าง

ของแคดเมียมในดินเมื่อเริ่มการทดลอง และหลังการทดลอง โดยได้ส่งตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.5

จากการทดลอง ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินของสับลำสาวยพันธุ์ระยอง ที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม เมื่อเริ่มการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 300 พีพีเอ็ม (Q300) จะมีปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินเฉลี่ยมากที่สุด คือ 302.40 พีพีเอ็ม รองลงมา คือ หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 200 พีพีเอ็ม (Q200) และหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100 พีพีเอ็ม (Q100) ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 201.45 และ 105.40 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะมีปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 2.50 พีพีเอ็ม เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินหลังการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นกัน โดยในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 300 พีพีเอ็ม (Q300) จะมีปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินเฉลี่ยมากที่สุด คือ 210.30 พีพีเอ็ม รองลงมา คือ หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 200 พีพีเอ็ม (Q200) และหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100 พีพีเอ็ม (Q100) ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 121.10 และ 74.40 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะมีปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 0.55 พีพีเอ็ม

จะเห็นได้ว่า หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) ภายหลังการทดลองมีปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินน้อยมาก ซึ่งอยู่ในระดับใกล้เคียงกับการศึกษาของ เจนวิทย์ วงษ์ศานุน (2548: 7) กล่าวคือ ในดินบริเวณที่ไม่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมจะมีความเข้มข้นของแคดเมียมเฉลี่ย 0.58 พีพีเอ็ม ซึ่งจะมีค่าต่ำสุด 0.01 พีพีเอ็ม และสูงสุด 2.70 พีพีเอ็ม ส่วนในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 300 พีพีเอ็ม (Q300) ภายหลังการทดลอง พบว่า มีปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินสูงมากที่สุด โดยปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินทั้งเมื่อเริ่มการทดลองและหลังการทดลองจะเพิ่มสูงขึ้นตามระดับการเพิ่มการปนเปื้อนของแคดเมียมที่เพิ่มขึ้น

ภายหลังการจากทดลอง พบว่า ทุกหน่วยการทดลองมีปริมาณการปนเปื้อนของแคดเมียม น้อยกว่าเมื่อเริ่มการทดลอง เนื่องจากปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินส่วนหนึ่งจะลดลงตามระยะเวลาในการปลูกสับลำที่นานขึ้น ทั้งนี้อาจเกิดจากการดูดซึมของพืช โดยพืชจะดูดซึม

แคะเมี่ยมเข้าไปโดยใช้รากของพืช (ศิริลักษณ์ กล้าการชาย, 2548: 38) หรือจากการชะล้างตามธรรมชาติ (คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2551) โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดการชะล้างของดิน คือ น้ำ ซึ่งจากการทดลองการชะล้างของดินจากการรดน้ำและปริมาณฝนที่ตกลงมา อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคะเมี่ยมในดินลดลง เพราะในการทดลองนั้นเป็นการปลูกระบบเปิดจึงไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และอากาศได้ เนื่องจากปลูกสับดำไว้กลางแจ้ง ทำให้ปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมายังกระถางปลูกเกิดการชะปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคะเมี่ยมในดินออกไปจากกระถางปลูกได้ และนอกจากนี้ยังมีการถอนพรุนวัชพืชในหน่วยทดลองที่ระดับการปนเปื้อนของแคะเมี่ยมที่ 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) ขณะที่ในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคะเมี่ยม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ไม่มีวัชพืชขึ้นเลย ทำให้ไม่มีวัชพืชคลุมหน้าดิน จึงทำให้เกิดการชะล้างได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้อาจเกิดจากการชะล้างโดยลม ซึ่งลมเป็นตัวการที่ทำให้เกิดการพัดพาเอาดินเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งจากการทดลอง การชะล้างของดินโดยลมอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคะเมี่ยมในดินลดลง เนื่องจากในระยะเวลาการทดลองสับดำ เกิดลมแรงในช่วงที่ฝนตก และในบางครั้งมีลมพัดแรง ประกอบกับพื้นที่ใช้ในการทดลองเป็นที่โล่ง ไม่มีที่กำบังลม อาจทำให้ดินที่มีการปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคะเมี่ยมในดินถูกชะล้างโดยลมได้ อีกส่วนหนึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ตามธรรมชาติจะช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน ทำให้ดินมีโครงสร้างที่โปร่ง ร่วนซุย ระบายอากาศได้ดี และยังช่วยดินดูดซับน้ำและอาหารพืชได้ดี และจุลินทรีย์ในดินก็สามารถใช้สารเคมีหรือสารพิษบางชนิดเป็นแหล่งของพลังงาน ทำให้สารพิษนั้นลดความเป็นพิษ รวมทั้งมีปริมาณลดลง นอกจากนี้สารเคมีหรือสารพิษบางชนิดเป็นธาตุอาหารพืชหรือมีส่วนทำให้ธาตุอาหารในดินเพิ่มมากขึ้นหรือลดลงในปริมาณที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชด้วย (สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2551) อย่างไรก็ตาม การดูดซับโลหะหนักและสารพิษของดินจะส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินด้วย หากมีปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของโลหะหนักในดินสูงจะส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (ศูนย์พัฒนาทรัพยากรการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2551) แต่จุลินทรีย์ในดินจะมีการสร้างกระบวนการในการต่อต้านพิษ รวมทั้งสร้างกระบวนการในการลดความเป็นพิษของโลหะหนักและสารพิษได้

ผลการศึกษาที่สอดคล้องกับการศึกษาของ ศิริลักษณ์ กล้าการชาย (2548: 43) ที่พบว่า การตกค้างของแคะเมี่ยมในดินจะลดลงตามระยะเวลาในการปลูกหญ้าแฝกที่นานขึ้น ระยะเวลาปลูกนาน 120 และ 60 วัน ลดความเข้มข้นของแคะเมี่ยมในดินลงได้ประมาณ 1 ถึง 0.5 เท่าของความเข้มข้นเริ่มต้น และสอดคล้องกับการศึกษาของ นันทกานต์ ขุนโหร (2549: 26) ที่พบว่า ความ

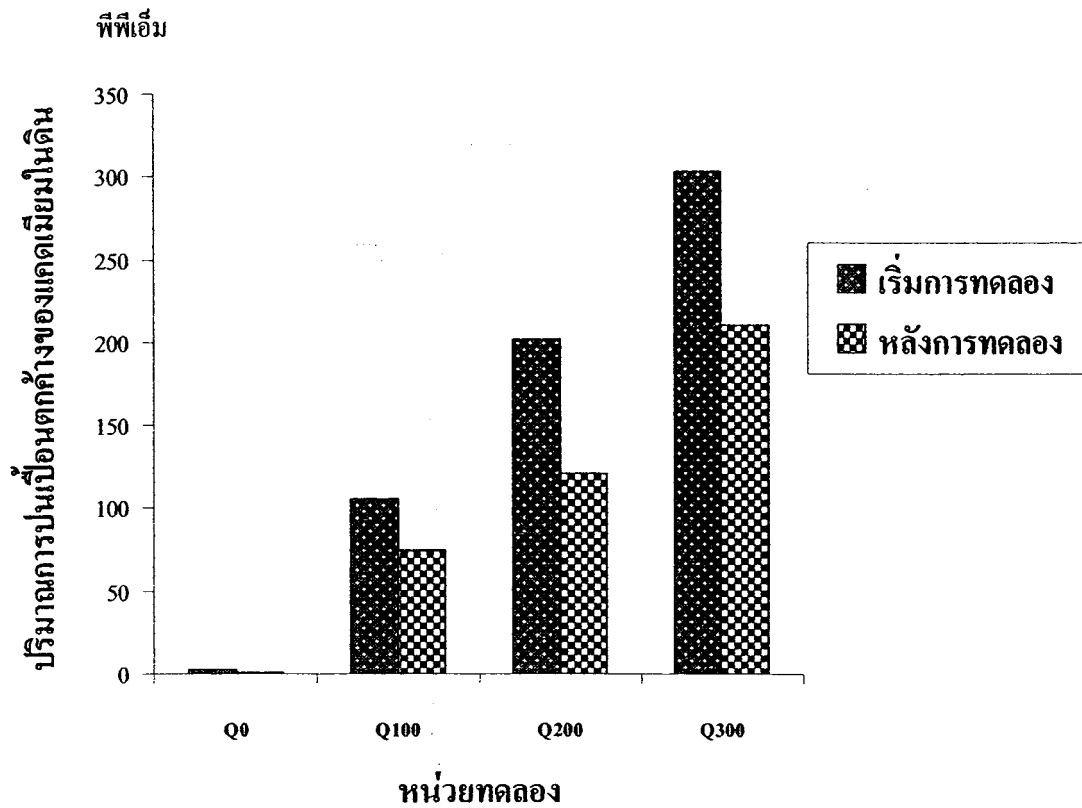
เข้มข้นของแคดเมียมทั้งหมดในดินก่อนการทดลองที่อัตราแคดเมียมระดับต่างกันแตกต่างกัน โดยระดับอัตราสูงสุดของแคดเมียม คือ 100 พีพีเอ็ม ทำให้มีความเข้มข้นแคดเมียมในดินทั้งหมดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 101.76 พีพีเอ็ม เมื่อเทียบกับระดับอัตราแคดเมียมที่ 50 และ 0 พีพีเอ็ม ซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ย เท่ากับ 51.53 และ 2.13 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และเมื่อหลังการทดลองได้นำแคดเมียมในดินไปสกัด ซึ่งความเข้มข้นของแคดเมียมในดินที่สามารถสกัดได้ที่อัตราแคดเมียมระดับแตกต่างกันพบว่า ระดับอัตราแคดเมียมสูงสุด 100 พีพีเอ็ม มีความเข้มข้นของแคดเมียมที่ดินดูดซับได้เฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 71.47 พีพีเอ็ม เมื่อเทียบกับที่ระดับอัตราแคดเมียม 50 และ 0 พีพีเอ็ม มีค่าเท่ากับ 33.80 และ 1.31 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินของสบู่ดำสายพันธุ์ของทุกระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน

ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดิน (พีพีเอ็ม)	หน่วยทดลอง			
	Q0	Q100	Q200	Q300
เริ่มการทดลอง	2.50 ^d	105.40 ^c	201.45 ^b	302.40 ^a
หลังการทดลอง	0.55 ^d	74.40 ^c	121.10 ^b	210.30 ^a

หมายเหตุ: ^{abcd} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Q0 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม; Q100 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100 พีพีเอ็ม; Q200 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 200 พีพีเอ็ม; Q300 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 300 พีพีเอ็ม



ภาพที่ 4.5 ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินของสบู่ดำสายพันธุ์ของที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน

4.3 ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในส่วนประกอบของพืช

ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในส่วนประกอบพืชที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 ฟิฟี่เอ็ม โดยมีส่วนที่วิเคราะห์ คือ ลำต้น ราก ใบ เมล็ด น้ำมันสบู่ดำ และกากสบู่ดำ โดยจะทำการเก็บตัวอย่างพืชเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และจะนำเมล็ดของสบู่ดำที่ได้ไปสกัดน้ำมันโดยใช้เครื่องบีบอัดน้ำมันสบู่ดำแบบใช้แรงงานคน ณ ศูนย์ฝึกอบรมปฏิบัติการด้านการจัดการพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน จากนั้นจะส่งตัวอย่างพืชไปวิเคราะห์หาปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในส่วนประกอบพืช ณ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และในภาคผนวก จ

4.3.1 ลำต้น

การวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในลำต้นของสบู่ดำสายพันธุ์ระยะของการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.6

จากการทดลอง ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในลำต้นของสบู่ดำสายพันธุ์ระยะของการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 300 พีพีเอ็ม (Q300) จะมีปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในลำต้นเฉลี่ยมากที่สุด คือ 59.70 พีพีเอ็ม รองลงมา คือ หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 200 พีพีเอ็ม (Q200) และหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100 พีพีเอ็ม (Q100) ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 19.20 และ 10.20 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะมีปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในลำต้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 2.10 พีพีเอ็ม

จะเห็นได้ว่า ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลต่อปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในลำต้นของสบู่ดำสูงขึ้นตามไปด้วยในทิศทางเดียวกัน เนื่องมาจากการดูดซึมแคดเมียมของสบู่ดำโดยใช้ราก ซึ่งจะมีการสะสมของแคดเมียมไว้ในส่วนของลำต้นสูงตามระดับการปนเปื้อนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโลหะหนักในดินที่สูงขึ้นจะส่งผลต่อการดูดซึมของพืชเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของโลหะหนักในดินที่เพิ่มสูงขึ้น (อำนาจ อ่ำเมือง, 2528: 90) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา นันทกานต์ ขุนโหร (2549: 31) ที่พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมในผักกาดขาวที่ปลูกในดินที่ใส่แคดเมียมต่าง ๆ มีความเข้มข้นของแคดเมียมในดินแตกต่างกัน โดยผักกาดขาวที่ปลูกในดินที่มีอัตราแคดเมียม 100 พีพีเอ็ม มีความเข้มข้นเฉลี่ยแคดเมียมในดินสูงที่สุด คือ 24.26 พีพีเอ็ม เมื่อเปรียบเทียบกับผักกาดขาวที่ปลูกในดินที่มีอัตราแคดเมียม 50 และ 0 พีพีเอ็ม ที่มีค่าเฉลี่ยในดินพืช เท่ากับ 11.29 และ 0.71 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และสอดคล้องกับการศึกษาของ สรคณา เสนาะ (2548: 36) ที่พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมในลำต้นและในใบของหญ้าแฝกทั้ง 2 พันธุ์ และในลำต้นและใบของทานตะวัน อายุ 75 วัน ซึ่งหญ้าแฝกที่ปลูกในดินปนเปื้อนสูงมากมีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นแคดเมียมในลำต้นและในใบสูงสุด เท่ากับ 5.79 พีพีเอ็ม เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าแฝกที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนสูง ดินที่ปนเปื้อนต่ำ และดินที่ไม่มีการปนเปื้อนเลย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.12, 2.33 และ 0.05 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และทานตะวันที่ปลูกในดินปนเปื้อนสูงมากมีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นแคดเมียมในลำต้นและในใบสูงสุด เท่ากับ 28.12 พีพีเอ็ม เมื่อเปรียบเทียบกับ

ทานตะวันที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนสูง ดินที่ปนเปื้อนต่ำ และดินที่ไม่มีการปนเปื้อนเลย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.77, 1.41 และ 0.02 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

4.3.2 ราก

การวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในรากของสบู่ดำสายพันธุ์ของที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.6

จากการทดลอง ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในรากของสบู่ดำสายพันธุ์ของที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 300 พีพีเอ็ม (Q300) จะมีปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในรากเฉลี่ยมากที่สุด คือ 183.70 พีพีเอ็ม รองลงมา คือ หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 200 พีพีเอ็ม (Q200) และหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100 พีพีเอ็ม (Q100) ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 77.10 และ 39.50 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) จะมีปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในรากเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 2.15 พีพีเอ็ม

จะเห็นได้ว่า ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลต่อปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในรากของสบู่ดำสูงขึ้นตามไปด้วยในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากพืชจะมีการดูดซึมโลหะหนักโดยการใช้รากของพืช ทำให้รากมีการสะสมปริมาณโลหะหนักมากกว่าในส่วนประกอบพืชอื่น ๆ (อานวย อำเมือง, 2528: 87) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สรตนา เสนาะ (2548: 37) ที่พบว่า ความเข้มข้นของแคดเมียมในรากของหญ้าแฝก ทานตะวัน และข้าว ที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนแคดเมียมโดยหญ้าแฝก ทานตะวัน และข้าวที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนสูงมากมีความเข้มข้นในรากสูงที่สุด คือ 28.88, 39.95 และ 25.02 พีพีเอ็ม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับหญ้าแฝก ทานตะวัน และข้าวที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนสูง ดินที่ปนเปื้อนต่ำ และดินที่ไม่มีการปนเปื้อนเลย โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมในรากของหญ้าแฝกที่ปลูกในดินที่ปนเปื้อนดังนี้ 15.69, 4.07 และ 0.07 พีพีเอ็ม ความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมในรากของทานตะวัน เท่ากับ 29.14, 1.63 และ 0.07 พีพีเอ็ม และความเข้มข้นเฉลี่ยของแคดเมียมในรากของข้าว เท่ากับ 11.92, 2.55 และ 0.01 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และสอดคล้องกับการศึกษาของ ศิริลักษณ์ กล้าการชาย (2548: 38) ที่พบว่า หญ้าแฝกที่ปลูกในดินที่มีความเข้มข้นของสารละลายแคดเมียมสูงสุด คือ 20 พีพีเอ็ม ดูดซึมแคดเมียมไปไว้ในรากได้มากกว่าเมื่อ

เปรียบเทียบกับ การปลูกในดินที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ คือ 10 และ 0 พีพีเอ็ม และยังพบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมที่รากจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการปลูกที่นานขึ้นด้วย

4.3.3 ใบ

การวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในใบของสบู่ดำสายพันธุ์ระยะของที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.6

จากการทดลอง ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในใบของสบู่ดำสายพันธุ์ระยะของที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม พบว่า จะพบปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในใบเฉพาะในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) เท่านั้น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.20 พีพีเอ็ม ส่วนในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในใบได้ เนื่องจากมีจำนวนใบและปริมาณน้ำหนักของใบไม่เพียงพอที่จะนำไปตรวจวิเคราะห์หาปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในใบได้ ซึ่งจำนวนใบจะลดลงตามระดับการปนเปื้อนที่สูงขึ้น สาเหตุหนึ่งที่ทำให้หน่วยทดลองที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) มีปริมาณการตกค้างของแคดเมียมในใบ อาจเนื่องมาจากการพัดพาโดยลมและการชะล้างโดยฝน ซึ่งทำให้ดินเกิดการปนเปื้อนของแคดเมียม เพราะพื้นที่ในการทดลองเป็นพื้นที่โล่ง กระจกที่ใช้ปลูกสบู่ดำไม่มีวัสดุหรือไม่มีวัสดุห่อคลุม และส่วนหนึ่งมาจากการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เมื่อในระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม เกิดการปนเปื้อนของแคดเมียมจึงทำให้พืชมีการดูดซึมของแคดเมียมโดยใช้รากไปสะสมไว้ที่ใบได้ โดยมีแนวโน้มว่า ถ้าหากที่ระดับการปนเปื้อนที่ 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ที่สบู่ดำยังคงสามารถมีการเจริญเติบโตได้ ก็จะมีปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในใบเพิ่มสูงขึ้นตามระดับการปนเปื้อนที่เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

4.3.4 เมล็ด

การวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในเมล็ดของสบู่ดำสายพันธุ์ระยะของที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.6

จากการทดลองปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในเมล็ดของสบู่ดำสายพันธุ์ระยะของที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม พบว่า จะพบ

ในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) เท่านั้น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.10 พีพีเอ็ม ส่วนในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ไม่พบปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในเมล็ด เนื่องจากไม่มีการเจริญเติบโตด้านการให้ผลผลิตทำให้ไม่สามารถนำเมล็ดของสับด้ามาตรวจวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในเมล็ดได้ สาเหตุหนึ่งที่ทำให้หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) มีปริมาณการตกค้างของแคดเมียมในเมล็ด อาจเนื่องมาจากการพัฒนาโดยลมและการชะล้างโดยฝน ซึ่งทำให้เกิดการปนเปื้อนของแคดเมียม เพราะพื้นที่ในการทดลองเป็นพื้นที่โล่ง กระจกที่ใช้ปลูกสับด้าไม่มีวัสดุหรือไม่มีวัชพืชปกคลุม และส่วนหนึ่งมาจากการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เมื่อในระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม เกิดการปนเปื้อนของแคดเมียมจึงทำให้พืชมีการดูดซึมของแคดเมียมโดยใช้ราก จึงเป็นสาเหตุให้เกิดปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในเมล็ดได้

4.3.5 น้ำมันสับด้า

การวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในน้ำมันสับด้าของสับด้าสายพันธุ์ระยะของที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.6

จากการทดลอง ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในน้ำมันสับด้าของสับด้าสายพันธุ์ระยะของที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม พบว่า จะพบในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) เท่านั้น ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.70 พีพีเอ็ม ส่วนในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ไม่พบปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในน้ำมันสับด้า เนื่องจากไม่มีการเจริญเติบโตด้านการให้ผลผลิตทำให้ไม่สามารถนำน้ำมันสับด้าไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมได้ สาเหตุหนึ่งที่ทำให้หน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) มีปริมาณการตกค้างของแคดเมียมในน้ำมันสับด้า อาจเนื่องมาจากการพัฒนาโดยลมและการชะล้างโดยฝน ซึ่งทำให้เกิดการปนเปื้อนของแคดเมียม เพราะพื้นที่ในการทดลองเป็นพื้นที่โล่ง กระจกที่ใช้ปลูกสับด้าไม่มีวัสดุหรือไม่มีวัชพืชปกคลุม และส่วนหนึ่งมาจากการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เมื่อในระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม เกิดการปนเปื้อนของแคดเมียมจึงทำให้พืชมีการดูดซึมของแคดเมียมโดยใช้ราก จึงเป็นสาเหตุให้เกิดปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในน้ำมันสับด้าได้

4.3.6 กากสบู่ดำ

การวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในกากสบู่ดำของสบู่ดำสายพันธุ์ระยองที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.6

จากการทดลอง ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในกากสบู่ดำของสบู่ดำสายพันธุ์ระยองที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในกากสบู่ดำจะพบในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 พีพีเอ็ม ส่วนที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ไม่มีการเจริญเติบโตด้านการให้ผลผลิต จึงไม่สามารถวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในกากสบู่ดำได้

จากการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในส่วนประกอบพืชของสบู่ดำสายพันธุ์ระยอง ได้แก่ ลำต้น ราก ใบ เมล็ด น้ำมันสบู่ดำ และกากสบู่ดำ ที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม จะพบว่า เมื่อระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลต่อปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในส่วนประกอบพืชสูงขึ้นตามไปด้วยในทิศทางเดียวกัน และสาเหตุที่ไม่มีการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในส่วนประกอบพืชที่ระดับการปนเปื้อนที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจาก สบู่ดำไม่สามารถมีการเจริญเติบโตได้ปกติและไม่สามารถให้ผลผลิตได้ จึงไม่สามารถนำส่วนประกอบของ ใบ เมล็ด น้ำมันสบู่ดำ และกากสบู่ดำ มาวิเคราะห์ปริมาณการตกค้างของแคดเมียมที่ระดับ 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ได้

ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ นุปผา แซ่มประเสริฐ (2527: 56) ที่พบว่า แคดเมียมที่ใส่ในดินมีผลกระทบต่อการสะสมของแคดเมียมในพืชผักทั้ง 3 ชนิด คือ เมื่อมีระดับความเข้มข้นของแคดเมียมในดินสูงขึ้น จะทำให้ผักคะน้า ผักกาดขาว และผักกวางตุ้ง ดูดแคดเมียมไปสะสมไว้ในต้นและรากเพิ่มขึ้น

จากการทดลองจะเห็นว่า มีการสะสมของแคดเมียมในรากมากกว่าลำต้น เช่น ที่ระดับความปนเปื้อนของแคดเมียม 300 พีพีเอ็ม แคดเมียมจะสะสมอยู่ในราก เท่ากับ 183.70 พีพีเอ็ม ส่วนแคดเมียมที่สะสมในลำต้น เท่ากับ 59.70 พีพีเอ็ม ดังนั้น จึงสามารถคาดการณ์ได้ว่าการสะสมแคดเมียมในสบู่ดำมีแนวโน้มที่จะมีการสะสมแคดเมียมในรากมากกว่าในลำต้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ นุปผา แซ่มประเสริฐ (2527: 57) ที่พบว่า ผักคะน้า ผักกาดขาว และผักกวางตุ้ง มีการสะสมของแคดเมียมในรากมากกว่าในลำต้น แสดงว่าพืชสามารถสะสมโลหะหนักไว้ได้ในส่วนต่างๆ ของพืชในปริมาณที่ไม่เท่ากัน

ดังนั้น จากผลการทดลองและจากการศึกษาค้าง ๆ ดังกล่าว จึงมีข้อคิดว่า บริเวณรากพืชจะสามารถสะสมพิษโดยเฉพาะโลหะหนักได้มากกว่าบริเวณอื่น ๆ และพืชที่มีการสะสมแคดเมียมอยู่ในส่วนประกอบของต้นเป็นปริมาณสูง ๆ จะแสดงลักษณะที่แตกต่างไปจากพืชทั่วไป เช่น ในสายพันธุ์สบู่ดำที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในระดับการปนเปื้อน 300 พีพีเอ็ม จะมีลักษณะต้นแคระแกรน ก้านใบเล็กและสั้น ใบเล็กและแข็ง ใบอ่อนจะหยิก มีอาการใบเหลือง และใบก็จะร่วง ผิวของลำต้นเป็นมัน รวมทั้งรากจะสั้นและกระจุกตัวอยู่ในวงแคบไม่แผ่ขยาย

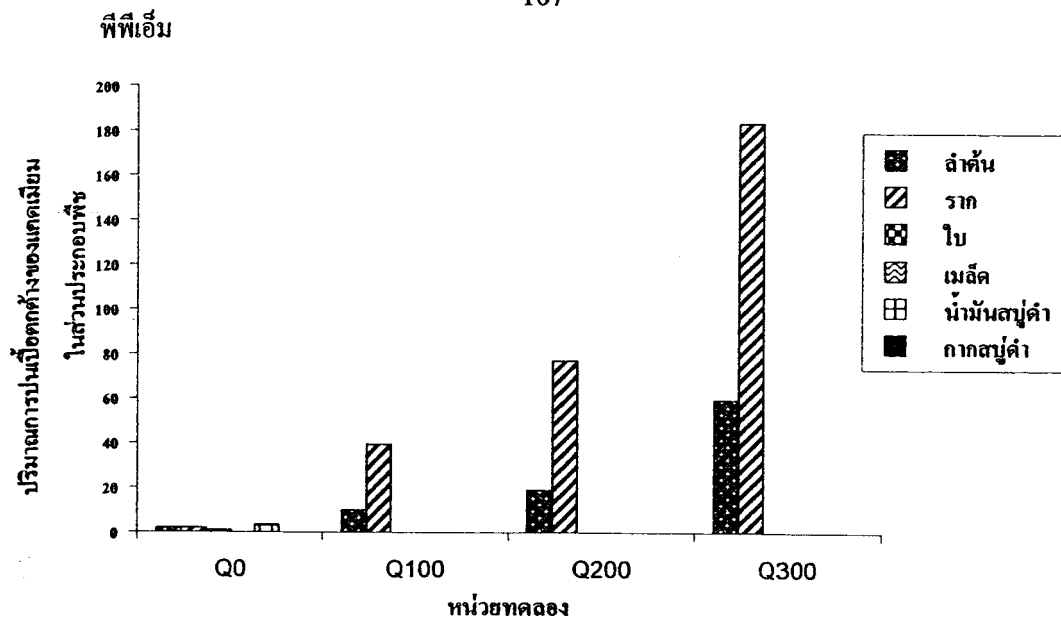
ตารางที่ 4.5 ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในส่วนประกอบพืชของสบู่ดำสายพันธุ์ระยองที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน

ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียม ในส่วนประกอบพืช (พีพีเอ็ม)	หน่วยทดลอง			
	Q0	Q100	Q200	Q300
ลำต้น	2.10 ^d	10.20 ^c	19.20 ^b	59.70 ^a
ราก	2.15 ^d	39.50 ^c	77.10 ^b	183.70 ^a
ใบ	1.20	—	—	—
เมล็ด	0.10	—	—	—
น้ำมันสบู่ดำ	3.70	—	—	—
กากสบู่ดำ	0.20	—	—	—

หมายเหตุ: ^{abcd} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Q0 = ระดับการปนเปื้อนตกค้างที่ 0 พีพีเอ็ม; Q100 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100 พีพีเอ็ม; Q200 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 200 พีพีเอ็ม; Q300 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 300 พีพีเอ็ม

— หมายถึง สบู่ดำไม่ให้ผลผลิต



ภาพที่ 4.6 ปริมาณการปนเปื้อนคก้างของแคคเมียมในส่วนประกอบพืชของสบูดำสายพันธุ์ระยอง ที่ระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมแตกต่างกัน

4.4 การวิเคราะห์สมบัติของดิน

การวิเคราะห์สมบัติของดิน ได้แก่ การวิเคราะห์เนื้อดิน (Soil Texture) และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic Matter) โดยการส่งตัวอย่างของดินทั้งเมื่อเริ่มการทดลองและหลังการทดลองไปวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ดังตารางที่ 4.6

4.4.1 การวิเคราะห์เนื้อดิน (Soil Texture)

การวิเคราะห์เนื้อดินเมื่อเริ่มการทดลอง และการวิเคราะห์เนื้อดินหลังการทดลองที่ระดับการปนเปื้อนของแคคเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 ฟิฟเอ็ม แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.7

การวิเคราะห์เนื้อดิน โดยการวิเคราะห์อนุภาคทราย (Sand) อนุภาคทรายแป้ง (Silt) และอนุภาคดินเหนียว (Clay) จากการทดลอง พบว่า เมื่อเริ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และภายหลังการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นกัน โดยมีอนุภาคทราย (Sand) เมื่อเริ่มการทดลองเปรียบเทียบกับหลังการทดลอง พบว่า มีค่าลดลงในทุกะดับการปนเปื้อนของแคคเมียม ส่วนอนุภาคทรายแป้ง (Silt) และอนุภาคดินเหนียว (Clay) เมื่อเริ่มการทดลองเปรียบเทียบกับหลังการทดลอง พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกะดับการ

ปนเปื้อนของแคะเมียม ซึ่งจัดเป็นเนื้อดินชนิดเดียวกัน คือ จัดเป็นกลุ่มดินเนื้อละเอียด ประเภทดินเหนียว (Clay Texture) ซึ่งมีอนุภาคดินเหนียวตั้งแต่ร้อยละ 40 ขึ้นไป (สมบุรณ์ มั่นความดี, 2550) เนื้อดินจะมีความเกี่ยวข้องกับความชื้นของดิน การที่ดินมีเนื้อดินละเอียดโดยเฉพาะมีร้อยละของอนุภาคดินเหนียวสูง จะมีการดูดซึมและคั่งคูดโลหะหนัก อาทิ แคะเมียม ได้ดีกว่าในดินร่วนและดินทราย เนื่องจาก ในดินเหนียวจะมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchacity Capacity: C.E.C) สูง (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540: 39)

4.4.2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุเมื่อเริ่มการทดลอง และปริมาณอินทรีย์วัตถุหลังการทดลอง ที่ระดับการปนเปื้อนของแคะเมียมแตกต่างกัน คือ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.8

จากการทดลอง ปริมาณอินทรีย์วัตถุเมื่อเริ่มการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กล่าวคือ ในหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนของแคะเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) (Q0) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.38 รองลงมา คือ หน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนของแคะเมียม 100 พีพีเอ็ม (Q100) ส่วนในหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนของแคะเมียม 200 พีพีเอ็ม (Q200) และ 300 พีพีเอ็ม (Q300) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุน้อยที่สุด ซึ่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.35, 0.30 และ 0.30 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณอินทรีย์วัตถุภายหลังการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กล่าวคือ ในหน่วยทดลองที่มีการปนเปื้อนของแคะเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) (Q0) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.40 รองลงมา คือ ที่ระดับการปนเปื้อนของแคะเมียม 100 พีพีเอ็ม (Q100), 200 พีพีเอ็ม (Q200) และ 300 พีพีเอ็ม (Q300) โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเท่ากัน คือ ร้อยละ 0.20

สังเกตได้ว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคะเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) แต่ปริมาณอินทรีย์วัตถุจะมีการเปลี่ยนแปลงลดลงในหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคะเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม สาเหตุอาจเนื่องมาจากที่ระดับการปนเปื้อนของแคะเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) สบู่ดำสายพันธุ์ระยองมีการเจริญเติบโตที่เป็นปกติ มีเศษของใบที่ร่วงหล่น และมีวัชพืชขึ้นในหน่วยทดลอง อาจส่งผลต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุเมื่อหลังการทดลองที่เพิ่มขึ้นได้ ส่วนในระดับการปนเปื้อนของแคะเมียมที่เพิ่มสูงขึ้นนั้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสบู่ดำที่ลดลง ทำให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลงตามไปด้วย อีกทั้งยังไม่มีวัชพืชขึ้นเลย จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงได้ และอาจ

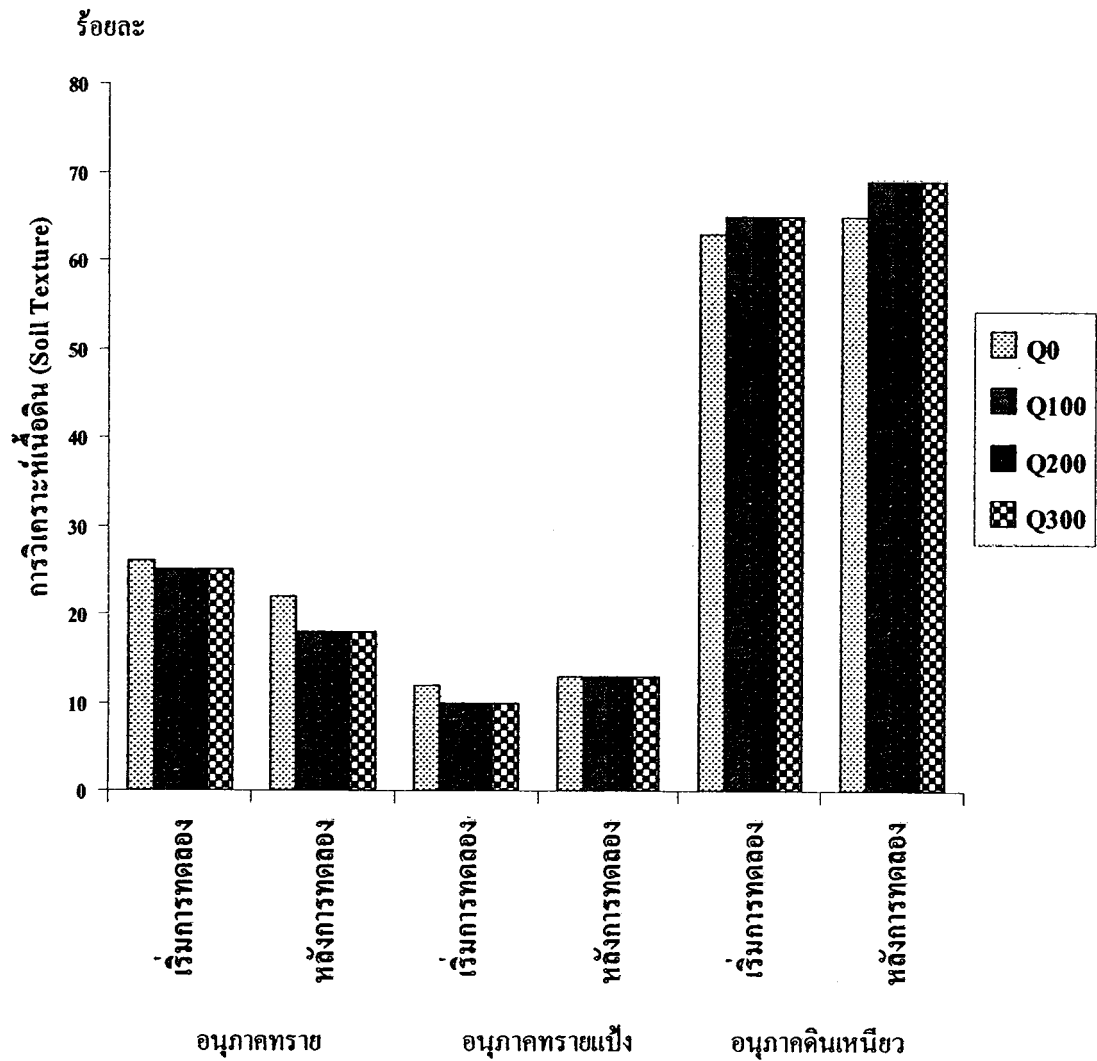
เกิดจากการชะล้างของดิน ทั้งทางฝนและน้ำที่ไหลรดสบู้น้ำ รวมทั้งทางลมและจุลินทรีย์ในดินตามธรรมชาติจะช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน ขณะที่ปริมาณสารอินทรีย์ในดินที่ต่ำจะส่งเสริมให้โลหะหนักสามารถแพร่กระจายได้มากขึ้น (Harrison, 1992: 103) ในดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของดินได้ไม่ดี โดยที่อินทรีย์วัตถุจะมี Bonding Energy กับแคดเมียมได้ดี ทำให้มีเกิดการปลดปล่อยแคดเมียมออกมาสู่สารละลายดินได้น้อย (สุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540: 39) นอกจากนี้ปริมาณอินทรีย์วัตถุและปริมาณดินเหนียวในดินทำให้ดินมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (C.E.C) สูงอีกด้วย

ตารางที่ 4.6 สมบัติของดินที่มีต่อระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่แตกต่างกัน

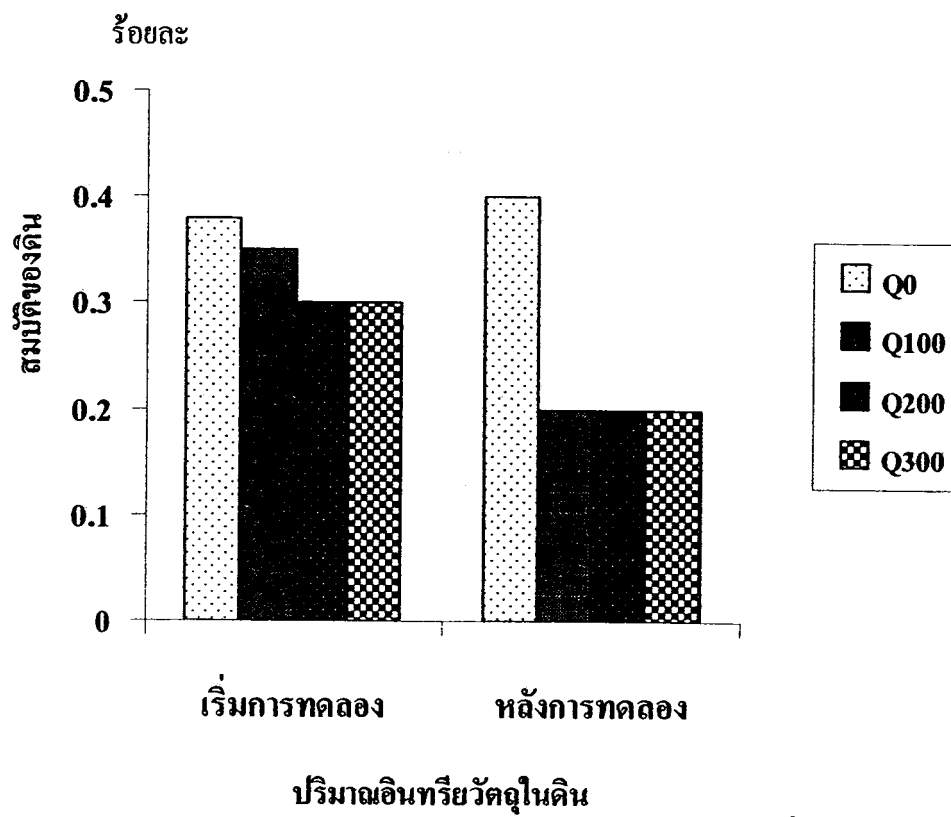
สมบัติของดิน	หน่วยทดลอง			
	Q0	Q100	Q200	Q300
เริ่มการทดลอง				
เนื้อดิน (Soil Texture)	ประเภทดินเหนียว (clay texture)			
ทราย (Sand) (ร้อยละ)	26	25	25	25
ทรายแป้ง (Silt) (ร้อยละ)	12	10	10	10
อนุภาคดินเหนียว (Clay) (ร้อยละ)	63	65	65	65
อินทรีย์วัตถุในดิน (Organic Matter) (ร้อยละ)	0.38	0.35	0.30	0.30
หลังการทดลอง				
เนื้อดิน (Soil Texture)	ประเภทดินเหนียว (clay texture)			
ทราย (Sand) (ร้อยละ)	22	22	18	18
ทรายแป้ง (Silt) (ร้อยละ)	13	13	13	13
อนุภาคดินเหนียว (Clay) (ร้อยละ)	65	69	69	69
อินทรีย์วัตถุในดิน (Organic Matter) (ร้อยละ)	0.4 ^a	0.20 ^b	0.20 ^b	0.20 ^b

หมายเหตุ: ^a ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Q0 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม; Q100 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100 พีพีเอ็ม; Q200 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 200 พีพีเอ็ม; Q300 = ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 300 พีพีเอ็ม



ภาพที่ 4.7 การวิเคราะห์เนื้อดินเมื่อเริ่มการทดลองและหลังการทดลองที่ระดับการปนเปื้อนของ
แคลเซียมแตกต่างกัน



ภาพที่ 4.8 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเมื่อเริ่มการทดลองและหลังการทดลองที่ระดับการปนเปื้อนของแคะเมียมแตกต่างกัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสับปะรดสายพันธุ์ระยองที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในแต่ละระดับ แบ่งระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินได้ดังนี้ 0, 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ได้กำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาไว้เพื่อ 1) ศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตและผลผลิตของสับปะรดสายพันธุ์ระยองที่สามารถทนทานต่อการปนเปื้อนของแคดเมียมในดิน 2) ศึกษาการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่สับปะรดสายพันธุ์ระยองยังคงมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตและยังคงให้ผลผลิต และ 3) ศึกษาปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมทั้งในดินและในส่วนประกอบต่าง ๆ ของสับปะรดสายพันธุ์ระยอง ภายหลังจากการปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม

สมมติฐานในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดไว้ว่า ที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน ทำให้สมรรถภาพการเจริญเติบโตและผลผลิตของสับปะรดสายพันธุ์ระยองแตกต่างกัน สำหรับการศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต และการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมทั้งในดินและในส่วนประกอบของพืชที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมแตกต่างกัน ซึ่งแคดเมียมที่ใช้ในการวิจัย คือ สารแคดเมียมคลอไรด์-2.5-ไฮเดรต ($\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{-H}_2\text{O}$) ดินที่ใช้ในการปลูกสับปะรดจัดเป็นชุดดินกระบี่ ทำการปลูกสับปะรดในบริเวณพื้นที่ตำบลห้วยยาง อำเภอแกลง จังหวัดระยอง ใช้พื้นที่ทำการวิจัยประมาณ 1 งาน ระยะเวลาในการวิจัย ประมาณ 1 ปี

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) จำนวน 4 ซ้ำ (Replications) ต่อหน่วยทดลอง โดยมีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินตามหน่วยทดลอง ดังนี้

หน่วยทดลองที่ 1: มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินตามธรรมชาติ หรือระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) (Q_0)

หน่วยทดลองที่ 2: เพิ่มระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100 พีพีเอ็ม (Q_{100})

หน่วยทดลองที่ 3: เพิ่มระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 200 พีพีเอ็ม (Q200)

หน่วยทดลองที่ 4: เพิ่มระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 300 พีพีเอ็ม (Q300)

ผลการทดลองต่าง ๆ สามารถสรุปได้ ดังนี้

5.1.1 สมรรถภาพการเจริญเติบโตและผลผลิตของสับดูดำ

ผลของการวิเคราะห์สมรรถภาพการเจริญเติบโตและผลผลิตของสับดูดำ ด้านความสูง รัศมีทรงพุ่ม จำนวนกิ่ง จำนวนใบ และการให้ผลผลิตของสับดูดำ ด้านจำนวนผลต่อต้น น้ำหนักผลสดทั้งหมดต่อต้น (กรัม) น้ำหนักผลแห้งทั้งหมดต่อต้น (กรัม) น้ำหนักผลสดต่อผล (กรัม) น้ำหนักผลแห้งต่อผล (กรัม) และจำนวนเมล็ดต่อผล พบว่า สับดูดำสายพันธุ์ระยะนี้มีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูง รัศมีทรงพุ่ม จำนวนกิ่ง จำนวนใบ และการให้ผลผลิตของสับดูดำ เฉพาะหน่วยทดลองที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) เท่านั้น ส่วนหน่วยทดลองที่มีระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม สับดูดำมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูง รัศมีทรงพุ่ม จำนวนกิ่ง จำนวนใบ และการให้ผลผลิตของสับดูดำ ในทิศทางที่ผกผันกับระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ถ้าระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมเพิ่มสูงขึ้น สมรรถภาพการเจริญเติบโตและผลผลิตของสับดูดำจะลดลง เนื่องจาก ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลกระทบต่อความเป็นพิษของแคดเมียมต่อพืชสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งความเป็นพิษของแคดเมียมจะส่งผลกระทบต่อพืช ทำให้ดินแคะแกระ และทำให้เกิดอาการใบเหลืองในพืช

5.1.2 ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดิน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินก่อนและหลังการทดลอง พบว่า ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินหลังการทดลองมีค่าลดลงจากก่อนการทดลอง อาจเนื่องมาจากปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินส่วนหนึ่งอาจลดลงตามระยะเวลาในการปลูกสับดูดำที่นานขึ้น หรืออาจเกิดจากการดูดซึมของพืช อีกส่วนหนึ่งเกิดจากการชะล้าง (Leaching) โดยการรดน้ำ ทำให้ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมจากกระถางปลูกถูกชะล้างออกไปจากกระถาง และในการทดลองซึ่งเป็นระบบเปิดทำให้ไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และอากาศได้ และนอกจากนี้ยังมีการถอนพรุนวัชพืชในหน่วยทดลองที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) ขณะที่ในระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่ 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ไม่มีวัชพืชขึ้นเลย ทำให้ไม่มีวัชพืชคลุมหน้าดิน อาจทำให้

เกิดการชะล้างได้ง่าย และเกิดจากการชะล้างโดยลม เนื่องจากในระยะเวลาการทดลองสบูดำ เกิดลมแรง ในช่วงที่ฝนตก และในบางครั้งมีลมพัดแรง ประกอบกับพื้นที่ใช้ในการทดลองเป็นที่โล่ง ไม่มีที่กำบังลม อาจทำให้ดินที่มีการปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในดินถูกชะล้างโดยลมได้ อีกส่วนหนึ่งอาจเกิดจากจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ตามธรรมชาติจะช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน

5.1.3 ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในส่วนประกอบของพีช

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการปนเปื้อนตกค้างของแคดเมียมในส่วนประกอบพีช ได้แก่ ลำต้น ราก ใบ เมล็ด น้ำมันสบูดำ และกากสบูดำ ของสบูดำสายพันธุ์ระยอง พบว่า ในรากจะมีการสะสมของแคดเมียมได้มากที่สุด รองลงมาจะพบการสะสมของแคดเมียมในลำต้น ส่วนการสะสมของแคดเมียมตกค้างในใบ เมล็ด น้ำมันสบูดำ และกากสบูดำ มีปริมาณการตกค้างของแคดเมียมในปริมาณที่น้อย สาเหตุอาจเนื่องมาจากสบูดำจะมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่ระดับการปนเปื้อน 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) เท่านั้น ส่วนที่ระดับการปนเปื้อน 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม ไม่มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต

5.1.4 การวิเคราะห์สมบัติของดิน

ผลการวิเคราะห์สมบัติของดิน ซึ่งชุดดินที่ใช้ในการทดลอง คือ ชุดดินกระบี่ ซึ่งการวิเคราะห์เนื้อดิน โดยการวิเคราะห์อนุภาคทราย (Sand) อนุภาคทรายแป้ง (Silt) และอนุภาคดินเหนียว (Clay) จัดเป็นกลุ่มดินเนื้อละเอียด ประเภทดินเหนียว (Clay Texture) ซึ่งดินเหนียวจะมีการดูดซับและดึงดูดแคดเมียมได้ดีกว่าในดินร่วนและดินทราย เนื่องจากในดินเหนียวจะมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchacity Capacity: C.E.C) สูง ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุเมื่อเริ่มการทดลองเปรียบเทียบกับหลังการทดลอง พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น ในระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) แต่ปริมาณอินทรีย์วัตถุจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงในระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม สาเหตุอาจเนื่องมาจากในระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) สบูดำสายพันธุ์ระยองมีการเจริญเติบโตที่เป็นปกติ มีเศษของใบที่ร่วงหล่น และมีวัชพืชขึ้นในหน่วยทดลอง อาจส่งผลต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุภายหลังการทดลองที่เพิ่มขึ้นได้ ส่วนในระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมที่เพิ่มสูงขึ้นนั้นส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสบูดำที่ลดลง ทำให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลงตามไปด้วย อีกทั้งยังไม่มีวัชพืชขึ้นเลย ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงได้ และอาจเกิดจากการชะล้างของดินทั้งทางฝนและน้ำที่ใช้รดสบูดำ รวมทั้งทางลมและจุลินทรีย์ในดินตามธรรมชาติจะช่วยย่อย

สลายอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์ในดินต่ำจะส่งเสริมให้โลหะหนักสามารถแพร่กระจายได้มากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเรื่อง สมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสบู่ดำสายพันธุ์ระยองที่ปลูกในดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า สบู่ดำมีสมรรถภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตเฉพาะที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียม 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) เท่านั้น ส่วนที่ระดับการปนเปื้อนของแคดเมียมในดินที่ 100, 200 และ 300 พีพีเอ็ม สบู่ดำไม่สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตที่เป็นปกติได้ ส่วนปริมาณการสะสมของแคดเมียมจะพบว่าสบู่ดำมีการดูดซึมแคดเมียมอยู่ในส่วนของรากมากที่สุด ดังนั้น เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการนำไปใช้ ควรศึกษาเพิ่มเติมในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. ควรทำการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซึมแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดิน และศึกษาการเจริญเติบโตของสบู่ดำสายพันธุ์อื่น หรือพืชชนิดอื่น ๆ
2. ความศึกษาเพิ่มเติมโดยศึกษาปัจจัยที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซึมโลหะหนักของสบู่ดำ เช่น ชูดินอื่นในการวิจัย เพิ่มระยะเวลาในการวิจัย และปริมาณของแคดเมียมในดินที่ใช้ในการศึกษา
3. ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซึมแคดเมียมของสบู่ดำหรือพืชชนิดอื่นเพิ่มเติม เช่น สภาพะดินที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมหลาย ๆ ระดับการปนเปื้อนในระดับต่ำกว่า 100 พีพีเอ็ม เพื่อศึกษาศักยภาพในการดูดซึมแคดเมียมได้ในระดับที่สูงสุด ซึ่งสบู่ดำหรือพืชชนิดอื่นสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. 2541. แคดเมียม (Cadmium). กรุงเทพมหานคร: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2547. รายงานผลการตรวจสอบและประเมินการปนเปื้อนของสารแคดเมียม ในบริเวณลุ่มน้ำห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมธุรกิจพลังงาน. 2549. สถิติข้อมูลพลังงาน. ค้นวันที่ 28 กรกฎาคม 2549 จาก http://www.dmf.go.th/default_prev.asp.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2549. ความรู้ชุดดินไทย. ค้นวันที่ 16 สิงหาคม 2549 จาก http://www.mcc.cmu.ac.th/dinThai/taxonomy_detail.asp?SoilSeries=Kbi.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2549. ข้อมูลทั่วไปของสบู่ดำ. ค้นวันที่ 28 กรกฎาคม 2549 จาก <http://www.vcharkarn.com/include/vcafe/showkratoo.php?Pid=37382&page=2>.
- กรมวิชาการเกษตร. 2530. รายงานการปฏิบัติงานของโครงการพัฒนาน้ำมันสบู่ดำเป็นพลังงานทดแทน. ในรายงานการประชุมวิชาการ ปี 2530 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- จงจิตร แสงประจักษ์ และปวีณา นีวรรณสิติ. 2546. การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารตะกั่วในดินโดยใช้ไม้ประดับ. ปัญหาพิเศษ ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- จูรีพร สมพงษ์ และแจ่มจันทร์ บำรุงเกาะ. 2545. การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารตะกั่วในดินโดยใช้พืช. ปัญหาพิเศษ ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- เจนวิทย์ วงษ์सानูน. 2548. การปนเปื้อนของแคดเมียมในบริเวณลุ่มน้ำห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก. สารนิพนธ์สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะพัฒนาสังคม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

ชำนาญ ฉัตรแก้ว. 2534. การพัฒนาสายพันธุ์สบู่ดำ. ค้นวันที่ 4 ตุลาคม 2550

จาก <http://210.246.186.28/fieldcrops/phinut/var/001.HTM>.

ทีมงานเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร. 2548. ตัวอย่างเปรียบเทียบผลผลิตและรายได้ระหว่างปาล์ม
น้ำมันกับสบู่ดำ. ค้นวันที่ 4 สิงหาคม 2550

จาก <http://board.dserver.org/w/webdoae/00001973.html>.

รัชชัย ศุภกิจฐ์. 2546. การจัดการอนามัยสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: หลักสูตรการจัดการ
สิ่งแวดล้อม สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษา สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

รัชชัย ศุภกิจฐ์. 2548. สิ่งแวดล้อม นิเวศวิทยา และการจัดการ. พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพมหานคร: เพิ่มพูนการพิมพ์.

นันทกานต์ ขุนโหร. 2549. การดูดซับแคดเมียมในดินและการดูดกินโดยผักกาดขาวในชุดดินปากช่อง
และชุดดินทรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุปผา แซ่มประเสริฐ. 2527. ผลกระทบของแคดเมียมในแอคติเวตสลับที่มีต่อผัก และธัญอาหาร
พืชบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรชัย เหลืองอาภาพงศ์. 2548. สบู่ดำ พืชเพื่อชาติและเกษตรกรไทย. ค้นวันที่ 4 สิงหาคม 2550

จาก <http://www.kasetcity.com/Worldag/view.asp?id=292>.

พิชิต พงษ์สกุล, สุรทิน แก้วโรจน์, สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์ และจรงค์ จันทร์เจริญสุข. 2543.

การดูดซึมแคดเมียมในดินและปริมาณแคดเมียมที่ถูกดูดซับในดิน. เอกสารประกอบการ
ประชุมวิชาการกองปฐพีวิทยาประจำปี 2543. กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิศาลค์ วงศ์พานิช. 2548. การปนเปื้อนของแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อม: กรณีศึกษาลุ่มน้ำห้วยแม่ตา
ตำบลพระธาตุผาแดง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก. สารนิพนธ์สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม
คณะพัฒนาสังคม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

เพิ่ม สุรักษา และสนธยา มณฑาสวรรณ. 2549. พืชสบู่ดำ. ค้นวันที่ 28 กรกฎาคม 2549 จาก

http://www.mindustry.go.th/min/intro/province/Nongbualamphu/plan/biodesel_01.htm.

มนพ รุ่งสุข. 2538. การเจริญเติบโตของหญ้าแฝก *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash ที่รอดโดยน้ำทิ้ง
จากชุมชนจังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร. 2551.

ปฐพีวิทยาเบื้องต้น หน่วยที่ 15 การพังทลายของดิน. ค้นวันที่ 10 เมษายน 2551

จาก <http://203.158.184.2/elearning/SoilScience/unit1502.htm#head3>.

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ศูนย์พัฒนาทรัพยากรการศึกษา. 2551. **มนุษย์กับสิ่งแวดล้อม บทที่ 3**

ปัญหามลพิษทางดิน. ค้นวันที่ 10 เมษายน 2551

จาก <http://wbc.msu.ac.th/ge/0299101/tarapron/tarapron05-4.1.html>.

มหาวิทยาลัยมหิดล. สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้. 2551. **ปัญหามลพิษทางดิน.**

ค้นวันที่ 10 เมษายน 2551 จาก

http://www.il.mahidol.ac.th/course/ecology/chapter4/chapter4_soil9.htm.

วรกาย อุตสาห. 2542. **ปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักในพืชที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกผสมระหว่าง**

ตะกอนน้ำเสียและดินในท้องที่จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิมลรัตน์ สุกรินทร์, วิไลรัตน์ กุลพัชรานุรักษ์ และมณฑิรา โสมภีร์. 2532. **การเปรียบเทียบ**

เบื้องต้นของสบู่ดำ. รายงานผลงานวิจัยปี 2532: ขอนแก่น: ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น.

วิมลรัตน์ สุกรินทร์, วิไลรัตน์ กุลพัชรานุรักษ์, มณฑิรา โสมภีร์ และนาค โพธิ์แท่น. 2532.

การศึกษาระบบปลูกที่เหมาะสมร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตราต่าง ๆ กัน ที่มีผลต่อการ

เจริญเติบโตและผลผลิตสบู่ดำ. รายงานผลงานวิจัยปี 2532.

ขอนแก่น: ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น.

วิมลรัตน์ สุกรินทร์, มณฑิรา โสมภีร์, โกโค เฮช และนาค โพธิ์แท่น. 2533. **การปรับปรุงพันธุ์เพื่อ**

เพิ่มผลผลิตสบู่ดำโดยการฉายรังสีแกมมา. รายงานผลงานวิจัยปี 2533.

ขอนแก่น: ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น.

วิศัลย์ ธรรมประสิทธิ์. 2548. **สบู่ดำ พืชพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล.** รายงานวิชาเทคโนโลยี

สิ่งแวดล้อม หลักสูตรการจัดการสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษา

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

ศิริพร พลายมูล. 2527. **ผลกระทบของแกลบเมี่ยมในแอคติเวตคัลต์ที่มีต่อกิจกรรมของ**

แอมโมเนียไนโตรเจนและข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริลักษณ์ กล้าการขาย. 2548. การบำบัดแคดเมียมที่ปนเปื้อนในดินโดยใช้หญ้าแฝก. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. กรุงเทพมหานคร:
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2540. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2.
กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดชัยนาท. 2548. **สบู่ดำ**. ค้นวันที่ 4 สิงหาคม 2549
จาก <http://aopdm01.doae.go.th/data/physicnut21.htm>.

ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดพิษณุโลก. 2548. **น้ำมันสบู่ดำ พลังงานทดแทน
น้ำมันดีเซล**. ค้นวันที่ 4 สิงหาคม 2549
จาก <http://aopdm02.doae.go.th/black%20oil%201.htm>.

สมบัติ ชิมะวงศ์. 2548. **สบู่ดำ (Physic Nut) พืชพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพ**. ค้นเมื่อวันที่
9 สิงหาคม 2548 จาก <http://www.agric-prod.mju.ac.th/web-veg/article/new036.htm>

สมบูรณ์ มั่นความดี. 2550. การวิเคราะห์เนื้อดิน. กลุ่มงานดินด้านวิทยาศาสตร์ สำนักวิจัยและ
พัฒนา กรมชลประทาน. ค้นวันที่ 10 เมษายน 2550
จาก www.geocities.com/soilsciences/soiltest_method/texture_analysis.html.

สมพร แสงชัย. 2545. **สิ่งแวดล้อม อุดมการณ์ การเมือง และการพัฒนาที่ยั่งยืน**. กรุงเทพมหานคร:
โครงการบัณฑิตศึกษาการจัดการสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

สมศักดิ์ ศรีสมบูรณ์, ชาญวิทย์ ม่วงมิตร และสมยศ พิชิตพร. 2548. การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี
การผลิตสบู่ดำเพื่อใช้เป็นพืชทดแทนพลังงาน. เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่
กรมวิชาการเกษตร.

สมาคมคนน่ารัก. 2548. **สบู่ดำ ยาไล่ด้วง รั้วกินได้**. ค้นวันที่ 4 สิงหาคม 2549
จาก URL: http://www.khonnaruk.com/html/verandah/herb/h_248.html.

สมาคมเครื่องจักรกลไทย. 2549. **เครื่องหีบน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบไฮดรอลิค**. ค้นวันที่
29 สิงหาคม 2549 จาก http://www.geocities.com/saletree/info_jatropha_3.htm.

สมาคมนิสิตเก่ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2547. **การขยายพันธุ์สบู่ดำ**.
ค้นวันที่ 4 สิงหาคม 2549 จาก URL: [http://210.246.186.28/fieldcrops/phanut/
var/001.HTM](http://210.246.186.28/fieldcrops/phanut/var/001.HTM).

- สรัดนา เสนาะ. 2548. การดูดซึมธาตุอาหารหลักของ หล้าแฝก ทานตะวัน และข้าวที่ปลูกในดินปนเปื้อนสังกะสี แคลเซียม และตะกั่ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร. 2548. สบู่ดำ พืชพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล. ค้นวันที่ 4 สิงหาคม 2549 จาก URL: <http://www.dailynews.co.th>.
- สิทธิชัย ดันธนะสฤณี. 2528. พืชพลังงานสิ่งแวดล้อม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุกัญญา พัวพันธ์. 2548. สบู่ดำ พืชพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล. ค้นวันที่ 4 สิงหาคม 2550 จาก <http://61.19.145.7/student/web42106/504/504-0538/recruit.html>.
- สุนิสา แสงจันทร์. 2543. การศึกษารูปที่อาจเป็นพิษได้ของแคลเซียมและตะกั่วในดินในระบบบำบัดน้ำเสียแบบหล้ากรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุภาพร พงษ์ธรพฤษ. 2545. การสะสมตะกั่วและแคลเซียมในพืชผัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- สุรเชษฐ์ วงศ์เทาว์. 2548. ความเป็นพิษของแคลเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าพรรณไม้ท้องถิ่นบางชนิด. ปัญหาพิเศษปริญญาตรีสาขาชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุรพล ชามาตย์. 2549. เครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำโดยใช้แรงงานจากคน. ค้นวันที่ 19 สิงหาคม 2549 จาก URL: http://www.mindustry.go.th/min/intro/province/Nongbualamphu/plan/biodiesel_01.htm.
- อนันตชัย นุกูล. 2548. มหันตภัย แคลเซียม คนแม่สอด 6 พันชีวิตเป็นเหยื่อ. ค้นวันที่ 9 เมษายน 2550 จาก http://www.dcp.go.th/news_pr/article/jan47/article9.html.
- อจจิมา มีพริ้ง. 2546. การศึกษาความสามารถดูดซึมโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินของหล้าแฝกต่างกลุ่มพันธุ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหิดล.
- อำนวย อ่ำเมือง. 2528. อิทธิพลของตะกั่วในแอคติวิตีของดินที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียและซีโอไซด์และผลที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Benavides, M.P., Gallego, S.M., and Tomar, M.L. 2005. Cadmium Toxicity in Plant. New York: Cadmium Book.

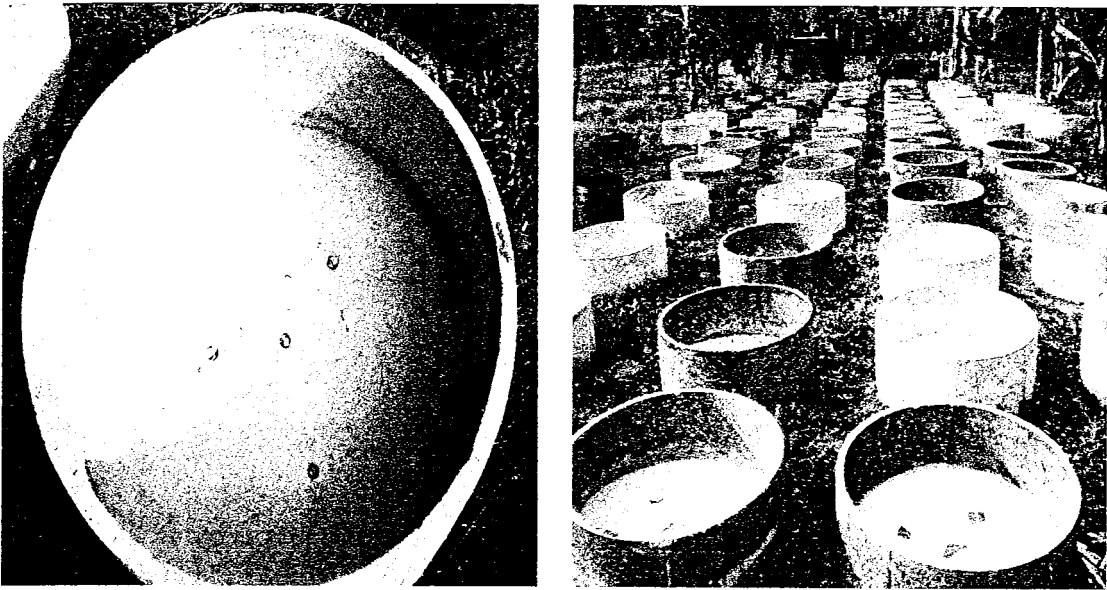
- Blaylock, M.J., and Huang, J.W. 1999. **Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment**. New York: John Wiley & Sons.
- Borges, A.C., and Wollum, A.G. 1981. Effect of Cadmium on Symbiotic Soybean Plants. **Journal of Environment**. 4 (April): 216.
- Elio, Coppola, Montrato, R.L., and Simon, J. 2000. **Phytoremediation of Cd-and Pb-Polluted Soil by Treatment with Organozeolite Conditioner**. Retrieved January 15, 2007 from <http://www.elsevier.com/locate/chemosphere>.
- Harrison, R.M. 1992. **Understand Our Environmental : An Introduction to Environmental Chemistry and Pollution**. Cambridge: The Royal Society of Chemistry Press.
- Huckabee, J.W., and Blaylock, B.G. 1973. **Transfer of Mercury and Cadmium from Terrestrial to Aquatic Ecosystem: Metal Ions in Biological Systems**. New York: Plenum Press.
- Mahler, R.J., Bingham, F.T., and Chang, A.C. 1981. Effect of Heavy Metal Pollution on Plants. **Journal of Science Environment**. 4 (April): 72.
- Marchiol, L., and Simon, R.L. 2004. **Phytoextraction of Neavy Metals by Canola (Brassicanapus) and Radish (Raphanus Sativus) Grown on Multicontaminated Soil**. Retrieved January 15, 2007 from <http://www.elsevier.com/locate/envpol>.
- Pendias, A.K., and Pendias, H. 1992. **Trace Elements in Soils and Plants**. Raton Baca: CRC Press.
- Pulford, I.D., and Watson, C. 2002. **Phytoremediation of Heavy Metal Contamination Land by Tree – a Review**. Retrieved January 15, 2007 from <http://www.elsevier.com/locate/envint>.
- Raskin, I. 2003. **Phytoremediation: Using Plants to Remove Pollutants from The Environment**. New Brunswick: Agbiotech Center Cook College Rutgers University.
- SAS Institute. 1996. **Statistical Analysis System**. North Calorina: SAS Intitute Inc.
- Shrama, S., Kual, S., Metwelly, S., Goyal, K.C., Finkemeier, I., and Dietz, K.J. 2004. Cadmium Toxicity to Barley (*Hordeum Vulgare*) as Effected by Varying Nutritional Status. **Journal of Plant Science**. 32 (November): 66.
- Taylor, D. 1983. The Significance of the Accumulation of Cadmium by Aquatic Organisms.

- Taylor, D. 1983. The Significance of the Accumulation of Cadmium by Aquatic Organisms. **Journal of Ecotox Environment**. 4 (April): 72.
- Vigue, G.T., Pepper, I.L., and Bezdicek, D.F. 1981. The Effect of Cadmium on Nodulation and N_2 (C_2H_2) – Fixation by Soybeans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Environment Quantity**. 3 (January): 82.
- World Health Organization. 1992. **Air Quality Guidelines**. Retrieved on January 15, 2007 from <http://www.euro.who.int/air/Activities>.
- Wren, C.D., MacCrimmon, H.R. and Loescher, B.R. 1983. Examination of Bioaccumulation and Biomagnification of Metal in a Precambrian Shield Lake. **Journal of Water, Air and Soil Pollution**. 16 (August): 277.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

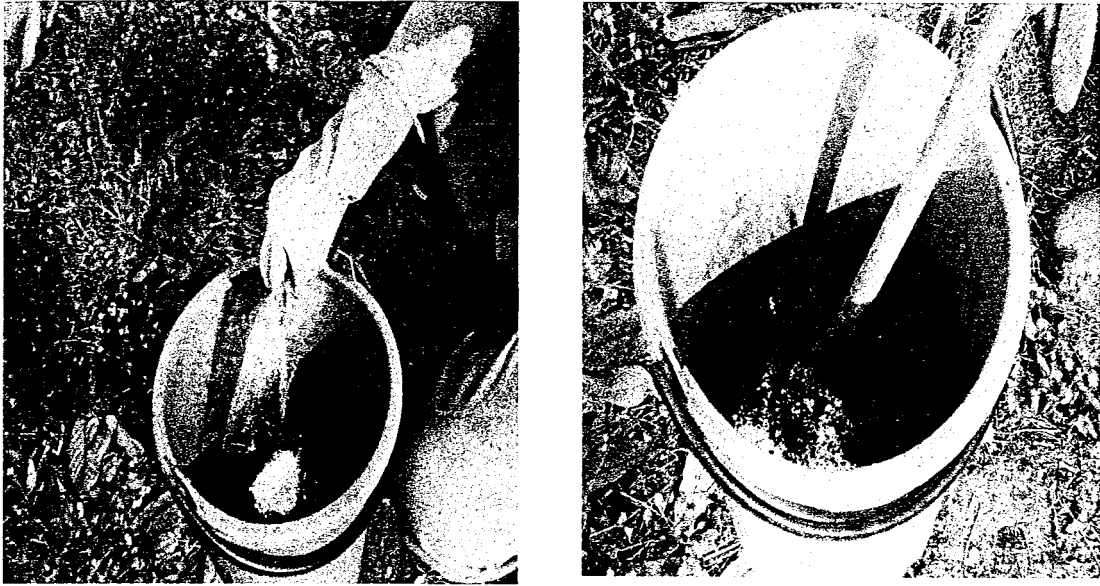
ภาพการเตรียมการทดลองและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



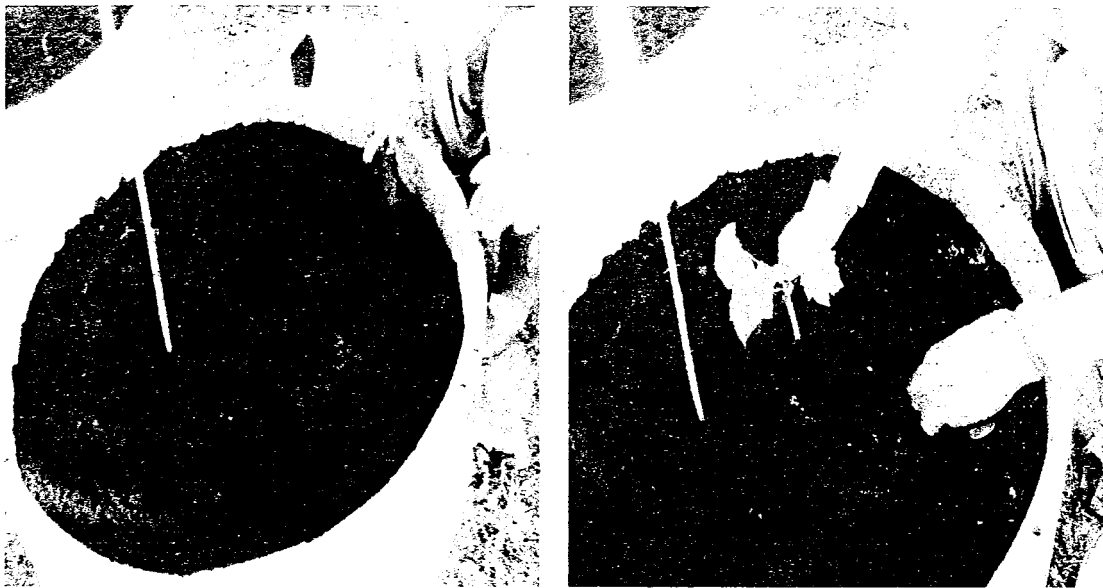
ภาพที่ ก. 1 กระถางที่ใช้ในการปลูกสับค้ำ โดยจัดวางกระถางภายในพื้นที่ปลูกจากการสุ่ม



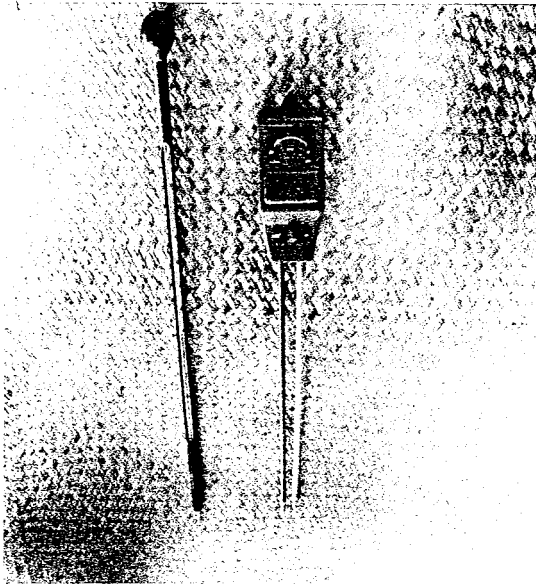
ภาพที่ ก. 2 เตรียมดินเพื่อใช้ปลูกสับค้ำ ประมาณ 150 กิโลกรัมต่อกระถาง



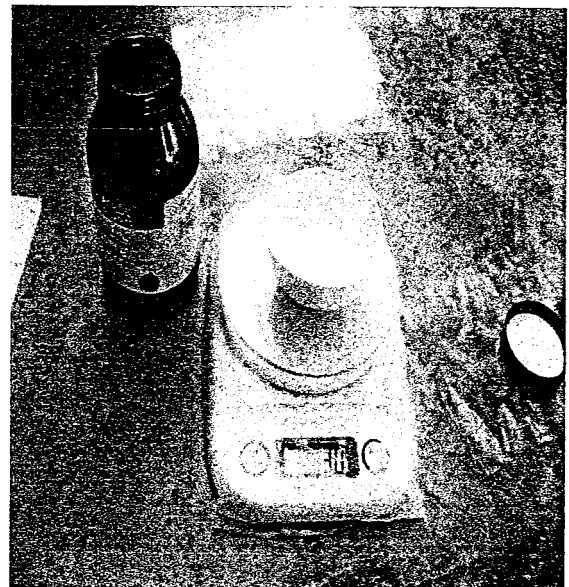
ภาพที่ ก.3 เตรียมแคดเมียมคลอไรด์-2.5-ไฮเดรท ($\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{-H}_2\text{O}$) ในแต่ละระดับการปนเปื้อน



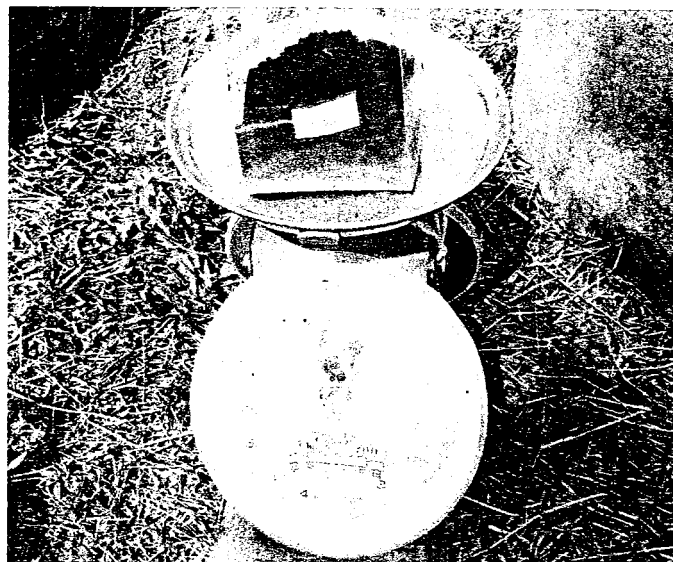
ภาพที่ ก.4 นำดินที่ผสมกับแคดเมียมคลอไรด์-2.5-ไฮเดรท ตามแต่ละระดับการปนเปื้อนใส่
กระถางปลูกจากนั้นทำการปลูกต้นสับปะรดสายพันธุ์ระยอง



ภาพที่ ก. 5 เทอร์มิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิในดิน
และเครื่องวัดค่าพีเอชและความชื้นในดิน



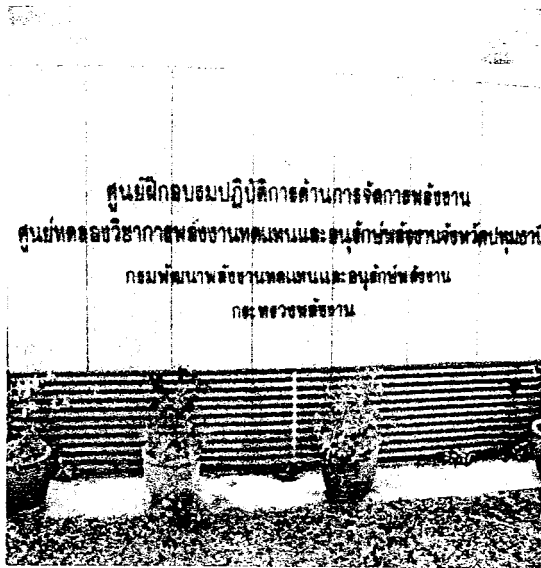
ภาพที่ ก. 6 เครื่องชั่งละเอียด



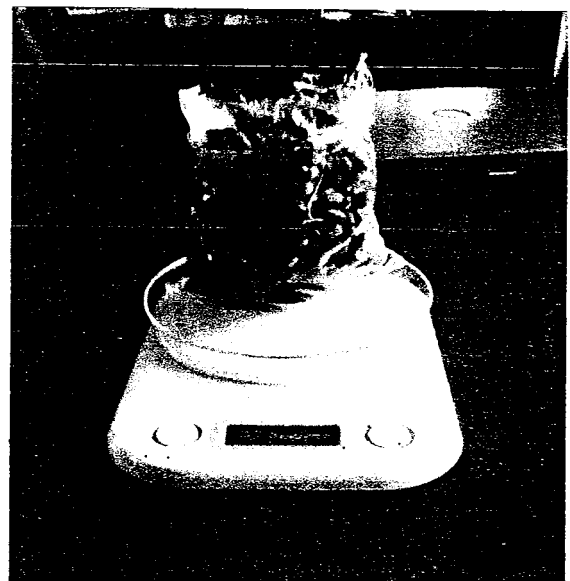
ภาพที่ ก. 7 เครื่องชั่งหยาบ

ภาคผนวก ข

การสกัดน้ำมันสบู่น้ำด้วยเครื่องบีบอัดน้ำมันแบบใช้แรงงานคน



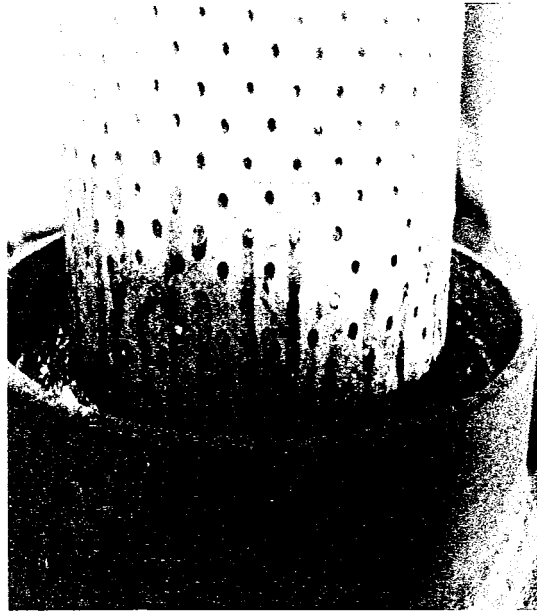
ภาพที่ ข. 1 สักัดน้ำมันที่ศูนย์ฝึกอบรมปฏิบัติการด้านการจัดการพลังงาน



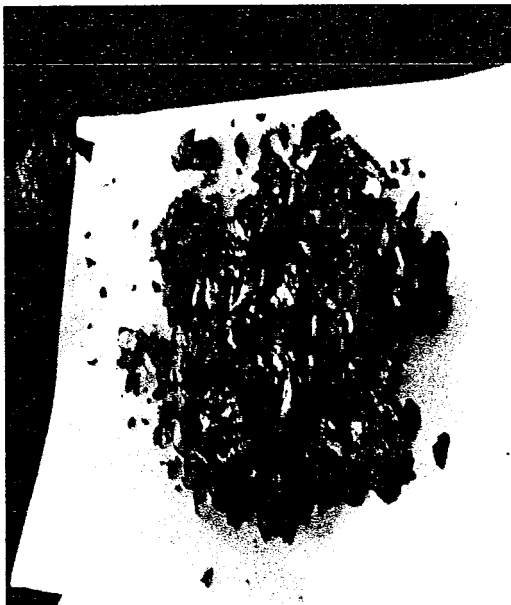
ภาพที่ ข. 2 แกะเปลือกสับดำ และนำเมล็ดของสับดำที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก



ภาพที่ ข.3 นำเมล็ดสบู่ดำไปนึ่ง แล้วใส่ในเครื่องบีบน้ำมันสบู่ดำแบบใช้แรงงานคน



ภาพที่ ข. 4 ทำการหมุนเกลียวเพื่อบีบน้ำมันสบู่ดำ



ภาพที่ ข. 5 กากสบู่ดำและน้ำมันสบู่ดำ

ภาคผนวก ค

แบบบันทึกข้อมูล

แบบบันทึกข้อมูลเมื่อเริ่มการทดลอง (อายุสัปดาห์ 3 เดือน)
ทำการเก็บข้อมูลสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงและรัศมีทรงพุ่มของสัปดาห์สุดท้ายของ

หน่วยทดลอง	ความสูง (ซม.)	รัศมีทรงพุ่ม (ซม.)
Q0r1	23	17
Q0r2	19	11.75
Q0r3	15	12.25
Q0r4	14	11.75
Q100r1	12	8.00
Q100r2	9	8.00
Q100r3	14	6.75
Q100r4	13	7.25
Q200r1	10	4.25
Q200r2	20	7.50
Q200r3	15	9.50
Q200r4	12	8.75
Q300r1	13	7.25
Q300r2	14	6.25
Q300r3	14	5.25
Q300r4	12	8.25

แบบบันทึกข้อมูลภายหลังจากการทดลอง 2 เดือน
 ทำการเก็บข้อมูลสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงและรัศมีทรงพุ่มของสปีด้ายพันธุ์ระยอง

หน่วยทดลอง	ความสูง (ซม.)	รัศมีทรงพุ่ม (ซม.)
Q0r1	132	30
Q0r2	66.5	28
Q0r3	59	29.25
Q0r4	89	30
Q100r1	13	8.75
Q100r2	10	7
Q100r3	16	8
Q100r4	15	8.75
Q200r1	16	10
Q200r2	20.5	7.75
Q200r3	15	9.75
Q200r4	14.5	8.75
Q300r1	15	8.5
Q300r2	14	5.25
Q300r3	14.5	8.25
Q300r4	14	5.75

แบบบันทึกข้อมูลภายหลังจากการทดลอง 4 เดือน
ทำการเก็บข้อมูลสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงและรัศมีทรงพุ่มของสับลำสายพันธุ์ระยอง

หน่วยทดลอง	ความสูง (ซม.)	รัศมีทรงพุ่ม (ซม.)
Q0r1	173	37.75
Q0r2	92	29.5
Q0r3	81	30
Q0r4	122	35.75
Q100r1	13	6.25
Q100r2	11	6.75
Q100r3	16	8.25
Q100r4	15	5.25
Q200r1	16	10.25
Q200r2	20.5	5
Q200r3	15	6
Q200r4	14.5	9.5
Q300r1	15	7.25
Q300r2	14	3.5
Q300r3	14.5	3.25
Q300r4	14	4.75

แบบบันทึกข้อมูลภายหลังจากการทดลอง 6 เดือน
 ทำการเก็บข้อมูลสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงและรัศมีทรงพุ่มของสับลำสายพันธุ์ระยอง

หน่วยทดลอง	ความสูง (ซม.)	รัศมีทรงพุ่ม (ซม.)
Q0r1	216	25.5
Q0r2	132	27.5
Q0r3	119	30
Q0r4	157	24.25
Q100r1	14.5	0
Q100r2	14	4.75
Q100r3	18	6.75
Q100r4	17	0
Q200r1	18	2.25
Q200r2	20.5	3.75
Q200r3	36	8
Q200r4	16	9
Q300r1	15	0
Q300r2	16	3
Q300r3	16	8.75
Q300r4	17	4.75

แบบบันทึกข้อมูลภายหลังจากการทดลอง 8 เดือน
 ทำการเก็บข้อมูลสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงและรัศมีทรงพุ่มของสับค้ำสายพันธุ์ระยอง

หน่วยทดลอง	ความสูง (ซม.)	รัศมีทรงพุ่ม (ซม.)
Q0r1	298	21.5
Q0r2	197	26
Q0r3	155	27.5
Q0r4	188	24.75
Q100r1	17	0
Q100r2	16	2.25
Q100r3	21	6.75
Q100r4	18	0
Q200r1	20	2.25
Q200r2	21	4.75
Q200r3	17	8
Q200r4	16	6.5
Q300r1	15	0
Q300r2	17	3
Q300r3	16	0
Q300r4	18	1.25

แบบบันทึกข้อมูลเมื่อเริ่มการทดลอง (อายุสัปดาห์ 3 เดือน)

ทำการเก็บข้อมูลสมรรถภาพการเจริญเติบโตจำนวนกึ่งและจำนวนใบของสัปดาห์สายพันธุ์ระยอง

หน่วยทดลอง	จำนวนกึ่ง	จำนวนใบ (ใบ)
Q0r1	-	10
Q0r2	-	15
Q0r3	-	18
Q0r4	-	21
Q100r1	-	19
Q100r2	-	20
Q100r3	-	21
Q100r4	-	23
Q200r1	-	23
Q200r2	-	19
Q200r3	-	21
Q200r4	-	24
Q300r1	-	21
Q300r2	-	18
Q300r3	-	22
Q300r4	-	21

แบบบันทึกข้อมูลที่ระยะเวลาการทดลอง 6 เดือน

ทำการเก็บข้อมูลสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านความสูงและรัศมีทรงพุ่มของสับค้าสายพันธุ์ระยอง

หน่วยทดลอง	จำนวนกิ่ง	จำนวนใบ (ใบ)
Q0r1	-	52
Q0r2	-	41
Q0r3	-	33
Q0r4	-	45
Q100r1	-	1
Q100r2	-	2
Q100r3	-	3
Q100r4	-	-
Q200r1	-	1
Q200r2	-	2
Q200r3	-	4
Q200r4	-	3
Q300r1	-	-
Q300r2	-	2
Q300r3	-	3
Q300r4	-	3

แบบบันทึกข้อมูลเมื่อสุ่มดําให้ผลผลิตครั้งแรก

ทำการเก็บข้อมูลด้านระยะการติดดอก ระยะการติดผล จำนวนผลต่อต้น น้ำหนักผลสดและผลแห้ง
ทั้งหมดต่อต้น น้ำหนักสดและแห้งต่อผล และจำนวนเมล็ดต่อผล

หน่วยทดลองที่ Q0

Q0r1

ออกดอก : 8/9/50 จำนวน 2 ซ่อ

การติดผล : 25/9/50

จำนวนผล	น้ำหนักผลสดต่อผล (กรัม)	น้ำหนักผลแห้งต่อผล (กรัม)	จำนวนเมล็ดต่อผล
1	17	4	3
2	15	3	3
3	15	3	3
4	16	4	3
5	16	4	3
6	15	3	3
7	15	3	3
8	17	4	3
9	15	3	3
10	16	4	3
11	16	4	3
12	16	4	3
13	15	3	3
14	15	3	3
15	15	3	3
16	15	3	3
17	15	3	3
18	15	3	3
19	15	3	3
20	16	4	3
21	15	3	3
22	15	3	3

จำนวนผล	น้ำหนักผลสดต่อผล (กรัม)	น้ำหนักผลแห้งต่อผล (กรัม)	จำนวนเมล็ดต่อผล
23	15	3	3
24	15	3	3
25	15	3	3
26	16	4	3
27	15	3	3
รวมจำนวนผล ต่อต้น	รวมน้ำหนักผลสดต่อต้น (กรัม)	รวมน้ำหนักผลแห้ง ต่อต้น (กรัม)	รวมจำนวนเมล็ดต่อต้น
27	416	90	81

Q0r2

ออกดอก : 5/9/50 จำนวน 2 ช่อ

การติดผล : 18/9/50

จำนวนผล	น้ำหนักผลสด (กรัม)	น้ำหนักผลแห้ง (กรัม)	จำนวนเมล็ดต่อผล
1	15	3	3
2	16	4	3
3	15	3	3
4	15	3	3
5	16	4	3
6	16	4	3
7	15	3	3
8	15	3	3
9	16	4	3
10	15	3	3
11	15	3	3
12	16	4	3
13	16	4	3
รวมจำนวนผล ต่อต้น	รวมน้ำหนักผลสดต่อต้น (กรัม)	รวมน้ำหนักผลแห้ง ต่อต้น (กรัม)	รวมจำนวนเมล็ดต่อต้น
17	201	45	39

ภาคผนวก ง

วิธีการวิเคราะห์ดินและพืช

1. วิเคราะห์ปริมาณการตกค้างของแคดเมียม

การวิเคราะห์หาแคดเมียมในดิน ทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Diethylene Triamine Penta Acetic Acid (DTPA) เป็นตัวสกัด ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

1. สารเคมี/อุปกรณ์

1.1 น้ำกลั่น ID จำนวน 1 ลิตร

1.2 DTPA จำนวน 1.967 กรัม (0.005 โมล)

1.3 Triethanolamine (TEA) จำนวน 14.92 กรัม (0.1 โมล)

1.4 $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ จำนวน 1.47 กรัม (0.01 โมล)

1.5 เตรียมสาร 1 : 1 N HCL จำนวนเล็กน้อยเพื่อปรับพีเอช

1.6 Volumetric Flask 1,000 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ

1.7 ตัวอย่างดินที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงร่อนดิน ขนาด 2 มิลลิกรัม จำนวน 5 กรัม
ต่อครั้ง กรณีดินที่ยังไม่ได้ดูดซับแคดเมียม ส่วนดินที่ผ่านการดูดซับแคดเมียมแล้วใช้ 0.5 กรัม

1.8 Flask ขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ/ตัวอย่าง

1.9 พาราฟิล์ม สำหรับปิดปาก Flask

1.10 กระดาษกรองเบอร์ 42 จำนวน 1 แผ่น/ตัวอย่าง

1.11 ปีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ/ตัวอย่าง

2. วิธีการ

2.1 เตรียมสารละลาย DTPA โดยนำสารเคมีในข้อ 1.2, 1.3 และ 1.4 ลงใน 1.6 ละลายด้วยน้ำกลั่น 1.1 จำนวน 20 มิลลิลิตร เมื่อสารละลายหมดแล้ว ปรับปริมาตรให้เป็น 900 ลิตร ปรับ pH ด้วยสาร 1.5 ให้ได้ $\text{pH } 7.30 \pm 0.05$ แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิลิตร

2.2 เตรียมตัวอย่างดิน โดยนำดินตัวอย่างที่จะทำการตรวจวิเคราะห์หาแคดเมียมข้อ 1.7 ซึ่งตากแห้ง ที่อุณหภูมิห้อง ใส่ใน 1.8 และนำน้ำยา DTPA จำนวน 25 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดด้วย 1.9 นำเข้าเครื่องเขย่า ด้วยความเร็ว 120 รอบ/นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำสารละลายไปกรองด้วย 1.10 ใส่ใน 1.11 นำสารละลายที่กรองได้ใส่ใน 1.12 ปรับ pH ด้วย 1.5 ให้น้อยกว่า 2 นำเก็บใส่ตู้เย็น ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3. วิเคราะห์และประมวลผล โดยการนำเข้าเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เพื่ออ่านผล

4. การคำนวณ

$$\text{ppm of Nutrients} = \frac{\text{ppm from Curve} \times \text{Extracted Volum} \times \text{Dill. Factor}}{\text{wt. of Soil}}$$

2. การวิเคราะห์เนื้อดิน (Soil Texture) โดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

2.1.1 Sedimentation Cylinder

2.1.2 Dispersing Apparatus

2.1.3 Hydrometer

2.1.4 Thermometer

2.1.5 Plunger

2.1.6 Beaker 125 ml.

2.1.7 Wash Bottle

2.1.8 นาฬิกาจับเวลา

2.2 สารเคมี

2.2.1 สารละลาย Calgon ร้อยละ 5 เตรียมโดยชั่ง Sodium Hexametaphosphate 100 กรัม และ Sodium Carbonate 16.6 กรัม แล้วละลายในน้ำกลั่น 2 ลิตร

2.2.2 Amyl Alcohol

2.3 วิธีการ

ชั่งดิน (ขนาด 2 มม.) หนัก 50 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 125 ซีซี แล้วเติมสารละลาย calgon ร้อยละ 5 เท่ากับ 100 มิลลิกรัม แช่ทิ้งค้างคืน ถ่ายสารละลายดินลงใน Dispersion cup ใช้ขวดฉีดน้ำล้างดินที่ติดใน Beaker ให้หมดแล้วปั่น 5 นาที ถ่ายสารละลายดินที่ปั่นแล้วลงใน Sedimentation Cylinder ล้างดินที่อยู่ใน Cup ให้หมดด้วยขวดฉีดน้ำ เติมน้ำกลั่นลงไปจนถึงขีดล่างของ Cylinder (1,130 ซีซี) โดยขณะนั้นมี Hydrometer ลอยอยู่ด้วย เอา Hydrometer ออกแล้วใช้ Plunger กวนให้ได้สารแขวนลอยดินที่สมบูรณ์อีกครั้งหนึ่ง ใช้เวลากรวกราว ๆ 1 นาที (ในขณะนี้ถ้ามีฟองเกิดขึ้นมากให้กำจัดฟองโดยหยด Amyl Alcohol ลงไป 2 – 3 หยด จนหมดฟอง) จากนั้นค่อย ๆ หย่อน Hydrometer เมื่อครบ 40 วินาที สมมติให้อ่านได้เท่ากับ Rt 40s หน่วยเป็นกรัม/ลิตร ในขณะนั้นให้วัดค่าอุณหภูมิของสารละลายดินนั้นด้วย สมมติให้อ่านได้ T 40s °C ทำ Blank คือ ส่วนของสารละลาย Calgon ร้อยละ 5 ดำเนินวิธีการคล้ายข้างต้นทั้งหมด (แต่ไม่มีตัวอย่างดินอยู่) ดังนั้น จะได้ค่าที่อ่านได้จาก Hydrometer อีก 1 ค่า สมมติให้อ่านได้เท่ากับ Cr 40s กรัม/ลิตร อ่านอุณหภูมิได้ r 40s °C วัดค่าสารละลายดินอีกครั้งหนึ่ง เมื่อจับเวลาครบ 2 ชม. ค่า Hydrometer วัดได้ในครั้งนี้ สมมติให้อ่านได้เท่ากับ Rt 2h กรัม/ลิตร วัดอุณหภูมิได้เท่ากับ T 2h °Cให้อ่านค่าได้ Cr 2h กรัม/ลิตร อุณหภูมิอ่านได้ r 2h °C นำค่าต่างๆ ที่วัดได้ไปคำนวณหา กลุ่มอนุภาค

2.4 การคำนวณ

ให้ $R_s 40s$ = กลุ่มอนุภาคซิลท์ + กลุ่มอนุภาคดินเหนียว กรัม/ลิตร

$$\text{จะได้ } R_s 40s = [R_t 40s + 0.36 (t 40s - 20)] - [Cr 40s + 0.5 (r 40s - 20)] \text{ ----- (1)}$$

ให้ $R_s 2h$ = กลุ่มอนุภาคดินเหนียว กรัม/ลิตร

$$\text{จะได้ } R_s 2h = [R_t 2h + 0.36 (t 2h - 20)] - [Cr 2h + 0.5 (r 2h - 20)] \text{ ----- (1)}$$

$$\text{กลุ่มอนุภาคซิลท์} = (1) - (2) \text{ ----- (3) (กรัม/ลิตร)}$$

$$\text{กลุ่มอนุภาคทราย} = 50 - (1) \text{ ----- (4) (กรัม/ลิตร)}$$

เนื่องจากสารละลายดิน 100 ml. ได้จากดิน 50 กรัม

ดังนั้น ร้อยละดินเหนียว = $2 \times (2)$

ร้อยละดินซิลท์ = $2 \times (3)$

ร้อยละดินทราย = $2 \times (4)$

อ่านชื่อ Texture ของดินจากไดอะแกรมสามเหลี่ยม

หมายเหตุ การหา Texture ของดินโดยวิธีนี้ไม่ได้กำจัดอินทรีย์วัตถุ โดยถือว่าตัวอย่างดินมีอินทรีย์วัตถุน้อยมาก

3. การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ตามวิธีของ Walkley and Black Method

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.1 Balance Analytical

3.1.2 5 ml. Volumetric Pipet

3.1.3 250 ml. Erlenmeyer Flask

3.1.4 30 ml. Buret

3.1.5 10 ml. Cylinder

3.1.6 20 ml. Cylinder

3.1.7 Titration Base, with Bright Light Source

3.2 สารเคมีและน้ำยา

3.2.1 Dichromate Solution ($K_2Cr_2O_7$) 1.0 N : ละลาย $K_2Cr_2O_7$ (อบที่ 105° นาน 2 ชั่วโมง) 49.04 กรัม ในน้ำกลั่นให้มีปริมาตรทั้งหมด 1 ลิตร

3.2.2 Concentrated Sulphuric Acid (H_2SO_4)

3.2.3 Ferrous Sulfate (FeSO_4) 0.5 N : ใช้ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 98.05 กรัม ละลายในน้ำกลั่น เติม H_2SO_4 เข้มข้น 7.5 ซีซี ทำให้เย็นปรับปริมาตรให้เป็น 500 ซีซี

3.2.4 O – Phenanthroline Ferrous Sulfate Indicator (0.025 M) : เตรียมโดยละลาย O – Phenanthroline 1.48 กรัม และ Ferrous Sulfate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 0.70 กรัม ในน้ำกลั่น จนมี ปริมาตร 100 ซีซี

3.3 วิธีการ

ชั่งตัวอย่างดินซึ่งบดไว้แล้วอย่างละเอียด (ผ่านตะแกรง 0.5 มม.) 0.5 – 2 กรัม ทั้งนี้แล้ว แต่ ดินตัวอย่างจะมีอินทรียวัตถุมากหรือน้อย การชั่งดินตัวอย่างใช้ Analytical Balance ใส่ตัวอย่างที่ชั่ง แล้วอย่างละเอียดนี้ลงใน Erlenmeyer Flask ขนาด 125 ซีซี เติมน้ำยา Dichromate 1 N ลงไป 5 ซีซี โดยใช้ Pipet ต่อจากนั้นให้เติมกรดซัลฟิวริกอย่างเข้มข้นลงไป 10 ซีซี โดยเร็ว แกว่ง Flask ไป รอบๆ เบาๆ เพื่อให้ น้ำยากับดินเข้ากันประมาณ 1 – 2 นาที แล้วทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 นาที

เติมน้ำกลั่นลงไป 20 ซีซี รอจนเย็นและหยด Indicator ลงไป 8 หยด ไตเตรต Soil Suspension ด้วยน้ำยา Ferrous Sulfate จนกระทั่งสีของ Suspension เปลี่ยนจากเขียวเป็นน้ำตาลปน แดง End Point คือจุดที่ Indicator เริ่มเปลี่ยนจากเขียวเป็นน้ำตาลปนแดง

จดปริมาณของน้ำยา Dichromate และ Ferrous Sulfate ที่ใช้

ทำ Blank และจดปริมาณของ Dichromate และ Ferrous Sulfate ไว้คำนวณ Normality ที่ แท้จริงของ Ferrous Sulfate แล้วจึงคำนวณหาปริมาณของ Dichromate ที่ถูก Reduced โดยดิน ตัวอย่างในกรณีพบว่า Dichromate ที่ถูก Reduced โดยดินตัวอย่างเป็นปริมาณมากกว่า 4 ซีซี ขึ้น ไป (หมายถึงปริมาณ FeSO_4 ที่จะใช้น้อยกว่า 2 ซีซี) ควรจะทำการวิเคราะห์ใหม่โดยลดปริมาณดิน ตัวอย่างให้น้อยลง

3.4 การคำนวณ

$$\text{ร้อยละ Organic Carbon} = \frac{(\text{me } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{me } \text{FeSO}_4) \cdot 0.003 \times 100 \times 1.33}{\text{น้ำหนักดิน (กรัม)}}$$

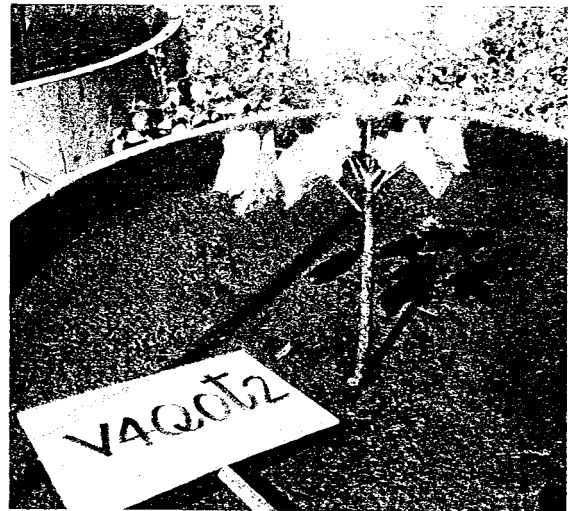
$$\text{ร้อยละ อินทรียวัตถุ} = \text{ร้อยละ Organic Carbon} \times 1.7$$

ภาคผนวก จ

ภาพการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสบู่ดำสายพันธุ์ระยอง



ภาพที่ จ. 1 Q0r1 เมื่อเริ่มการทดลอง



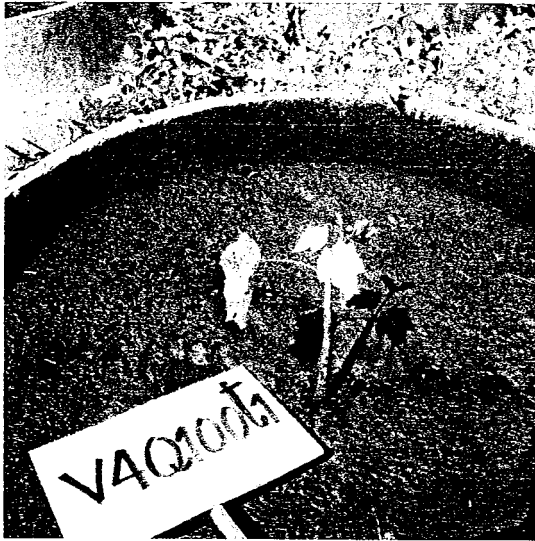
ภาพที่ จ. 2 Q0r2 เมื่อเริ่มการทดลอง



ภาพที่ จ. 3 Q0r3 เมื่อเริ่มการทดลอง



ภาพที่ จ. 4 Q0r4 เมื่อเริ่มการทดลอง



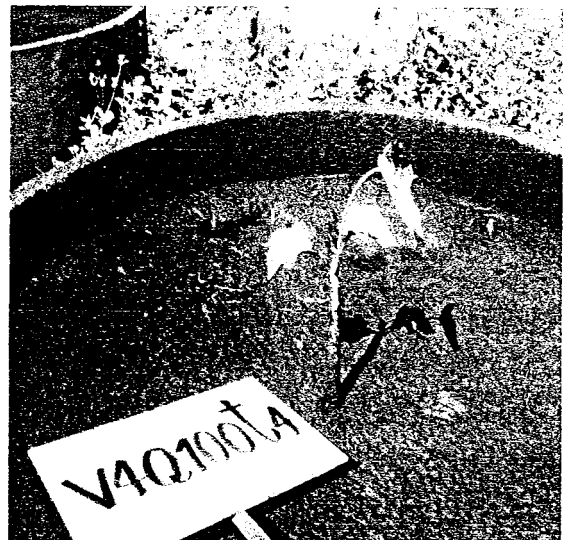
ภาพที่ จ. 5 Q100r1 เมื่อเริ่มการทดลอง



ภาพที่ จ. 6 Q100r2 เมื่อเริ่มการทดลอง



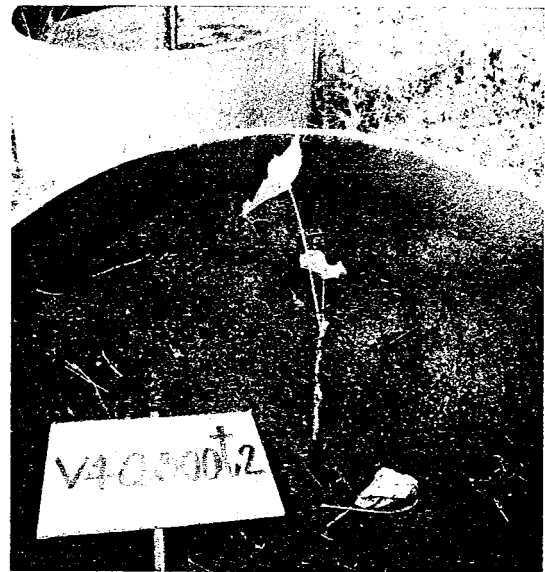
ภาพที่ จ. 7 Q100r3 เมื่อเริ่มการทดลอง



ภาพที่ จ. 8 Q100r4 เมื่อเริ่มการทดลอง



ภาพที่ จ. 13 Q300r1 เมื่อเริ่มการทดลอง



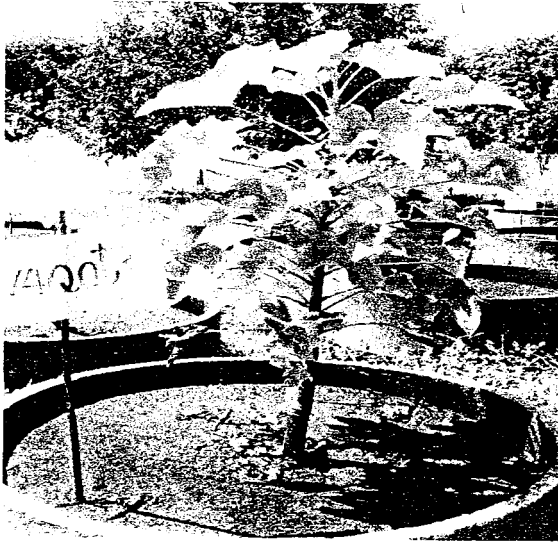
ภาพที่ จ. 14 Q300r2 เมื่อเริ่มการทดลอง



ภาพที่ จ. 15 Q300r3 เมื่อเริ่มการทดลอง



ภาพที่ จ. 16 Q300r4 เมื่อเริ่มการทดลอง



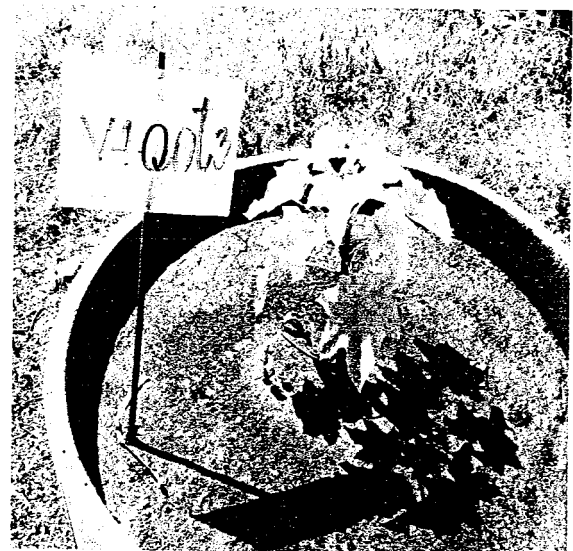
ภาพที่ จ. 17 Q0r1 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



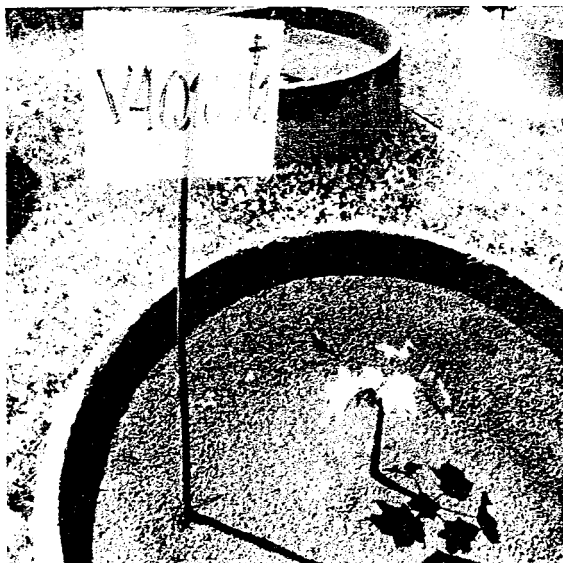
ภาพที่ จ. 18 Q0r2 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



ภาพที่ จ. 19 Q0r3 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



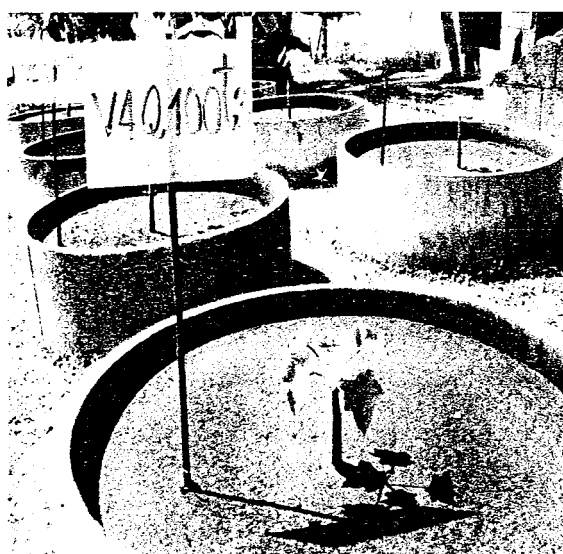
ภาพที่ จ. 20 Q0r4 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



ภาพที่ จ. 21 Q100r1 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



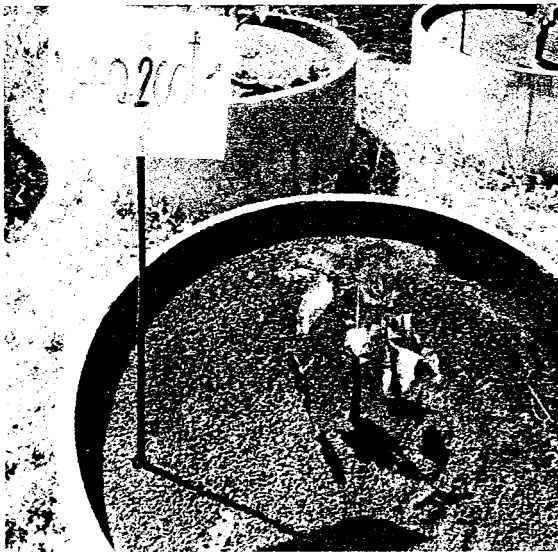
ภาพที่ จ. 22 Q100r2 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



ภาพที่ จ. 23 Q100r3 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



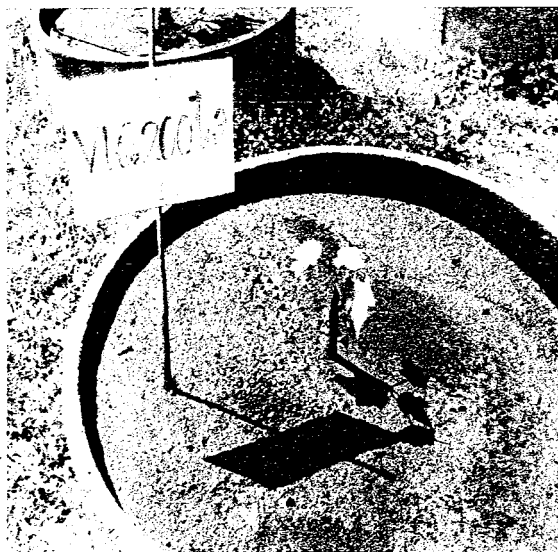
ภาพที่ จ. 24 Q100r2 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



ภาพที่ จ. 25 Q200r1 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



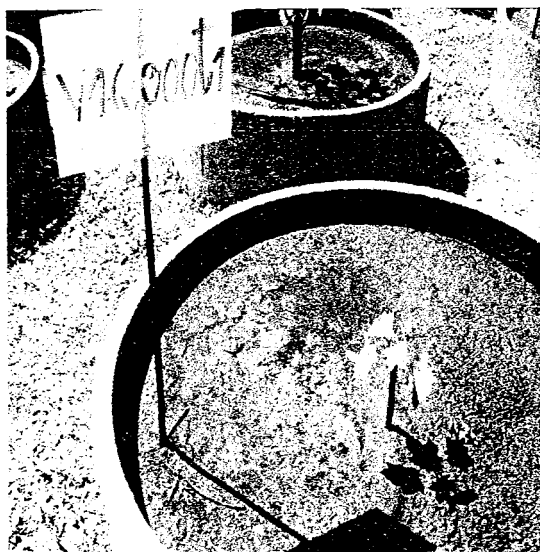
ภาพที่ จ. 26 Q200r2 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



ภาพที่ จ. 27 Q200r3 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



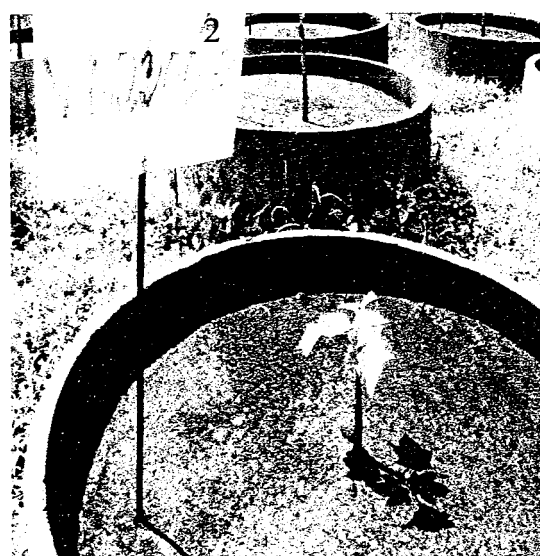
ภาพที่ จ. 28 Q200r4 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



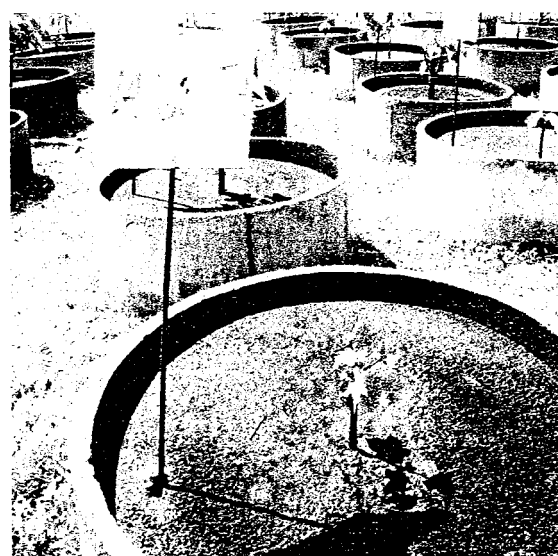
ภาพที่ จ. 29 Q300r1 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



ภาพที่ จ. 30 Q300r2 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



ภาพที่ จ. 31 Q300r3 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



ภาพที่ จ. 32 Q300r4 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
2 เดือน



ภาพที่ จ.33 Q0r1 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



ภาพที่ จ.34 Q0r2 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



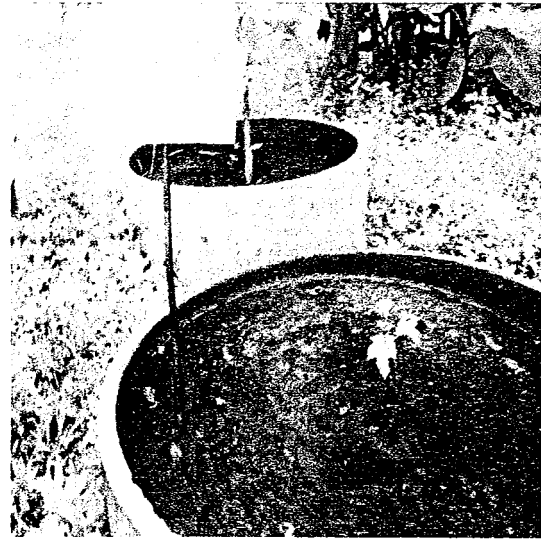
ภาพที่ จ.35 Q0r3 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



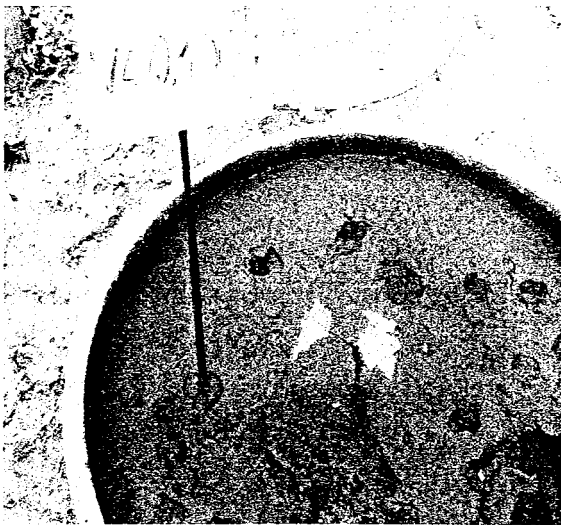
ภาพที่ จ.36 Q0r4 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



ภาพที่ จ.37 Q100r1 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



ภาพที่ จ.38 Q100r2 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



ภาพที่ จ.39 Q100r3 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



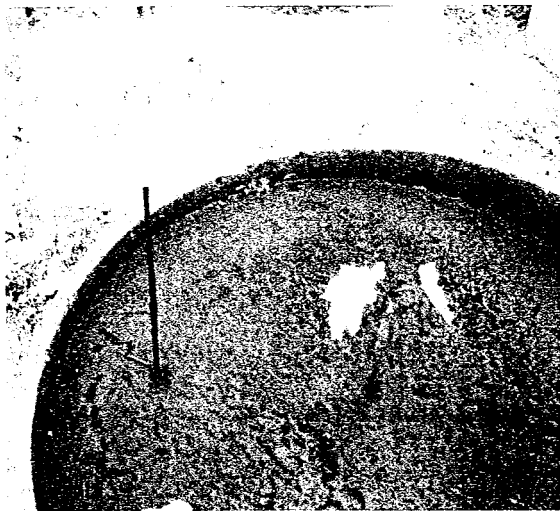
ภาพที่ จ.40 Q100r4 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



ภาพที่ จ. 41 Q200r1 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



ภาพที่ จ. 42 Q200r2 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



ภาพที่ จ. 43 Q200r3 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



ภาพที่ จ. 44 Q200r4 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



ภาพที่ จ. 45 Q300r1 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



ภาพที่ จ. 46 Q300r2 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



ภาพที่ จ. 47 Q300r3 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



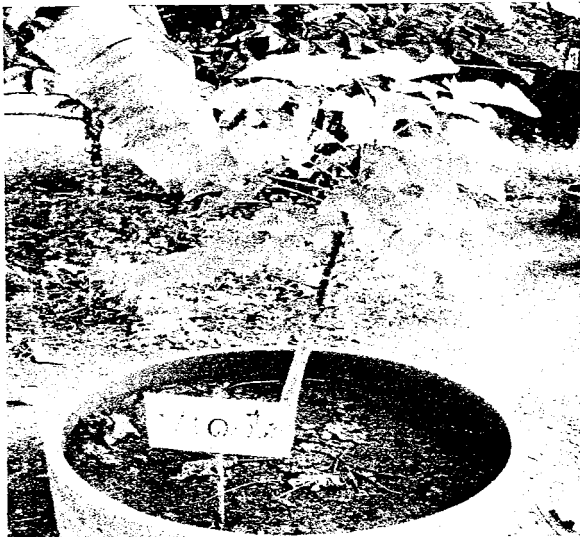
ภาพที่ จ. 48 Q300r4 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
4 เดือน



ภาพที่ จ. 49 Q0r1 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



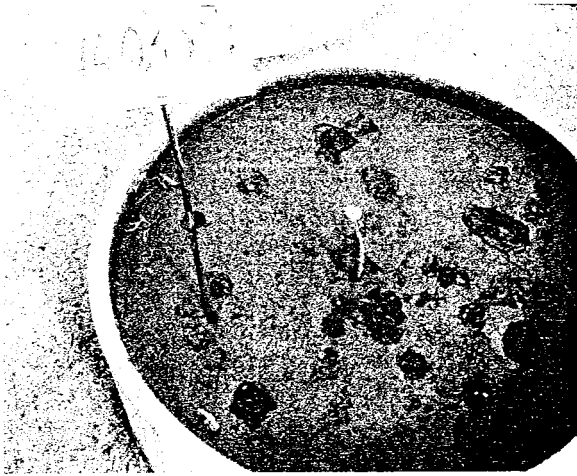
ภาพที่ จ. 50 Q0r2 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



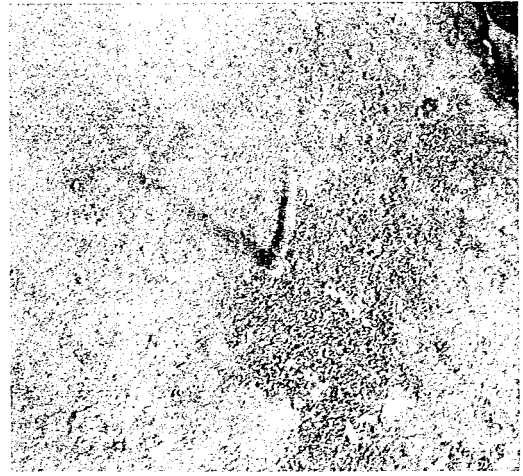
ภาพที่ จ. 51 Q0r3 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



ภาพที่ จ. 52 Q0r4 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



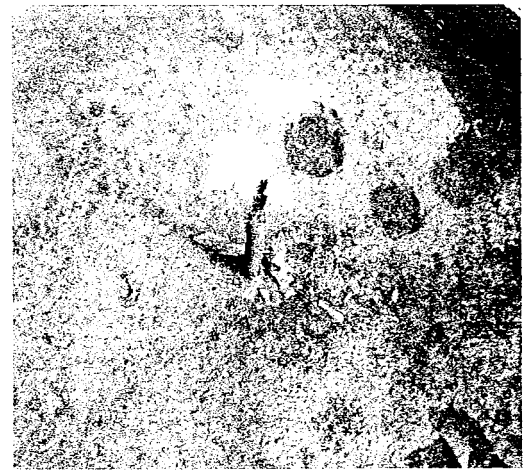
ภาพที่ จ. 53 Q100r1 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



ภาพที่ จ. 54 Q100r2 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



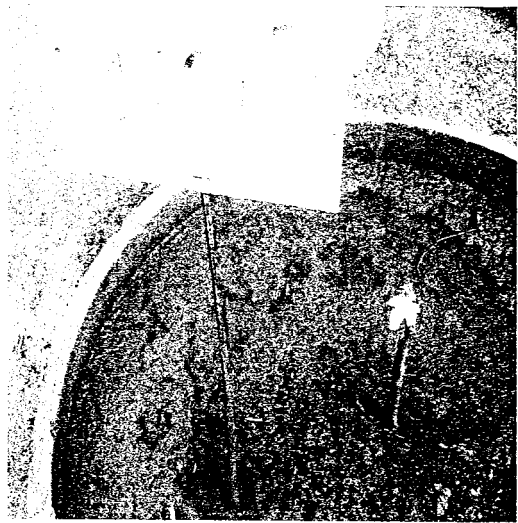
ภาพที่ จ. 55 Q100r3 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



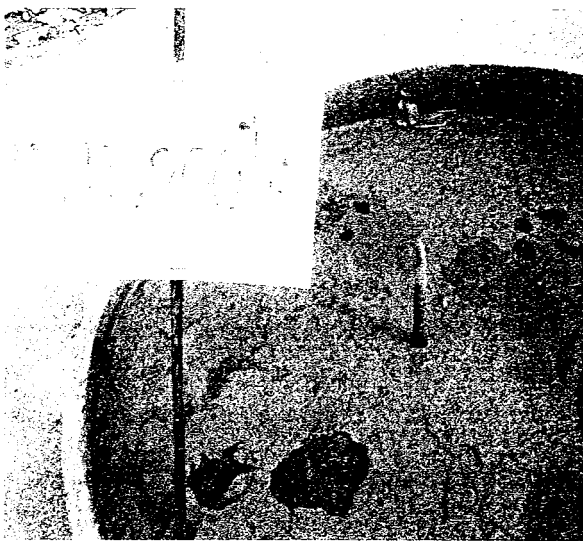
ภาพที่ จ. 56 Q100r4 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



ภาพที่ จ.57 Q200r1 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



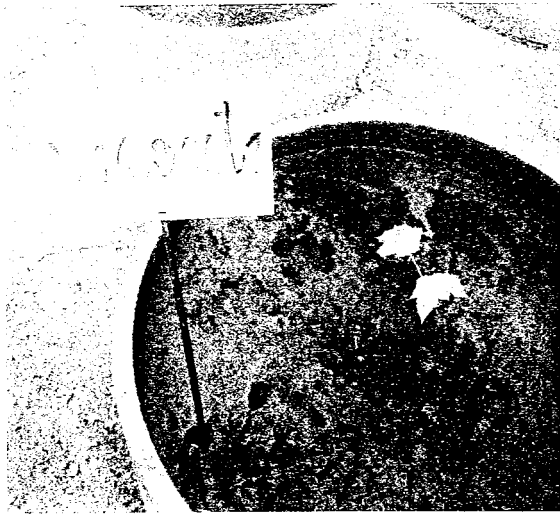
ภาพที่ จ.58 Q200r2 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



ภาพที่ จ.59 Q200r3 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



ภาพที่ จ.60 Q200r4 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



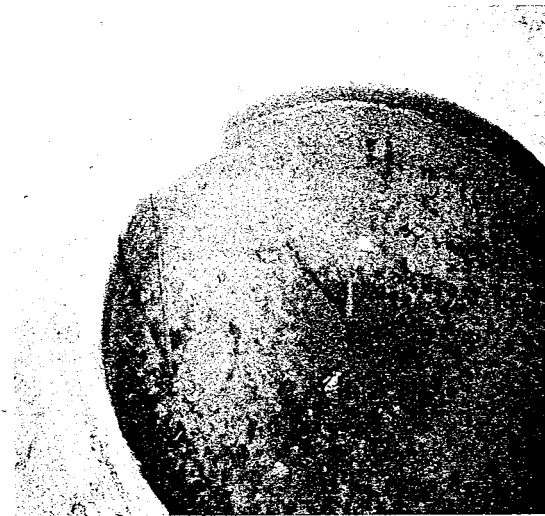
ภาพที่ จ. 61 Q300r1 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



ภาพที่ จ. 62 Q300r2 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



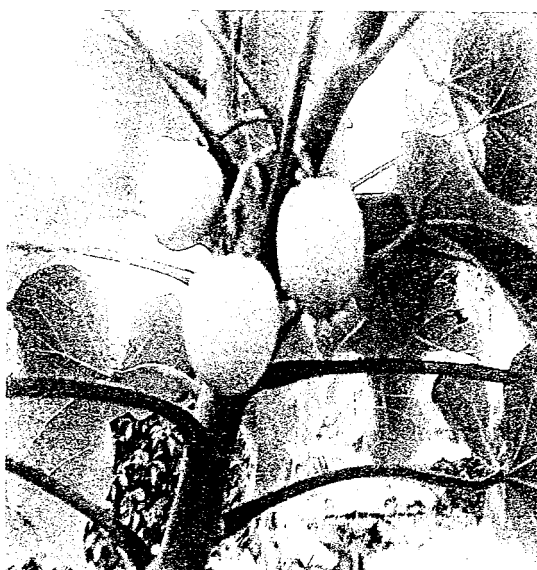
ภาพที่ จ. 63 Q300r3 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



ภาพที่ จ. 64 Q300r4 เมื่อภายหลังจากการทดลอง
6 เดือน



ภาพที่ จ. 65 ดอกของสบู่ดำสายพันธุ์ระยอง



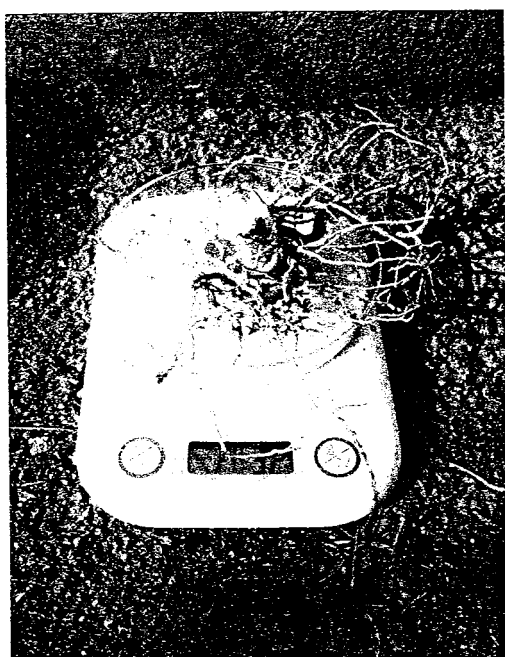
ภาพที่ จ. 66 ผลของสบู่ดำสายพันธุ์ระยอง

ภาคผนวก จ

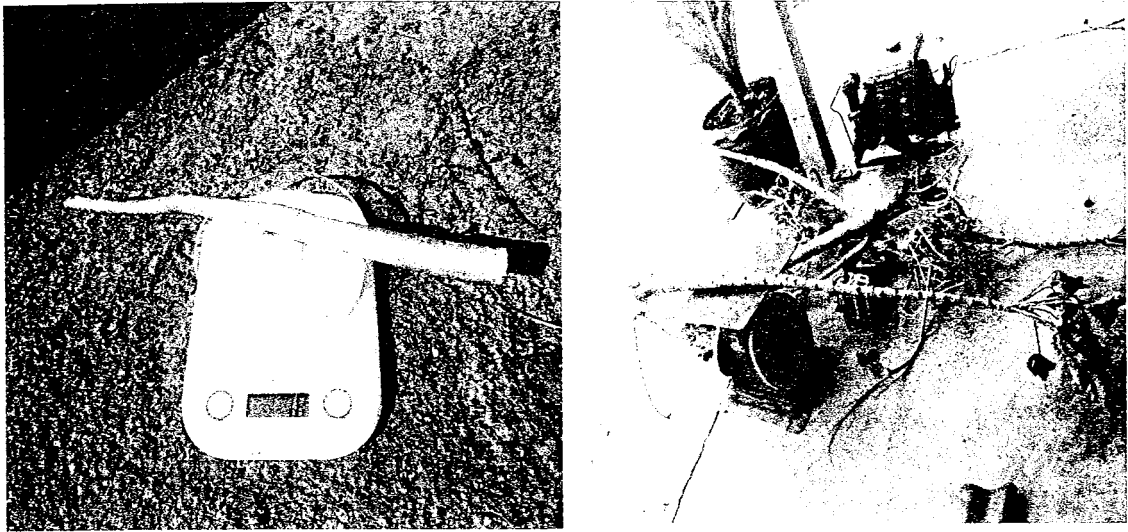
การเก็บตัวอย่างพืช



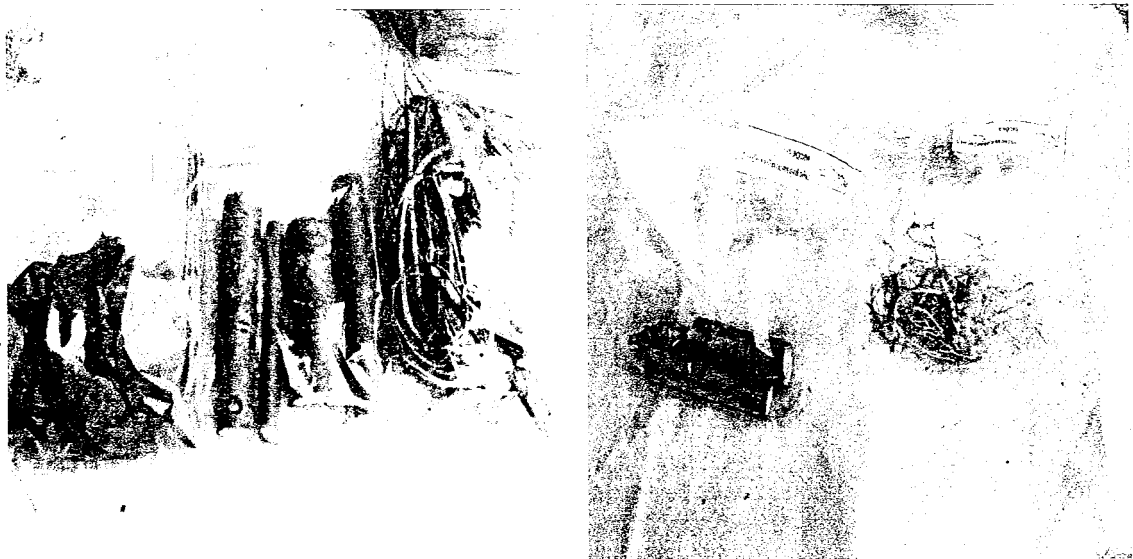
ภาพที่ จ. 1 การถอนต้นสบู่ดำ



ภาพที่ จ. 2 เปรียบเทียบขนาดของรากระหว่างหน่วยทดลอง Q300 กับ หน่วยทดลอง Q0



ภาพที่ ๓.3 เปรียบเทียบขนาดของลำต้นระหว่างหน่วยทดลอง Q300 กับ หน่วยทดลอง Q0



ภาพที่ ๓.4 เก็บตัวอย่างของพืชไปวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมตกค้างในส่วนประกอบพืชต่อไป

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล

เพชรไพลิน สุวรรณโชติ

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิม
พระเกียรติ คณะบริหารธุรกิจ
สาขาการจัดการทั่วไป
ปีการศึกษา 2548

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

พ.ศ. 2551 – ปัจจุบัน
นักวิชาการสิ่งแวดล้อม
ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

ประสบการณ์ ผลงานทางวิชาการ รางวัล หรือ
ทุนการศึกษา

รางวัลเรียนดี ปี พ.ศ. 2547