



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลกระทบของดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาต่อการสะสมธาตุอาหารพืชของ
สบู่ดำ

Influence of Water Treatment Plant Sludge on Mineral Nutrients Accumulation of
Physic Nut (*Jatropha curcas* Linn.)

นามผู้วิจัย นางสาวสุกัญญา สอนง่าย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์วัลลภ อารีรบ, Dr.Agr.Sci.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์เกียรติคุณชำนาญ จัตรีแก้ว, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์สุดชาย กำเนิดมณี, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ศาสตราจารย์เกษม จันทรแก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลกระทบของดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา
ต่อการสะสมธาตุอาหารพืชของสบู่ดำ

Influence of Water Treatment Plant Sludge on Mineral Nutrients
Accumulation of Physic Nut (*Jatropha curcas* Linn.)

โดย

นางสาวสุกัญญา สอนง่าย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรบัณฑิต)

พ.ศ. 2552

สุภิญญา สอนง่าย 2552: ผลกระทบของดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาต่อการ
สะสมธาตุอาหารพืชของสบู่ดำ ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์วัลลภ อารีรบ, Dr.Agr.Sci. 111 หน้า

การศึกษาการเจริญเติบโตของสบู่ดำ (*Jatropha curcas* Linn.) สายพันธุ์ CK-B47, CK-A87, CK-B22, CK-A79 และ CK-B34 ช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์ ที่ปลูกด้วยดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา ในอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอน คือ 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4 และดินตะกอน 100% พบว่า อัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอนที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของสบู่ดำ คือ 6:4 ได้พิจารณาจากพื้นที่ใบของสบู่ดำ พบว่ามีความแตกต่างกันเมื่อสบู่ดำอายุ 5 เดือนหลังปลูก โดย สบู่ดำสายพันธุ์ CK-B34 มีพื้นที่ใบสูงสุดเท่ากับ 51.39 ตารางเซนติเมตรต่อต้น รองลงมาคือ สบู่ดำสายพันธุ์ CK-A79, CK-B22, CK-A87 และ CK-B47 ที่มีพื้นที่ใบ เท่ากับ 49.79, 49.65, 49.90 และ 48.19 ตารางเซนติเมตรต่อต้น ตามลำดับ

การศึกษาการสะสมธาตุอาหารพืชของสบู่ดำ พบว่า อัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอนเท่ากับ 6:4 มีการสะสมธาตุแมกนีเซียม โพแทสเซียม และทองแดง สูงที่สุด และอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอนเท่ากับ 4:6 มีการสะสมธาตุแคลเซียม และเหล็กสูงที่สุดในทุกสายพันธุ์ของสบู่ดำที่ใช้ในการทดลอง โดยสายพันธุ์ CK-B47 สะสมแคลเซียมสูงสุดที่ 65.220 มิลลิกรัมต่อลิตร สายพันธุ์ CK-B22 สะสมธาตุแมกนีเซียมสูงสุดที่ 16.333 มิลลิกรัมต่อลิตร สายพันธุ์ CK-B34 สะสมธาตุโพแทสเซียมสูงสุดที่ 26.577 มิลลิกรัมต่อลิตร สายพันธุ์ CK-B47 สะสมธาตุเหล็กสูงสุดที่ 1.660 มิลลิกรัมต่อลิตร และสายพันธุ์ CK-B34 สะสมธาตุทองแดงสูงสุดที่ 0.157 มิลลิกรัมต่อลิตร

จึงสรุปได้ว่า การปลูกสบู่ดำในดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา ควรเลือกสายพันธุ์ CK-B47, CK-B22 และ CK-B34 เนื่องจากมีการเจริญเติบโตสูงและมีประสิทธิภาพในการสะสมธาตุอาหารพืชได้สูงที่สุดในอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา เท่ากับ 4:6 และ 6:4

Supinya Songgay 2009: Influence of Water Treatment Plant Sludge on Mineral Nutrients Accumulation of Physic Nut (*Jatropha curcas* Linn.). Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Associate Professor Wallop Arirob, Dr.Agr.Sci. 111 pages.

The research of growth of physic nut (*Jatropha curcas* Linn.) varieties of CK-B47, CK-A87, CK-B22, CK-A79 and CK -B34 during 2 to 7 months after planting with stock using water treatment plant sludge at ratio of soil per sediment on 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4 and 100% of sediment were carried out. It found that CK-B34 had maximum leaf areas about 51.39 cm². The other varieties of CK-A79, CK-B22, CK-A87 and CK-B47 were of 49.79, 49.65, 49.90 and 48.19 cm², respectively.

Furthermore, the study of efficiency on accumulated nutrients in leaves showed that magnesium, potassium and copper had high level of accumulation in ratio of soil per sediment on 6:4 but calcium and iron had high level of accumulation in ratio of soil per sediment on 4:6. In details, maximum accumulated level of calcium was of 65.220 mg/L. in CK-B47, magnesium was of 16.333 mg/L. in CK-B22, potassium was of 26.557 mg/L. in CK-B34, iron was of 1.660 mg/L. in CK-B47 and copper was of 0.157 mg/L. in CK-B34.

In conclusion, it suggested that the high efficiency on growth and accumulated nutrients of physic nut were CK-B47, CK-B22 and CK-B34, and the ratio of soil per sediment were of 4:6 and 6:4.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วัลลภ อารีรบ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ศาสตราจารย์เกียรติคุณชำนาญ นัทรแก้ว และอาจารย์สุคชาย กำเนิดมณี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ และสารเคมีต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันเอกประเวทย์ มงคลศิริ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่า ในการตรวจวิจารณ์ผลงานวิจัย และเป็น ผู้ทรงคุณวุฒิ และ ประธานการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย รวมทั้งได้ให้ข้อเสนอแนะ และข้อคิดต่างๆ ในการทำงาน ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุก ท่าน ที่มีส่วนร่วม และให้การสนับสนุน พร้อมทั้งให้คำแนะนำ และคำปรึกษาต่างๆ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือเสมอมา และท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ที่คอยสั่งสอน คอยปลอบใจ เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนการศึกษา และการทำ วิทยานิพนธ์ครั้งนี้ อย่างเต็มกำลังความสามารถ จนกระทั่งประสบความสำเร็จ

สุกัญญา สอนง่าย

ธันวาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	39
สรุปและข้อเสนอแนะ	58
สรุป	58
ข้อเสนอแนะ	60
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	61
ภาคผนวก	66
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	111

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	พื้นที่ปลูกสับดูดำในการวิจัย คัดเลือกพันธุ์ (individual plant selection)	8
2	ลักษณะประจำพันธุ์ ของสายพันธุ์สับดูดำ (ต้นพันธุ์จากเมล็ด) สถานที่ปลูก ต. กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา	14
3	ลักษณะประจำพันธุ์ ของสายพันธุ์สับดูดำ (ต้นพันธุ์จากกิ่งปักชำ) สถานที่ปลูก ต. กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา	14
4	ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชและปริมาณธาตุแต่ละชนิดที่พบในพืช	19
5	การวิเคราะห์ตัวอย่างดินปลูกผสมดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา วันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	35
6	การวิเคราะห์คุณสมบัติดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา บริษัทประปาปทุมธานี วันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2551	36
7	พื้นที่ใบของพืชสับดูดำแต่ละสายพันธุ์ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	40
8	การสะสมธาตุแคลเซียมในใบสับดูดำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) สายพันธุ์ CK- A79, CK- A87, CK- B22, CK- B34, CK- B47 ที่ปลูกในดินตะกอน 100% และ ดินผสมอัตราส่วนต่างๆกัน	44
9	การสะสมธาตุแมกนีเซียมในใบสับดูดำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) สายพันธุ์ CK- A79, CK- A87, CK- B22, CK- B34, CK- B47 ที่ปลูกในดินตะกอน 100% และ ดินผสมอัตราส่วนต่างๆกัน	47
10	การสะสมธาตุโพแทสเซียมในใบสับดูดำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) สายพันธุ์ CK- A79, CK- A87, CK- B22, CK- B34, CK- B47 ที่ปลูกในดินตะกอน 100% และ ดินผสมอัตราส่วนต่างๆกัน	50
11	การสะสมธาตุเหล็กในใบสับดูดำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) สายพันธุ์ CK- A79, CK- A87, CK- B22, CK- B34, CK- B47 ที่ปลูกในดินตะกอน 100% และ ดินผสมอัตราส่วนต่างๆกัน	53

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
12	การสะสมธาตุทองแดงในใบสบู่ดำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) สายพันธุ์ CK- A79, CK- A87, CK- B22, CK- B34, CK- B47 ที่ปลูกในดินตะกอน 100% และ ดินผสมอัตราส่วนต่างๆกัน	56
ตารางผนวกที่		
1	ปริมาณพื้นที่ใบของสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 1:9 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	67
2	ปริมาณพื้นที่ใบของสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 2:8 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	68
3	ปริมาณพื้นที่ใบของสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 3:7 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	69
4	ปริมาณพื้นที่ใบของสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	70
5	ปริมาณพื้นที่ใบของสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 5:5 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	71
6	ปริมาณพื้นที่ใบของสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 6:4 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	72
7	ปริมาณพื้นที่ใบของสบู่ดำ ในดินตะกอนล้วน 100% ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	73
8	ปริมาณธาตุแคลเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 1:9 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	74
9	ปริมาณธาตุแคลเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 2:8 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	75
10	ปริมาณธาตุแคลเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 3:7 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
24	ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 3:7 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	90
25	ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	91
26	ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 5:5 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	92
27	ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 6:4 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	93
28	ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในใบสบู่ดำ ในดินตะกอนล้วน 100% ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	94
29	ปริมาณธาตุเหล็กในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 1:9 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	95
30	ปริมาณธาตุเหล็กในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 2:8 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	96
31	ปริมาณธาตุเหล็กในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 3:7 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	97
32	ปริมาณธาตุเหล็กในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	98
33	ปริมาณธาตุเหล็กในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 5:5 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	99
34	ปริมาณธาตุเหล็กในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 6:4 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	100
35	ปริมาณธาตุเหล็กในใบสบู่ดำ ในดินตะกอนล้วน 100% ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	101
36	ปริมาณธาตุทองแดงในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 1:9 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	102

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
37	ปริมาณธาตุทองแดงในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 2:8 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	103
38	ปริมาณธาตุทองแดงในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 3:7 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	104
39	ปริมาณธาตุทองแดงในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	105
40	ปริมาณธาตุทองแดงในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 5:5 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	106
41	ปริมาณธาตุทองแดงในใบสบู่ดำ ในอัตราสวนดินปลูกต่อดินตะกอน 6:4 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	107
42	ปริมาณธาตุทองแดงในใบสบู่ดำ ในดินตะกอนล้วน 100% ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	108

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสบู่ดำ	5
2	สถานที่เก็บรวบรวมพันธุ์สบู่ดำ	10
3	แผนผังการวิจัยและพัฒนาพันธุ์สบู่ดำ	11
4	กลไกในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์โดยสารส้ม	23
5	แผนผังแปลงทดลองในการปลูกสบู่ดำเพื่อทดสอบคุณภาพของดินตะกอนที่มี อะลูมิเนียมสูงต่อการสะสมธาตุอาหารพืชของสบู่ดำ	33
6	พื้นที่ใบของสบู่ดำ (ตารางเซนติเมตรต่อต้น) ที่เจริญเติบโตในอัตราส่วนผสมดิน ปลูกต่อดินตะกอนที่อายุแตกต่างกัน	42
ภาพผนวกที่		
1	ดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา บริษัทประปาปทุมธานี จำกัด	109
2	สบู่ดำสายพันธุ์ CK-B47, CK-A87, CK-B22, CK-A79, CK-B34 ที่ทำการคัดเลือกแล้ว	109
3	วัสดุอุปกรณ์ และ ลานทิ้งตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา	109
4	สายพันธุ์สบู่ดำที่ทำการเพาะปลูกในอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอน ในอัตราส่วนต่างๆ	110
5	สบู่ดำในช่วงอายุ 2 ถึง 4 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	110
6	สบู่ดำในช่วงอายุ 5 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์	110

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

pH	=	ค่าความเป็นกรด-เบส
CK	=	Chamnan Chatkaew
°C	=	องศาเซลเซียส (degree Celsius)
CV	=	Coefficient Variation
LSD	=	Least Significant Difference
ml.	=	มิลลิลิตร
L.	=	ลิตร
ppm.	=	พีพีเอ็ม มีสัดส่วนเป็น หนึ่งในล้านส่วน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ผลกระทบของดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา

ต่อการสะสมธาตุอาหารพืชของสบู่ดำ

Influence of Water Treatment Plant Sludge on Mineral Nutrients

Accumulation of Physic Nut (*Jatropha curcas* Linn.)

คำนำ

การผลิตน้ำประปาในประเทศไทยไม่ว่าจะเป็น การประปานครหลวง หรือ การประปาส่วนภูมิภาค นิยมใช้สารส้มมากกว่าร้อยละ 90 ในการตกตะกอนน้ำดิบ จึงทำให้มีปริมาณสารส้มในตะกอนดินเป็นจำนวนมาก ซึ่งสารส้มเป็นสารเคมีที่มีอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นดินจากกระบวนการผลิตน้ำประปาจึงมีอะลูมิเนียมในปริมาณสูง จัดได้ว่าเป็นของเสียอันตราย (Hazardous Waste) หากเข้าสู่ระบบนิเวศอาจทำให้เกิดพิษของอะลูมิเนียมได้ โดยประเทศไทยกำจัดตะกอนเหล่านี้โดยใช้บ่อเก็บตะกอนหรือสระตะกอน (Sludge Lagoon) หรือ นำตะกอนไปทิ้งที่พื้นดินทั่วไป (Land Spreading) เป็นส่วนใหญ่ ทำให้มีโอกาสที่อะลูมิเนียมจะแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ และ สิ่งแวดล้อม (สายันต์, 2541) ดินตะกอนที่เกิดจากโรงผลิตน้ำประปาปทุมธานีมีปริมาณสูงถึงวันละ 100 ลูกบาศก์เมตร และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น การประปาปทุมธานีต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนดินสูงมากขึ้น (ประปาปทุมธานี, 2550) ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมเป็นปัจจัยที่สำคัญ ในการจำกัดการเจริญเติบโตของพืชในดินกรด (Bennet and Breen, 1991) โดยธาตุอะลูมิเนียมมีผลในการยับยั้งการดูดซึมของธาตุแคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และแมงกานีสในพืช (Lee, 1971; Marungij and Robinson, 1992; Qifu *et al.*, 2002)

ปัญหาการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิง รวมถึงราคาน้ำมันที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นปัญหาที่รัฐบาลต้องเร่งแก้ไขเพื่อให้มีพลังงานเชื้อเพลิงใช้ภายในประเทศในราคาที่ไม่สูงเกินไป ปัจจุบันประเทศไทยต้องนำเข้าพลังงานเชื้อเพลิงจากต่างประเทศถึงร้อยละ 90

สบู่ดำเป็นพืชที่มีศักยภาพในการผลิตพลังงานทดแทนดีกว่าปาล์มน้ำมันเนื่องจาก สบู่ดำมีระยะเวลาการให้ผลผลิตสั้นกว่าปาล์มน้ำมันเพียง 1 ปีหลังการปลูก ขณะที่ปาล์มน้ำมันที่ปลูกและ

ใช้งานได้ต้องรอไม่น้อยกว่า 4 ปี นอกจากนี้ สบู่ดำเป็นพืชที่ทนต่อสภาพอากาศร้อนและความแห้งแล้งได้ดี และให้ปริมาณน้ำมันถึง 35 %ต่อน้ำหนักสด ขณะที่ปาล์มน้ำมันให้ปริมาณน้ำมันอยู่ที่ 19 %ต่อน้ำหนักสด ข้อดีอีกประการหนึ่งของสบู่ดำ คือ มีความต้องการน้ำน้อยเพียง 50 ลิตร/วัน ขณะที่ปาล์มน้ำมันต้องการใช้น้ำสูงถึง 200 ลิตร/วัน (ปรัชญา, 2549) นายพิชัย ถิ่นสันติสุข ประธานกรรมการ บริษัท ราชธานีวิปเมนต์ จำกัด ได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับสบู่ดำว่า สบู่ดำมีข้อดีที่ราคาไม่ได้ขึ้นอยู่กับตลาดโลกเหมือนปาล์มน้ำมัน และปลูกง่ายทั่วทุกภาค ขณะที่ปาล์มน้ำมันปลูกได้ในบางพื้นที่ รวมทั้งสบู่ดำให้ผลผลิตเร็วโดยใช้เวลาปลูกเพียงแค่ 8 เดือน และลงทุนเพียงครั้งเดียวแต่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานกว่า 30 ปี และน้ำมันสบู่ดำที่ผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแล้ว ได้รับการยอมรับจาก บริษัท เดมเลอร์โครสเลอร์ ผู้ผลิตรถยนต์ยี่ห้อเบนซ์ (ปรัชญา, 2549) จึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อหาพลังงานทดแทนมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงสำรองภายในประเทศ โดยพืชหลักที่นำมาใช้ในการผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในประเทศไทยมีมะพร้าว อ้อย ปาล์มน้ำมัน มันสำปะหลัง และสบู่ดำ

ดังนั้นได้กำหนดการวิจัยโดยปลูกสบู่ดำในดินตะกอนที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำประปาเพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากดินดังกล่าว และเป็นการหลีกเลี่ยงการลำเลียงอะลูมิเนียมสู่ห่วงโซ่อาหาร(food chain) และมนุษย์ นอกจากนี้เป็นการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อเป็นพลังงานทดแทนในอนาคตต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสับรู่ดำโดยใช้ดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาเป็นวัสดุปลูก
2. เพื่อศึกษาคุณภาพของดินตะกอนที่มีผลต่อการสะสมธาตุอาหารแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม เหล็ก และทองแดงของสับรู่ดำแต่ละสายพันธุ์ที่กำหนด

ขอบเขตการวิจัย

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปากับสัดส่วนดินผสมดินปลูกต่อดินตะกอนในอัตราส่วนต่างกันที่ส่งผลต่อการสะสมธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และทองแดงของสับรู่ดำแต่ละสายพันธุ์ ที่ทำการคัดเลือกแล้วจำนวน 5 สายพันธุ์ คือ 1) CK-B47 2) CK-A87 3) CK-B22 4) CK-A79 5) CK-B34 เพื่อหาสายพันธุ์ที่มีความสามารถเจริญเติบโตบนดินตะกอนประปาได้ดีที่สุด และศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุปลูกในการปลูกสับรู่ดำ คือมีอัตราส่วนดินปลูก: ดินตะกอนที่ 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4 เทียบกับดินตะกอน100% อัตราส่วนละ 15 กระถาง จำนวน 3 ซ้ำ เป็นทั้งหมด 105 กระถาง ทำการเก็บข้อมูลด้านการเจริญเติบโตของสับรู่ดำ โดยการหาพื้นที่ใบสับรู่ดำแต่ละต้นในแต่ละเดือน ปริมาณการสะสมธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม เหล็กและทองแดง ในใบสับรู่ดำแต่ละเดือน เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสะสมธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และทองแดงของสับรู่ดำตลอดช่วงอายุ 7 เดือนหลังปลูกก่อนพันธุ์สับรู่ดำ

การตรวจเอกสาร

1. สบู่ดำ

สบู่ดำ (Physic nut หรือ Purging nut) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas* Linn. อยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae เช่นเดียวกับยางพารา สบู่แดงหรือสบู่เลือด ปัตตาเวีย หนุมานนั่งแท่น โป๊ยเซียน ละหุ่ง มันสำปะหลัง มะขม มะขามป้อม ผักหวานบ้าน ฯลฯ ซึ่งมีความหลากหลายค่อนข้างมากทั้งในลักษณะต้น ใบ ช่อดอก ตลอดจนผล และเมล็ด สบู่ดำเป็นพืชพื้นเมืองของอเมริกากลางและใต้ ชาวโปรตุเกสนำเข้ามาในช่วงปลายกรุงศรีอยุธยาเพื่อรับซื้อเมล็ดไปบีบอัดเอาน้ำมันไปทำสบู่เพราะมีฟองอันเป็นลักษณะพิเศษ และใช้จุดไฟให้แสงสว่างในเวลากลางคืน (จันทานู, 2549)

เนื่องจาก ต้น ใบ ผล และเมล็ดของสบู่ดำมีสารไฮโดรไลซายินิค เหมือนกับมันสำปะหลัง มีกลิ่นเหม็นเขียว สัตว์เลี้ยงต่างๆ ได้แก่ โค กระบือ ม้า ฯลฯ ไม่อยากเข้าไปใกล้และกัดกินต้นสบู่ดำ ดังนั้น จึงนิยมปลูกเป็นแนวเขตรั้วธรรมชาติตามบ้านเรือนและแปลงปลูกพืช นอกจากนี้เมล็ดสบู่ดำยังมีสารที่เรียกว่า เคอร์ซิน (curcin) หากบริโภคแล้วทำให้ท้องเดินเหมือนสลอด สบู่ดำได้รับการวิจัยแล้วว่าเป็นไบโอดีเซลที่เป็นพลังงานทดแทนที่ดีแก่เครื่องยนต์เกษตรที่มีรอบความเร็วรอบต่ำ และรักษาสภาพแวดล้อม (จันทานู, 2549)

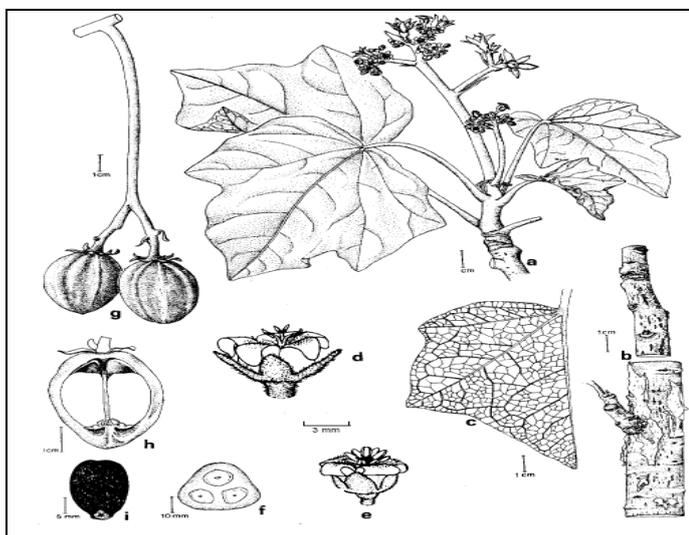
1.1 พันธุ์สบู่ดำในประเทศไทย

สบู่ดำเป็นไม้ยืนต้น อายุยืนประมาณ 50-60 ปี ทนต่อความแห้งแล้ง มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามท้องถิ่น เช่น ภาคกลาง เรียก สบู่ดำ ภาคเหนือ เรียก มะหุ้งฮั่ว ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เรียก สีหลอด มะเยา หรือ หมากเยา ภาคใต้ เรียก หงเทศ ภาษาชาวยิว เรียก ยาเคาะ พันธุ์สบู่ดำยังเป็นพันธุ์พื้นบ้านที่เรียกกันตามแหล่งปลูก เช่น พันธุ์สตูล มุกดาหาร น่าน บุรีรัมย์ โคราช กากพลินธุ์ ชัยนาท เป็นต้น (จันทานู, 2547)

1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสนุ่นดำ

สนุ่นดำเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางเจริญเติบโตสูงประมาณ 6 เมตร มีอายุไม่น้อยกว่า 50 ปี ยอดและใบอ่อนมีสีม่วงแกมเขียว ลำต้นส่วนที่อยู่ล่างมีสีเขียว ผิวเรียบ อวบน้ำ เปราะหักได้ เพราะเป็นไม้เนื้ออ่อน ไม้มีแก่น เมื่อสนุ่นดำมีอายุมากขึ้น โคนต้นมีสีน้ำตาลอมเทา และเริ่มแตกทรงพุ่มเมื่อลำต้นมีความสูงจากระดับพื้นดินประมาณ 12 เซนติเมตร โดยมีกิ่งแขนงเจริญออกทางด้านข้าง เป็นพืชที่ทนต่อความแห้งแล้งได้ดี ขึ้นได้ในที่ดอนและดินลูกรัง แต่ไม่ทนสภาพน้ำท่วมขังของ (กรีก, 2549)

1.2.1 ใบ เป็นใบเดี่ยว เรียงสลับ รูปหัวใจกว้างถึงรูปโล่คล้ายๆ ใบฝ้าย ใบพุดตาล หรือใบละหุ่ง แต่หนากว่าเพราะมีไข (cutin) เคลือบอยู่ที่ผิวใบ ขอบใบเรียบ มีรอยหยักเว้าเป็นพู 5 พู พูข้างปลายมน พูปลายหรือพูกลางรูปหัวใจปลายแหลม การจัดเรียงตัวของเส้นใบเป็นแบบร่างแห (palmately netted venation) ขนาดของใบมีความกว้างประมาณ 18 เซนติเมตร มีความยาวประมาณ 16 เซนติเมตร ก้านใบยาวประมาณ 24 เซนติเมตร (ภาพที่ 1) สนุ่นดำมักทิ้งใบในช่วงฤดูร้อน ถ้าแห้งแล้งมากจะทิ้งใบทั้งต้น (กรีก, 2549)



ภาพที่ 1 a. ช่อดอก b. เปลือกไม้ c. ใบ d. ดอกตัวเมีย e. ดอกตัวผู้ f. ตัดตามขวางของผลอ่อน g. ผล h. ตัดตามยาวจากผลอ่อน i. เมล็ดของสนุ่นดำ

ที่มา: Heller (1996)

1.2.2 ดอก ออกดอกบริเวณซอกใบใกล้ปลายกิ่ง ลักษณะเป็นช่อคล้ายช่อเชิงหลั่น มักออกเป็นคู่ๆ ช่อยาวได้ถึง 12 เซนติเมตร ก้านช่อยาวประมาณ 6 เซนติเมตร ใบประดับแกมใบหอก ขอบเรียบ ปลายแหลมยาว 5-10 มิลลิเมตร ดอกย่อยแยกเพศ ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่แยกกัน แต่อยู่ภายในช่อเดียวกัน เป็นดอกไม้สมบูรณ์เพศ ดอกตัวผู้มีกลีบเลี้ยงเชื่อมติดกัน ปลายแยกเป็นแฉก รูปไข่ ขอบขนาน สีเหลืองแกมเขียว กว้าง 1.5 มิลลิเมตร ยาว 3 มิลลิเมตร โดยประมาณ ปลายกลม ด้านในมีขนยาวห่าง มีต่อมน้ำหวานที่โคนกลีบด้านใน เกสรตัวผู้มี 10 อัน แบ่งออกเป็น 2 วง วงนอกแยกจากกัน วงในเชื่อมติดกัน อับเรณูยาว 1.5 มิลลิเมตร สีเหลืองดอกตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้ อยู่กลางของช่อย่อย กลีบเลี้ยงเชื่อมติดกัน ปลายแยกเป็นแฉกยาวประมาณ 4 มิลลิเมตรลักษณะอื่นคล้ายดอกตัวผู้ กลีบดอกรูปขนานแกมรี สีเขียวอ่อน มีเกสรตัวผู้ที่เป็นหมัน 10 อัน สีขาว รังไข่รูปกระสวยมี 3 พู ปลายก้านมียอดเกสรตัวเมียแยกเป็น 2 แฉก อัตราส่วนดอกตัวผู้:ดอกตัวเมีย ประมาณ 7:1 ปริมาณดอกย่อยประมาณ 70-100 ดอกต่อช่อ แต่จะติดผล 7-15 ผลเท่านั้น (กรีก, 2549)

1.2.3. ผล ค่อนข้างป้อมหรือรูปทรงกระสวย กว้าง 2-3 เซนติเมตร ลักษณะเป็นแบบเปลือกแข็ง (nut) มี 3 พู (lobes) ผลอ่อนสีเขียว ผลสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเมื่อแก่จัดเปลือกนอกที่เป็นสีเหลืองจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ผลสดหนึ่งมีน้ำหนักประมาณ 15 กรัม ผลแห้งน้ำหนักจะลดลงเหลือ 2.6 กรัม ผลเมื่อแกะผนังด้านนอก (exocarp) และผนังชั้นกลาง (mesocarp) ออก จะพบผนังชั้นใน (endocarp) สานกันเป็นชั้นหุ้มเมล็ดไว้ภายใน หนึ่งผลมีจำนวนเมล็ด 2-3 เมล็ด แต่ส่วนมากพบว่ามีจำนวน 3 เมล็ด (กรีก, 2549)

1.2.4. เมล็ด รูปร่างป้อมยาว (oblong) รูปกระสวยขอบขนาน แบนข้าง กว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1.7 เซนติเมตร โดยประมาณ เปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ จัดเป็นพวกมีเยื่อหุ้มเมล็ด (albuminous seed) โดยเยื่อ (albumin) นูอยู่ภายในเป็นที่เก็บสะสมน้ำมัน (oil) และสารเคอร์ซิน (curcin) ส่วนของเนื้อใน (endosperm) และคัพภะ (embryo) มีสีขาว แต่ละเมล็ดมีน้ำหนักประมาณ 0.6 กรัม (กรีก, 2549)

1.3 การวิจัยและพัฒนาพันธุ์สบู่ดำ (ชำนานู และชาญวิทย์, 2549)

ในการวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงพันธุ์พืชนั้น การคัดเลือกพันธุ์เป็นขั้นตอนที่สำคัญอันดับแรก ในการคัดเลือกจะประสบความสำเร็จมากน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความแปรปรวนในพันธุ์พืชที่ใช้ในการคัดเลือกพร้อมกับความสามารถของนักปรับปรุงพันธุ์ที่จะใช้ประสบการณ์ทางวิทยาศาสตร์ (sciences) และศิลปะศาสตร์ (arts) คือ ความแปรปรวนในพันธุ์มีน้อยหมายความว่าพืชแต่ละต้นภายในพันธุ์นั้นเกือบเหมือนกันหมด โอกาสที่จะคัดเลือกต้นพืชที่มีลักษณะตรงตามความต้องการก็มีน้อย ในการคัดเลือกพันธุ์สบู่ดำเพื่อปรับปรุงพันธุ์ให้ได้พันธุ์ที่ดีนั้นจึงจำเป็นต้องคัดเลือกพันธุ์ที่มีความแปรปรวนสูง ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

1.3.1 การรวบรวมพันธุ์

ได้รวบรวมพันธุ์สบู่ดำจากแหล่งต่างๆ ของประเทศไทยและต่างประเทศ ทั้งในรูปเมล็ดและท่อนพันธุ์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544- 2548 เก็บรักษาในห้องเย็นและปลูกไว้ในสภาพไร่ (field collection) จำนวน 14 แห่ง คือ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน วิทยาเขตลพบุรี วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติจังหวัดสกลนคร สถานีวิจัยลพบุรี ศูนย์วิจัยพืชไร่นครราชสีมา สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 พืชไร่ และพืชสวนขอนแก่น ศูนย์บริการวิชาการด้านพืชและปัจจัยการผลิตสกลนคร (สบป.) มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.สุรินทร์ ต.วังเหนือ อ.วังเหนือ จ.ลำปาง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ.น่าน และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.นครศรีธรรมราช (ตารางที่ 1 และภาพที่ 2)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระดับดีเอ็นเอของสบู่ดำ ในแปลงที่รวบรวมพันธุ์ไว้ โดยใช้เทคนิค AFLP (amplified fragment length polymorphism) ใช้สบู่ดำ 18 ตัวอย่าง ตามแหล่งที่เก็บรวบรวมและแบ่งเป็นกลุ่มได้ 5 กลุ่ม สรุปได้ว่า ในการผสมพันธุ์ควรจะเป็นคู่ผสมจากต่างกลุ่มกัน โดยใช้สายพันธุ์ในกลุ่มที่ 4 และ 5 เป็นสายพันธุ์หลักไปจับคู่กับสายพันธุ์ในกลุ่มอื่นๆ (สนธิชัย จันทรเกษม (ติดต่อส่วนตัว))

นำพันธุ์และสายพันธุ์สบู่ดำจากท้องถิ่นต่างๆ (ตารางที่ 1) ปลูกเพื่อศึกษาลักษณะต่างๆ และคัดเลือกแต่ละต้นที่มีลักษณะดีจากทั้งหมด เพื่อนำไปทดสอบพันธุ์ต่อ ตัวอย่างลักษณะ

ที่ดี เช่น ลักษณะของต้น กิ่ง และแขนงที่มีความสมบูรณ์ มีการออกดอกเร็ว ติดผลดก มีความต้านทานโรคและแมลงสูง อายุการเก็บเกี่ยวสั้น ระยะการแก่ของผลใกล้เคียงกันหรือพร้อมกัน และก้านผลมีความเหนียวสูง เป็นต้น

1.3.2 การคัดเลือกพันธุ์และขยายพันธุ์

คัดเลือกพันธุ์และสายพันธุ์ดีในท้องถิ่นต่างๆ ในข้อ (1.3.1) ด้วยสายตาและบันทึกผลผลิตของแต่ละต้นที่เห็นเด่นชัดเพื่อนำไปประเมินผลผลิต โดยปลูกทดสอบพันธุ์ในท้องถิ่นต่างๆ ในปี พ.ศ. 2548 เพื่อจะขยายพันธุ์ให้ได้มากขึ้น เพิ่มผลการประเมินผลผลิตว่าสายพันธุ์ใดดี เพื่อมีพันธุ์นั้นๆ มากกว่าที่เป็นอยู่และทันต่อเหตุการณ์ (ภาพที่ 3)

1.3.3 การประเมินผลผลิตและการทดสอบพันธุ์

นำสายพันธุ์ที่ดีไปทดสอบผลผลิตในท้องถิ่นต่างๆ โดยวางแผนการทดลองทางสถิติแบบ Randomized Complete Block (RCB) มี 3 ซ้ำ (replication) ให้มีจำนวนมากพอที่จะเชื่อถือได้ (multi-location testing) โดยความร่วมมือกันเพื่อทราบปฏิกิริยาของพันธุ์กับสิ่งแวดล้อม (genotype x environment) เพื่อหาเสถียรภาพ (stability parameters) ถ้าสายพันธุ์ใดดีเฉพาะท้องถิ่นใดก็ใช้พันธุ์นั้นได้ ถ้าพันธุ์ใดดีมีการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้มากแห่ง ก็ใช้พันธุ์นั้นได้กว้างขวางขึ้นในหลายท้องถิ่น

ตารางที่ 1 พื้นที่ปลูกสบูดำในการวิจัย คัดเลือกพันธุ์ (individual plant selection)

พื้นที่ปลูก	พันธุ์
1. ศูนย์วิจัยพืชไร่นครราชสีมา	ป่าหลวง กำแพงแสน และ หนองบุญมาก
2. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์	โคราช แพร่ ชัยนาท พันธุ์พื้นเมืองของสุรินทร์ และบุรีรัมย์
3. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 จ.ขอนแก่น 2 แห่ง	โคราช แพร่ ชัยนาท และ ขอนแก่น
4. มหาวิทยาลัยขอนแก่น	พันธุ์ผสมเปิด โคราช แพร่ และ ชัยนาท

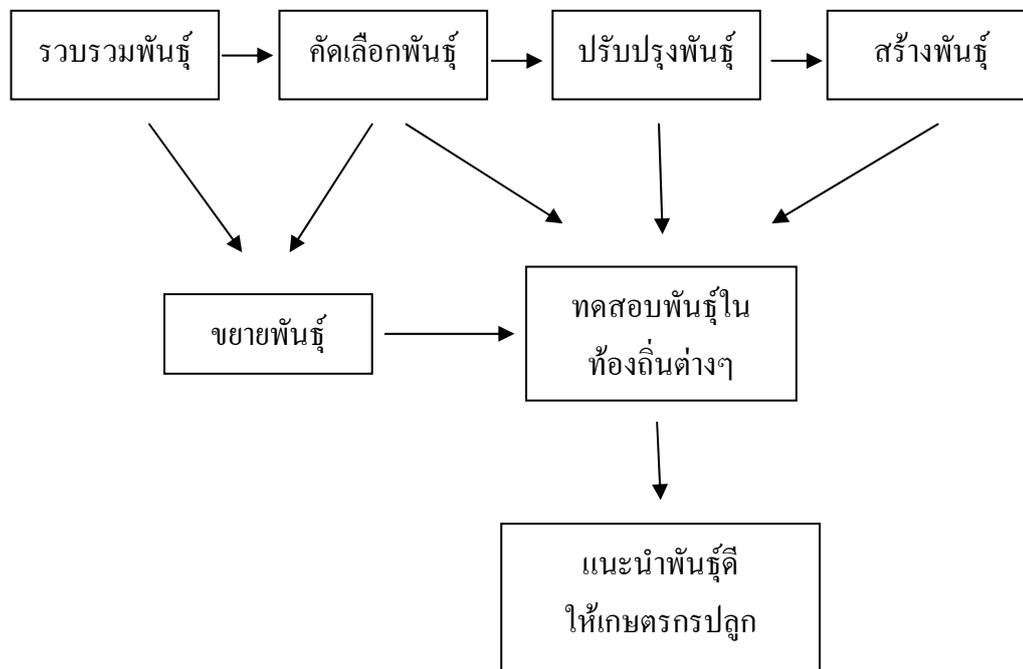
ตารางที่ 1 (ต่อ)

พื้นที่ปลูก	พันธุ์
5. ศูนย์บริการวิชาการด้านพืชและปัจจัยการผลิต สกลนคร	โคราช แพร่ และ ชัยนาท
6. โครงการจัดตั้งวิทยาเขตลพบุรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	โคราช แพร่ ชัยนาท และ ขอนแก่น
7. ต.วังเหนือ อ. วังเหนือ จ.ลำปาง	โคราช แพร่ ชัยนาท และ กำแพงแสน
8. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตน่าน	หนองปล่อง และ แพร่
9. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน	โคราช แพร่ ชัยนาท และ พันธุ์พื้นเมือง เชียงใหม่
10. สถานีวิจัยลพบุรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	บ้านใหม่สำโรง โคราช แพร่ และ ชัยนาท
11. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช	โคราช แพร่ ชัยนาท และ ขอนแก่น
12. วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติจังหวัดสกลนคร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	โคราช แพร่ ชัยนาท ขอนแก่น จุฬารักษ์ และนครเฉลิมพระเกียรติ
13. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	โคราช แพร่ ชัยนาท ขอนแก่น และ พันธุ์พื้นเมืองเชียงใหม่

ที่มา: ชำนาญ (2549)



ภาพที่ 2 สถานที่เก็บรวบรวมพันธุ์สุนัขดำ



ภาพที่ 3 แผนผังการวิจัยและพัฒนาพันธุ์ “สบู่ดำ” และแนะนำพันธุ์ดีให้เกษตรกรปลูก

ที่มา : ชำนาญ (2534)

1.3.4 การปรับปรุงพันธุ์

มีการสร้างพันธุ์จากการประเมินความดีเด่นของพันธุ์และสายพันธุ์ ถ้าได้พันธุ์ดี มีสายพันธุ์ดีก็นำลักษณะดีต่างๆ ของสายพันธุ์ดีเหล่านั้นมาปรับปรุงพันธุ์ให้มีลักษณะดีต่างๆ ในพันธุ์เดียวกันให้มากยิ่งขึ้น โดยใช้หลักการปรับปรุงพันธุ์พืชและพันธุศาสตร์ พันธุ์ที่ได้จะเป็นพันธุ์ลูกผสมในชื่อต่างๆ เช่น พันธุ์ลูกผสมภายในพันธุ์พื้นเมือง (Indigenous varietal hybrid) พันธุ์ลูกผสมกับต่างประเทศ (Indigenous x Exotic) พันธุ์ลูกผสมต่างๆ เหล่านี้ เมื่อนำไปทดสอบในท้องถิ่นต่างๆ โดยมีพันธุ์ตรวจสอบ (check) เมื่อพบว่าดีกว่าพันธุ์ตรวจสอบก็จะแนะนำให้เกษตรกรปลูกต่อไป

สบู่ดำเป็นไม้ยืนต้น อายุยืนประมาณ 50 ปี ฉะนั้นจะต้องใช้เวลาในการวิจัยและพัฒนาในขั้นแรกประมาณ 3 ปี จึงจะสามารถบอกทิศทางได้

ตัวอย่างสายพันธุ์สบู่ดำที่ให้ผลผลิตสูงในฤดูเพาะปลูก 2547/48 จากผลการทดลองในพื้นที่ต่างๆดังนี้

ก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง น่าสนใจในปีแรก มีดังนี้ ส.มก. กพส. 19/8 ให้ผลผลิต 600 กิโลกรัมต่อไร่

ข. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 ขอนแก่น แปลงที่ 1 สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง มีดังต่อไปนี้

- 1) สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิต 601-700 กิโลกรัมต่อไร่ มี จำนวน 1 สายพันธุ์
- 2) สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิต 501-600 กิโลกรัมต่อไร่ มี จำนวน 60 สายพันธุ์

ค. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 ขอนแก่น แปลงที่ 2 สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง มีดังต่อไปนี้

- 1) สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิต 1,001-1,100 กิโลกรัมต่อไร่ มี จำนวน 7 สายพันธุ์
- 2) สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิต 901-1,000 กิโลกรัมต่อไร่ มี จำนวน 8 สายพันธุ์
- 3) สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิต 801-900 กิโลกรัมต่อไร่ มี จำนวน 25 สายพันธุ์
- 4) สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิต 701-800 กิโลกรัมต่อไร่ มี จำนวน 6 สายพันธุ์
- 5) สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิต 601-700 กิโลกรัมต่อไร่ มี จำนวน 3 สายพันธุ์

ง. มหาวิทยาลัยขอนแก่น คณะเกษตรศาสตร์ สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง มีดังต่อไปนี้

- 1) สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิต 601-750 กิโลกรัมต่อไร่ มี จำนวน 6 สายพันธุ์
- 2) สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิต 501-600 กิโลกรัมต่อไร่ มี จำนวน 13 สายพันธุ์

สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงในท้องถิ่นต่างๆ ที่ได้ผ่านการวิจัยพัฒนาดังกล่าวข้างต้น ซึ่งเหลือจำนวนน้อยลงจะจัดเข้าการทดลองทางสถิติแบบ Randomized Complete Block โดยมีพันธุ์ในท้องถิ่นนั้นๆ และพันธุ์อื่นๆ เป็นตัวทดสอบมาตรฐาน (check) ลงปลูกในท้องถิ่นต่างๆ ในปีต่อไป เพราะสบู่ดำมีอายุประมาณ 50-60 ปี เพื่อยืนยันผลการวิจัยว่าพันธุ์ดีต่างๆ เหล่านั้นยังดีเหมือนเดิมหรือไม่ เมื่ออายุมากขึ้นในปี 2 3.. เพื่อเป็นพันธุ์รับรองทางราชการ จะได้แนะนำส่งเสริมให้ปลูกแพร่หลายต่อไป

1.3.5. ลักษณะประจำพันธุ์ของสบู่ดำ

สบู่ดำสายพันธุ์ CK-A79, CK-A87, CK-B22, CK-B34 และ CK-B22 ที่ปลูกด้วยเมล็ดมีความแตกต่างกับสบู่ดำที่ปลูกด้วยท่อนพันธุ์ พบว่าสบู่ดำทุกสายพันธุ์ที่ทำการเพาะปลูกด้วยท่อนพันธุ์ออกดอกและให้ผลผลิตเร็วกว่าสบู่ดำที่ปลูกด้วยเมล็ด แต่มีจำนวนผลและช่อดอกน้อยกว่าสายพันธุ์เดียวกันที่ปลูกด้วยเมล็ด ซึ่งสบู่ดำสายพันธุ์ CK-A79, CK-B22, CK-B34 และ CK-B22 ที่เพาะปลูกด้วยเมล็ดมีปริมาณผลผลิตต่อต้นสูงกว่าสายพันธุ์เดียวกันที่ปลูกด้วยท่อนพันธุ์ แต่สบู่ดำสายพันธุ์ CK-A87 ที่ปลูกด้วยท่อนพันธุ์มีปริมาณผลผลิตต่อต้นสูงกว่าสายพันธุ์เดียวกันที่ปลูกด้วยเมล็ดแม้ว่าจะมีปริมาณช่อดอกน้อยกว่า ซึ่งสบู่ดำสายพันธุ์ CK-A79, CK-A87, CK-B22, CK-B34 และ CK-B22 มีลักษณะเด่นประจำพันธุ์คือ ยังไม่พบการระบาดของโรคและแมลง และสามารถปรับตัวได้ดีในดินที่มีความเป็นด่าง (Alkaline soils) (ชาญวิทย์, 2549)

ตารางที่ 2 สายพันธุ์สับุดำ (ต้นพันธุ์จากเมล็ด) สถานที่ปลูก ต. กลางดง อ. ปากช่อง
จ. นครราชสีมา

สายพันธุ์	วันออกดอก แรก	วันเก็บเกี่ยว	จำนวนผล / ช่อ	ผลผลิต	ลักษณะเด่น
1. CK-A79	97วัน	156วัน	12	360g/ต้น	ยังไม่พบการระบาดของ ของโรคและแมลง ปรับตัวได้ดี ในสภาพ Alkaline soils
2. CK-A87	97วัน	156วัน	10	355g/ต้น	
3. CK-B22	97วัน	156วัน	22	564g/ต้น	
4. CK-B34	97วัน	156วัน	23	604g/ต้น	
5. CK-B47	97วัน	156วัน	15	554g/ต้น	

หมายเหตุ : ปลูก พ.ศ. 2547

ที่มา: ชาญวิทย์ (2549)

ตารางที่ 3 สายพันธุ์สับุดำ (ต้นพันธุ์จากกิ่งปักชำ) สถานที่ปลูก ต. กลางดง อ. ปากช่อง
จ. นครราชสีมา

สายพันธุ์	วันออกดอก แรก	วันเก็บเกี่ยว	จำนวนผล / ช่อ	ผลผลิต	ลักษณะเด่น
1. CK-A79	90วัน	105วัน	6	350g/5ต้น	ปรับตัวได้ดี ในสภาพ Alkaline soils
2. CK-A87	90วัน	105วัน	9	500g/5ต้น	
3. CK-B22	90วัน	105วัน	5	245g/5ต้น	
4. CK-B34	90วัน	105วัน	12	612g/5ต้น	
5. CK-B47	90วัน	105วัน	10	525g/5ต้น	

หมายเหตุ : ปลูก พ.ศ. 2547

ที่มา: ชาญวิทย์ (2549)

1.3 สภาพพื้นที่ปลูกสบู่ดำ

สภาพพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกสบู่ดำควรเป็นดินร่วน มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ มีความเป็นกรดเล็กน้อยเช่นเดียวกับพืชไร่ทั่วไป แต่มีข้อควรระวัง คือ สบู่ดำเป็นพืชที่ไม่ทนต่อดินมีน้ำขัง ดังนั้นพื้นที่ที่เหมาะสมจึงต้องเป็นที่ลาดเทมีการระบายน้ำดี อาจเป็นที่ราบเชิงเขา ถ้าเป็นที่ราบลุ่ม ควรทำทางระบายน้ำ แต่จะเป็นภาระเพิ่มต้นทุนการผลิต หรือในกรณีที่นาดอน เมื่อปรับที่นำมาใช้เป็นไร่สำหรับปลูกสบู่ดำ ต้องมีการทะลายนํ้าออก ให้ระบายน้ำได้เป็นอย่างดี (สมศักดิ์ และชาญวิทย์, 2549)

ในสภาพพื้นที่ดินที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกสบู่ดำ สบู่ดำสามารถเจริญเติบโตอยู่รอดได้ ในดินด่าง (alkaline soil) ดินเค็ม (saline soil) ดินทราย (sandy soil) หรือดินที่มีหินมาก (stony soil) หรือแม้แต่ในพื้นที่ที่มีปริมาณฝนตกน้อยปีละ 200 มิลลิเมตร (Lele, 2005) สบู่ดำที่ปลูกในพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลก จะพบมีการปรับตัวได้ดีในเขตร้อน (tropics) ที่มีฝนตกระหว่าง 300-1,000 มิลลิเมตรต่อปี (Joker and Jepen, 2003)

1.4 ปุ๋ยและวิธีการใส่ปุ๋ย

สบู่ดำเป็นพืชที่ปลูกเพื่อนำเมล็ดไปสกัดน้ำมัน และ/หรือเพื่อให้เมล็ดมีน้ำมันมากขึ้น เพื่อมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล ดังนั้น ต้นสบู่ดำจึงมีความต้องการแสง และธาตุอาหารบางธาตุมากเป็นพิเศษกว่าพืชที่ให้ผลผลิตที่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้น ความต้องการธาตุอาหารพืชของพืชเกษตรจึงต้องพิจารณาใน 2 มิติ คือ เพื่อการดำรงชีพ หรือเพื่อการสร้างรากลำต้น และใบให้กับพืชปกติกับเพื่อเพิ่มผลผลิต และคุณภาพของผลผลิต ซึ่งจะต้องใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์พืชทางเคมีของสบู่ดำ จึงจะสามารถตอบ 2 มิติดังกล่าวได้ จึงสันนิษฐานว่า ความเข้มข้นของมหธาตุในระดับร้อยละ และความเข้มข้นของจุลธาตุในระดับล้านละ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของน้ำหนักแห้งของสบู่ดำนั้นใกล้เคียงกับพืชอื่นๆ และได้ให้คำแนะนำเบื้องต้นสำหรับการใช้ปุ๋ย คือ ให้ใช้ปุ๋ยเคมีสูตรเสมอ เช่น 15-15-15 ซึ่งทำให้แปลงวิจัยคัดเลือกพันธุ์ ได้ต้นที่มีลักษณะดีและให้ผลผลิตน่าพอใจ อัตราต้นละ 125 กรัม ร่วมกับปุ๋ยคอก 2.5 กิโลกรัม รองกันหลุม ขนาดกว้าง 50 เซนติเมตร และลึก 50 เซนติเมตร (ไพบูลย์, 2549)

1.5 การใช้ประโยชน์จากสบู่ดำ

ศูนย์สารสนเทศ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้กล่าวถึงประโยชน์ของสบู่ดำไว้ดังนี้

จากหนังสือ Physic nut โดย Joachim Heller พิมพ์เผยแพร่โดย สถาบันทรัพยากรพันธุกรรมพืชนานาชาติ (International Plant Genetic Resources Institute หรือ IPGRI) เมื่อปี ค.ศ. 1996 ได้ระบุว่าโดยทั่วไปมีการใช้ประโยชน์จากส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำ แบ่งออกได้ 13 ประการคือ

- ใช้เป็นอาหารและเครื่องคั้นสำหรับมนุษย์
- ใช้เป็นอาหารสัตว์เลี้ยงและสัตว์ป่า
- ใช้เลี้ยงผึ้งเพื่อผลิตน้ำผึ้ง
- เป็นแหล่งพลังงานโดยใช้เป็นฟืนและถ่าน
- ใช้เป็นวัสดุก่อสร้างและทำรั้ว
- ใช้เส้นใยทำเสื้อผ้าเชือกและหัตถกรรม
- เป็นเครื่องมือทำการเกษตรและอุตสาหกรรมในครัวเรือน
- ใช้ในวัตถุประสงค์เพื่องานศิลปะงานหัตถกรรมทางด้านศาสนา
- ใช้ทำสีย้อมและฟอกหนัง
- ใช้ทำยาสำหรับคนและรักษาสัตว์
- ใช้เป็นร่มเงาสำหรับคนและสัตว์
- ใช้ป้องกันการชะล้างพังทลายของดินและรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน
- ใช้เก็บกักน้ำ

ทั้งนี้ในหนังสือ “Jatropha or Physic nut” ซึ่งเป็นรายงานการศึกษาด้านอุตสาหกรรมและการตลาดของพืช 6 ชนิดในแอฟริกาใต้ ของมหาวิทยาลัยแห่งรัฐวอชิงตัน สหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 2002 ได้กล่าวถึงการใช้ประโยชน์ของสบู่ดำไว้ดังนี้

1.5.1. ใบและเปลือกไม้ ใบอ่อนสามารถนำมาดื่ม หรือต้มรับประทานได้อย่างปลอดภัย ส่วนเปลือกไม้สามารถนำมาสกัดเอาแทนนิน (Tannin) ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนังได้

1.5.2. เมล็ด ใช้เป็นยาถ่ายยาระบาย

1.5.3. กากเมล็ด ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากการหีบเอาน้ำมันไปใช้แล้ว จะนำมาอัดเป็นก้อน ส่วนนี้จะมีเคอร์ซิน (curcin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่เป็นพิษ เหมือนกับไรซิน (ricin) ในละหุ่ง ไม่เหมาะที่จะนำมาเลี้ยงสัตว์ แต่เหมาะที่จะนำไปทำปุ๋ย หรือนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องสตีมเทอร์ไบน์ (Steam turbine) สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.5.4. น้ำมัน เมล็ดของสบู่ดำ ประกอบไปด้วยน้ำมันประมาณ 35 – 40% เนื้อใน (kernels) ประมาณ 55 – 60% ดังนั้น “น้ำมัน” จึงเป็นผลผลิตที่สำคัญของสบู่ดำ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายประการ ดังนี้

ก. ทำเครื่องสำอางและถนอมผิว น้ำมันจากเมล็ดสามารถนำมาใช้ทาแก้โรคผิวหนัง หรือผิวหนังอักเสบ รวมทั้งสามารถบรรเทาอาการปวดข้ออันเนื่องมาจากรูมาตอยด์ได้ด้วย กรดไลโนอิกในน้ำมันเมล็ดในของสบู่ดำมีอยู่ประมาณ 36% มีความน่าสนใจในการนำไปทำเป็นครีมถนอมผิว

ข. สารเคมีกำจัดศัตรูพืช น้ำมัน และสารสกัดจากน้ำมันของสบู่ดำ สามารถนำมาใช้กำจัดศัตรูพืชได้ โดยมีตัวอย่างในการนำไปใช้ควบคุมแมลงศัตรูฝ้าย โดยเฉพาะหนอนเจาะสมอฝ้าย ศัตรูผัก มันฝรั่ง และข้าวโพด สารสกัดเมธานอล (Methanol extracts) จากสบู่ดำ ประกอบด้วยสารพิษบางชนิดมีการทดลองนำมาใช้ในการควบคุมพยาธิในหอยที่นำมาบริโภค

ค. นำเชื้อเพลิงสำหรับจุดไฟ เชื้อเพลิงในการปรุงอาหาร และน้ำมันดีเซล การใช้ประโยชน์ในการนำมาทำเชื้อเพลิงนี้ เป็นการใช้ประโยชน์สูงสุดของสบู่ดำ และกำลังมีการวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้มากที่สุดด้วยน้ำมันสบู่ดำล้วนๆสามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้

ง. สบู่ กลิเซอริน เป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซล สามารถนำมาทำสบู่ได้ ขณะเดียวกันน้ำมันจากสบู่ดำล้วนๆ ก็นำมาทำสบู่ได้เช่นกัน โดยมีการผลิตเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก หรืออุตสาหกรรมในครัวเรือน

2. การดูดซับสารอาหารของพืช

การดูดซับสารอาหาร พืชจะดูดสารอาหารจำนวนมากทางราก อย่างไรก็ตามลำต้นที่อยู่ใต้น้ำและที่โผล่พ้นน้ำก็สามารถดูดสารอาหารได้เช่นเดียวกัน ซึ่งสารอาหารที่ถูกดูดซับเหล่านี้จะถูกกำจัดต่อไปโดยการตัดและการเก็บเกี่ยวพืชออกจากระบบ (Brix และ Schierup, 1989a) อย่างไรก็ตามพบว่า ปริมาณสารอาหารที่ถูกกำจัดจากการเก็บเกี่ยวมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับภาระของเสียที่เข้าสู่ระบบ แต่ถ้ระบบไม่มีการเก็บเกี่ยวพืชออก สารอาหารในพืชจะถูกปลดปล่อยออกมาสู่ระบบอีกครั้งด้วยกระบวนการย่อยสลาย (Decomposition) (ศุวสา, 2544)

อัตราการใช้สารอาหารของพืชถูกจำกัดโดยอัตราการเติบโตสุทธิ และความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อ ความเข้มข้นของสารอาหารในเนื้อเยื่อมีค่าสูง (มากกว่า 25 กรัมต่อกิโลกรัมเนื้อเยื่อ) ในพืชที่มีอายุน้อยและลดลงเมื่อโตเต็มที่ (กลอยกาญจน์, 2544)

ปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในพืชมีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารในดินที่พืชเจริญเติบโต ดังนั้นปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในพืชสามารถใช้ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ปลูกพืชอยู่ได้ นอกจากนี้ยังทำให้ผู้ปลูกคาดการณ์ได้ว่าพืชขาดธาตุอาหารอะไรหรือไม่ และสามารถประมาณปริมาณผลผลิตที่จะได้รับ ยิ่งไปกว่านั้นผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืชยังสามารถนำมาใช้ในการแนะนำการใส่ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ศรีสม, 2544)

2.1 ปริมาณและรูปแบบของธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 16 ธาตุ พืชนำไปใช้ประโยชน์โดยส่วนใหญ่ พืชจะดูดน้ำไปใช้ในรูปของเกลือที่ละลายน้ำ ซึ่งมีรูปแบบแตกต่างกัน ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน พืชได้จากอากาศและน้ำ ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) ส่วนไนโตรเจนพืชได้จากการตรึงไนโตรเจนในอากาศ นอกเหนือจากการดูดรากพืชจากดิน สำหรับธาตุอาหารพืชอื่น ๆ ได้จากดินเป็นส่วนใหญ่ ปริมาณธาตุอาหารหลักที่พืชดูดไปใช้สูงกว่าจุลธาตุมาก ทั้งนี้โดยพิจารณาจากชนิดของพืช และสภาพแวดล้อมที่พืชอยู่ ค่าเฉลี่ยสำหรับมหาธาตุที่พืชต้องการมีความเข้มข้นประมาณ เท่ากับ หรือมากกว่า 1,000 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของพืช 1 กรัม (1 กรัม เท่ากับ 1,000 ppm) ส่วนพืชต้องการจุลธาตุน้อยกว่า 100 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักแห้งของพืช 1 กรัม (1 กรัม เท่ากับ 1,000 ppm) (ชวนพิศ, 2544) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 4 ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชและปริมาณของธาตุแต่ละชนิดที่พบในพืช

ธาตุ	สัญลักษณ์ทางเคมี	รูปแบบที่พืชนำไปใช้	ความเข้มข้นในเนื้อเยื่อแห้ง (ppm)	Percent
Carbon	C	CO ₂	450,000	45
Oxygen	O	O ₂ , H ₂ O	450,000	45
Hydrogen	H	H ₂ O	60,000	6
Nitrogen	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	150,000	1.5
Potassium	K	K ⁺	10,000	1.0
Calcium	Ca	Ca ²⁺	5,000	0.5
Magnesium	Mg	Mg ²⁺	20,000	0.2
Phosphorus	P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ⁻²	20,000	0.2
Sulfur	S	SO ₄ ⁻²	1,000	0.1
Chloride	Cl	Cl ⁻	100	0.01
Boron	B	BO ₃ ⁻³ , B ₄ O ₇ ⁻²	20	0.002
Iron	Fe	Fe ³⁺ , Fe ²⁺	20	0.002
Manganese	Mn	Mn ²⁺	50	0.005
Zinc	Zn	Zn ²⁺	20	0.002
Copper	Cu	Cu ²⁺ , Cu ⁺	6	0.0006
Molybdenum	Mo	MoO ₄ ⁻	0.1	0.00001

Adapted Iron p.R. Stont Prc, 9th Ann. Calif. Futilizer Conj, 1961

3. กระบวนการผลิตน้ำประปา

ดินตะกอนที่ใช้ในการทดลองเป็นดินตะกอนอันเนื่องมาจากกระบวนการผลิตน้ำประปา ซึ่งมีขั้นตอนหลักของขบวนการผลิต (การประปานครหลวง, 2549) ดังนี้

3.1 การสร้างแกนตะกอน กระทำได้โดยการใส่สารสร้างแกนตะกอน (Coagulant) เช่น สารส้ม ผสมลงในน้ำอย่างทั่วถึง ในถังกวนเร็ว เพื่อให้เกิด Neutralized ทางปฏิกิริยาเคมีระหว่าง สารสร้างแกนตะกอนกับสารประเภทคอลลอยด์ (Colloid) ในน้ำ คอลลอยด์เป็นตัวทำให้น้ำเกิดสี และความขุ่น ผลที่ได้คือเกิดการรวมตัวเป็นตะกอนเบา (Floc) ขนาดเล็กซึ่งจะไปรวมตัวกันต่อไป จนได้น้ำหนักพอที่จะเกิดการตกตะกอนได้ง่ายในภายหลัง ภายใต้อิทธิพลของแรงโน้มถ่วง

3.2 การรวมตะกอน เป็นขั้นตอนต่อเนื่องมาจากการสร้างแกนตะกอน ในขั้นตอนนี้เปิดโอกาสให้ตะกอนที่เบาที่เกิดขึ้นรวมตัวกัน หรือเป็นแกนให้สิ่งสกปรกในน้ำยึดติด โดยอาศัย กระบวนการกวนช้า จนในที่สุดก็จะได้ตะกอนที่มีน้ำหนักมากพอที่จะเกิดการตกตะกอนได้

3.3 การตกตะกอน เป็นกระบวนการที่ทำให้ตะกอนแยกออกจากน้ำ น้ำที่ได้จากขั้นตอนนี้ สองจะมีกลุ่มของตะกอนแขวนลอยอยู่ เมื่อมาถึงถังตกตะกอนก็จะเกิดการแยกตัวออกจากกัน ส่วน ของน้ำใสจะถูกแยกออกไป ทำการกรองเพื่อกำจัดอนุภาคขนาดเล็กที่ไม่ตกตะกอน และทำการฆ่า เชื้อโรคก่อนแจกจ่ายให้กับผู้ใช้ ส่วนตะกอนก็จะถูกปล่อยไว้ในถังตกตะกอน รอจนได้ปริมาณที่ มากก็จะทำการปล่อยทิ้งและกำจัดต่อไป

4. กระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้ม

สารส้ม หรือ Ammonium alum และ Potassium alum คือ เกลือเชิงซ้อนของสารประกอบที่มีธาตุ อะลูมิเนียม และ ซัลเฟต เป็นส่วนประกอบหลัก หรือ รู้จักกันในนามว่าสารส้ม (alum) หรือ ผลึกเกลือ มีสูตรทางเคมีทั่วไปคือ $[M(1)M,(111)(SO_4)_2 \cdot 12H_2O]$ (ชิตชไม, 2546)

4.1 ประเภทของสารส้ม

สารส้ม (alum) มีรากศัพท์มาจากคำในภาษาละตินว่า alumen แปลว่า สารทำให้หดตัว (astringent) ปัจจุบัน สารส้ม หมายถึง เกลือเชิงซ้อน (ผลึกเกลือ) ของสารประกอบที่มีธาตุอะลูมิเนียม และซัลเฟต เป็นส่วนประกอบหลัก แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

4.1.1. เกลือซัลเฟตของอะลูมิเนียมหรืออะลูมิเนียมซัลเฟต $[Al_2(SO_4)_3 \cdot XH_2O]$ ลักษณะเป็นก้อนผงสีขาว

4.1.2. เกลือเชิงซ้อนของโพแทสเซียมหรือโพแทสเซียมอะลูมิเนียม $[Al_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O]$ ลักษณะเป็นผลึกใสไม่มีสี

4.1.3. เกลือเชิงซ้อนของแอมโมเนียมหรือแอมโมเนียมอะลูมิเนียม $[Al_2(SO_4)_3 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 24H_2O]$ ลักษณะเป็นผลึกใสไม่มีสี

อย่างไรก็ตามสารส้ม (alum) ทั้ง 3 ประเภทดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างเดียวกัน การเติม ammonium และ potassium ลงไปเพื่อต้องการให้เป็นก้อนผลึกใสและบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น เนื่องจากอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น การผลิตกระดาษคุณภาพสูง และผสมทำผงฟู เป็นต้น ต้องการสารส้มที่มีความบริสุทธิ์มากๆ

4.2 กระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้ม

สารส้มทำให้เกิดการตกตะกอนโดยกลไก 3 ชนิด ดังแสดงในภาพที่ 2 ดังนี้คือ

4.2.1. กลไกการดูดติดและลดเสถียรภาพ

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารส้ม ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนต่างๆ ซึ่งสามารถดูดติดไปบนผิวของอนุภาค เมื่อสารประกอบเชิงซ้อนมีประจุบวกก็จะลดประจุลบของอนุภาคลง ทำให้เสถียรภาพของอนุภาคลดลงด้วยจนถึงจุดหนึ่งที่อนุภาคสามารถสัมผัสกันและเกาะกันเป็นตะกอนที่ใหญ่ขึ้นจนจมตัวหรือกรองได้

กลไก Coagulation แบบนี้มักจะพบว่าไม่จำเป็นต้องลดประจุลบของอนุภาคลงจนเป็นศูนย์ เชื่อกันว่าสาเหตุเพราะสารประกอบเชิงซ้อนของอลูมิเนียมต่างๆ มีลักษณะเหนียว เมื่อคูดติดไปบนผิวอนุภาค จึงทำหน้าที่เพิ่มอัตราส่วนในการเกาะกันของอนุภาคด้วย

ตะกอนที่เกิดจากกลไกชนิดนี้จะมีความหนาแน่นสูงและแยกน้ำออกได้ง่ายจะประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดการตะกอน แต่การควบคุมระบบให้ทำงานได้ดีนั้นยากมาก เพราะกลไกชนิดนี้ให้ผลดีในช่วงแคบๆ ในปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนที่พอเหมาะเท่านั้น ถ้าหากปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนต่ำเกินไปกระบวนการ Coagulation ไม่เกิด แต่ถ้าหากมีสูงเกินไป สารประกอบเชิงซ้อนจะคูดติดที่ผิวอนุภาคมาก ทำให้อนุภาคเป็นบวมแล้วกลับมามีเสถียรภาพอีกครั้ง

4.2.2. กลไกการตกตะกอนแบบกวาด (Sweep Coagulation)

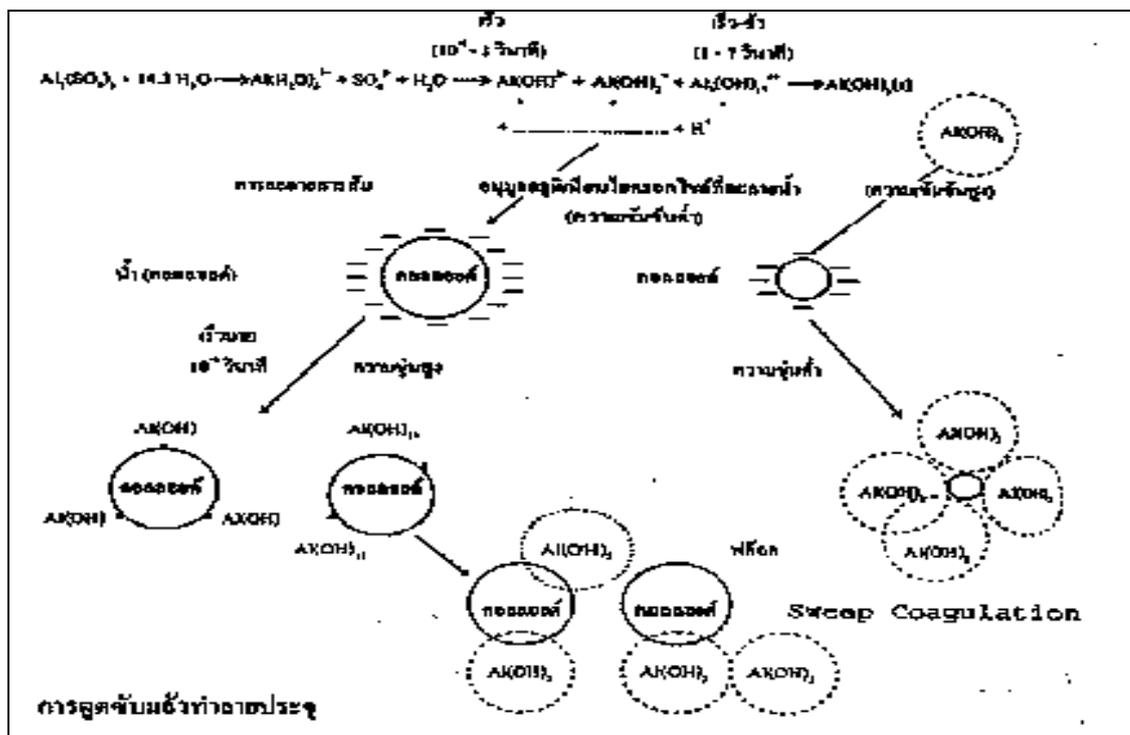
ตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากการเติมสารส้มจนความเข้มข้นของอะลูมิเนียมสูงกว่าจุดอิ่มตัว สามารถห่อหุ้มอนุภาคทำให้พื้นผิวของอนุภาคเหนียวเหนอะและไม่สามารถแสดงอิทธิพลของประจุไฟฟ้า เมื่อกวนให้อนุภาคสัมผัสกันจะเกาะติดกันเป็นตะกอนใหญ่ขึ้น สำหรับน้ำที่มีอนุภาคน้อยทำให้โอกาสที่อนุภาคจะสัมผัสกันก็มีน้อยด้วย การเติมสารส้มให้เกิดตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มากขึ้นจะได้ตะกอนที่เป็นอิสระ ทำหน้าที่เป็นเป้าสัมผัสกับอนุภาคและตะกอนด้วยกัน

กระบวนการ Coagulation เพื่อการผลิตน้ำประปาส่วนใหญ่ใช้กลไกแบบกวาด เพราะเกิดผลดีได้ในช่วงกว้าง ง่ายต่อการควบคุม แต่ตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีความหนาแน่นต่ำและแยกน้ำออกได้ยากกว่ากลไกการคูดติดและลดเสถียรภาพ

4.2.3. กลไกการตกตะกอนแบบรวม (Combination)

กลไกการ Coagulation แบบกวาด เป็นการทำงานของตะกอนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์นั้น ไม่ได้หมายความว่าในน้ำที่เกิด Coagulation จะไม่มีสารประกอบเชิงซ้อนต่างๆ เกิดขึ้น หรือสารประกอบเชิงซ้อนไม่ได้ทำงาน เพียงแต่ว่าในสภาวะนั้นๆ สารประกอบเชิงซ้อนสร้างกลไกการคูดติดและลดเสถียรภาพได้น้อยมากเมื่อเทียบกับการทำงานของตะกอนอลูมิเนียม

ไฮดรอกไซด์ ดังนั้นในบางสภาวะเมื่อเกิดกระบวนการ Coagulation ที่มีกลไกทั้งสองชนิดประกอบกันโดยไม่มีกลไกชนิดใดมีอิทธิพลสูงกว่าอีกชนิดหนึ่ง จัดว่าเป็นกลไกการตกตะกอนแบบรวม (Combination)



ภาพที่ 4 กลไกในการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์โดยสารส้ม

ที่มา: วิลัยลักษณ์ (2542)

5. มลพิษของดิน

ภาวะมลพิษของดิน (soil pollution) หมายถึง “ ภาวการณ์ปนเปื้อนของดินด้วยสารมลพิษ (soil pollutant) มากเกินขีดจำกัด จนมีอันตรายต่อสุขภาพ อนามัย ตลอดจนการเจริญเติบโตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ” ดินเสียเกิดได้ 2 ประการ คือ 1) เสียโดยกำเนิด เช่น ดินเค็ม ดินเปรี้ยว 2) เสียโดยการกระทำของมนุษย์ เช่น ดินเสียโดยการปนเปื้อนจากสารฆ่าศัตรูพืช ชาติปุ๋ย หรือธาตุพิษ (ศุภมาส, 2540)

6. พิษของอะลูมิเนียมต่อสภาพแวดล้อม

6.1 ข้อมูลทั่วไป

อะลูมิเนียม (ภาษาอังกฤษสะกดได้ว่า aluminium หรือ aluminum ในอเมริกาเหนือ) คือ ธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ Al และมีเลขอะตอม 13 เป็นโลหะหลังทรานซิชันที่มันวาวและอ่อนดัดง่าย (วิกิพีเดีย, 2550) แม้ว่าอะลูมิเนียมไม่ใช่โลหะหนัก แต่พบว่ามีความเป็นพิษ อะลูมิเนียมจัดเป็นเกลือแร่ส่วนน้อยที่พบในร่างกายและพบว่าอยู่ร่วมกับสารอื่น เกลือแร่ชนิดนี้ในธรรมชาติไม่พบว่าอยู่โดดเดี่ยว อาจอยู่ร่วมกับซิลิกา (Silica) เรียกว่า อะลูมินัมซิลิเกต (Aluminum silicate) และอะลูมินัมออกไซด์ (Aluminum oxide) เกลือแร่ชนิดนี้สามารถทำให้เกิดอันตรายถึงตายได้ ถ้ามีการสะสมขึ้นในร่างกายเป็นจำนวนมาก และสะสมที่เส้นโลหิตแดง แหล่งเก็บอะลูมิเนียมในร่างกายได้แก่ ปอด ตับ ต่อมไทรอยด์ และสมอง (วรรณท์, 2538)

6.2 ประโยชน์ต่อร่างกาย

ถึงแม้ว่าอะลูมิเนียมปรากฏว่ามีในร่างกายมนุษย์แต่ยังไม่ทราบแน่ชัดว่ามีความจำเป็นอย่างไรต่อร่างกาย แต่ที่ควรระวังคือ อะลูมิเนียมสามารถทำให้เนื้อหนังที่ทางเดินอาหารตั้งแต่ปากตลอดลงไปถึงทวารหนักอ่อนกำลังลงได้ สามารถทำลายคุณค่าของวิตามินต่างๆ นอกจากนี้ยาไฮดรอกไซด์เจล (Hydroxide Gel) เป็นยาลดกรดในกระเพาะอาหารมีส่วนผสมของอะลูมิเนียม ทำให้ฟอสเฟตในเลือด (Blood phosphate) ต่ำ และอาจยังผลให้เกิดกระดูกผุ และกล้ามเนื้อหรือกระดูกต่างๆ หย่อนยานหรืออ่อนกำลังได้ (วรรณท์, 2538)

6.3 แหล่งที่พบ

อะลูมิเนียมจะพบปะปนใน อากาศ น้ำ ดิน และปนเปื้อนตามอาหาร โดยอะลูมิเนียมพบเล็กน้อยในพืชผัก สัตว์ ยางชนิด เกลือปนจากโรงงาน โซดาทำขนม aluminium foil ห่อของ แป้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ภาชนะหุงต้ม เนยแข็ง ยาเคลือบกระเพาะ (antacid) ยาระงับกลิ่น (deodorant) และน้ำประปา เพราะการประปาใช้อะลูมิเนียมซัลเฟตในกรรมวิธีทำให้น้ำตกตะกอน ด้วยเหตุนี้อะลูมิเนียมที่กรองออกไม่หมดจึงติดมากับน้ำได้ ในอุตสาหกรรมเกลือปนพบว่ามีอะลูมิเนียมผสมลงไปเกลือ เพื่อป้องกันไม่ให้เกลือจับตัวกันเป็นก้อน โรงงานแป้งจะใช้

อะลูมิเนียมช่วยในกรรมวิธีฟอกขาวทำให้แป้งขาว เนื่องจากอะลูมิเนียมเป็นตัวที่ทำให้ส่วนผสมต่างๆ รวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวกัน (emulsifier) ได้ดี ดังนั้นโรงงานทำเนยแข็งจึงใช้เกลือแร่ชนิดนี้เข้าช่วยในกรรมวิธีผลิตก้อนเนยแข็ง จึงบริโภคอะลูมิเนียมเข้าไปด้วย (วรรณันท์, 2538)

ความเป็นพิษของอะลูมิเนียมและเหล็กพบว่า ในสภาพดินกรดธาตุไนโตรเจนส่วนมากอยู่ในรูปแอมโมเนียมจะมีอะลูมิเนียมและแมงกานีสอยู่ในสารละลายดินมาก อย่างไรก็ตามในสภาพดังกล่าวแอมโมเนียมมีภาวะปฏิปักษ์ (antagonism) ต่อการดูดอะลูมิเนียมและแมงกานีสของรากพืช การดูดธาตุทั้งสองจึงน้อยกว่าปกติ ในทางตรงกันข้ามไนเตรทส่งเสริมการดูดไอออนทั้งสอง ดังนั้นการที่พืชอยู่ในสภาพดินกรด และใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมจึงช่วยให้พืชทนต่ออะลูมิเนียมและแมงกานีสในสารละลายดิน (ชมรมเกษตรปลอดสารพิษ, 2550)

6.4 ความเป็นพิษ

6.4.1. ถ้าได้รับอะลูมิเนียมมากเกินไปจะเกิดอาการเป็นพิษ ท้องผูก ปวดท้อง เสียคนท้องแถวๆลำไส้ใหญ่ รับประทานอาหารได้น้อย คลื่นไส้ กล้ามเนื้อขากระตุก เหงื่อออกมามากเกินปกติและหมดแรง ผู้ที่มีอาการอะลูมิเนียมเป็นพิษควรเลิกใช้ภาชนะหุงต้ม หรือจานชามใส่อาหารที่มีส่วนผสมอะลูมิเนียม และไม่ควรรดน้ำประปา (วรรณันท์, 2538)

6.4.2. ในรายที่พบว่ามีอะลูมิเนียมในเลือดจำนวนเล็กน้อย สามารถทำให้เกิดอาการแบบค่อยเป็นค่อยไปต่อศูนย์กลางสั่งการเคลื่อนไหวของร่างกายจะเริ่มมีอาการของอัมพาต และขาเป็นส่วนๆ พร้อมไปกับการเสื่อมของไตและตับเนื่องจากไขมันสะสม รวมทั้งมีการอักเสบของกระเพาะและลำไส้ อาการเหล่านี้เนื่องจากสมรรถภาพของร่างกายในการขับสารพิษนี้ออกได้ไม่สมบูรณ์ (วรรณันท์, 2538)

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอิบ และคณะ (2543) ได้ศึกษาคุณภาพของตะกอนแยกจากน้ำดิบของการประปานครหลวง เพื่อพัฒนาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร รายงานว่า ตะกอนทุกตัวอย่างมีเนื้อเป็นดินเหนียวผสมทรายแป้ง (silty clay) แต่มีการยึดตัวที่แตกต่างกันทั้งในสภาพแห้ง ชื้น และเปียก โดยผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของตะกอน แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่ของตะกอนคือทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) โดยมีทรายแป้งในปริมาณโดยเฉลี่ยสูงกว่าตะกอนดินเหนียว และตะกอนมีปริมาณของทรายปนอยู่บ้างแต่ในปริมาณที่น้อยมาก และผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของตัวอย่างตะกอน พบว่า ตะกอนเหล่านี้มีคุณภาพเบื้องต้นทางเคมีค่อนข้างดี โดยมีคุณสมบัติอยู่ในระดับที่ไม่เป็นข้อจำกัดต่อการใช้ธาตุอาหารของพืช ระบบทางเคมีภายในตะกอน เน้นการแลกเปลี่ยนประจุบวก (พิจารณาจากความแตกต่างของค่า pH ของตะกอนในน้ำและค่า pH ของตะกอนใน 1N KCl) ตะกอนมีระดับของอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูง มีไนโตรเจนรวมสูง และธาตุอื่นๆ อยู่ในระดับที่สามารถใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้

มณฑยา (2546) ได้ศึกษา ผลของการใช้ปุ๋ยหมักของตะกอนจากระบบผลิตน้ำประปาต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยหมักสามชนิด คือ ปุ๋ยหมักจากการหมักตะกอนของระบบผลิตน้ำประปา ร่วมกับผักตบชวาในอัตราส่วนร้อยละ 10 (C/N ratio = 32) และร้อยละ 20 (C/N ratio = 46) และปุ๋ยหมักจากการหมักใบไม้สด (C/N ratio = 24) โดยกองหมักทั้งสามกองใช้แกลบเป็นวัสดุสร้างความพรุน พบว่า ปุ๋ยตะกอนที่ผ่านกระบวนการหมักทำปุ๋ยมีแร่ธาตุ (N P K) สูงขึ้นแต่มีในปริมาณต่ำ แสดงว่า ปุ๋ยหมักดังกล่าวมีโอกาสเกิดพิษของอะลูมิเนียมต่อพืชต่ำ และจากการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยหมักทั้งในระหว่างการหมักและการบ่มสรุปได้ว่า ปุ๋ยหมักใบไม้สดมีคุณภาพที่ดีที่สุดในการนำไปปลูกพืชเพื่อทดสอบความเป็นพิษปุ๋ยหมักหลังการบ่ม โดยการทดสอบความงอกของเมล็ด นอกจากนี้ได้รายงานอีกว่าการเจริญเติบโตของดาวเรืองและหญ้านวลน้อย มีความงอกของเมล็ดในปุ๋ยหมักตะกอนร้อยละ 10 และ 20 ร่วมกับผักตบชวาไม่มีความแตกต่างจากปุ๋ยหมักใบไม้สดเมื่อทดสอบด้วยน้ำชะปุ๋ยหมัก แต่เมื่อทดสอบกับปุ๋ยหมักโดยตรง พบว่า ร้อยละของการงอกของเมล็ดของปุ๋ยหมักตะกอนร้อยละ 10 และ 20 ให้ผลดีกว่าปุ๋ยหมักใบไม้สด ส่วนการทดสอบการเจริญเติบโตของดาวเรืองและหญ้านวลน้อย พบว่าปุ๋ยหมักใบไม้สดให้ผลดีกว่าปลูกด้วยปุ๋ยหมักตะกอนร้อยละ 10 และ 20 สรุปได้ว่า ปุ๋ยหมักที่ทำจากตะกอนของระบบผลิตน้ำประปาไม่มีพิษต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของพืช แต่เมื่อนำไปทดลองปลูกพืชแล้วให้การเจริญเติบโตต่ำกว่าปุ๋ยหมักใบไม้สด

แอนนา และคณะ (2549) ได้ศึกษา การรวบรวมพันธุ์สับดูดำจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ของประเทศไทยเพื่อใช้เป็นเชื้อพันธุกรรมในการปรับปรุงพันธุ์ และศึกษา ลักษณะประจำพันธุ์ของตัวอย่าง โดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะการเกษตร พบว่า สามารถแยกความแตกต่างระหว่างตัวอย่างได้ไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากมีอิทธิพลของปัจจัยแวดล้อม ภายนอกมาเกี่ยวข้องอย่างมาก นอกจากนี้ยังพบว่า ตัวอย่างจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ให้ ผลผลิตรวม 2 ปี สูงสุด คือสับดูดำเบอร์ 16 ให้ผลผลิตเมล็ดรวม 1,326 กิโลกรัม/ไร่ โดยปีแรกให้ ผลผลิตที่อายุ 333 วันหลังปลูก (days after planting, DAP) เท่ากับ 445 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนในปีที่ 2 ให้ผลผลิตที่อายุ 677 DAP เท่ากับ 881 กิโลกรัม/ไร่ เป็นตัวอย่างที่เก็บมาจากบ้านดอนปอแดง ต.ยาง ตลาด อ.ยางตลาด จ.กาฬสินธุ์ ตัวอย่างที่ให้ผลผลิตสูงสุดในกลุ่มภาคกลางและภาคใต้ คือ สับดูดำ เบอร์ 74 ให้ผลผลิตรวม 2 ปี 618 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งในปีแรกให้ผลผลิตที่อายุ 309 DAP เท่ากับ 277 กิโลกรัม/ไร่ ส่วนในปีที่ 2 ให้ผลผลิตที่อายุ 653 DAP เท่ากับ 341 กิโลกรัม/ไร่ เป็นตัวอย่างสับดูดำที่ เก็บมาจากบ้านบางน้ำจืด ต.บางน้ำจืด อ.หลังสวน จ.ชุมพร องค์ประกอบผลผลิตและลักษณะ การเกษตรอื่นที่มีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตของสับดูดำ ได้แก่ จำนวนผลต่อต้น จำนวนช่อดอกต่อต้น จำนวนกิ่งแรก และ จำนวนกิ่งรอง

แสวงระวี (2544) ได้ศึกษา การศึกษาการปลูกข้าวโดยใช้น้ำดีจากคลองชลประทาน เพชรบุรีและน้ำเสียจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยปลูกข้าวบนดินนาปลูกข้าวร่วมกับการใช้น้ำเสีย จากบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 5 บ่อ จากโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอัน เนื่องมาจากพระราชดำริ พบว่า การนำน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีมาใช้ในการปลูกข้าว ทำ ให้ข้าวมีการเจริญเติบโตทั้งในด้านความสูงและการแตกกอ รวมทั้งให้ผลผลิตได้ โดยน้ำจากบ่อต่าง ๆ ให้องค์ประกอบผลผลิตข้าวเฉลี่ยสูงสุดไปต่ำสุด ดังนี้คือ น้ำเสียจากบ่อดกตะกอน น้ำจากบ่อ บำบัดที่ 1 น้ำจากบ่อบำบัดที่ 2 น้ำจากบ่อบำบัดที่ 3 น้ำจากคลองชลประทานเพชรบุรี และน้ำจาก บ่อปรับสภาพ เท่ากับ 361.44, 217.40, 208.19, 194.88, 173.78 และ 169.29 กรัม / ตารางเมตร ตามลำดับส่วนการศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของข้าวพิจารณาจาก ความสูง การแตกกอ และ ผลผลิตโดยเปรียบเทียบระหว่างการใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ย พบว่า แปลงที่มีการใส่ปุ๋ยข้าวมีการ เจริญเติบโตและให้องค์ประกอบผลผลิตสูงกว่าแปลงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย โดยแปลงที่ใส่ปุ๋ยและแปลงที่ ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบผลผลิตเท่ากับ 291.10 และ 150.56 กรัม / ตารางเมตร ตามลำดับ สำหรับการศึกษาค่าผลตกค้างของโลหะหนัก คือตะกั่ว แคดเมียม และปรอทในส่วนต่าง ๆ ของข้าว โดยเฉพาะเมล็ด พบว่า ค่าเฉลี่ยโลหะหนักที่พบตามส่วนต่าง ๆ ของข้าวส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ มาตรฐาน โดยเมล็ดพบปริมาณตะกั่วตั้งแต่มีค่าน้อยลงไม่สามารถอ่านได้ถึง 1.56 ppm แคดเมียมพบ

ตั้งแต่มีค่าน้อยจนไม่สามารถอ่านได้ถึง 0.40 ppm และปรอทปริมาณเท่ากับ 0.099-0.24 ppm จากปริมาณโลหะหนักตกค้างในเมล็ดข้าวมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานจึงไม่เหมาะที่จะนำน้ำเสียมาใช้ในการปลูกข้าว

วรกาย (2541) ได้ศึกษา ปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักในพืชที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกผสมระหว่างตะกอนน้ำเสียและดินในท้องที่จังหวัดเพชรบุรี โดยการปลูกพืชในกระบะทดลอง ที่วางแผนการทดลองแบบ 3 x 3 Factorial in Random Complete Block Design ประกอบด้วยปัจจัย 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 คือ ชนิดพืช 3 ชนิด ได้แก่ ผักบุ้ง มะเขือเปราะ และมันเทศ ปัจจัยที่ 2 คือ อัตราส่วนผสมของดินและทรายตะกอนน้ำเสียในอัตราส่วน ดิน: ตะกอน 4:0 3:1 1:1 1:3 และ 0:4 และได้รายงานผลการศึกษาริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักในพืชที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกผสมระหว่างตะกอนน้ำเสียและดินในท้องที่จังหวัดเพชรบุรี พบว่า ปริมาณธาตุอาหารในพืชทั้ง 3 ชนิด ยังอยู่ในระดับปกติ ที่พบในพืชทั่วไป แต่พบปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในผักบุ้งเฉพาะส่วนเหนือดิน (ลำต้นและใบ) และในมันเทศเฉพาะส่วนใต้ดิน (รากและหัว) มีค่าตะกั่วเกินมาตรฐาน (ไม่เกิน 1.0 ppm) ทั้ง 2 ชนิดพืช ดังนั้นจึงไม่ปลอดภัยสำหรับการบริโภค ส่วนในผลมะเขือเปราะพบปริมาณตะกั่วและแคดเมียมน้อยมากไม่สามารถวัดค่าได้ (trace) ดังนั้นจึงพอสรุปเบื้องต้นได้ว่าสามารถนำดินทรายมาผสมกับตะกอนน้ำเสียชุมชนเมืองเพชรบุรีในอัตราส่วน 1:3 สามารถปลูกมะเขือเปราะเพื่อรับประทานได้

Qifu *et al.* (2001) ได้ศึกษา พืชของอะลูมิเนียมในการเจริญเติบโตส่วนรากและการเคลื่อนที่ธาตุแคลเซียมในข้าวไรน์ (*Secale cereale*) พบว่า บริเวณเยื่อหุ้มปลายรากสามารถป้องกันพืชของอะลูมิเนียมได้จึงทำให้ข้าวไรน์สามารถสะสมธาตุแคลเซียมได้ในส่วนปลายราก จึงทำให้ส่วนปลายรากพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีอะลูมิเนียมสูง

Marungij and Robinson (1992) ได้ศึกษา พืชของอะลูมิเนียมต่อการเจริญเติบโตของ Alligator grass (*Alternanthera philaxeroides*) โดยการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในดิน และประสิทธิภาพในการสะสมธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก พบว่า ระหว่าง pH 3 และ pH 8 Alligator grass ได้รับผลกระทบจากพืชของอะลูมิเนียม ทำให้สะสมแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก ได้น้อยใน pH 3

Lee (1971a) ได้ศึกษา ถึงอิทธิพลของอะลูมิเนียมต่อการเจริญเติบโตและการสะสมธาตุอาหารของมันฝรั่งพบว่า ในการทดสอบปลูกมันฝรั่ง 8 สายพันธุ์ เมื่อทำการฉีดพ่นสารละลายอะลูมิเนียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในแปลงปลูกมันฝรั่งส่งผลให้การเจริญเติบโตของมันฝรั่งทั้งส่วนเหนือดินและส่วนรากมีการเจริญเติบโตลดลงและเมื่อปลูกมันฝรั่งลงในสารละลายอะลูมิเนียมพบว่า การเคลื่อนที่ของฟอสฟอรัสลดลงในส่วนเหนือดิน และการสะสมแคลเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี ในส่วนรากถูกยับยั้งโดยอะลูมิเนียม ส่วนการสะสมโพแทสเซียมในมันฝรั่งมีการสะสมดี เมื่อปลูกลงในสารละลายที่มีอะลูมิเนียมต่ำคือ 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และถูกยับยั้งการเจริญเติบโตเมื่อปลูกลงในสารละลายที่มีอะลูมิเนียมสูง 5 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยการสะสมแมกนีเซียมตรงข้ามกับการสะสมของโพแทสเซียม

สมมุติฐาน

1. สบู่ดำมีประสิทธิภาพทนทานและเจริญเติบโตได้ในดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาได้
2. แม้สบู่ดำจะได้รับผลกระทบจากธาตุอะลูมิเนียมในดินตะกอนส่งผลต่อการสะสมธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และทองแดง แต่ก็สามารถเจริญเติบโตได้ดี
3. อัตราส่วนดินที่เหมาะสมของดินปลูกต่อดินตะกอนในการเพาะปลูกสบู่ดำบนดินตะกอนประปาโดยทำยที่สูงสุดสามารถนำมาผลิตสบู่ดำมาใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อพลังงานทดแทน

อุปกรณ์ละวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำหรับแปลงทดลอง

1.1. กระจกพลาสติก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว สูง 20 เซนติเมตร จำนวน 105 กระจก

1.2. ดินที่ใช้ปลูกเป็นดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา ด้วยการผสมดินปลูก โดยมีอัตราส่วนดินปลูก: ดินตะกอน จำนวน 7 แบบ คือ 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4 และดินตะกอน 100% อัตราส่วนละ 15 กระจก

1.3. ต้นสบู่ดำ จำนวน 5 สายพันธุ์ คือ

1.3.1. CK- A79 จำนวน 21 ต้น

1.3.2. CK- A87 จำนวน 21 ต้น

1.3.3. CK- B22 จำนวน 21 ต้น

1.3.4. CK- B34 จำนวน 21 ต้น

1.3.5. CK- B47 จำนวน 21 ต้น

1.4. น้ำที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำประปา

1.5. อุปกรณ์ดูแลรักษาแปลงทดลอง เช่น กรรไกรตัดหญ้าและสายยาง ที่พร้อมดิน เป็นต้น

2. อุปกรณ์ในการตรวจวัดการเจริญเติบโตและธาตุอาหาร

2.1. อุปกรณ์ภาคสนาม

- 2.1.1. ใบสบู่ดำ
- 2.1.2. ไม้บรรทัด
- 2.1.3. อุปกรณ์อื่นๆ เช่น ถังพลาสติกและกระดาษ กระดาษขาว ปากกา
- 2.1.4. ตะแกรงร่อน
- 2.1.5. สมุดบันทึก
- 2.1.6. ถังพ่นยาม้าแมลง
- 2.1.7. สารเคมีกำจัดเพลี้ยแป้งขาว S-85, สารกำจัดไรขาวไดโคโฟล (Dicofol)
- 2.1.8. เครื่องวัดพื้นที่ใบ (Laser Area Meter CI-203)

2.2. อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

- 2.2.1. เตาไฟฟ้า (Hot Plate)
- 2.2.2. เครื่องชั่งละเอียด ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น PB 303
- 2.2.3. ถังกระดาษ
- 2.2.4. ขวดเชิงปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 50 มิลลิลิตร และ ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.2.5. อุปกรณ์และวัสดุวิทยาศาสตร์อื่นๆ เช่น ตู้อบแห้ง ตู้ดูดความชื้น เครื่องบดละเอียด กระดาษกรอง เป็นต้น
- 2.2.6. Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ; ยี่ห้อ Perkin Elmer Model: AAnalyst 100
- 2.2.7. ตู้ดูดควัน (fume hood)
- 2.2.8. สารเคมี คือ กรดไนตริกและเปอร์คลอริกอัตราส่วน 2: 1

3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

- 3.1. ปริมาณธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ในดินแต่ละอัตราส่วนผสม
- 3.2. ปริมาณธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และทองแดง ในใบของต้นสบู่ดำ

วิธีการ

1 แผนการทดลอง

1.1. ปลุกสปู๋ดำ ที่คัดเลือกสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงจำนวน 5 สายพันธุ์ โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการสะสมธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และทองแดง ของสปู๋ดำที่เติบโตบนดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาด้วยการผสมดินปลูก อัตราส่วนดินปลูก: ดินตะกอน จำนวน 7 แบบ คือ 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4 และดินตะกอน 100%

1.2. ใช้แผนการทดลองแบบ Factorial in CRD จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ค่าความแตกต่างด้วย Least Significant Difference (LSD)

1.3. ต้นสปู๋ดำ จำนวน 5 สายพันธุ์ คือ

1.3.1 CK- A79	จำนวน	21	ต้น
1.3.2 CK- A87	จำนวน	21	ต้น
1.3.3 CK- B22	จำนวน	21	ต้น
1.3.4 CK- B34	จำนวน	21	ต้น
1.3.5 CK- B47	จำนวน	21	ต้น

อาหารพืชสมุนไพรแต่ละสายพันธุ์ต่อดินปลูกผสมดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาแต่ละอัตราส่วนผสม

2.1 วิธีการย่อยสลายด้วยกรดผสม (กรดไนตริกกับเปอร์คลอริก)

2.1.1 ชั่งน้ำหนักแห้งตัวอย่างใบสมุนไพรประมาณ 0.100 กรัม ใส่ลงในขวดเชิงปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 50 มิลลิลิตร

2.1.2 เติมกรดผสม (กรดไนตริกกับกรดเปอร์คลอริกอัตราส่วน 2:1) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ปิดปากขวดด้วยฟอลส์

2.1.3 predigest โดยการวางทิ้งไว้ค้างคืนในเครื่องดูดควัน

2.1.4 ถอดฟอลส์ออก ทำการอุ่นตัวอย่างในเครื่องย่อยสลายตัวอย่างพืช ปรับอุณหภูมิเป็น 150 องศาเซลเซียส ย่อยต่อไปประมาณ 1-2 ชั่วโมง

2.1.5 ปรับอุณหภูมิเป็น 200 องศาเซลเซียส ย่อยต่อไปจนกระทั่งสารละลายใส

2.1.6 วางหลอดทิ้งไว้ให้เย็นในเครื่องดูดควัน

2.1.7 เติมน้ำกลั่นลงไปจนหลอดตัวอย่างชุ่มๆ เขย่าให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2.1.8 เทสารละลายลงในขวดเชิงปริมาตร ขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2.1.9 กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 เก็บสารละลายไว้ในขวดแก้วปิดฝา ทำ blank ด้วยวิธีการเดียวกัน

สารละลายที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาธาตุฟอสฟอรัส โปแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง (ไม่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ไนโตรเจนและคลอไรด์)

3 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินทั้งหมด 105 กระจาย จากแต่ละกระจาย โดยการเก็บตัวอย่างดินบน (Top soil) ในช่วงก่อนปลูก ที่ระดับความลึก 15 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินที่เก็บได้มาตากแห้งด้วยวิธีผึ่งในที่ร่ม (air dry) บดให้ละเอียด ใส่ถุงพลาสติก เขียนรหัส นำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ โปแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และทองแดง ของแต่ละอัตราส่วนผสมดินปลูก ต่อดิน ตะกอน 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4 และดินตะกอน 100% ที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ตัวอย่างดินผสมดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา
วันที่ 5 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 (วิเคราะห์จากภาคปฐพีวิทยา, 2551)

Remark		1:9	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4	100%
Original Code		1	2	3	4	5	6	7
Lab code		S115-1	S115-2	S115-3	S115-4	S115-5	S115-6	S115-7
pH		5.4	5.4	5.5	5.6	5.7	6	5.1
Soil Texture	%sand	53	67	75	83	85	85	89
	%Silt	10	11	12	12	14	14	8
	%Clay	1	5	9	13	21	33	0
Organic matter	%	3.6	5.2	6	6.7	6.7	6.3	2
	Rate	H	H	H	H	H	H	M
Phosphorus	ppm	2	2	3	4	6	27	1
	Rate	L	L	L	L	L	H	L
Potassium	ppm	230	420	430	660	800	1000	120
	Rate	VH	VH	VH	VH	VH	VH	H

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Remark	1:9	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4	100%	
Original Code	1	2	3	4	5	6	7	
Lab code	S115-1	S115-2	S115-3	S115-4	S115-5	S115-6	S115-7	
Calcium	ppm	1320	1400	1680	1680	2000	2440	1200
	Rate	H	H	H	H	H	H	H
Magnesium	ppm	54	90	110	210	300	460	9
	Rate	M	M	H	H	H	H	L

หมายเหตุ ; VH = Very High H = High M = Medium L = Low

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์คุณสมบัติดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา บริษัทประปา
ปทุมธานี วันที่ 22 เดือน มกราคม พ.ศ. 2551 (ข้อมูลการประปาปทุมธานี, 2551)

Date		1/22/2008	
code		L700741	
Product Name		Sediment Clay	
Moisture		%	81.72
Residue on	120 mesh	%	0.055
	200 mesh	%	0.18
	325 mesh	%	0.37
Sulphate		ppm	756.00
C.E.C		Meq/100g	2.25
MOR	1.6 kg/l	psi	
LOI		%	22.62
Shrinkage	Dried	%	
	Fried	%	18.35

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Chemical Analysis	SiO ₂	%	33.38
	TiO ₂	%	0.434
	Al ₂ O ₃	%	35.77
	Fe ₂ O ₃	%	0.3825
	Na ₂ O	%	0.14
	LOI	%	22.62

4 ศึกษาการเจริญเติบโตของสบู่ดำ

โดยวัดพื้นที่ใบ ด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ (Laser Area Meter CI-203) เก็บตัวอย่างใบสบู่ดำทุกเดือนโดยคัดเลือกใบที่เจริญเติบโตเต็มที่จากแต่ละต้น 5 กรัม เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และทองแดง ในสบู่ดำแต่ละสายพันธุ์ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ; Model: AAnalyst 100 ที่ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยา ศึกษาศาสตร์เกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์สบู่ดำที่เจริญเติบโตได้ในดินตะกอนและอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการปลูกต้นสบู่ดำ

5. การบันทึกข้อมูล

5.1 พื้นที่ใบ

การวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ (Laser Area Meter CI-203) โดยทำการวัดและเก็บตัวอย่างทุก 1 เดือน โดยวัดต้นสบู่ดำในแต่ละสายพันธุ์ และนำไปหาค่าเฉลี่ยต่อต้นของแต่ละสายพันธุ์

5.2 องค์ประกอบทางเคมี

นำใบสบู่ดำที่ผ่านการอบแห้งไปวิเคราะห์หาปริมาณ ธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และทองแดง ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ; ยี่ห้อ Perkin Elmer ; Model: AAnalyst 100

6. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) แบบ Factorial in CRD จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ IRRISTAT 4.3 โดยใช้หลักในการประเมินที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

7. สถานที่ทำการวิจัย

7.1 ดำเนินการวิจัยโดยใช้ต้นสบู่ดำ ที่ปลูกในกระถางเพื่องานวิจัย จำนวน 105 กระถาง ในเรือนเพาะชำ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

7.2 ห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาพืช ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

8. ระยะเวลาทำการวิจัย

ระยะเวลาทำการวิจัยเริ่มตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2550 ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ.2551 รวมใช้ระยะเวลาทั้งหมด 13 เดือน

ผลและวิจารณ์

1. ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสับดูดำแต่ละสายพันธุ์โดยใช้ดินปลูกผสมกับดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาเป็นวัสดุปลูก

1.1 ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสับดูดำแต่ละสายพันธุ์โดยเปรียบเทียบกับพื้นที่ใบ

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สัดส่วนของดินปลูก ต่อ ดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 6) ต้นสับดูดำที่ปลูกลงในอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอน 6:4 มีพื้นที่ใบสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอน 5:5 และจากการสังเกตพบว่า ในช่วงเดือนที่ 3 หลังปลูก และในช่วงเดือนที่ 5 หลังปลูก สับดูดำมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว สับดูดำมีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 4) โดยอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอน 6:4 ช่วงเดือนที่ 7 หลังปลูก มีพื้นที่ใบสูงที่สุด คือ สับดูดำสายพันธุ์ CK-B34 มีพื้นที่ใบสูงสุด คือ 58.64 ตารางเซนติเมตรต่อต้น รองลงมาคือ สับดูดำสายพันธุ์ CK-A79 มีพื้นที่ใบ 55.74 ตารางเซนติเมตรต่อต้น สับดูดำสายพันธุ์ CK-B22 มีพื้นที่ใบ 55.58 ตารางเซนติเมตรต่อต้น สับดูดำสายพันธุ์ CK-B47 มีพื้นที่ใบ 55.12 ตารางเซนติเมตรต่อต้นและสับดูดำสายพันธุ์ CK-A87 มีพื้นที่ใบ 54.11 ตารางเซนติเมตรต่อต้นตามลำดับ (ตารางที่ 7)

จากการรายงานของ เอิบและคณะ (2543) พบว่า คุณภาพของดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปามีคุณภาพเบื้องต้นค่อนข้างดี โดยมีปฏิกิริยาดิน (pH) อยู่ในระดับที่ไม่เป็นข้อจำกัดต่อการละลายธาตุอาหารพืช ตะกอนมีระดับของอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูง มีไนโตรเจนรวมสูง และธาตุอื่นๆ อยู่ในระดับที่สามารถใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ เมื่อเพาะปลูกท่อนพันธุ์สับดูดำลงในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 6:4 สับดูดำทุกสายพันธุ์จึงสามารถเจริญเติบโตได้ดี สอดคล้องกับ มณฑยา (2546) ได้ทดลองพบว่า การใช้ดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาทำปุ๋ยหมักในอัตราส่วนตะกอน ร้อยละ 10 และร้อยละ 20 พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี เช่นเดียวกับ วรกาย (2541) ได้รายงานว่าอัตราส่วนดินทรายผสมกับตะกอนน้ำเสียชุมชน ในอัตราส่วน 1:3 สามารถปลูกมะเขือเพื่อบริโภคได้

ตารางที่ 7 พื้นที่ใบของพืชสบูดำแต่ละสายพันธุ์ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือน หลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

อายุ (เดือน)	พันธุ์	อัตราส่วน						
		100%	1:9	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4
2	CK-B47	41.32i-k	42.61n-p	43.04p-q	43.25q-r	44.65v-ac	45.12ac-ag	45.82aj-an
	CK-A87	36.41a	37.94c	39.15e	40.26f-q	41.74k-l	43.85s-u	44.78x-ad
	CK-B22	41.18h-j	42.94o-q	43.25q-r	44.33u-x	44.75x-ad	45.65ah-ak	46.79ap-aq
	CK-A79	41.12h-j	42.28m-n	42.35m-n	43.12q-r	44.52v-aa	44.95z-af	46.27an-ao
	CK-B34	40.78h-j	41.99l-m	42.51n-o	43.25q-r	44.62v-ab	45.24ad-ah	46.17al-ao
3	CK-B47	42.45m-o	44.53v-aa	44.87z-ae	44.97aa-af	45.08ab-ag	45.75ai-am	46.02ak-ao
	CK-A87	37.17b	38.45d	40.75g-h	41.08h-j	42.85o-q	44.18t-v	45.08ab-ag
	CK-B22	42.35m-n	44.32u-x	44.47v-z	45.38af-aj	45.68ah-al	46.82ap-aq	47.69at-av
	CK-A79	41.35i-k	44.23t-w	44.51v-aa	44.75x-ad	45.74ai-am	45.99ak-ao	46.18am-ao
	CK-B34	41.75k-l	43.26q-r	43.76s-t	44.35v-y	45.38af-aj	45.96ak-ao	47.69at-av
4	CK-B47	48.24aw-ba	48.45az-bd	49.72bm-bq	49.89bo-bt	50.24br-bw	50.64bv-bz	51.35cb-cg
	CK-A87	43.15q-r	44.55v-aa	46.17al-ao	47.08aq-ar	48.62ba-bf	50.51bu-by	51.21ca-cf
	CK-B22	48.35ax-bb	48.78bb-bh	49.54bj-bo	49.57bj-bo	50.67bw-bz	51.18ca-cf	52.18ch-cj
	CK-A79	48.95be-bi	49.15bg-bk	50.17bq-bw	50.81bx-ca	51.52cf-cg	51.45ce-cg	52.89ck-co
	CK-B34	47.86au-ax	49.21bh-bl	49.18bh-bl	50.38bt-bx	50.21br-bw	51.35cb-cg	54.39cu
5	CK-B47	45.32ae-ai	45.66ah-ak	46.98aq-ar	46.78ap-aq	47.02aq-ar	47.85au-aw	48.19aw-ba
	CK-A87	40.99h-i	41.52j-l	43.58r-s	44.85y-ae	45.41af-aj	47.65as-av	48.90bc-bi
	CK-B22	45.12ac-ag	45.56ag-ak	46.38ao-ap	47.18aq-as	47.91au-ay	48.68ba-bg	49.65bl-bp
	CK-A79	45.74ai-am	47.75au-aw	47.75au-aw	48.41az-bc	48.91bd-bi	49.09bf-bj	49.79bn-bs
	CK-B34	44.68z-ac	46.02ak-ao	45.79ai-an	46.25an-ao	47.18aq-as	47.68at-av	51.39cc-cg
6	CK-B47	48.75bb-bh	49.01be-bi	50.93by-cb	51.12bz-cf	52.45ci-ck	52.74ck-cn	54.21ct-cu
	CK-A87	43.84s-u	45.43af-aj	47.21aq-at	47.75au-aw	49.02be-bi	51.04bz-cd	52.08ch-ci
	CK-B22	48.57ba-be	49.09bf-bj	50.75bx-ca	51.38cb-cg	52.47ci-ck	53.08cl-cp	54.27ct-cu
	CK-A79	49.35bi-bm	49.75bm-br	50.24bs-bw	51.74cg-ch	52.41ci-ck	53.84cs-ct	54.27ct-cu
	CK-B34	48.37ay-bb	50.14bp-bu	50.81bx-ca	51.42cd-cg	51.12bz-cf	53.16cn-cp	57.68cx
7	CK-B47	49.21bh-bl	49.63bk-bo	51.21ca-cf	52.45ci-ck	53.12cm-ep	55.11ev	55.12ev
	CK-A87	44.37v-y	45.85aj-an	47.45ar-au	47.98av-az	49.27bi-bm	51.74cg-ch	54.11cs-cu
	CK-B22	49.64bk-bo	50.15bq-bv	50.95by-cc	52.18ch-cj	53.57cp-cr	53.19cn-cq	55.58cv-cw
	CK-A79	50.39bu-bx	50.35bt-bx	51.08bz-ce	52.62cj-cl	53.34co-cq	53.84cr-ct	55.74cw
	CK-B34	48.38ay-bb	51.22cz-cf	51.23ca-cf	52.71ck-cn	52.64cj-cm	53.68cq-es	58.64cx

ตารางที่ 7 (ต่อ)

$$CV(\%) = 0.6$$

F-Test

$$R \text{ (Ratio)} = ** ; \text{LSD (5\%)} = 0.09$$

$$P \text{ (Plant)} = ** ; \text{LSD (5\%)} = 0.07$$

$$T \text{ (Time)} = ** ; \text{LSD (5\%)} = 0.08$$

$$R \times T \times P = ** ; \text{LSD (5\%)} = 0.49$$

หมายเหตุ $\underline{1}$ = ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ

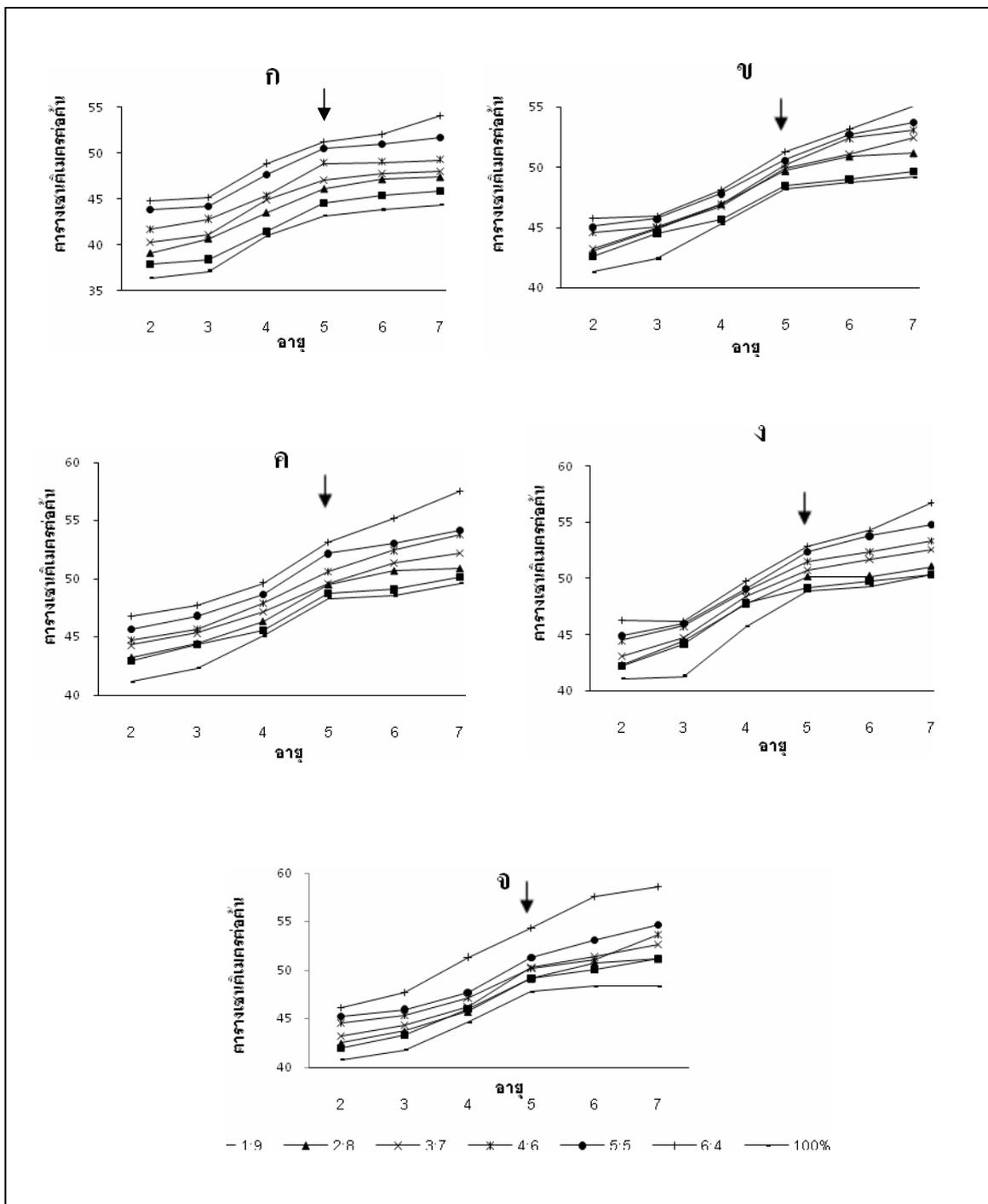
$\underline{2}$ = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD

$\underline{3}$ = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD

* = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 6 พื้นที่ใบของสำนุ่ดำ (ตารางเซนติเมตรต่อต้น) ที่เจริญเติบโตในอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอนที่อายุแตกต่างกัน ก. สายพันธุ์ CK-B47 ข. สายพันธุ์ CK-A87 ค. สายพันธุ์ CK-B22 ง. สายพันธุ์ CK-A79 จ. สายพันธุ์ CK-B34

2. การสะสมธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม เหล็ก และทองแดงของสบูดำแต่ละสายพันธุ์ที่เติบโตในดินปลูกผสมกับดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาเป็นวัสดุปลูก

2.1 คุณภาพของดินตะกอนต่อการสะสมธาตุแคลเซียมของสบูดำแต่ละสายพันธุ์

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สบูดำมีการสะสมธาตุแคลเซียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติตามช่วงอายุ สัดส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้านสายพันธุ์ โดยเฉพาะในช่วงอายุ 5 เดือน หลังปลูก (ตารางที่ 3) พบว่าสบูดำสายพันธุ์ CK-B47 มีปริมาณการสะสมแคลเซียมสูงที่สุด 65.223 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6 เมื่อเทียบกับสบูดำที่ปลูกในดินตะกอน 100% คือ 55.940 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ สบูดำสายพันธุ์ CK-A79 มีการสะสมแคลเซียม 61.880 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอน 3:7 เมื่อเทียบกับสบูดำที่ปลูกในดินตะกอน 100% คือ 49.210 มิลลิกรัมต่อลิตร สบูดำสายพันธุ์ CK-B22 มีการสะสมแคลเซียม 61.210 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6 เมื่อเทียบกับสบูดำที่ปลูกในดินตะกอน 100% คือ 47.063 มิลลิกรัมต่อลิตร สบูดำสายพันธุ์ CK-B34 มีการสะสมแคลเซียม 59.730 มิลลิกรัมต่อลิตร ในอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6 เมื่อเทียบกับสบูดำที่ปลูกในดินตะกอน 100% คือ 51.563 มิลลิกรัมต่อลิตร และสบูดำสายพันธุ์ CK-A87 มีการสะสมแคลเซียม 58.790 มิลลิกรัมต่อลิตรในอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6 เมื่อเทียบกับสบูดำที่ปลูกในดินตะกอน 100% คือ 43.620 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

สอดคล้องกับ Marungij and Robinson (1992) ได้รายงานว่าในสภาพดินที่เป็นกรด พืชแสดงอาการขาดธาตุแคลเซียมมากกว่าในดินที่เป็นด่าง อัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6 ที่สบูดำมีการสะสมธาตุแคลเซียมได้สูงที่สุดมีค่าพีเอช 5.6 (ตารางที่ 4) พบว่าแคลเซียมละลายในดินในสภาพของ exchangeable cation ซึ่งแคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ และเกี่ยวข้องกับการสร้างเยื่อของเซลล์ การแบ่งเซลล์ตามปกติจะต้องมีแคลเซียมอยู่ เมื่อขาดแคลเซียมจะทำให้การแบ่งเซลล์ผิดปกติไปเพราะว่าเนื้อเยื่อเจริญไม่สมบูรณ์ (วัลลภ, 2551) โดยปกติทั่วไปในดินมักไม่ค่อยขาดแคลเซียมยกเว้นในดินที่เป็นกรด ซึ่งมีค่าพีเอชต่ำพืชที่ขาดแคลเซียมพบว่าบริเวณปลายยอดและปลายรากไม่เจริญ (สมบุญ, 2548)

ตารางที่ 8 การสะสมธาตุแคลเซียมในใบสับจุ่ม (มิลลิกรัมต่อลิตร) สายพันธุ์ CK- A79, CK- A87, CK- B22, CK- B34, CK- B47 ที่ปลูกในดินตะกอน 100% และ ดินผสมอัตราส่วนต่างๆกัน

อายุ (เดือน)	พันธุ์	อัตราส่วน						
		100% Δ	1:9	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4
2	CK-B47	32.420a-b Δ	32.243a	34.790a-r	36.257a-y	34.740a-q	33.600a-g	34.037a-l
	CK-A87	33.200 a-e	33.127a-d	36.007-x	36.387a-y	35.537a-v	32.630a-c	33.853a-i
	CK-B22	33.923a-j	33.423a-f	35.120a-t	36.663a-aa	36.570a-aa	33.800a-i	33.573a-f
	CK-A79	32.673a-c	34.493a-o	34.183a-lm	35.473a-v	34.583a-p	33.970a-k	34.143a-m
	CK-B34	33.083a-d	32.690a-c	34.130a-m	36.467a-z	34.863a-s	34.063a-l	33.493a-f
3	CK-B47	39.593h-aq	33.680a-h	36.393a-y	37.627a-ae	42.087y-bc	40.487p-au	39.563g-aq
	CK-A87	40.750r-aw	36.900a-ab	38.783d-al	39.610h-aq	44.757am-bn	38.353b-ai	38.007a-ag
	CK-B22	35.267a-u	33.450a-f	37.703a-af	36.910a-ab	46.053au-bq	43.590ae-bk	39.913k-as
	CK-A79	39.830j-ar	37.130a-ac	34.373a-n	40.280n-au	41.913x-bb	40.690q-av	40.493p-au
	CK-B34	36.680a-aa	38.437c-aj	40.577q-au	40.047m-at	44.143ah-bl	39.847j-ar	41.713w-ba
4	CK-B47	40.947t-aw	43.573ae-bk	47.337ba-br	49.310bi-bu	45.083ao-bo	43.900ag-bl	40.907t-aw
	CK-A87	41.783x-bb	43.980ag-bl	48.940bg-bu	43.917ag-bl	44.273ai-bl	43.387ae-bj	42.653ab-bf
	CK-B22	41.827x-bb	44.597al-bm	43.993ag-bl	48.400be-bt	41.997y-bc	40.253n-au	46.023au-bq
	CK-A79	40.773s-aw	42.373z-bd	43.343ae-bi	48.457be-bt	45.693ar-bp	47.053ax-br	50.293bm-bw
	CK-B34	42.133y-bc	47.250az-br	48.173bd-bs	49.480bk-bu	40.177n-au	39.123e-ao	45.650ar-bp
5	CK-B47	55.940bw-ce	52.707br-bz	53.870bs-cb	56.303bx-ce	65.223cf	58.403bz-ce	61.200cd-cf
	CK-A87	43.620af-bk	51.893bq-by	55.620bv-cd	51.803bq-by	58.790ca-ce	48.577bf-bt	49.330bj-bu
	CK-B22	47.063ax-br	47.690bb-br	50.830bo-b	52.890br-ca	61.210cd-cf	55.963bw-ce	56.300bx-ce
	CK-A79	49.210bi-bu	49.660bl-bv	50.250m-bw	61.880ce-cf	54.230bt-cc	58.417bz-ce	60.123cc-ce
	CK-B34	51.563bp-by	52.700br-bz	54.610bu-cc	56.180bw-ce	59.730cb-ce	54.370bt-cc	57.870bx-ce
6	CK-B47	43.120ad-bh	43.710ag-bl	44.420ak-bm	44.950an-b	49.090bh-bu	49.500bk-bu	56.770by-ce
	CK-A87	39.653i-aq	41.260u-ay	44.630al-bm	44.953an-bo	45.180ap-bo	46.610av-bq	49.330bj-bu
	CK-B22	43.540ae-bk	44.140ah-bl	44.350aj-bm	45.330aq-bo	47.163ay-br	47.890bc-br	58.550bz-ce
	CK-A79	42.980ac-bg	44.240ai-bl	45.830as-bp	46.000at-bq	49.650bl-bv	46.690aw-bq	59.500cb-ce
	CK-B34	42.140y-bc	42.510aa-be	43.110ad-bg	44.763am-bn	45.180ap-bo	48.220bd-bs	50.730bn-bx
7	CK-B47	37.060a-ac	38.550c-ak	38.780d-al	39.043d-an	38.920d-am	39.043d-an	41.017t-aw
	CK-A87	37.303a-ad	39.190f-ao	39.990l- as	40.460o-au	40.100m-au	40.160n-a	41.363v-az
	CK-B22	35.760a-w	37.25a-ad	38.567c-ak	39.303f-ap	41.097u-ax	36.693a-ab	40.667q-av
	CK-A79	36.877a-ab	36.513a-z	38.810d-am	38.983d-an	40.630q-au	40.717r-av	40.840t-aw
	CK-B34	37.280a-ad	38.220b-ah	38.850d-am	39.200f-ao	39.317f-ap	38.940d-am	40.040m-at

ตารางที่ 8 (ต่อ)

$$CV(\%) = 8.7$$

F-Test

$$R \text{ (Ratio)} = ** ; \text{LSD (5\%)} = 1.09$$

$$P \text{ (Plant)} = \text{ns} ; \text{LSD (5\%)} = 0.92$$

$$T \text{ (Time)} = ** ; \text{LSD (5\%)} = 1.00$$

$$R \times T \times P = \text{ns} ; \text{LSD (5\%)} = 5.97$$

หมายเหตุ 1 = ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ

2 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD

3 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD

* = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2.2 คุณภาพของดินตะกอนต่อการสะสมธาตุแมกนีเซียมของสับุ้ดำแต่ละสายพันธุ์

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สับุ้ดำมีการสะสมธาตุแมกนีเซียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติตามช่วงอายุ สักส่วนผสมดินและสายพันธุ์ โดยสับุ้ดำมีการสะสมแมกนีเซียมสูงที่สุด ในอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอนที่ 6:4 ทุกสายพันธุ์ ที่อายุ 6 เดือนหลังปลูก คือ สับุ้ดำสายพันธุ์ CK-B22 สะสมแมกนีเซียมสูงที่สุด 16.333 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับสับุ้ดำที่ปลูกในดินตะกอน 100% คือ 14.213 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ สับุ้ดำสายพันธุ์ CK-B47, สับุ้ดำสายพันธุ์ CK-A79 และ สับุ้ดำสายพันธุ์ CK-B34 มีปริมาณการสะสมแมกนีเซียม 15.343, 15.010, 15.010 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเทียบกับสับุ้ดำที่ปลูกในดินตะกอน 100% คือ 14.270, 14.433 และ 13.383 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับของสายพันธุ์ นอกจากนี้สับุ้ดำสายพันธุ์ CK-A87 มีการสะสมแมกนีเซียมสูงที่สุดที่ 15.020 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อายุ 3 เดือนหลังปลูกเมื่อเทียบกับสายพันธุ์เดียวกันที่ปลูกลงในดินตะกอน 100% มีการสะสมแมกนีเซียม 13.707 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 9)

สอดคล้องกับการรายงานของ Marungij and Robinson (1992) และ Lee (1971) ว่าในดินที่มีการสะสมของอะลูมิเนียมสูงสับุ้ดำจะมีการสะสมธาตุแมกนีเซียมได้น้อย โดยธาตุแมกนีเซียมมีสภาพอยู่ในดิน 3 รูปแบบ คือ soluble form, exchangeable form และ fixed form แต่ปริมาณส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพของ Mg-silicate ซึ่งพืชเอาไปใช้ไม่ได้ในธรรมชาติ คือ อยู่ในรูป fixed form เป็นส่วนมากและธรรมชาติก็มีขบวนการปลดปล่อยออกมาอย่างช้าๆ โดยแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ มีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงและการหายใจ (วัลลภ, 2551)

ตารางที่ 9 การสะสมธาตุแมกนีเซียมในใบสับจุ่ม (มิลลิกรัมต่อลิตร) สายพันธุ์ CK- A79, CK- A87, CK- B22, CK- B34, CK- B47 ที่ปลูกในดินตะกอน 100% และ ดินผสมอัตราส่วนต่างๆกัน

อายุ (เดือน)	พันธุ์	อัตราส่วน						
		100% $\frac{1}{1}$	1:9	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4
2	CK-B47	13.503p-ap	13.180g-y	13.553r-ar	13.873af-bh	13.880ag-bh	14.220as-bw	14.270av-by
	CK-A87	12.873c-n	13.227h-ac	13.343j-ah	13.597t-ar	13.737y-ay	13.830ac-bf	14.350az-cb
	CK-B22	13.100e-w	13.317i-ah	13.493n-ao	13.540p-ap	13.453q-ar	14.043an-bp	14.340ax-ca
	CK-A79	13.250h-ae	13.460n-ao	13.527q-aq	13.543q-ar	13.640u-at	13.803aa-bb	14.227as-bx
	CK-B34	13.163f-y	13.180g-y	13.710w-aw	13.823ab-bf	13.860ae-bg	14.330ax-ca	14.370ba-cc
3	CK-B47	13.903ag-bj	14.490bi-ch	14.593bn-ci	14.683br-ci	14.630bo-ci	14.553bl-ci	14.830bw-cj
	CK-A87	13.707w-av	13.447n-an	14.247at-bx	14.347ax-ca	14.330ay-cb	14.590bn-ci	15.020cf-ck
	CK-B22	14.143ar-bu	14.237as-bx	14.430be-cg	14.693br-ci	14.777bv-cj	15.003ce-ck	15.077ch-ck
	CK-A79	13.490o-ap	13.820ab-be	13.967aj-bm	14.227as-bx	14.267au-by	14.710bt-ci	14.753bu-cj
	CK-B34	14.250at-bx	13.763y-ba	14.013am-bp	14.587bn-ci	14.557bl-ci	14.730bt-ci	14.890bz-cj
4	CK-B47	12.903c-p	13.000d-t	13.453n-ao	13.703w-av	13.813ab-bc	14.087ap-br	14.503bj-ch
	CK-A87	12.550a-e	13.037e-u	12.963d-s	13.267h-af	13.597t-ar	13.887ag-bi	14.270av-by
	CK-B22	12.813c-m	12.943d-r	13.077e-v	13.367l-aj	13.910ah-bk	14.350az-cb	14.693br-ci
	CK-A79	12.993d-t	13.187g-z	13.327i-ah	13.493p-ap	13.730x-az	13.797z-bb	14.407bb-ce
	CK-B34	12.080a	12.157a-b	12.977d-s	13.657v-au	13.957ai-bl	14.527bl-ci	14.953cb-ck
5	CK-B47	13.250h-ae	13.400m-al	13.423m-am	13.627u-as	13.827ab-bf	13.990ak-bn	14.130aq-bt
	CK-A87	12.760b-l	13.187e-v	13.363l-aj	13.703w-av	13.840ad-bg	14.150ar-bu	14.483bh-ch
	CK-B22	13.343j-ah	13.353k-ai	13.500p-ap	13.597t-ar	14.260au-by	14.377bb-cc	14.690br-ci
	CK-A79	13.083e-v	13.200h-aa	13.527q-aq	13.850ae-bg	14.093ap-bs	14.040an-bp	14.030am-bp
	CK-B34	13.297h-ag	13.427n-am	13.817ab-bd	13.750y-az	14.047an-bp	14.240at-bx	14.280av-bz
6	CK-B47	14.270av-by	14.423bc-cf	14.403bb-ce	14.790bv-cj	14.903ca-cj	14.990cd-ck	15.343ck-cl
	CK-A87	14.010al-bo	14.063ao-bq	14.517bk-ch	14.590bn-ci	14.660bq-ci	14.823bv-cj	14.863by-ci
	CK-B22	14.213as-bv	14.313av-ca	14.477bh-ch	14.700bs-ci	15.040cg-ck	15.723cl-cm	16.333cm
	CK-A79	14.433bf-cg	14.427bd-cf	14.537bl-ci	14.510bj-ch	14.570bm-ci	14.650bp-ci	15.130ce-ck
	CK-B34	13.383aa-bb	14.133aq-bt	14.383bb-ed	14.837bx-cj	14.957cb-ck	14.967cc-ck	15.010ci-cl
7	CK-B47	12.330a-c	12.690a-h	12.880e-o	12.940c-q	13.397m-ak	13.550q-ar	15.543ej-cl
	CK-A87	12.530a-e	12.697b-h	12.743b-k	12.740b-j	13.030e-u	13.450n-an	14.443bg-cg
	CK-B22	12.583a-g	12.760b-l	12.880e-o	13.217h-ab	13.120e-x	13.563s-ar	14.320aw-ca
	CK-A79	12.413a-d	12.557a-f	12.760b-l	12.760b-l	13.230h-ad	13.223h-ac	14.363ba-cc
	CK-B34	12.543a-c	12.700b-h	12.730b-i	13.040e-u	12.960d-s	13.107e-w	14.280av-bz

ตารางที่ 9 (ต่อ)

$$CV(\%) = 2.8$$

F-Test

$$R \text{ (Ratio)} = ** ; \text{LSD (5\%)} = 0.11$$

$$P \text{ (Plant)} = ** ; \text{LSD (5\%)} = 0.09$$

$$T \text{ (Time)} = ** ; \text{LSD (5\%)} = 0.10$$

$$R \times T \times P = ** ; \text{LSD (5\%)} = 0.61$$

หมายเหตุ $\underline{1}$ = ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ

$\underline{2}$ = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD

$\underline{3}$ = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD

* = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2.3 คุณภาพของดินตะกอนต่อการสะสมธาตุโพแทสเซียมของสบู่ดำแต่ละสายพันธุ์

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สบู่ดำมีการสะสมธาตุโพแทสเซียมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติตามช่วงอายุ สัดส่วนผสมดินและสายพันธุ์ โดยสบู่ดำมีการสะสมธาตุโพแทสเซียมสูงที่สุดในอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอน 6:4 ที่อายุ 7 เดือนหลังปลูก คือ สบู่ดำสายพันธุ์ CK-B22, สบู่ดำสายพันธุ์ CK-B34, สบู่ดำสายพันธุ์ CK-A79, สบู่ดำสายพันธุ์ CK-A87 และ สบู่ดำสายพันธุ์ CK-B47 มีการสะสมธาตุโพแทสเซียมที่ 26.943 , 26.577, 23.007, 21.567 และ 19.573 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และเมื่อเทียบกับสบู่ดำที่ปลูกลงในดินตะกอน 100% มีการสะสมธาตุโพแทสเซียม 17.670, 17.317, 14.913, 15.787 และ 16.883 ตามลำดับของสายพันธุ์ (ตารางที่ 10)

สอดคล้องกับการรายงานของ Lee (1971) ใน พีเอชต้าสบู่ดำสามารถสะสมธาตุโพแทสเซียมได้น้อย โดยโพแทสเซียมในดินอยู่ในสภาพ soluble form, exchangeable form and fixed form และ ทั้ง 3 รูปแบบนี้จะอยู่ในสภาพสมดุลเพราะฉะนั้นการที่จะมีโพแทสเซียมในดินมากน้อยเท่าไร ขึ้นอยู่กับสภาพสิ่งแวดล้อมที่จะรักษาสมดุลได้ดีแค่ไหนทั้งนี้เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่ละลายน้ำได้ดี ถูกชะล้างในดินได้ง่าย และมีได้เป็นองค์ประกอบหลักในโมเลกุลหรือในโครงสร้างของพืชจึงอยู่ในเซลล์พืชในสภาพไอออนที่ละลายน้ำได้ โพแทสเซียมมีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ดีและมีบทบาทสำคัญเกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และการปิดเปิดของปากใบ (วัลลภ,2551)

ตารางที่ 10 การสะสมธาตุโพแทสเซียมในใบสับค้ำ(มิลลิกรัมต่อลิตร)สายพันธุ์ CK- A79, CK- A87,CK- B22, CK- B34, CK- B47 ที่ปลูกในดินตะกอน 100% และดินผสมอัตราส่วนต่างๆกัน

อายุ (เดือน)	พันธุ์	อัตราส่วน						
		100% $\frac{1}{1}$	1:9	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4
2	CK-B47	9.813a-b $\frac{1}{2}$	11.167a-j	11.597a-t	11.623a-o	11.853a-	12.310b-ab	12.407b-ad
	CK-A87	9.500a-b	10.813a-f	10.840a-g	10.950a-h	11.337a-i	11.607a-o	11.920a-w
	CK-B22	11.073a-i	10.530a-d	11.583a-o	11.760a-q	11.807a-s	12.090a-x	12.127a-z
	CK-A79	10.487a-c	10.530a-d	10.737a-f	11.783a-r	12.533b-ae	12.737c-ag	12.943c-aj
	CK-B34	10.650a-e	11.080a-i	11.560a-n	12.343b-ad	12.593c-ae	14.523s-ax	14.633w-ay
3	CK-B47	11.117a-j	11.910a-w	11.863a-u	12.117a y	12.867c-ai	13.577h-an	14.923aa-bb
	CK-A87	11.207a-k	11.870a-u	12.100a-x	12.120a-z	12.203a-aa	12.707c-ag	12.620c-af
	CK-B22	11.373a-m	12.667c-ag	12.753c-ag	13.280e-al	13.323e-al	13.427f-am	13.950l-ar
	CK-A79	11.537a-n	11.827a-s	11.897a-v	12.147a-z	12.740c-ag	12.887c-ai	13.037c-ak
	CK-B34	10.783a-f	12.600c-af	12.730c-ag	13.780i-ar	14.003l-ar	14.693x-ay	15.127ad-bc
4	CK-B47	12.910c-aj	12.330b-ac	12.847c-ah	13.563g-an	13.730i-aq	14.887aa-bb	15.330af-be
	CK-A87	12.213a-aa	13.247d-al	12.677c-ag	12.723c-ag	12.747c-ag	12.777c-ah	13.603h-ap
	CK-B22	12.867c-ai	13.313e-al	13.573h-an	14.017l-ar	14.027l-ar	14.197n-au	14.293o-au
	CK-A79	11.713a-p	11.763a-q	12.693c-ag	13.587h-ao	13.337e-al	13.793i-ar	15.217ae-bd
	CK-B34	12.701c-ag	13.773i-ar	14.377p-aw	14.623v-ay	14.773x-az	15.583ai-bf	15.703ak-bf
5	CK-B47	13.987l-ar	14.057l-as	14.180n-au	14.390p-am	14.700x-ay	14.900aa-bb	15.640aj-bf
	CK-A87	12.827c-ah	13.353e-am	13.443f-an	13.830j-ar	14.110n-at	14.210n-au	14.593u-ay
	CK-B22	13.363e-am	14.017l-ar	14.077m-as	14.423p-aw	14.500r-ax	14.533s-ax	15.807al-bg
	CK-A79	11.927a-w	12.860c-ai	13.667h-ap	14.367p-aw	14.850z-ba	15.497ah-bf	16.327ap-bi
	CK-B34	13.017c-ak	15.200ae-bd	15.240ae-be	16.160an-bh	16.163an-bh	16.310ao-bi	16.783as-bk
6	CK-B47	14.567t-ax	14.847y-ba	14.967ah-bc	15.877al-bg	16.460ag-bj	17.907bd-bp	20.167bo-bu
	CK-A87	12.850c-ah	13.937k-ar	14.027l-ar	14.080m-as	15.713ak-bf	15.390ag-bf	16.450aq-bj
	CK-B22	14.457q-ax	14.667z-ay	15.043ac-bc	16.844au-bm	16.980av-bn	16.993av-bn	17.510ba-bo
	CK-A79	13.557g-an	14.350p-aw	14.707x-ay	16.080am-bg	16.320ap-bi	16.483ar-bj	18.950bi-bs
	CK-B34	14.180n-au	15.743ak-bf	16.823at-bl	17.470az-bo	18.483bg-bq	20.390bp-bv	22.667bt-bw
7	CK-B47	16.883au-bm	18.870bh-br	19.003bi-bs	19.270bk-bs	19.573bm-bs	20.147bo-bt	20.397bp-bv
	CK-A87	15.787al-bg	17.077aw-bn	17.157ax-bn	17.913bd-pb	19.493bk-bs	19.533bl-bs	21.567br-bv
	CK-B22	17.670bc-bp	19.287bk-bs	19.113bj-bs	19.663bn-bs	21.620bs-bv	24.807bw-bx	26.943bx
	CK-A79	14.913aa-bb	17.570ba-bo	17.967be-bq	19.117bj-bs	19.130bj-bs	20.060bo-bt	23.007bv-bw
	CK-B34	17.317ay-bn	17.593bb-bo	18.113bf-bq	20.653bq-bv	22.887bu-bw	23.087bv-bw	26.577bx

ตารางที่ 10 (ต่อ)

$$CV(\%) = 11.6$$

F-Test

$$R \text{ (Ratio)} = ** ; \text{LSD (5\%)} = 0.498 \quad P \text{ (Plant)} = ** ; \text{LSD (5\%)} = 0.421$$

$$T \text{ (Time)} = ** ; \text{LSD (5\%)} = 0.461 \quad R \times T \times P = ** ; \text{LSD (5\%)} = 2.73$$

หมายเหตุ $\angle 1$ = ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ

$\angle 2$ = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD

$\angle 3$ = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD

* = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2.4 คุณภาพของดินตะกอนต่อการสะสมธาตุเหล็กของสับุ่ดำแต่ละสายพันธุ์

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สับุ่ดำมีการสะสมธาตุเหล็กแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งทางสถิติตามช่วงอายุ สักส่วนผสมดินและสายพันธุ์ ในช่วงอายุ 5 เดือนหลังปลูก พบว่าสายพันธุ์ CK-B47 มีการตอบสนองต่อการสะสมธาตุเหล็กสูงที่สุดในอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอนต่างกันคือ 4:6, 3:7 และ 6:4 โดยมีการสะสมธาตุเหล็ก 1.660, 1.650, 1.650 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเทียบกับสับุ่ดำที่ปลูกลงในดินตะกอน 100% มีการสะสมธาตุเหล็ก 1.338 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ สับุ่ดำสายพันธุ์ CK-A79, CK-B34, CK-A87 และ สับุ่ดำสายพันธุ์ CK-B22 ตามลำดับ ซึ่งมีการสะสมธาตุเหล็กสูงที่สุดที่อัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6 โดยมีปริมาณการสะสมธาตุเหล็ก 1.490, 1.390, 1.340 และ 1.340 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับของสายพันธุ์ ซึ่งเมื่อเทียบกับสับุ่ดำที่ปลูกลงในดินตะกอน 100% มีการสะสมธาตุเหล็ก 1.173, 1.110, 1.150 และ 1.240 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับของสายพันธุ์ (ตารางที่ 11)

ทั้งนี้จากผลการทดลองบ่งชี้ให้เห็นว่าปริมาณธาตุอะลูมิเนียมในดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปามีผลต่อการสะสมธาตุเหล็กในต้นสับุ่ดำ โดยทำให้สับุ่ดำมีความสามารถสะสมธาตุเหล็กมีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงเดือนที่ 2 ถึงเดือนที่ 5 หลังปลูก และมีแนวโน้มลดลงน้อยลงเมื่ออายุมากขึ้น (เดือนที่ 6 และเดือนที่ 7) และ สับุ่ดำมีความทนทานต่ออิทธิพลของธาตุอะลูมิเนียมในดินตะกอนได้ดี ทำให้สามารถเจริญเติบโตได้ดี เพราะ ธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ แม้ในดินมีอะลูมิเนียมสะสมในดินจำนวนมากหรือในภาวะเป็นกรด จะมีการจำกัดการสะสมธาตุเหล็กในสับุ่ดำ สอดคล้องกับการรายงานของ Marungi and Robinson (1992) ว่าในดินที่มีค่าพีเอชสับุ่ดำจะมีการสะสมธาตุเหล็กได้น้อย

ตารางที่ 11 การสะสมธาตุเหล็กในใบสบู่ดำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) สายพันธุ์ CK- A79, CK- A87, CK- B22, CK- B34, CK- B47 ที่ปลูกในดินตะกอน 100% และ ดินผสมอัตราส่วนต่างๆกัน

อายุ (เดือน)	พันธุ์	อัตราส่วน						
		100% $\frac{1}{1}$	1:9	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4
2	CK-B47	1.046n-an ^z	0.807a-j	1.067q-ap	0.940d-u	0.900c-r	0.983h-ac	1.209ah-bf
	CK-A87	1.030m-al	0.758a-e	0.957f-x	0.903c-r	0.857c-o	1.020l-ai	1.090r-at
	CK-B22	1.065q-ap	0.770a-g	0.790a-h	0.820a-k	0.880c-q	0.970h-z	1.010k-ag
	CK-A79	0.977h-aa	0.721a-c	0.843b-m	0.747a-d	0.630a	0.953e-w	0.960g-x
	CK-B34	1.035m-am	0.762a-f	0.793a-i	0.653a-b	0.853c-n	0.827b-l	0.860c-p
3	CK-B47	1.13t-ax	0.900c-r	1.137v-az	0.960g-x	1.083r-as	0.987i-ad	1.314aw-bj
	CK-A87	1.087r-at	0.850c-m	1.083r-as	0.907c-s	0.993j-ad	1.030m-al	1.100s-au
	CK-B22	1.130u-ay	0.940d-u	1.030m-al	0.980h-ab	1.000j-ae	1.050o-an	1.240an-bg
	CK-A79	1.027m-ak	0.851c-n	0.970h-z	0.900c-r	0.857c-o	0.953e-w	0.963g-y
	CK-B34	1.053p-an	0.790a-h	0.883c-q	1.017l-ai	0.960g-x	1.050o-an	1.030m-al
4	CK-B47	1.230am-bf	1.052o-an	1.483bi-bm	1.060q-ao	1.157y-bb	1.200ag-bf	1.361bc-bj
	CK-A87	1.087r-at	0.947e-v	1.160z-bb	1.107t-av	1.013k-ah	1.060q-ao	1.130u-ay
	CK-B22	1.140v-az	1.050o-an	1.180ad-bc	1.190ae-bd	1.053p-an	1.230am-bf	1.290au-bi
	CK-A79	1.127u-ay	1.177ab-bc	1.050o-an	0.930d-t	1.150x-ba	1.023l-aj	1.147w-ba
	CK-B34	1.067q-ap	0.966g-z	0.907c-s	1.070q-aq	1.003k-af	1.090r-at	1.090r-at
5	CK-B47	1.338ba-bj	1.347bb-bj	1.46b4h-bl	1.650bl-bm	1.660bm	1.617bk-bm	1.650bl-bm
	CK-A87	1.150x-ba	1.192ae-bd	1.230am-bf	1.280at-bh	1.340ba-bj	1.300av-bj	1.340ba-bj
	CK-B22	1.240an-bg	1.290au-bi	1.300av-bj	1.310aw-bj	1.340ba-bj	1.330az-bj	1.330az-bj
	CK-A79	1.173ab-bc	1.273as-bh	1.317ax-bj	1.317ax-bj	1.490bj-bm	1.380bd-bj	1.430bg-bk
	CK-B34	1.110t-av	1.203ag-bf	1.250ao-bg	1.273as-bh	1.390be-bj	1.290au-bi	1.340ba-bj
6	CK-B47	1.230am-bf	1.360bc-bj	1.313aw-bj	1.350bb-bj	1.310aw-bj	1.340ba-bj	1.234an-bf
	CK-A87	1.177ac-bc	1.223al-bf	1.223al-bf	1.160z-bb	1.197af-be	1.240an-bg	1.240an-bg
	CK-B22	1.190ae-bd	1.230am-bf	1.210ai-bf	1.260ap-bg	1.220ak-bf	1.320ay-bj	1.310aw-bj
	CK-A79	1.167aa-bc	1.330az-bj	1.393bf-bj	1.360bc-bj	1.217aj-bf	1.267ar-bg	1.220ak-bf
	CK-B34	1.240an-bg	1.231am-bf	1.210ai-bf	1.280at-bh	1.260ap-bg	1.240an-bg	1.260ap-bg
7	CK-B47	1.106t-av	1.312aw-bj	1.220ak-bf	1.160z-bb	1.253ao-bg	1.111t-av	1.181ad-bc
	CK-A87	1.150x-ba	1.067q-ap	1.210ai-bf	1.263aq-bg	1.023l-ai	1.073q-ar	1.140v-az
	CK-B22	1.180ad-bc	1.170aa-bc	1.070q-aq	1.180ad-bc	1.160z-bb	1.300av-bj	1.260ap-bg
	CK-A79	1.120t-aw	1.260ap-bg	1.310aw-bj	1.111t-av	1.083r-as	1.050o-an	1.140v-az
	CK-B34	1.160z-bb	1.160z-bb	1.104t-av	1.250ao-bg	1.110t-av	1.200ag-bf	1.240an-bg

ตารางที่ 11 (ต่อ)

$$CV(\%) = 10.8$$

F-Test

$$R \text{ (Ratio)} = ** ; \text{LSD (5\%)} = 0.035 \quad P \text{ (Plant)} = ** ; \text{LSD (5\%)} = 0.03$$

$$T \text{ (Time)} = ** ; \text{LSD (5\%)} = 0.033 \quad R \times T \times P = \text{ns} ; \text{LSD (5\%)} = 0.196$$

หมายเหตุ $\underline{1}$ = ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ

$\underline{2}$ = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD

$\underline{3}$ = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD

* = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

2.5 คุณภาพของดินตะกอนการสะสมธาตุทองแดงของสบู่ดำแต่ละสายพันธุ์

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สบู่ดำมีการสะสมธาตุทองแดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติตามช่วงอายุ สัดส่วนผสมดินและสายพันธุ์ โดยสบู่ดำมีการสะสมธาตุทองแดงสูงที่สุดในช่วงอายุ 4 เดือนหลังปลูก ในอัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอน 6:4 พบว่าสบู่ดำสายพันธุ์ CK-B34 มีการสะสมทองแดงสูงที่สุด 0.157 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับสบู่ดำสายพันธุ์เดียวกันที่ปลูกในดินตะกอน 100% มีการสะสมธาตุทองแดง 0.130 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ สบู่ดำสายพันธุ์ CK-B47, CK-A79, CK-B22 และ CK-A87 ซึ่งมีการสะสมธาตุ 0.150, 0.147, 0.143 และ 0.140 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เมื่อเทียบกับสบู่ดำที่ปลูกลงในดินตะกอน 100% มีการสะสมทองแดง 0.133, 0.113, 0.130 และ 0.130 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับของสายพันธุ์ (ตารางที่ 12) ซึ่งทองแดงในดินจะอยู่ในสภาพหินแร่เป็นส่วนมาก (fixed form) ซึ่งทองแดงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง (วัลลภ, 2551)

ตารางที่ 12 การสะสมธาตุทองแดงในใบสับจุ่ม (มิลลิกรัมต่อลิตร) สายพันธุ์ CK- A79, CK- A87, CK- B22, CK- B34, CK- B47 ที่ปลูกในดินตะกอน 100% และ ดินผสมอัตราส่วนต่างๆกัน

อายุ (เดือน)	พันธุ์	อัตราส่วน						
		100% Δ	1:9	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4
2	CK-B47	0.017b-f	0.020c-f	0.020c-f	0.020c-f	0.023d-g	0.050j-l	0.073n-r
	CK-A87	0.010a-d	0.013a-e	0.013a-e	0.013a-e	0.030f-i	0.043i-k	0.053k-m
	CK-B22	0.010a-d	0.010a-d	0.017b-f	0.036g-j	0.040h-k	0.053k-m	0.053k-m
	CK-A79	0.007a-c	0.013a-e	0.013a-e	0.017b-f	0.023d-g	0.050j-l	0.050j-l
	CK-B34	0.013a-e	0.017b-f	0.017b-f	0.020c-f	0.023d-g	0.053k-m	0.060l-n
3	CK-B47	0.120ab-af	0.123ac-ag	0.127ad-ah	0.133af-aj	0.137ag-ak	0.137ag-ak	0.140ah-ak
	CK-A87	0.107x-ab	0.120ab-af	0.123ac-ag	0.127ad-ah	0.130ae-ai	0.137ag-ak	0.143ai-al
	CK-B22	0.113z-ad	0.120ab-af	0.123ac-ag	0.127ad-ah	0.133af-aj	0.140ah-ak	0.143ai-al
	CK-A79	0.107z-ab	0.117aa-ae	0.123ac-ag	0.123ac-ag	0.123ac-ag	0.137ag-ak	0.140ah-ak
	CK-B34	0.113z-ad	0.117aa-ae	0.123ac-ag	0.127ad-ah	0.130ae-ai	0.130ae-ai	0.133af-aj
4	CK-B47	0.133af-aj	0.133af-aj	0.137ag-ak	0.140ah-ak	0.147aj-al	0.150ak-al	0.150ak-al
	CK-A87	0.130ae-ai	0.133af-aj	0.133af-aj	0.140ah-ak	0.140ah-ak	0.140ah-ak	0.140ah-ak
	CK-B22	0.130ae-ai	0.130ae-ai	0.130ae-ai	0.140ah-ak	0.143ai-al	0.147aj-al	0.147aj-al
	CK-A79	0.113z-ad	0.133af-aj	0.133af-aj	0.133af-aj	0.130ae-ai	0.130ae-ai	0.147aj-al
	CK-B34	0.130ae-ai	0.133af-aj	0.133af-aj	0.140ah-ak	0.140ah-ak	0.150ak-al	0.157al
5	CK-B47	0.080p-t	0.090s-w	0.093t-x	0.093t-x	0.103w-aa	0.107x-ab	0.120ab-af
	CK-A87	0.067m-p	0.080p-t	0.083q-u	0.100u-y	0.100v-z	0.110y-ac	0.113z-ad
	CK-B22	0.083q-u	0.087r-v	0.087r-v	0.097u-y	0.100v-z	0.103w-aa	0.117aa-ae
	CK-A79	0.083q-u	0.087r-v	0.093t-x	0.097u-y	0.097u-y	0.113z-ad	0.117aa-ae
	CK-B34	0.083q-u	0.087r-v	0.090s-w	0.100v-z	0.103w-aa	0.103w-aa	0.103w-aa
6	CK-B47	0.063l-o	0.077o-s	0.083q-u	0.087r-v	0.090s-w	0.093t-x	0.100v-z
	CK-A87	0.063l-o	0.067m-p	0.080p-t	0.083q-u	0.073n-r	0.097u-y	0.093t-x
	CK-B22	0.063l-o	0.070n-q	0.080p-t	0.087r-v	0.090s-w	0.097u-y	0.097u-y
	CK-A79	0.067m-p	0.073n-r	0.073n-r	0.080p-t	0.090s-w	0.090s-w	0.093t-x
	CK-B34	0.067m-p	0.090s-w	0.090s-w	0.097u-y	0.097u-y	0.100v-z	0.100v-z
7	CK-B47	0.000a	0.010a-d	0.013a-e	0.017b-f	0.027e-h	0.030f-i	0.037g-j
	CK-A87	0.000a	0.010a-d	0.020c-f	0.023d-g	0.027e-h	0.030f-i	0.040h-k
	CK-B22	0.003a-b	0.007a-c	0.017b-f	0.020c-f	0.020c-f	0.030f-i	0.037g-j
	CK-A79	0.003a-b	0.003a-b	0.013a-e	0.020c-f	0.020c-f	0.023d-g	0.030f-i
	CK-B34	0.000a	0.007a-c	0.010a-d	0.013a-e	0.017b-f	0.020c-f	0.037g-j

ตารางที่ 12 (ต่อ)

$$CV(\%) = 11.1$$

F-Test

$$R (\text{Ratio}) = ** ; \text{LSD} (5\%) = 0.0026$$

$$P (\text{Plant}) = ** ; \text{LSD} (5\%) = 0.0022$$

$$T (\text{Time}) = ** ; \text{LSD} (5\%) = 0.0024$$

$$R \times T \times P = ** ; \text{LSD} (5\%) = 0.014$$

หมายเหตุ /1 = ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ

/2 = ตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD

/3 = ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD

* = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

อัตราการเจริญเติบโตของสับดูดำแต่ละสายพันธุ์โดยใช้ดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา เป็นวัสดุปลูก พบว่า อัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของสับดูดำ คือ 6:4 ในสับดูดำทุกสายพันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง คือ สับดูดำสายพันธุ์ CK-B47, CK-A87, CK-B22, CK-A79 และ CK-B34 สามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยแสดงจากพื้นที่ใบของสับดูดำ พบว่า มีเริ่มความแตกต่างเมื่อสับดูดำเข้าสู่อายุ 5 เดือนหลังปลูก ที่ 48.19, 49.90, 49.65, 49.79 และ 51.39 ตารางเซนติเมตรต่อต้น ตามลำดับ

การสะสมธาตุอาหารแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม เหล็ก และ ทองแดง พบว่า อัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอน มีผลต่อการสะสมธาตุอาหารพืชกล่าวคือ อัตราส่วน 6:4 มีการสะสมธาตุอาหาร แมกนีเซียม โพแทสเซียม และทองแดง สูงที่สุด และ อัตราส่วน 4:6 มีการสะสมธาตุแคลเซียมและเหล็กสูงที่สุด ในทุกสายพันธุ์ของสับดูดำที่ใช้ในการทดลอง โดย สับดูดำสายพันธุ์ CK-B47 สะสมแคลเซียมสูงสุดที่ 65.22 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับสับดูดำสายพันธุ์เดียวกันที่ปลูกในดินตะกอน 100% มีการสะสมแคลเซียม 55.940 มิลลิกรัมต่อลิตร สับดูดำสายพันธุ์ CK-B22 มีการสะสมธาตุแมกนีเซียมสูงสุดที่ 16.333 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่สายพันธุ์เดียวกันที่ปลูกในดินตะกอน 100% มีการสะสมธาตุแมกนีเซียม 14.213 มิลลิกรัมต่อลิตร สับดูดำสายพันธุ์ CK-B34 มีการสะสมธาตุโพแทสเซียมสูงสุดที่ 26.577 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับสับดูดำสายพันธุ์เดียวกันที่ปลูกในดินตะกอน 100% มีการสะสมโพแทสเซียม 17.317 มิลลิกรัมต่อลิตร สับดูดำสายพันธุ์ CK-B47 มีการสะสมธาตุเหล็กสูงสุดที่ 1.660 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับสับดูดำสายพันธุ์เดียวกันที่ปลูกในดินตะกอน 100% มีการสะสมธาตุเหล็ก 1.338 มิลลิกรัมต่อลิตร สับดูดำสายพันธุ์ CK-B34 มีการสะสมธาตุทองแดงสูงสุดที่ 0.157 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับสับดูดำสายพันธุ์เดียวกันที่ปลูกในดินตะกอน 100% มีการสะสมทองแดง 0.130 มิลลิกรัมต่อลิตร

จึงสรุปได้ว่า การปลูกสับดูดำในดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา ควรเลือกสายพันธุ์ CK-B47, CK-B22 และ CK-B34 เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการสะสมธาตุอาหารพืชได้สูงที่สุด โดยในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอนที่แนะนำในการปลูกสับดูดำในดินปลูกร่วมกับดิน

ตะกอนคือ ดินที่มีดินตะกอนสูงกว่าดินปลูก คือ อัตราส่วนผสมดินปลูกต่อดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา เท่ากับ 4:6 และ 6:4 การปลูกสับดูดำบนดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาช่วยลดปริมาณอะลูมิเนียมในดินตะกอนไม่ให้ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถนำตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปามาเพิ่มมูลค่าโดยการใช้เป็นวัสดุปลูกสับดูดำได้
2. สามารถคัดเลือกสายพันธุ์สับดูดำที่เหมาะสมในการเพาะปลูกบนดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาได้
3. ลดปัญหาความสูญเสียอันเนื่องมาจากการกำจัดดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา และ ช่วยแก้ปัญหาการกำจัดดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มพูนรายได้ให้แก่เกษตรกรไทย
4. สามารถนำแนวทางการวิจัยไปต่อยอดในการเพาะปลูกต้นสับดูดำบนดินตะกอนในชุมชน เพื่อสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร และ ลดของเสียอันเนื่องมาจากการผลิตน้ำประปาของภาครัฐและเอกชน เป็นการเสริมสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นให้แก่เกษตรกร และ ประชาชนอีกทางหนึ่ง

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยสามารถนำไปทำการวิจัยคัดเลือกสายพันธุ์สบู่ดำที่สามารถเจริญเติบโตบนดินที่มีความเป็นกรดหรือเป็นด่างได้ดี และ ตรวจสอบคุณภาพผลผลิตของสบู่ดำที่เพาะปลูกบนดินตะกอนเพื่อนำเมล็ดสบู่ดำมาใช้ในการสกัดไบโอดีเซลและตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลสามารถนำผลการวิจัยดังกล่าวไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อการพัฒนาและปรับปรุงในการหาแนวทางการใช้ประโยชน์ดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งเป็นแนวทางในการใช้ดินสบู่ดำเพื่อนำไปใช้เป็นประโยชน์ในด้านอื่นต่อไปเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด อย่างไรก็ตามแนะนำให้เพาะปลูกทุกสายพันธุ์ผสมผสานกัน เพื่อจะช่วยให้มีการเพิ่มปริมาณผลผลิตมากยิ่งขึ้น และควรตรวจสอบปริมาณอะลูมิเนียมในดินตะกอนก่อนละหลังปลูกสบู่ดำ และ ปริมาณอะลูมิเนียมที่สะสมในใบสบู่ดำทุกสายพันธุ์ในแต่ละเดือนที่ปลูกลงในดินปลูกผสมดินตะกอนน้ำประปาในทุกอัตราส่วนผสม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

การประปานครหลวง. 2549. โรงงานผลิตน้ำบางเขน. ฝ่ายประชาสัมพันธ์การประปานครหลวง (เอกสารเผยแพร่), กรุงเทพฯ.

กลอยกาญจน์ เก้าเนตรสุวรรณ. 2544. การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรีก นฤทุม .2549 .ลักษณะทางพฤกษศาสตร์, น. 12-17. ใน ชำนาญ ฉัตรแก้ว และคณะ, บรรณาธิการ. เอกสารวิชาการสปู่ดำ : พืชพลังงาน. ฟันนี้ พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ.

กลุ่มงานวิชาการทั่วไป. 2548. สปู่ดำ : พลังงานทดแทนของเกษตรกรไทย. สรุปจากการเสวนาวิชาการเรื่อง “สปู่ดำ พลังงานทดแทนของเกษตรกรไทย เมื่อวันที่ 24 มิถุนายน 2548” ณ ห้องประชุมสมาคมนิสิตเก่ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กองวิจัยและพัฒนาธุรกิจ ช.ก.ส. วารสารวิชาการปริทัศน์, กรุงเทพฯ.

เกษตรปลอดสารพิษ (ชมรม). 2550. บทความ: ไนโตรเจน. เขตบางเขน, กรุงเทพฯ

จิตเทพ ประสิทธิ์อยู่ศิลป์. 2543. การนำตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปามาใช้ใหม่เพื่อลดปริมาณฟอสฟอรัสออกจากรน้ำเสียชุมชน. โครงการเพื่อการพัฒนาอันวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปี 2543. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ชยันต์ พิเชียรสุนทร, แม้นมาส ชวลิต และ วิเชียร จีรวงส์. 2544. คำอธิบาย ตำราพระโอรสพระนารายณ์. อมรินทร์ และมูลนิธิภูมิปัญญา, กรุงเทพฯ.

ชวนพิศ แดงสวัสดิ์. 2544. สรีรวิทยาพืช (Plant Physiology). พัฒนาศึกษา, กรุงเทพฯ.

ชาญวิทย์ ม่วงมิตร .2549. ข้อมูลลักษณะประจำพันธุ์ของสบู่ดำแต่ละสายพันธุ์, น. 25-35. ใน
รายงาน วิจัยสบู่ดำ โครงการวิจัยสบู่ดำ สมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถ
สมาคมนิสิตเก่ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในพระบรมราชูปถัมภ์. สมาคมนิสิตเก่า
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชิตชไม โอวาทพารพร. 2546. ถาม-ตอบ : สารส้ม. ภาควิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์.
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

(<http://drug.pharmacy.psu.ac.th/Question.asp?ID=2699&gid=2>)

ชำนาญ นัตรแก้ว. 2534. การปรับปรุงพันธุ์พืชชั้นสูง. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2547. “สบู่ดำ” พลังงานชีวภาพทางเลือกราคาถูก ในอนาคต. เอกสารแผ่นปลิว
สมาคมนิสิตเก่ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ. 2 น.

_____และคณะ. 2549. เอกสารวิชาการสบู่ดำ : พืชพลังงาน. พันธุ์ พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ.

ไพบุลย์ ประพฤติธรรม. 2549. สบู่ดำ : การจัดการดินและการใช้ปุ๋ย, น. 44-47. ใน ชำนาญ
นัตรแก้ว และคณะ, บรรณาธิการ. เอกสารวิชาการสบู่ดำ : พืชพลังงาน. พันธุ์ พับลิชชิ่ง,
กรุงเทพฯ.

บริษัทประปาปทุมธานีจำกัด. 2550. ประปาปทุมธานี. ฝ่ายประชาสัมพันธ์การประปาปทุมธานี,
(เอกสารเผยแพร่) ปทุมธานี.

ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์. 2549. การเพาะปลูกและการดูแลรักษาสบู่ดำ : พลังงานทดแทนทางเลือก
ใหม่แห่งอนาคต. เพชรกะรัต, กรุงเทพฯ.

มณฑยา แซ่งศรี. 2546. ผลของการใช้ปุ๋ยหมักจากตะกอนของระบบผลิตน้ำประปาต่อการ
เจริญเติบโตของพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และสมาคมนิสิตเก่ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในพระบรมราชูปถัมภ์(ส.มก.).

2549. รายงานฉบับสุดท้าย(Final Report) โครงการ การคัดเลือกพันธุ์สบูดำเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ.

วรกาย อุตสาหกรรม. 2541. ปริมาณธาตุอาหารและโลหะหนักในพืชที่ปลูกโดยใช้วัสดุปลูกผสมระหว่างตะกอนน้ำเสียและดินในท้องที่จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณที่ สุทธิพัฒน์. 2538. อาหาร โภชนาการ และสารพิษ. แสงการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

วิไลลักษณ์ กิจจนะพานิช. 2542. เคมิกระบวนการกับการปรับปรุงคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสีย. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2550. อะลูมิเนียม. (<http://th.wikipedia.org/>)

วัลลภ อารีรบ. 2551. เอกสารประกอบการเรียนการสอนรายวิชา สรีรวิทยาเบื้องต้นของพืชมงคล : 401351 เรื่อง ธาตุอาหารพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2548. สรีรวิทยาพืช (Plant Physiology). คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ ศรีสมบุญ และชาญวิทย์ ม่วงมิตร. 2549. การปลูกสบูดำ, น. 26-43. ใน ชำนาญ ฉัตรแก้ว และคณะ, บรรณาธิการ. เอกสารวิชาการสบูดำ : พืชพลังงาน. ฟันนี้ พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ.

แสงระวี ศรีโมรา. 2544. การศึกษาการปลูกข้าวโดยใช้น้ำดีจากคลองชลประทานเพชรบุรีและน้ำเสียจากเทศบาลเมืองเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สายันต์ แก้วบุญเรือง. 2541. การนำสารส้มออกจากตะกอนในกระบวนการตกตะกอนของระบบผลิตน้ำประปา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2540. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศุภาศ กานตวนิชกูร. 2544. **การกำจัดไนโตรเจนโดยระบบ Combined Constructed Wetland ในเขตอากาศร้อน**. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ศูนย์สารสนเทศ กรมวิชาการเกษตร. 2549. **ความรู้ด้านพืชสบูดำ**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2544. **การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอิบ เขียวรัตน์รมย์. 2543. **โครงการ การศึกษาคุณภาพของตะกอนแยกจากน้ำดิบของการประปานครหลวง เพื่อพัฒนาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

แอนนา สายมณีรัตน์ และคณะ. 2549. **การรวบรวมพันธุ์สบูดำจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและภาคใต้ ของประเทศไทยเพื่อใช้เป็นเชื้อพันธุกรรม**. การประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44 : สาขาพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Bennet RJ, and Breen CM. 1991. The aluminium signal: new dimensions to mechanisms of aluminium tolerance. **Plant and Soil**. 149: 87–94.

Brix H. and Schierup H. 1989. **The use of aquatic macrophytes in water pollution control**. **Ambio Cooper**, P.F., Job, G.D., Green, M.B., and Shutes, R.B.E. (1996). *Reed Beds and Constructed Wetlands for Waste water Treatment*, WRc Swindon, Wiltshire.

Lee, C. R.. 1971. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of potatoes. **Agronomy**. 63: 604-608.

- Heller, J. 1996. **Promoting the conservation use of underutilized and neglected crops.** Physic nut, *Jatropha curcas* L. Institute of plant genetics and crop plant research, Rome.
- Joker, D. and J. Jepen. 2003. *Jatropha curcas* L. Seed Leaflet. No. 83. Danida Forest Seed Center. Denmark.
- Lele, S. 2005. **The cultivation of *Jatropha curcas*.** (http://www.svleve.com/jatropha_plant.htm)
- Murungij, I, and Robinson, J.W. 1992. Studies on the toxic effects of dissolved aluminum on plant growth alligator grass (*Alternanthera philaxeroides*). The modifying effects of pH, humic substances and small quantities of cations (Ca,Mg,Fe). **Journal of environmental science and health. Part A, Environmental science and engineering.** 27 : 735-746.
- Qifu, M., Z. Rengel, and J. Kuo. 2002. Aluminium toxicity in rye (*Secale cereale*): root growth and dynamics of cytoplasmic Ca²⁺ in intact root tips. **Annals of Botany.** 89: 241-244 .

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณพื้นที่ใบของสนุ่นดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 1:9 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : ตารางเซนติเมตรต่อต้น)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	42.58	43.67	45.63	48.75	48.96	49.35
	2	42.08	44.15	46.01	48.25	49.21	49.56
	3	43.18	45.78	45.35	48.35	48.85	49.98
CK-A87	1	37.96	38.49	41.62	44.68	45.69	45.92
	2	37.98	38.52	41.35	44.75	45.15	46.01
	3	37.88	38.35	41.58	44.23	45.46	45.63
CK-B22	1	42.98	44.12	45.62	48.52	49.16	50.32
	2	42.73	44.61	45.20	48.92	49.15	49.89
	3	43.12	44.22	45.85	48.89	48.95	50.24
CK-A79	1	42.35	44.13	47.65	49.09	49.81	50.20
	2	42.18	44.31	48.36	49.26	49.63	50.48
	3	42.32	44.25	47.25	49.11	49.80	50.36
CK-B34	1	41.85	43.30	46.01	49.12	50.31	51.01
	2	42.05	43.54	46.25	49.19	50.23	51.32
	3	42.08	43.15	45.81	49.32	49.89	51.32

ตารางผนวกที่ 2 ปริมาณพื้นที่ใบของสนุ่นดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 2:8 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : ตารางเซนติเมตรต่อต้น)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	42.58	44.68	47.12	48.75	50.72	51.42
	2	43.35	44.15	46.32	49.62	51.08	51.09
	3	43.18	45.78	47.49	50.78	50.98	51.12
CK-A87	1	39.01	40.58	43.75	46.05	47.31	47.61
	2	39.24	40.87	43.62	46.28	47.12	47.56
	3	30.21	40.79	43.36	46.18	47.21	47.18
CK-B22	1	43.15	44.65	46.31	49.51	50.39	50.96
	2	43.08	44.38	46.09	49.35	50.82	50.96
	3	43.51	44.39	46.74	49.77	51.04	50.94
CK-A79	1	42.48	44.48	47.55	50.18	50.24	50.89
	2	42.65	44.35	48.01	50.23	50.34	51.11
	3	41.92	44.71	47.68	50.11	50.15	51.24
CK-B34	1	42.62	43.78	45.98	49.02	50.86	51.22
	2	42.11	43.55	45.51	49.21	50.68	51.13
	3	42.81	43.95	45.88	49.32	50.89	51.35

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณพื้นที่ใบของสนุ่นดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 3:7 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : ตารางเซนติเมตรต่อต้น)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	43.35	44.82	47.75	49.80	51.01	52.36
	2	43.20	45.12	46.62	49.97	51.11	52.21
	3	43.19	44.98	45.98	49.90	51.23	52.78
CK-A87	1	40.30	40.82	44.49	47.58	47.86	47.86
	2	40.26	41.30	45.06	46.78	47.59	48.08
	3	40.23	41.12	44.99	46.89	47.79	47.99
CK-B22	1	44.31	45.32	47.35	49.52	51.36	52.18
	2	44.18	45.12	47.08	49.61	51.17	52.29
	3	44.51	45.69	47.12	49.58	51.62	52.07
CK-A79	1	43.15	44.56	48.49	50.71	51.97	52.49
	2	43.08	44.84	48.45	50.78	51.49	52.61
	3	43.12	44.86	48.28	50.95	51.79	52.76
CK-B34	1	43.32	44.65	43.33	50.6	51.38	52.79
	2	43.19	44.16	46.41	50.42	51.16	52.35
	3	43.23	44.25	46.01	50.13	51.72	52.98

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณพื้นที่ใบของสนุ่นดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : ตารางเซนติเมตรต่อต้น)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	44.15	45.09	47.35	50.19	52.89	53.18
	2	44.85	45.06	47.01	50.30	52.13	53.30
	3	44.95	45.10	46.71	50.23	52.32	52.88
CK-A87	1	41.61	42.71	45.38	48.92	49.05	49.42
	2	41.81	42.67	45.38	48.92	49.09	49.17
	3	41.80	43.18	45.48	49.01	48.91	49.23
CK-B22	1	44.52	45.69	47.96	50.68	52.47	53.87
	2	44.98	45.42	47.75	50.65	52.48	53.76
	3	44.74	45.95	48.02	50.67	52.47	53.80
CK-A79	1	44.68	45.64	48.78	51.38	52.75	53.29
	2	44.39	45.63	48.96	51.42	52.05	53.23
	3	44.50	45.95	48.99	51.76	52.44	53.49
CK-B34	1	44.21	45.85	47.03	50.21	51.03	52.61
	2	44.67	45.09	47.37	50.31	51.04	52.33
	3	44.98	45.19	47.13	50.12	51.02	52.98

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาณพื้นที่ใบของสนุ่นดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 5:5 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : ตารางเซนติเมตรต่อต้น)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	45.15	45.95	47.99	50.31	52.43	55.04
	2	45.02	45.60	47.69	50.78	52.79	55.51
	3	45.18	45.70	47.86	50.84	52.99	54.78
CK-A87	1	44.02	44.38	47.75	50.53	50.92	51.93
	2	43.81	44.09	47.62	50.75	51.09	51.51
	3	43.72	44.06	47.58	50.25	51.12	51.78
CK-B22	1	45.61	46.82	48.62	51.08	53.09	53.15
	2	45.68	46.89	48.97	51.30	53.01	53.26
	3	45.65	46.75	48.45	51.16	53.14	53.17
CK-A79	1	44.99	45.85	49.13	51.42	53.67	54.75
	2	44.84	46.15	49.03	51.28	53.94	51.92
	3	45.02	45.98	49.11	51.65	53.92	54.85
CK-B34	1	45.27	45.96	47.32	51.35	53.12	53.68
	2	45.06	46.10	47.87	51.44	53.13	53.89
	3	45.24	46.03	47.68	51.58	53.15	53.42

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณพื้นที่ใบของสนุ่นดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 6:4 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : ตารางเซนติเมตรต่อต้น)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	45.74	46.09	48.29	51.23	53.19	55.24
	2	45.71	46.25	48.39	51.78	56.34	55.11
	3	46.01	45.72	47.89	51.51	53.11	55.02
CK-A87	1	44.82	45.18	48.91	51.53	51.98	54.08
	2	44.92	44.92	48.92	50.89	52.10	54.21
	3	44.61	45.13	48.87	51.21	52.17	54.05
CK-B22	1	46.68	47.61	49.61	52.13	54.35	55.68
	2	46.86	47.68	49.66	52.28	54.19	55.49
	3	46.82	47.78	49.69	52.14	54.28	55.57
CK-A79	1	46.35	46.08	49.81	52.99	54.19	55.95
	2	46.13	46.25	49.69	52.78	54.36	55.42
	3	46.34	46.21	49.87	52.91	54.25	55.86
CK-B34	1	46.03	47.86	51.13	54.42	57.36	58.78
	2	46.31	47.58	51.35	54.29	57.94	58.69
	3	46.18	47.62	51.68	54.46	57.73	58.45

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณพื้นที่ใบของสนุ่นดำ ในดินตะกอนล้วน 100% ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือน
หลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : ตารางเซนติเมตรต่อต้น)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	41.29	42.15	45.31	48.29	48.79	49.28
	2	41.08	42.08	45.24	48.25	48.76	49.24
	3	41.59	43.13	45.41	48.18	48.69	49.11
CK-A87	1	36.54	37.15	40.77	43.25	43.67	44.36
	2	35.97	37.06	41.32	43.05	44.05	44.38
	3	36.71	37.29	40.89	43.15	43.81	44.37
CK-B22	1	41.25	42.25	45.04	48.12	48.68	49.61
	2	41.26	42.62	45.09	48.64	48.45	49.97
	3	41.03	42.19	45.24	48.29	48.59	49.35
CK-A79	1	41.22	41.45	45.81	49.02	49.45	50.44
	2	41.06	41.19	45.50	49.02	49.56	50.55
	3	41.09	41.41	45.91	48.81	49.05	50.19
CK-B34	1	40.65	41.61	44.75	47.95	48.31	48.68
	2	40.76	41.98	44.43	47.93	48.02	48.27
	3	40.92	41.65	44.87	47.67	48.79	48.20

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณธาตุแคลเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 1:9
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	32.540	34.780	42.540	62.960	46.780	37.540
	2	31.480	33.510	44.130	42.870	45.340	37.120
	3	32.710	32.750	44.050	52.290	41.140	36.530
CK-A87	1	33.520	36.450	43.140	45.900	43.340	40.330
	2	32.740	37.540	45.220	48.630	44.230	40.120
	3	33.120	36.710	43.580	61.150	52.250	40.030
CK-B22	1	33.410	33.100	43.140	42.940	60.090	38.520
	2	33.580	33.500	44.520	52.010	54.580	39.230
	3	33.280	33.750	46.130	57.540	60.980	39.540
CK-A79	1	35.410	36.730	48.250	55.280	56.130	36.540
	2	33.280	35.540	46.370	42.930	57.020	36.220
	3	34.790	39.120	46.540	64.470	65.360	36.780
CK-B34	1	32.130	38.410	48.120	62.670	48.910	39.970
	2	33.250	35.780	46.580	56.670	53.800	40.050
	3	32.690	41.120	47.050	44.480	49.470	40.110

ตารางผนวกที่ 9 ปริมาณธาตุแคลเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 2:8
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	34.710	34.120	47.290	61.380	49.770	38.420
	2	34.530	38.540	48.130	60.970	60.660	38.530
	3	34.130	36.520	46.590	39.260	59.890	38.710
CK-A87	1	36.420	38.450	50.030	61.850	45.650	40.130
	2	36.120	41.120	48.270	53.600	43.740	40.720
	3	35.480	36.780	48.520	51.410	44.500	40.540
CK-B22	1	35.710	36.540	44.110	67.470	46.090	38.790
	2	35.430	38.120	43.280	52.070	47.230	38.410
	3	34.220	38.450	44.590	63.820	42.680	38.530
CK-A79	1	34.480	34.120	51.230	47.810	49.720	39.540
	2	34.610	35.360	50.110	43.760	50.810	41.230
	3	33.510	33.640	49.540	59.180	48.430	41.110
CK-B34	1	33.510	39.120	48.740	58.940	46.310	37.140
	2	34.230	40.070	48.220	42.250	37.900	36.560
	3	34.650	42.540	47.560	67.350	45.120	38.140

ตารางผนวกที่ 10 ปริมาณธาตุแคลเซียมในใบสบูดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 3:7
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	36.780	38.220	49.270	56.390	56.070	38.490
	2	36.510	36.140	50.140	57.760	44.940	39.530
	3	35.480	38.520	49.520	54.760	47.500	39.110
CK-A87	1	36.220	40.120	42.220	64.570	45.150	39.760
	2	37.510	39.540	44.460	45.440	48.250	40.080
	3	35.430	39.170	45.070	45.400	41.460	40.130
CK-B22	1	35.430	36.530	48.750	52.570	42.550	38.270
	2	37.520	38.420	48.320	44.520	42.410	40.210
	3	37.040	35.780	48.130	61.580	48.100	39.430
CK-A79	1	35.540	39.540	48.220	64.930	44.840	39.280
	2	35.630	39.780	48.130	61.920	43.370	39.530
	3	35.250	41.520	49.020	58.790	40.730	38.140
CK-B34	1	36.470	39.950	50.130	62.700	43.380	38.110
	2	37.010	40.070	49.780	57.460	41.620	38.380
	3	35.920	40.120	48.530	42.950	49.290	38.170

ตารางผนวกที่ 11 ปริมาณธาตุแคลเซียมในใบสดผู้ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	34.520	42.380	45.750	63.830	41.160	39.420
	2	34.740	42.150	44.380	63.320	43.750	38.510
	3	34.960	41.730	45.120	68.520	44.450	38.400
CK-A87	1	35.420	44.250	44.320	57.820	38.430	39.960
	2	35.110	44.190	45.120	61.040	43.120	40.210
	3	36.080	44.380	44.830	57.510	42.230	40.130
CK-B22	1	36.430	41.680	48.130	54.930	42.540	40.620
	2	36.570	42.530	45.720	57.820	46.090	41.160
	3	36.710	41.780	44.310	56.160	52.860	41.510
CK-A79	1	34.230	41.130	45.240	54.120	41.290	39.140
	2	35.410	42.860	46.130	40.200	51.810	38.550
	3	34.110	41.750	45.710	53.310	44.380	38.750
CK-B34	1	34.250	40.250	43.280	64.750	44.070	40.120
	2	35.260	40.500	44.610	49.880	37.960	39.170
	3	35.080	39.780	44.540	64.550	45.490	38.660

ตารางผนวกที่ 12 ปริมาณธาตุแคลเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 5:5
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	34.220	41.730	45.340	52.740	43.170	38.630
	2	33.010	40.150	43.250	58.320	44.570	38.540
	3	33.570	39.580	43.110	64.150	43.380	39.960
CK-A87	1	32.130	39.110	43.170	49.070	48.600	38.760
	2	32.420	37.420	43.240	41.960	47.520	38.590
	3	33.340	38.530	43.750	54.700	39.430	40.220
CK-B22	1	33.680	40.580	42.130	51.900	43.180	37.210
	2	33.970	40.220	44.120	51.990	48.210	36.330
	3	33.750	39.960	44.520	64.000	41.020	36.540
CK-A79	1	33.450	39.790	42.230	61.770	38.400	40.130
	2	33.680	41.750	42.140	61.540	46.870	41.620
	3	34.780	40.530	42.750	51.940	52.730	40.400
CK-B34	1	34.510	39.790	39.510	57.320	48.600	38.760
	2	34.000	39.450	40.110	61.960	47.520	38.590
	3	33.680	38.130	39.920	39.830	39.430	40.220

ตารางผนวกที่ 13 ปริมาณธาตุแคลเซียมในใบสบูดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 6:4
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	33.460	39.810	40.730	68.970	50.090	41.280
	2	35.370	38.750	40.250	52.980	49.990	41.260
	3	33.280	40.130	41.740	61.650	47.180	40.510
CK-A87	1	33.510	38.110	42.750	48.610	46.680	42.180
	2	34.060	36.410	42.630	61.480	38.730	40.370
	3	33.990	38.710	42.580	37.900	45.400	41.540
CK-B22	1	34.130	40.110	45.230	42.650	45.420	40.370
	2	33.350	40.510	46.080	58.020	41.800	41.510
	3	33.240	39.120	46.750	42.400	43.390	40.120
CK-A79	1	34.870	41.750	42.440	68.430	46.570	39.720
	2	33.870	40.510	43.460	59.580	42.350	40.560
	3	33.690	39.220	44.130	52.360	51.160	42.240
CK-B34	1	34.010	41.680	45.750	55.770	44.410	39.140
	2	33.050	42.340	45.180	57.480	44.250	38.560
	3	33.420	41.120	46.050	60.370	37.760	39.120

ตารางผนวกที่ 14 ปริมาณธาตุแคลเซียมในใบสบู่ดำ ในดินตะกอนล้วน 100% ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	31.110	39.350	40.100	55.550	47.260	38.780
	2	34.900	39.290	41.890	47.150	42.350	39.790
	3	31.290	40.140	40.850	65.120	45.250	38.180
CK-A87	1	33.720	40.750	41.240	43.620	40.540	37.30
	2	32.680	40.240	42.330	48.300	38.770	36.350
	3	33.200	41.260	41.780	38.940	39.650	38.260
CK-B22	1	33.570	35.120	42.570	46.350	48.160	37.150
	2	34.680	34.980	41.160	46.870	47.720	36.890
	3	33.520	35.700	41.750	47.970	47.780	37.700
CK-A79	1	35.350	39.510	41.330	49.680	39.800	36.890
	2	30.420	38.540	40.240	48.770	48.390	36.300
	3	32.250	41.440	40.750	50.540	44.520	37.440
CK-B34	1	32.300	36.650	41.490	51.120	47.720	38.870
	2	33.940	36.130	42.800	54.700	48.810	38.160
	3	33.010	37.260	42.110	48.870	48.130	39.520

ตารางผนวกที่ 15 ปริมาณธาตุแมกนีเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 1:9
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	13.520	14.350	13.480	13.870	15.260	13.760
	2	13.670	15.080	14.120	14.020	14.870	13.810
	3	13.470	14.350	13.510	13.590	14.580	13.080
CK-A87	1	13.580	13.460	12.570	13.570	14.930	12.570
	2	13.270	13.320	13.710	13.120	14.850	12.650
	3	13.180	13.560	12.830	13.400	14.690	12.870
CK-B22	1	14.440	14.620	14.630	14.520	15.980	12.900
	2	13.780	15.140	14.25๑	14.890	16.210	12.870
	3	13.910	15.250	14.170	14.660	16.810	12.510
CK-A79	1	13.110	12.730	13.420	13.800	15.160	13.050
	2	13.680	13.630	13.510	14.130	14.860	12.830
	3	13.590	14.110	13.050	13.620	15.370	12.400
CK-B34	1	13.130	14.630	12.370	14.120	13.480	12.640
	2	14.210	13.700	11.860	14.360	14.170	12.940
	3	14.130	14.420	12.240	14.240	13.760	12.520

ตารางผนวกที่ 16 ปริมาณธาตุแมกนีเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 2:8
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	14.010	14.920	12.800	13.350	15.280	12.650
	2	14.120	14.400	13.120	13.120	15.670	13.070
	3	14.530	14.730	13.080	13.280	15.080	12.920
CK-A87	1	13.780	15.200	13.170	14.050	14.670	13.740
	2	13.460	13.170	12.480	13.790	14.760	13.520
	3	13.550	14.620	12.000	13.680	14.550	13.090
CK-B22	1	13.100	14.470	13.880	13.720	15.670	13.090
	2	13.070	14.260	13.750	13.220	15.530	13.010
	3	13.130	13.980	14.100	13.090	15.970	13.260
CK-A79	1	13.610	13.790	12.570	13.870	14.490	13.180
	2	13.730	13.750	13.230	14.090	14.370	13.080
	3	13.580	14.360	13.180	14.160	14.420	13.410
CK-B34	1	13.120	13.900	12.870	13.410	14.110	13.280
	2	13.230	14.160	13.100	13.160	14.020	12.960
	3	13.190	13.230	12.960	13.320	14.270	13.080

ตารางผนวกที่ 17 ปริมาณธาตุแมกนีเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 3:7
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	13.720	13.400	12.490	13.470	15.030	13.560
	2	14.050	14.440	13.150	13.790	15.160	13.670
	3	13.850	13.870	13.070	13.620	14.780	12.960
CK-A87	1	13.040	13.700	13.110	12.970	13.990	12.850
	2	13.120	13.810	12.830	12.810	13.920	13.260
	3	13.520	13.610	12.950	12.500	14.120	12.980
CK-B22	1	13.630	14.280	12.620	13.370	14.190	13.590
	2	13.540	15.260	12.750	13.260	14.010	13.46v
	3	13.310	14.790	13.070	13.430	14.440	13.640
CK-A79	1	14.250	14.900	13.220	13.800	14.700	13.130
	2	14.130	14.940	13.720	14.160	14.360	12.890
	3	14.300	14.420	13.540	14.080	14.470	13.670
CK-B34	1	13.510	14.830	12.250	14.060	14.840	13.160
	2	12.500	14.900	11.860	14.210	15.510	12.870
	3	13.480	14.940	12.130	13.870	14.520	13.090

ตารางผนวกที่ 18 ปริมาณธาตุแมกนีเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	13.960	14.920	13.690	13.950	15.490	12.540
	2	13.980	14.000	13.870	14.150	14.350	12.270
	3	13.700	14.970	13.880	13.870	14.530	12.180
CK-A87	1	13.160	14.210	13.570	13.240	14.490	12.050
	2	12.940	14.260	13.450	14.050	14.360	12.690
	3	12.520	14.270	13.770	13.820	14.700	12.850
CK-B22	1	14.120	13.300	12.600	13.550	14.950	12.580
	2	14.170	16.360	13.220	13.430	14.780	13.900
	3	14.200	13.630	13.010	13.520	14.370	12.160
CK-A79	1	13.340	13.690	14.180	13.760	14.520	12.230
	2	13.350	14.160	13.660	13.390	15.190	12.410
	3	13.940	14.830	13.550	13.430	14.240	12.600
CK-B34	1	14.530	14.930	14.440	13.850	15.610	13.550
	2	14.420	14.260	15.330	13.920	14.800	12.410
	3	14.160	15.000	15.090	13.680	14.490	12.230

ตารางผนวกที่ 19 ปริมาณธาตุแมกนีเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 5:5
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	13.010	14.280	14.090	14.130	14.430	12.600
	2	13.980	15.900	12.460	14.010	14.410	13.740
	3	13.520	14.310	13.810	14.250	14.370	12.480
CK-A87	1	13.760	15.220	12.250	12.940	14.250	12.630
	2	13.870	14.870	13.790	13.170	14.160	12.950
	3	13.860	14.970	13.760	13.090	16.180	12.650
CK-B22	1	13.960	14.720	13.190	13.980	14.680	12.870
	2	13.520	15.580	13.700	14.320	14.970	13.800
	3	13.140	14.930	13.210	14.480	15.470	12.980
CK-A79	1	13.360	13.920	13.900	12.970	14.640	12.480
	2	13.120	13.780	13.860	13.430	14.650	12.730
	3	13.270	13.760	13.430	13.200	14.420	12.460
CK-B34	1	13.940	13.960	13.140	13.680	15.560	13.710
	2	13.820	13.320	13.250	13.250	14.610	12.280
	3	13.820	14.760	14.580	13.350	14.340	12.890

ตารางผนวกที่ 20 ปริมาณธาตุแมกนีเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 6:4
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	14.050	14.490	13.450	13.610	14.210	12.990
	2	14.690	14.540	15.430	13.260	14.650	12.180
	3	14.070	14.630	14.630	13.400	14.410	12.900
CK-A87	1	14.380	14.780	13.220	14.250	13.640	12.540
	2	14.470	14.320	14.210	14.180	14.270	12.960
	3	14.200	14.670	14.230	14.020	14.280	12.720
CK-B22	1	13.240	14.860	13.170	14.380	14.610	13.710
	2	13.510	14.930	12.980	14.630	14.470	11.990
	3	13.610	14.290	13.080	14.120	14.350	12.050
CK-A79	1	13.680	14.640	13.060	14.050	14.090	13.340
	2	13.750	14.560	13.010	14.170	15.030	12.520
	3	13.150	14.930	13.490	14.060	14.490	12.420
CK-B34	1	14.420	14.320	14.530	13.760	14.380	12.260
	2	14.240	14.870	14.260	13.840	16.290	12.340
	3	14.330	14.480	13.080	13.650	14.360	13.030

ตารางผนวกที่ 21 ปริมาณธาตุแมกนีเซียมในใบสบู่ดำ ในดินตะกอนล้วน 100% ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	13.100	14.220	14.030	13.230	14.190	15.460
	2	13.330	14.500	14.220	13.550	14.270	15.230
	3	13.110	14.760	14.010	13.420	14.350	15.940
CK-A87	1	13.620	14.350	14.410	14.650	14.850	14.430
	2	13.840	14.270	14.050	14.480	14.360	14.720
	3	13.750	14.420	14.350	14.320	14.560	14.180
CK-B22	1	13.490	14.010	14.480	13.580	14.370	14.350
	2	13.210	14.240	14.950	13.450	14.260	14.380
	3	13.250	14.180	14.650	13.760	14.310	14.230
CK-A79	1	13.750	14.250	14.190	13.080	14.520	14.350
	2	13.860	14.190	14.680	12.970	14.470	14.050
	3	13.800	14.360	14.350	13.200	14.310	14.690
CK-B34	1	13.970	14.560	14.770	14.250	14.310	14.280
	2	13.580	14.530	14.360	14.170	14.490	14.280
	3	13.580	14.670	14.450	14.420	14.350	14.280

ตารางผนวกที่ 22 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 1:9
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	5.223	8.749	10.897	11.671	13.967	13.662
	2	17.325	13.291	17.042	17.042	14.768	16.948
	3	6.932	11.322	9.064	11.402	15.822	26.417
CK-A87	1	10.137	15.412	15.525	11.178	15.826	16.395
	2	8.238	10.886	11.913	14.460	16.053	15.815
	3	10.154	10.329	12.312	16.708	15.271	15.164
CK-B22	1	11.454	13.637	13.768	14.649	18.755	20.170
	2	11.402	13.294	15.580	14.406	16.680	19.173
	3	12.431	13.368	13.549	14.564	17.109	18.526
CK-A79	1	10.426	11.340	12.319	11.695	13.980	14.436
	2	10.963	11.603	10.056	10.538	13.098	14.736
	3	10.839	11.678	12.783	13.566	13.603	15.580
CK-B34	1	11.326	10.497	12.022	12.513	12.203	17.154
	2	10.122	10.909	14.408	14.876	16.091	16.675
	3	10.516	10.961	11.681	11.676	14.257	18.130

ตารางผนวกที่ 23 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 2:8
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	13.440	10.548	15.494	16.774	15.676	16.729
	2	10.340	11.695	12.783	14.189	16.585	17.356
	3	11.782	14.126	10.279	13.015	15.386	16.585
CK-A87	1	11.625	12.057	13.133	12.767	13.459	19.629
	2	11.120	12.023	12.635	13.332	10.301	17.715
	3	12.087	12.298	12.486	12.401	14.808	16.419
CK-B22	1	10.735	10.336	14.953	14.988	14.420	20.521
	2	10.457	13.561	14.378	12.524	16.427	18.077
	3	10.415	10.235	13.270	15.770	12.535	18.753
CK-A79	1	11.268	11.366	11.946	14.128	16.795	19.367
	2	11.688	12.787	14.514	14.472	16.434	19.202
	3	12.413	12.308	11.634	14.514	15.744	18.839
CK-B34	1	7.988	11.631	14.314	15.220	15.420	23.901
	2	11.620	13.019	14.500	15.308	13.934	23.287
	3	15.086	13.552	14.326	15.203	17.884	22.086

ตารางผนวกที่ 24 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 3:7
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	13.086	15.219	14.575	13.607	20.478	21.606
	2	14.595	9.269	12.619	14.294	19.309	21.253
	3	9.559	16.265	14.013	14.656	20.735	18.349
CK-A87	1	11.493	12.772	13.343	14.824	12.995	16.007
	2	11.455	11.627	13.608	13.436	14.262	16.515
	3	12.826	13.731	11.390	12.087	14.565	18.967
CK-B22	1	13.279	15.958	14.609	13.484	17.631	17.147
	2	10.511	13.016	12.543	13.864	15.097	16.731
	3	12.609	12.895	14.949	14.891	17.812	19.146
CK-A79	1	12.023	13.113	14.707	16.702	15.249	18.759
	2	12.297	13.631	13.750	15.030	14.689	18.536
	3	14.526	13.377	12.310	12.821	16.325	20.070
CK-B34	1	14.921	15.107	15.609	17.395	21.495	23.837
	2	13.734	14.262	16.255	16.019	22.334	21.032
	3	15.252	14.728	15.269	15.086	24.214	23.807

ตารางผนวกที่ 25 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	10.770	14.110	15.092	15.869	16.549	16.770
	2	12.701	14.680	16.728	15.122	17.533	23.074
	3	11.320	15.984	14.188	15.947	19.656	20.609
CK-A87	1	11.073	11.450	13.558	12.064	14.806	16.065
	2	10.297	14.046	13.343	13.996	14.507	17.022
	3	11.165	10.813	13.925	15.447	12.786	18.158
CK-B22	1	11.445	13.073	13.949	15.252	16.367	24.128
	2	10.738	13.019	13.317	15.986	18.261	24.809
	3	11.059	13.761	14.809	16.193	16.329	25.504
CK-A79	1	13.683	14.887	14.470	16.522	15.757	20.110
	2	12.673	10.862	13.742	12.283	14.472	20.980
	3	11.256	12.920	11.804	12.235	12.834	19.098
CK-B34	1	15.563	14.549	16.075	16.573	18.326	21.599
	2	13.269	15.259	15.256	15.468	18.348	19.503
	3	14.750	15.595	15.430	16.464	18.795	20.876

ตารางผนวกที่ 26 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 5:5
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	13.706	12.469	16.081	21.689	14.616	20.596
	2	9.241	15.589	15.458	10.806	18.606	18.023
	3	14.030	10.563	13.132	12.223	11.692	18.004
CK-A87	1	11.086	10.799	10.133	17.754	13.123	18.836
	2	11.454	12.243	13.674	10.085	11.473	19.211
	3	10.322	10.594	14.370	14.808	24.763	20.562
CK-B22	1	12.461	13.786	14.713	14.386	19.441	25.194
	2	11.939	12.998	14.526	15.457	16.326	27.587
	3	10.365	13.201	11.498	13.673	15.224	28.068
CK-A79	1	10.351	10.115	16.868	16.671	16.490	17.638
	2	10.319	11.963	12.896	15.298	15.608	17.998
	3	10.808	13.622	15.908	17.020	17.636	18.281
CK-B34	1	12.678	12.792	14.363	17.140	19.065	18.502
	2	12.848	12.538	13.489	16.785	15.062	17.191
	3	12.270	12.481	13.489	16.430	18.320	18.657

ตารางผนวกที่ 27 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 6:4
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	12.167	13.660	12.235	14.092	16.538	18.750
	2	8.193	10.313	14.751	15.454	17.693	19.738
	3	13.153	11.623	13.716	13.637	15.225	20.249
CK-A87	1	10.888	11.776	10.318	13.762	14.320	21.850
	2	11.819	14.711	14.03	14.349	16.826	21.020
	3	11.324	11.389	13.695	15.689	15.030	21.821
CK-B22	1	11.586	12.351	13.093	13.688	13.888	20.381
	2	12.819	13.865	12.841	14.274	15.861	22.041
	3	11.888	11.790	12.679	12.149	14.265	22.448
CK-A79	1	12.560	12.290	15.255	14.866	18.650	24.455
	2	12.885	12.288	12.374	15.072	19.293	22.312
	3	11.772	13.659	13.763	16.562	18.912	22.265
CK-B34	1	12.401	14.388	15.470	14.636	20.448	28.017
	2	10.072	13.282	14.481	15.796	21.660	25.486
	3	10.779	13.688	14.372	15.182	19.079	26.249

ตารางผนวกที่ 28 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในใบสบู่ดำ ในดินตะกอนล้วน 100% ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	15.496	13.452	12.915	15.127	15.843	20.731
	2	9.137	11.132	13.231	14.025	13.519	18.534
	3	10.251	11.152	12.596	13.039	14.352	18.557
CK-A87	1	11.878	11.586	11.234	12.551	13.931	18.546
	2	10.426	12.250	13.054	15.818	15.299	18.957
	3	10.158	11.753	12.365	11.703	13.025	20.996
CK-B22	1	11.925	12.354	13.056	14.651	13.234	19.516
	2	11.752	12.608	13.370	15.105	16.657	19.876
	3	11.751	13.316	13.524	12.303	15.256	19.616
CK-A79	1	10.562	11.584	12.501	12.132	15.843	16.556
	2	10.370	11.126	11.676	13.867	14.160	17.660
	3	10.665	12.789	11.123	12.597	14.123	18.493
CK-B34	1	13.336	16.146	15.250	16.224	17.572	18.724
	2	11.456	10.380	14.679	16.125	12.648	16.714
	3	12.251	15.496	13.954	16.591	20.263	17.352

ตารางผนวกที่ 29 ปริมาณธาตุเหล็กในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 1:9 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	0.740	0.900	1.014	1.472	1.266	1.442
	2	1.012	0.920	1.213	1.463	1.574	1.369
	3	0.673	0.880	0.930	1.458	1.241	1.126
CK-A87	1	0.794	0.718	0.945	1.180	1.155	1.090
	2	0.640	0.885	1.001	1.150	1.168	1.060
	3	0.941	0.946	0.894	1.120	1.347	1.050
CK-B22	1	0.740	0.950	1.020	1.2110	1.230	1.170
	2	0.790	0.920	1.060	1.220	1.240	1.150
	3	0.780	0.950	1.070	1.290	1.220	1.190
CK-A79	1	0.808	0.733	1.347	2.000	1.422	1.151
	2	0.813	0.994	1.216	1.148	1.277	1.225
	3	0.542	0.827	0.987	1.339	1.300	1.405
CK-B34	1	0.575	0.730	1.038	1.120	1.284	1.160
	2	0.837	0.850	0.905	1.113	1.200	1.140
	3	0.878	0.790	0.960	1.100	1.213	1.180

ตารางผนวกที่ 30 ปริมาณธาตุเหล็กในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 2:8 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	0.971	1.065	0.938	1.800	1.330	1.190
	2	1.282	0.838	0.960	1.580	1.320	1.230
	3	0.950	1.520	2.560	1.470	1.290	1.240
CK-A87	1	1.000	1.229	1.160	1.320	1.230	1.230
	2	0.933	0.864	1.150	1.260	1.200	1.190
	3	0.946	1.177	1.170	1.260	1.240	1.210
CK-B22	1	0.810	1.030	1.200	1.290	1.250	1.090
	2	0.760	1.020	1.190	1.310	1.200	1.090
	3	0.800	1.040	1.150	1.300	1.180	1.030
CK-A79	1	0.891	0.894	1.139	1.236	1.366	1.336
	2	0.783	0.958	0.917	1.408	1.377	1.363
	3	0.866	1.079	1.119	1.193	1.453	1.246
CK-B34	1	0.691	0.720	0.944	1.260	1.250	1.461
	2	0.837	1.050	0.784	1.200	1.200	1.059
	3	0.850	0.880	1.000	1.290	1.180	0.809

ตารางผนวกที่ 31 ปริมาณธาตุเหล็กในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 3:7 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	0.948	0.950	0.963	1.690	1.320	1.150
	2	1.046	0.950	1.109	1.660	1.370	1.180
	3	0.826	0.980	1.123	1.630	1.360	1.150
CK-A87	1	0.799	0.819	0.905	1.183	1.142	1.152
	2	0.981	1.052	1.257	1.225	1.170	1.192
	3	0.948	0.864	1.179	1.169	1.170	1.085
CK-B22	1	0.800	0.990	1.200	1.270	1.290	1.180
	2	0.810	0.980	1.170	1.320	1.230	1.160
	3	0.850	0.971	1.200	1.340	1.260	1.200
CK-A79	1	0.849	1.005	0.943	1.495	1.283	1.245
	2	0.733	0.793	0.930	1.204	1.206	1.078
	3	0.676	0.910	0.926	1.452	1.602	1.011
CK-B34	1	0.676	1.312	1.000	1.600	1.300	1.230
	2	0.716	0.932	1.010	1.170	1.290	1.230
	3	0.588	0.816	1.200	1.283	1.250	1.290

ตารางผนวกที่ 32 ปริมาณธาตุเหล็กในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	0.892	0.966	1.140	1.550	1.330	1.250
	2	0.854	1.133	1.180	1.750	1.362	1.220
	3	0.966	1.164	1.150	1.650	1.245	1.290
CK-A87	1	0.991	0.943	1.020	1.240	1.161	1.010
	2	0.781	1.090	1.020	1.200	1.183	1.030
	3	0.805	0.950	1.000	1.250	1.250	1.020
CK-B22	1	0.900	0.980	1.160	1.360	1.240	1.150
	2	0.850	1.020	1.140	1.310	1.200	1.170
	3	0.890	1.000	1.150	1.320	1.220	1.160
CK-A79	1	0.627	0.805	1.079	1.476	1.191	1.039
	2	0.563	0.781	1.139	1.431	1.426	1.211
	3	0.712	0.991	0.901	1.404	1.047	1.000
CK-B34	1	0.657	1.140	1.072	1.282	1.260	1.110
	2	1.027	0.890	0.972	1.290	1.270	1.100
	3	0.896	0.850	0.976	1.300	1.250	1.120

ตารางผนวกที่ 33 ปริมาณธาตุเหล็กในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 5:5 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	0.960	0.861	1.279	1.370	1.320	0.962
	2	0.990	1.009	1.354	1.320	1.330	1.002
	3	1.000	1.109	0.967	1.350	1.370	1.373
CK-A87	1	1.000	1.020	1.080	1.320	0.930	1.060
	2	1.050	1.060	1.070	1.330	1.550	1.080
	3	1.010	1.010	1.030	1.370	1.240	1.080
CK-B22	1	0.970	1.060	1.260	1.330	1.350	1.250
	2	0.950	1.030	1.220	1.320	1.310	1.330
	3	0.990	1.060	1.210	1.370	1.300	1.320
CK-A79	1	0.918	0.930	0.843	1.396	1.200	1.040
	2	0.900	0.999	1.041	1.216	1.147	1.080
	3	1.054	0.945	1.192	1.357	1.463	1.030
CK-B34	1	0.810	1.040	1.090	1.340	1.250	1.210
	2	0.844	1.050	1.090	1.330	1.233	1.190
	3	0.837	1.060	1.090	1.350	1.243	1.200

ตารางผนวกที่ 34 ปริมาณธาตุเหล็กในใบสบูดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 6:4 ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	1.061	1.270	1.224	1.680	1.270	1.210
	2	1.311	1.311	1.495	1.680	1.014	1.160
	3	1.257	1.360	1.363	1.590	1.418	1.174
CK-A87	1	1.090	1.050	1.120	1.330	0.933	1.160
	2	1.120	1.100	1.120	1.300	1.552	1.110
	3	1.060	1.150	1.150	1.390	1.242	1.150
CK-B22	1	1.000	1.240	1.290	1.340	1.360	1.260
	2	1.020	1.220	1.300	1.320	1.270	1.250
	3	1.010	1.260	1.280	1.330	1.300	1.270
CK-A79	1	0.902	0.929	1.144	1.313	1.024	1.170
	2	1.240	0.923	1.171	1.322	1.270	1.090
	3	0.742	1.054	1.139	1.328	1.376	1.160
CK-B34	1	0.790	1.115	1.080	1.360	1.270	1.250
	2	0.930	0.850	1.120	1.420	1.280	1.230
	3	0.860	1.130	1.070	1.390	1.230	1.240

ตารางผนวกที่ 35 ปริมาณธาตุเหล็กในใบสบู่ดำ ในดินตะกอนล้วน 100% ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	1.082	1.110	1.249	1.310	1.260	1.100
	2	1.037	1.132	1.232	1.107	1.220	1.125
	3	1.020	1.128	1.210	1.596	1.210	1.094
CK-A87	1	1.020	1.080	1.150	1.310	1.180	1.150
	2	1.000	1.100	1.090	1.290	1.180	1.170
	3	1.070	1.080	1.020	1.290	1.170	1.130
CK-B22	1	0.984	1.130	1.160	1.290	1.170	1.180
	2	1.130	1.140	1.120	1.290	1.210	1.200
	3	1.080	1.120	1.140	1.290	1.190	1.160
CK-A79	1	0.850	1.226	1.080	1.230	1.190	1.100
	2	0.930	0.910	1.180	1.170	1.150	1.090
	3	1.150	0.950	1.120	1.120	1.160	1.170
CK-B34	1	1.050	1.060	1.060	1.280	1.250	1.160
	2	1.030	1.070	1.080	1.240	1.230	1.140
	3	1.025	1.030	1.060	1.300	1.240	1.180

ตารางผนวกที่ 36 ปริมาณธาตุทองแดงในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 1:9
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	0.010	0.139	0.153	0.095	0.051	0.002
	2	0.041	0.116	0.151	0.087	0.079	0.007
	3	0.008	0.124	0.135	0.098	0.061	0.007
CK-A87	1	0.014	0.117	0.134	0.097	0.077	0.006
	2	0.020	0.107	0.136	0.093	0.068	0.003
	3	0.013	0.115	0.139	0.110	0.073	0.002
CK-B22	1	0.060	0.132	0.146	0.088	0.072	0.007
	2	0.028	0.118	0.136	0.083	0.077	0.013
	3	0.040	0.138	0.171	0.097	0.104	0.005
CK-A79	1	0.014	0.108	0.147	0.090	0.087	0.004
	2	0.021	0.118	0.138	0.080	0.085	0.000
	3	0.010	0.117	0.131	0.095	0.064	0.012
CK-B34	1	0.010	0.121	0.145	0.097	0.072	0.000
	2	0.031	0.129	0.127	0.088	0.063	0.008
	3	0.010	0.112	0.131	0.080	0.070	0.000

ตารางผนวกที่ 37 ปริมาณธาตุทองแดงในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 2:8
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	0.021	0.136	0.138	0.113	0.101	0.023
	2	0.021	0.135	0.144	0.093	0.081	0.001
	3	0.025	0.138	0.146	0.083	0.069	0.015
CK-A87	1	0.023	0.139	0.169	0.088	0.083	0.013
	2	0.019	0.114	0.136	0.083	0.081	0.013
	3	0.010	0.131	0.137	0.080	0.087	0.016
CK-B22	1	0.020	0.115	0.154	0.109	0.067	0.011
	2	0.004	0.127	0.148	0.082	0.073	0.010
	3	0.014	0.110	0.150	0.087	0.080	0.004
CK-A79	1	0.010	0.115	0.142	0.082	0.062	0.015
	2	0.009	0.121	0.135	0.084	0.086	0.004
	3	0.016	0.128	0.133	0.093	0.069	0.006
CK-B34	1	0.020	0.121	0.133	0.090	0.090	0.003
	2	0.013	0.111	0.136	0.083	0.087	0.013
	3	0.014	0.118	0.169	0.105	0.134	0.015

ตารางผนวกที่ 38 ปริมาณธาตุทองแดงในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 3:7
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	0.014	0.117	0.133	0.086	0.093	0.025
	2	0.019	0.131	0.145	0.096	0.103	0.016
	3	0.026	0.121	0.136	0.072	0.092	0.023
CK-A87	1	0.006	0.115	0.141	0.098	0.074	0.022
	2	0.030	0.137	0.139	0.088	0.067	0.034
	3	0.005	0.123	0.152	0.089	0.066	0.020
CK-B22	1	0.019	0.133	0.133	0.093	0.056	0.015
	2	0.017	0.138	0.130	0.089	0.060	0.018
	3	0.010	0.125	0.134	0.099	0.052	0.030
CK-A79	1	0.016	0.130	0.139	0.102	0.091	0.007
	2	0.010	0.128	0.137	0.108	0.069	0.018
	3	0.023	0.129	0.132	0.095	0.075	0.030
CK-B34	1	0.021	0.123	0.137	0.093	0.106	0.027
	2	0.025	0.132	0.136	0.095	0.108	0.012
	3	0.017	0.136	0.143	0.087	0.095	0.026

ตารางผนวกที่ 39 ปริมาณธาตุทองแดงในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 4:6
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	0.045	0.133	0.146	0.089	0.081	0.015
	2	0.017	0.126	0.134	0.099	0.079	0.025
	3	0.017	0.135	0.140	0.112	0.081	0.006
CK-A87	1	0.023	0.133	0.136	0.104	0.089	0.036
	2	0.014	0.138	0.146	0.106	0.079	0.012
	3	0.010	0.123	0.139	0.108	0.078	0.024
CK-B22	1	0.028	0.120	0.138	0.009	0.096	0.021
	2	0.017	0.128	0.132	0.103	0.101	0.025
	3	0.027	0.121	0.135	0.106	0.088	0.020
CK-A79	1	0.022	0.124	0.131	0.105	0.081	0.010
	2	0.020	0.129	0.135	0.095	0.080	0.028
	3	0.013	0.134	0.142	0.092	0.085	0.045
CK-B34	1	0.031	0.123	0.139	0.110	0.093	0.014
	2	0.025	0.132	0.154	0.098	0.101	0.019
	3	0.017	0.136	0.144	0.114	0.086	0.029

ตารางผนวกที่ 40 ปริมาณธาตุทองแดงในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 5:5
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	0.026	0.124	0.134	0.100	0.100	0.038
	2	0.028	0.150	0.132	0.109	0.094	0.037
	3	0.029	0.140	0.143	0.111	0.072	0.029
CK-A87	1	0.031	0.142	0.146	0.060	0.096	0.033
	2	0.036	0.139	0.138	0.040	0.081	0.028
	3	0.034	0.140	0.136	0.105	0.122	0.034
CK-B22	1	0.043	0.130	0.132	0.109	0.111	0.042
	2	0.034	0.140	0.138	0.108	0.096	0.029
	3	0.046	0.138	0.138	0.116	0.091	0.032
CK-A79	1	0.025	0.124	0.137	0.099	0.094	0.028
	2	0.024	0.123	0.131	0.107	0.094	0.020
	3	0.037	0.132	0.134	0.109	0.099	0.030
CK-B34	1	0.028	0.138	0.134	0.100	0.106	0.028
	2	0.034	0.128	0.147	0.104	0.079	0.020
	3	0.022	0.143	0.135	0.103	0.103	0.027

ตารางผนวกที่ 41 ปริมาณธาตุทองแดงในใบสบู่ดำ ในอัตราส่วนดินปลูกต่อดินตะกอน 6:4
ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้า	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	0.049	0.145	0.171	0.120	0.091	0.030
	2	0.069	0.128	0.145	0.105	0.091	0.038
	3	0.052	0.165	0.147	0.109	0.095	0.031
CK-A87	1	0.040	0.151	0.140	0.116	0.095	0.032
	2	0.044	0.149	0.145	0.116	0.103	0.037
	3	0.059	0.141	0.142	0.118	0.097	0.032
CK-B22	1	0.060	0.133	0.152	0.104	0.097	0.045
	2	0.060	0.158	0.146	0.109	0.111	0.047
	3	0.049	0.157	0.148	0.100	0.097	0.038
CK-A79	1	0.059	0.138	0.151	0.131	0.097	0.045
	2	0.051	0.141	0.141	0.122	0.094	0.033
	3	0.051	0.146	0.155	0.104	0.103	0.026
CK-B34	1	0.068	0.139	0.179	0.109	0.103	0.034
	2	0.054	0.127	0.159	0.114	0.107	0.043
	3	0.053	0.140	0.153	0.103	0.099	0.049

ตารางผนวกที่ 42 ปริมาณธาตุทองแดงในใบสบู่ดำ ในดินตะกอนล้วน 100% ในช่วงอายุ 2 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์

(หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร)

สายพันธุ์	ซ้ำ	อายุ (เดือน)					
		2	3	4	5	6	7
CK-B47	1	0.076	0.136	0.149	0.118	0.107	0.040
	2	0.067	0.134	0.153	0.113	0.101	0.032
	3	0.070	0.140	0.149	0.133	0.105	0.041
CK-A87	1	0.054	0.130	0.148	0.110	0.091	0.031
	2	0.064	0.132	0.146	0.110	0.088	0.042
	3	0.059	0.136	0.141	0.123	0.087	0.026
CK-B22	1	0.053	0.142	0.145	0.112	0.089	0.021
	2	0.066	0.145	0.147	0.113	0.093	0.025
	3	0.058	0.141	0.147	0.136	0.091	0.020
CK-A79	1	0.057	0.141	0.146	0.111	0.095	0.024
	2	0.054	0.146	0.152	0.120	0.095	0.024
	3	0.052	0.140	0.149	0.119	0.095	0.025
CK-B34	1	0.060	0.134	0.174	0.108	0.101	0.010
	2	0.062	0.134	0.157	0.107	0.104	0.019
	3	0.061	0.143	0.152	0.114	0.100	0.014



ภาพผนวกที่ 1 ดินตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา บริษัท ประปาปทุมธานี จำกัด



ภาพผนวกที่ 2 สบู่ดำสายพันธุ์ CK-B47, CK-A87, CK-B22, CK-A79 และ CK-B34
ที่ทำการคัดเลือกแล้ว



ภาพผนวกที่ 3 วัสดุอุปกรณ์ และ ดานทิ้งตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา



ภาพผนวกที่ 4 สายพันธุ์สบู่ดำที่ทำการเพาะปลูกในอัตราส่วนดินปลูกผสมดินตะกอนในอัตราส่วนต่างๆ



ภาพผนวกที่ 5 สบู่ดำ ในช่วงอายุ 2 ถึง 4 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์ ตามลำดับ



ภาพผนวกที่ 6 สบู่ดำ ในช่วงอายุ 5 ถึง 7 เดือนหลังปลูกด้วยท่อนพันธุ์ ตามลำดับ

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล

นางสาว สุภิญญา สอนง่าย

วัน เดือน ปี ที่เกิด

4 ตุลาคม 2526

สถานที่เกิด

จังหวัดลำปาง

ประวัติการศึกษา

วท.บ. (กัญญาวิทยา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตบางเขน