



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

.....
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญา

.....
ปฐพีวิทยา

.....
ปฐพีวิทยา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักต่อการให้ผลผลิตสบู่ดำ

Effect of Chemical Fertilizers and Compost on Jatropha Yield

นามผู้วิจัย นางสาววลัยลักษณ์ สายแก้ว

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์อัญชลี สุทธิประการ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ศุภิมา ธนะจิตต์, ป.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักต่อการให้ผลผลิตสบู่ดำ

Effect of Chemical Fertilizers and Compost on Jatropha Yield

โดย

นางสาววลัยลักษณ์ สายแก้ว

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วลัยลักษณ์ สายแก้ว 2557: ผลของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักต่อการให้ผลผลิตสับดำ ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D. 125 หน้า

ทำการทดลองปลูกสับดำในดิน Ultic Paleustalf ที่สถานีวิจัยกาญจนบุรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2552-มิถุนายน พ.ศ. 2553 เพื่อเปรียบเทียบผลของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักต่อการให้
ผลผลิตสับดำ ใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ 8 คำรับการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ คำรับการทดลอง
ประกอบด้วย ไม่มีการใส่ปุ๋ย (F1) ใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F2) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50
กิโลกรัมต่อไร่ (F3) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F4) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ร่วมกับปุ๋ย
หมักอัตรา 50 และ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ (F5) ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F6) ใส่
ปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F7) และใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตรา 50 และ
1,000 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ (F8) ปลูกสับดำพันธุ์ KUBP 78-9 โดยใช้เมล็ดที่ระยะปลูก 2 x 2 เมตร ใส่ปุ๋ยเคมี
สูตร 15-15-15 จำนวน 50 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยหมักจำนวน 1,000 กิโลกรัมต่อไร่รองพื้นก่อนปลูก ให้น้ำ
ชลประทานแบบหยดอัตรา 2 ลิตรต่อต้นทุก 2 วันในช่วงฤดูแล้ง ตรวจสอบผลผลิตทุกเดือน ทำการเก็บตัวอย่างใบ
สับดำที่อายุ 2 และ 6 เดือน และเมล็ดเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหาร

สับดำเริ่มออกดอกในเดือนตุลาคม 2552 มีจำนวนช่อดอกต่อต้นสูงสุดเฉลี่ย 16.5 ช่อในเดือนเมษายน
2553 แต่ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างคำรับการทดลองเช่นเดียวกับปริมาณช่อดอกที่ติดผล ซึ่งมีจำนวนต่อต้น
สูงสุดเฉลี่ยในเดือนพฤษภาคม 2553 การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตรา 1,000
กิโลกรัมต่อไร่มีแนวโน้มทำให้ได้ผลผลิตน้ำหนักรวมเมล็ดสับดำที่ความชื้นร้อยละ 15 สูงสุดเท่ากับ 225.1 กิโลกรัม
ต่อไร่ และปริมาณน้ำมันสับดำในเมล็ดที่มีความชื้นร้อยละ 15 สูงสุดเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 35.34 และได้ผลผลิต
น้ำมันสับดำสูงสุดเท่ากับ 73.1 กิโลกรัมต่อไร่ซึ่งสูงกว่าการจัดการปุ๋ยรูปแบบอื่นและการไม่ใส่ปุ๋ยอย่างนัยสำคัญ
ยิ่งทางสถิติ การไม่ใส่ปุ๋ยได้ผลผลิตเมล็ดต่ำสุดเท่ากับ 159.4 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณน้ำมันสับดำในเมล็ดที่มี
ความชื้นร้อยละ 15 ต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 17.04 การใส่ปุ๋ยเคมีทั้งสองสูตรในอัตราสูงไม่ได้ทำให้ได้ผลผลิตน้ำมัน
สับดำสูงสุด เช่นเดียวกับการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่มีแนวโน้ม
ทำให้ได้ผลผลิตน้ำมันสับดำสูงกว่าการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ทั้งสองอัตรา ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในใบ
และเมล็ดสับดำไม่แสดงความสัมพันธ์กับรูปแบบการจัดการปุ๋ยทั้งหมด

Walailuck Saikaew 2014: Effect of Chemical Fertilizers and Compost on Jatropha Yield. Master of Science (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Somchai Anusontpornperm, Ph.D. 125 pages.

An experiment was carried out on an Ultic Paleustalf at Kanchanaburi Research Station, Kasetsart University from July 2009 till June 2010 objectively to compare the effect of chemical and organic fertilizers on yield of Jatropha. Randomized Complete Block design with eight treatments and four replications was employed. The treatments consisted of no fertilization (F1), applications per rai of 1,000 kg compost (F2), 50 kg of 15-15-15 fertilizer (F3), 100 kg of 15-15-15 fertilizer (F4), 1,000 kg of compost together with 50 kg of 15-15-15 fertilizer (F5), 50 kg of 8-24-24 fertilizer (F6), 100 kg of 8-24-24 fertilizer (F7), and 1,000 kg of compost together with 50 kg of 8-24-24 fertilizer (F8). Jatropha, KUBP78-9 variety, was planted using direct seed with a spacing of 2 x 2 m. Uses of 50 kg 15-15-15 chemical fertilizer and 1,000 kg compost as topdressing before placing the seed were undertaken. Drip irrigation at the rate of two litres per tree every two days was applied during drought season. Yield of Jatropha was monitored monthly. Leaf samples were collected at two and six months of age for analyses of nutrients concentration and seed sample was also included for this purpose.

Jatropha started to flower in October 2009. The highest average number of inflorescence per plant of 16.5 was found in April 2010 but it was indifferent among fertilizer management patterns as well as the number of capsule cluster of which the highest average number per plant was in between April and May 2010. Application of 8-24-24 fertilizer together with compost at rates of 50 and 1,000 kg rai⁻¹, respectively, tended to give the highest seed yield at 15% moisture content (225.1 kg rai⁻¹) and total oil content in seed with 15% moisture content (35.34%). The highest Jatropha oil yield of 73.1 kg rai⁻¹ was obtained from this fertilization scheme and the amount was statistically very significantly higher than those gained from other fertilizer management practices and the one without fertilization. No fertilization gave the lowest seed yield at 15% moisture content of 159.4 kg rai⁻¹ and the lowest percentage of oil in seed with 15% moisture content (17.04%). Additions of both chemical fertilizer formulas at high rate could not give the highest Jatropha oil yield as well as sole application of compost. The use of 8-24-24 fertilizer at the rate of 50 kg rai⁻¹ tended to give a better Jatropha oil yield than did 15-15-15 fertilizer applied at both rates. The concentrations of plant nutrients in Jatropha leaf and seed had no relationship with all fertilizer managements.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร.อัญชลี สุทธิประการ และอาจารย์ ดร.ศุภิมา ธนะจิตต์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางและให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านการเรียนการทำงานตลอดจนให้คำแนะนำปรึกษาปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการเขียนและช่วยขัดเกลาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ รวมถึงขอขอบพระคุณคณาจารย์ของภาควิชาปรัชญาพิทยาทาน

ขอขอบคุณ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ผ่าน โครงการเคยู - ไบ โอดีเซล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และขอบคุณเจ้าหน้าที่สถานีวิจัยกาญจนบุรีที่ให้พื้นที่ในการทดลอง และอำนวยความสะดวกในการทำงาน และเกษตรกรผู้มาช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลและดูแลแปลงทดลอง

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาปรัชญาพิทยาทานที่ให้การช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ให้คำแนะนำและปรึกษาที่ดีที่มีประโยชน์ มาโดยตลอด

และขอกราบขอบพระคุณท่านบุพการีทั้งสอง และขอขอบพระคุณเหล่าญาติ ๆ พี่น้องทั้งหลายที่ให้การสนับสนุนมาเป็นอย่างดี ที่คอยให้การสนับสนุน เป็นกำลังใจ และเป็นທີ່ปรึกษาจนสำเร็จการศึกษา

วัลย์ลักษณ์ สายแก้ว

สิงหาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	48
สรุปและข้อเสนอแนะ	87
สรุป	87
ข้อเสนอแนะ	88
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	89
ภาคผนวก	103
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	125

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นในพืชซึ่งถือว่าเป็นระดับที่เพียงพอ	22
2	รูปของธาตุอาหารที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที	23
3	บทบาทหน้าที่ของธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช	24
4	ลักษณะอาการขาดธาตุอาหารพืช	26
5	เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของปุ๋ยอินทรีย์	32
6	เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของปุ๋ยเคมี	33
7	รายละเอียดคำรับการทดลอง	43
8	การแจกกระจายของอนุภาคดินและชั้นเนื้อดินของดินก่อนปลูก	58
9	ค่าพีเอช ปริมาณอินทรีย์วัตถุและปริมาณธาตุอาหารหลักของดินก่อนปลูก	58
10	ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยที่ได้ตามคำรับการทดลอง	59
ตารางผนวกที่		
1	สมบัติทางฟิสิกส์ของดินตัวแทนพื้นที่ทดลอง	107
2	สมบัติทางเคมีของดินตัวแทนพื้นที่ทดลอง	108
3	สมบัติของปุ๋ยหมักที่ใช้ในการทดลอง	109
4	จำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นตามคำรับการทดลอง (ต.ค. 2552-มิ.ย. 2553)	110
5	จำนวนช่อดอกเฉลี่ยที่คิดผลตามคำรับการทดลอง (พ.ย. 2552-มิ.ย. 2553)	110
6	จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อผล	112
7	น้ำหนักผลเฉลี่ยที่ความชื้นร้อยละ 15 (กรัมต่อผล)	111
8	น้ำหนัก 100 เมล็ดสับดูค่าที่ความชื้นร้อยละ 15	112
9	ผลผลิตเมล็ดสับดูค่าที่ความชื้นร้อยละ 15	112
10	ร้อยละ โดยน้ำหนักระหว่างเปลือกกับเนื้อใน ปริมาณน้ำมันสับดูค่าในเนื้อใน และปริมาณน้ำมันสับดูค่าในเมล็ด (คำนวณจากเมล็ดที่มีความชื้นร้อยละ 15)	113

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
11	ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำรายเดือนและผลผลิตรวมต่อปี ตั้งแต่วันที่ทำการหยอดเมล็ด	113
12	ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักไนโบสบู่ดำ (กรัมต่อกิโลกรัม)	114
13	ความเข้มข้นของธาตุอาหารรองไนโบสบู่ดำ (กรัมต่อกิโลกรัม)	114
14	ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารไนโบสบู่ดำ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	115
15	ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองอาหารในเมล็ดสบู่ดำ (กรัมต่อกิโลกรัม)	115
16	ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในเมล็ดสบู่ดำ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	116
17	การแบ่งกลุ่มเนื้อดิน(เอิบ, 2548; Soil Survey Division Staff, 1993)	116
18	เกณฑ์การแบ่งระดับความหนาแน่นรวมของดิน	117
19	ระดับชั้นของค่าสภาพน้ำขณะดินอิมตัว	117
20	ข้อกำหนดที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน(เอิบ, 2548; Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993)	118
21	เกณฑ์การแบ่งระดับสภาพกรดแกลเปลี่ยนได้	123
22	การแปลงค่า non SI unit เป็น SI unit	124

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	พื้นที่แปลงทดลองย่อยและระยะปลูก	43
2	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ระหว่างเดือนมิถุนายน 2552-กรกฎาคม ของสถานีวิจัย กาญจนบุรี ต.วังคัง อ.เมือง จ.กาญจนบุรี	48
3	สภาพพื้นที่ และลักษณะหน้าตัดดินตัวแทนพื้นที่ทดลอง	49
4	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวม (ก) สภาพการนำน้ำของดินขณะ อิ่มตัวด้วยน้ำ (ข) การแจกกระจายอนุภาคดิน (ค) กับความลึกของดิน ตัวแทนแปลงทดลอง	51
5	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของดิน (ก) และปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ข) กับความ ลึกของดินตัวแทนแปลงทดลอง	52
6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ก) ปริมาณฟอสฟอรัสที่ เป็นประโยชน์ (ข) และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (ค) กับความ ลึกของดินตัวแทนแปลงทดลอง	53
7	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (ก) ปริมาณแมกนีเซียมที่ สกัดได้ (ข) ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (ค) และปริมาณโซเดียมที่สกัด ได้ (ง) กับความลึกของดินตัวแทนแปลงทดลอง	55
8	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเบสทั้งหมดที่สกัดได้ (ก) สภาพกรดที่สกัด ได้ (ข) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (ค) และอัตราร้อยละความอิ่มตัวด้วย เบส (ง) กับความลึกของดินตัวแทนแปลงทดลอง	57
9	จำนวนช่อดอกสับดูคำต่อต้น (รายเดือน)	61
10	จำนวนช่อดอกสับดูคำที่มีการติดผลต่อต้น (รายเดือน)	62
11	จำนวนเมล็ดสับดูคำเฉลี่ยต่อผล	64
12	ร้อยละโดยน้ำหนักของเปลือกนอกเมล็ดสับดูคำ	65
13	ร้อยละโดยน้ำหนักของเปลือกในเมล็ดสับดูคำ	66
14	น้ำหนักเฉลี่ยรายเดือนของเมล็ดสับดูคำ 100 เมล็ด ที่ความชื้นร้อยละ 15	67
15	น้ำหนัก 100 เมล็ด สับดูคำเฉลี่ยที่ความชื้นร้อยละ 15	68
16	ผลผลิตเฉลี่ยรายเดือนของเมล็ดสับดูคำที่ความชื้นร้อยละ 15	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	ผลผลิตรวมในรอบปีของเมล็ดสบู่ดำที่ความชื้นร้อยละ 15	69
18	ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันในเนื้อในเมล็ดสบู่ดำ	70
19	ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันในเมล็ดสบู่ดำที่ความชื้นร้อยละ 15	71
20	ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำรายเดือนตามค่ารับการตลาด	76
21	ผลผลิตรวมน้ำมันสบู่ดำในรอบปีตามค่ารับการตลาด	77
22	ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบสบู่ดำ อายุ 2 และ 6 เดือน	78
23	ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบสบู่ดำ อายุ 2 และ 6 เดือน	79
24	ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบสบู่ดำ อายุ 2 และ 6 เดือน	79
25	ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบสบู่ดำ อายุ 2 และ 6 เดือน	80
26	ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบสบู่ดำ อายุ 2 และ 6 เดือน	81
27	ความเข้มข้นของกำมะถันในใบสบู่ดำ อายุ 2 และ 6 เดือน	81
28	ความเข้มข้นของทองแดงในใบสบู่ดำ อายุ 2 และ 6 เดือน	82
29	ความเข้มข้นของเหล็กในใบสบู่ดำ อายุ 2 และ 6 เดือน	82
30	ความเข้มข้นของสังกะสีในใบสบู่ดำ อายุ 2 และ 6 เดือน	83
31	ความเข้มข้นของแมงกานีสในใบสบู่ดำ อายุ 2 และ 6 เดือน	83
32	ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในเมล็ดสบู่ดำ	84
33	ความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียมและกำมะถันในเมล็ดสบู่ดำ	85
34	ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในเมล็ดสบู่ดำ	85

ผลของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักต่อการให้ผลผลิตของสบู่ดำ

Effect of Chemical Fertilizers and Compost on Jatropha Yield

คำนำ

ราคาน้ำมันที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่กำลังพัฒนา เมื่อราคาน้ำมันปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ราคาสินค้าค่าครองชีพ ตลอดจนค่าขนส่งต่าง ๆ ปรับตัวสูงขึ้นเป็นเงาตามตัว ประเทศไทยนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศเป็นหลัก ดังนั้นเมื่อราคาน้ำมันปรับตัวสูงขึ้นจึงมีผลทำให้ต้องสูญเสียเงินตราให้กับต่างประเทศเป็นจำนวนมากเพื่อนำเข้าน้ำมัน ประเทศต่าง ๆ รวมทั้งประเทศไทยได้พยายามหาแหล่งพลังงานรูปแบบอื่นเพื่อใช้ทดแทนน้ำมัน เพื่อการลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศโดยแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรบางชนิดให้เป็นพลังงาน เช่น ใช้ผลิตแอลกอฮอล์หรือเอทานอล เป็นต้น เพื่อนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินหรือน้ำมันดีเซลสำหรับใช้เติมกับเครื่องยนต์ต่าง ๆ ผลิตผลทางการเกษตรที่สามารถนำมาผลิตเป็นเอทานอลได้ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าว ข้าวโพด และข้าวฟ่างหวาน เป็นต้น (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2547) นอกจากนี้มีการนำพืชบางชนิดมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล พืชที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบได้แก่ ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ถั่วลิสง ถั่วเหลือง และสบู่ดำ เป็นต้น (นิรนาม, 2548ก)

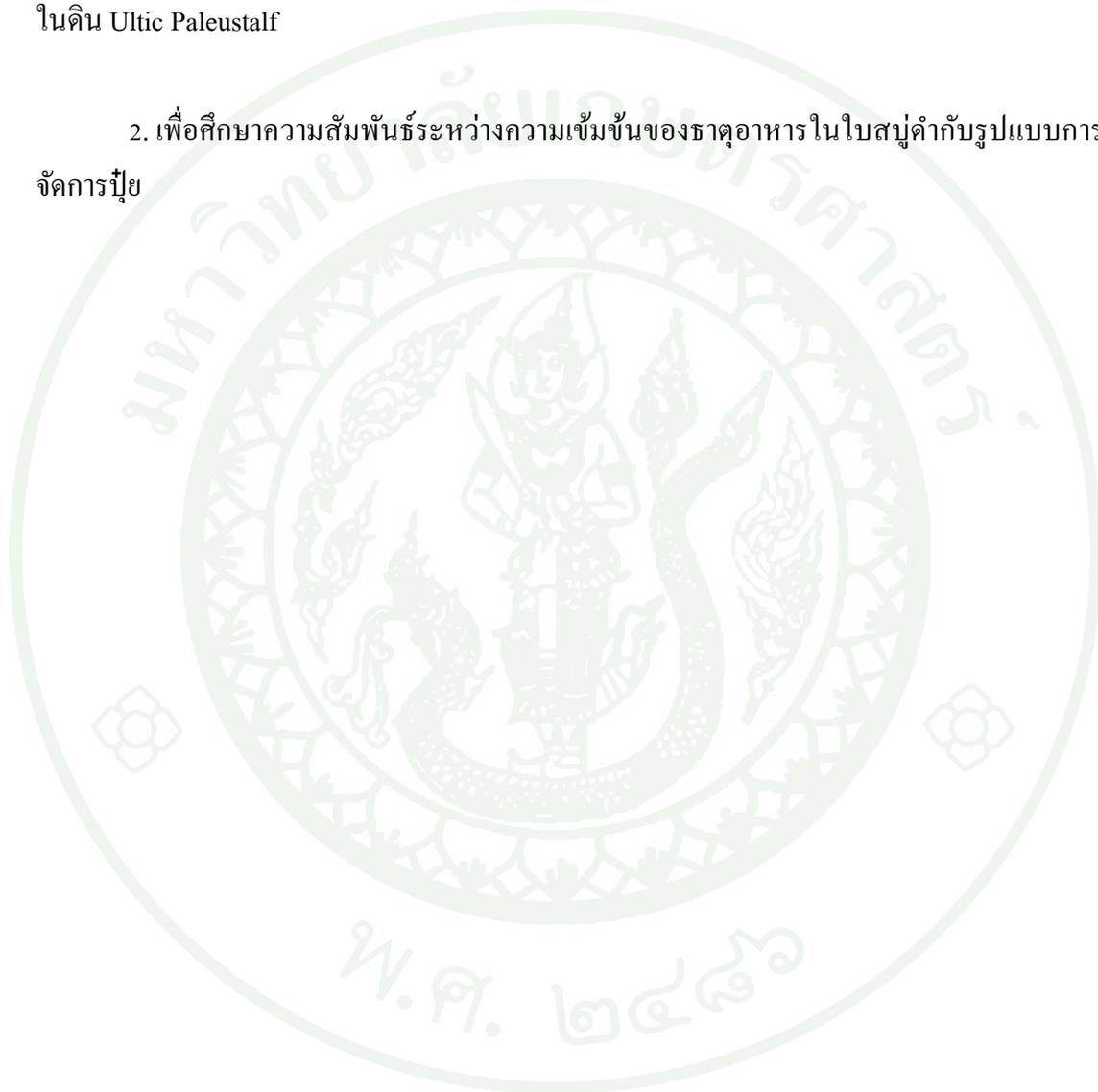
สบู่ดำเป็นพืชที่คล้ายกับพืชตระกูลถั่วล้มลุก แต่เมื่อปลูกในแปลงปลูกทั่วไปอาจต้องมีระยะระหว่างต้นกว้างถึง 3 เมตร ด้วยเหตุของการมีทรงพุ่มที่กว้าง และลำต้นสูง การมีลำต้นสูงนี้ ถ้าปลูกเพื่อไม่เก็บผลก็จะสามารถปล่อยทิ้งไว้ได้ สบู่ดำเป็นพืชที่ชอบแดดใบออกดอกอยู่แล้ว แต่ก็มีบางช่วงที่มีการพักตัว โดยเฉพาะในฤดูแล้ง เมื่อเข้าสู่ฤดูฝนหรืออากาศเริ่มร้อน สบู่ดำจะแตกใบ และออกดอกเพื่อการให้ผลผลิต สบู่ดำจะออกดอกเป็นช่อทุกกิ่งก้านที่มีความสมบูรณ์พอ สบู่ดำ 1 ช่อจะมีหลายลูก โดยจะมีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียในช่อเดียวกัน การผสมจะอาศัยลมและผึ้งรวมทั้งแมลงชนิดอื่น ๆ เป็นตัวช่วย ลูกสบู่ดำ 1 ลูก จะมีประมาณ 3 เมล็ด ระยะที่เหมาะสมในการเก็บลูกก็จะเป็นช่วงที่ลูกมีสีเหลือง ผลผลิตจะแสดงเป็นน้ำหนักเมล็ดของสบู่ดำเท่านั้น โดยต้องเป็นเมล็ดที่ทำการตากแดดเพื่อลดความชื้นแล้ว เมล็ดของสบู่ดำหลังการตากแดดแล้วจะสามารถเข้าหีบได้ น้ำมันที่ได้บางแห่งก็นำมาใช้กับเครื่องยนต์โดยตรง โดยต้องทำการกรองก่อนการเติม แต่อย่างไรก็ตาม

ในปัจจุบันได้เริ่มมีการนำเอาน้ำมันสบู่ดำไปทำเป็นน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมงในการผลิต ก็จะใช้กับเครื่องยนต์ได้อย่างปลอดภัยยิ่งขึ้น น้ำมันที่ผลิตได้เรียกว่า น้ำมัน B100 ซึ่งถ้านำไปผสมกับน้ำมันดีเซลตามสัดส่วน ก็จะเป็น B ต่าง ๆ ออกมา เช่น B10 เกิดจากน้ำมันไบโอดีเซลจากสบู่ดำ 10 ส่วนผสมกับน้ำมันดีเซล 90 ส่วน การทดสอบการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยยังมีน้อยมากเพราะน้ำมันสบู่ดำยังไม่มีปริมาณมากพอ ส่วนของเปลือกก่อนการกะเทาะก็ยังมีปริมาณมาก อย่างไรก็ตาม น้ำมันสบู่ดำและผลพลอยได้ทั้งหมดนี้เป็นสิ่งที่มีประโยชน์และมีมูลค่าทั้งสิ้น การจัดระบบการผลิตสบู่ดำเพื่อใช้ทำไบโอดีเซลจำเป็นต้องพิจารณาให้ครบทุกส่วนถึงจะคุ้มค่าต่อการลงทุน เพื่อการสร้างโอกาสในการผลิตสบู่ดำแบบครบวงจร โดยมีเป้าหมายหลักก็คือใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนของชาติ

ในการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการด้านปุ๋ยสบู่ดำยังคงมีน้อยมาก ซึ่งน้ำมันดีเซลจัดเป็นน้ำมันที่มีความสำคัญต่อประเทศเป็นอย่างมากเพราะเป็นวัตถุดิบและต้นทุนในการประกอบกิจการด้านการผลิตทั้งภาคการเกษตรและอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังถือว่าดีเซลเป็นต้นทุนที่ใช้ในการคมนาคมขนส่ง จุดที่รัฐบาลให้ความสนใจมากเป็นพิเศษจึงเป็น น้ำมันดีเซลปัจจุบันมีการใช้น้ำมันดีเซลในประเทศไทยมากขึ้น ถ้าจะนำน้ำมันมาทดแทนทั้งหลาย สบู่ดำก็เป็นพืชหนึ่งที่ต้องนำมาใช้นโยบายการทำพลังงานทดแทนแห่งชาติ ดังนั้นการศึกษาก่อนการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มผลผลิตสบู่ดำจึงมีความจำเป็นเพื่อเป็นการรองรับการใช้ น้ำมันสบู่ดำเป็นพลังงานทดแทนในอนาคตต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษารูปแบบการจัดการปุ๋ยเบื้องต้นที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตของสับรู่ดำที่ปลูกในดิน Ultic Paleustalf
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบสับรู่ดำกับรูปแบบการจัดการปุ๋ย



การตรวจเอกสาร

1. ความสำคัญของสบู่ดำ

สบู่ดำเป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่งที่มีโอกาสในการพัฒนาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำสามารถสกัดและนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่เกษตรกรใช้อยู่ได้ทันที โดยไม่ต้องใช้น้ำมันชนิดอื่นผสมอีก หลังจากที่มีการค้นคว้าวิจัยอย่างต่อเนื่องได้มีการยืนยันว่าน้ำมันสบู่ดำสามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลได้ อย่างไรก็ตาม การที่จะทำให้มีการใช้น้ำมันสบู่ดำอย่างแพร่หลายนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาตั้งแต่การขยายพื้นที่ปลูกเพื่อให้มีปริมาณน้ำมันสบู่ดำมากเพียงพอกับความต้องการ รวมถึงการศึกษาเปรียบเทียบผลตอบแทนระหว่างสบู่ดำกับพืชเศรษฐกิจที่เกษตรกรปลูกอยู่เพื่อสร้างความมั่นใจ ให้กับเกษตรกรถึงผลตอบแทนจากการเปลี่ยนมาปลูกสบู่ดำ (นิรนาม, 2548ข) ในการขยายพื้นที่ปลูกสบู่ดำ อาจจะมีปัญหาต่าง ๆ เกิดขึ้นได้ เช่น ปัญหาการระบาดของแมลงศัตรูสบู่ดำ ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญอย่างหนึ่งในการปลูกสบู่ดำที่ทำให้ผลผลิตของสบู่ดำลดลง

วัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ ไขมันสัตว์ น้ำมันพืช และน้ำมันพืชใช้แล้ว อาทิ น้ำมันปาล์ม มะพร้าว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ละหุ่ง งา และทานตะวัน แต่ยังมีพืชน้ำมันอีกชนิดหนึ่งที่มีการส่งเสริมให้นำมาใช้ผลิตเป็นไบโอดีเซลมากขึ้น ได้แก่ สบู่ดำ เนื่องจากในเมล็ดของสบู่ดำ มีปริมาณน้ำมันสูงถึงร้อยละ 52.8 ของน้ำหนักเนื้อใน และในน้ำมันสบู่ดำมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง กล่าวคือ มีปริมาณกรดโอเลอิกร้อยละ 44.8 และกรดไลโนเลอิกร้อยละ 34.0 ซึ่ง มีผลทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีความหนืดที่เหมาะสมและมีคุณภาพดี นอกจากนี้การนำสบู่ดำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลยังไม่เป็นการแย่งตลาดของน้ำมันที่ใช้บริโภค เนื่องจากน้ำมันสบู่ดำไม่สามารถนำมาบริโภคได้ (Kandpal and Madan, 1994)

ขณะที่ ปาล์มน้ำมันก็เป็นพืชน้ำมันที่น่าสนใจสำหรับนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากเป็นพืชที่มีการปลูกกันอย่างกว้างขวาง แต่ละปีประเทศไทยมีผลผลิตของปาล์ม น้ำมันจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตาม น้ำมันปาล์มมีทั้งกรดไขมันไม่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ palmitic acid ร้อยละ 42.6 และ oleic acid ร้อยละ 40.5 (Demirbas, 2002) ซึ่งการที่น้ำมันปาล์มมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากจะช่วยให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอัลคิลเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว (unsaturated alkyl ester) ซึ่งเป็นไบโอดีเซลที่มีคุณภาพดี มีความหนืด

ไม่สูงเกินมาตรฐานสากล อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้วัตถุดิบเพื่อนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ส่วนใหญ่มักขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการหาวัตถุดิบ และราคาของวัตถุดิบเป็นสำคัญ

2. ประวัติและความเป็นมาของสบู่ดำ

สบู่ดำเป็นภาษาโปรตุเกส หมายถึง ต้นไม้ชนิดหนึ่ง สบู่ดำเป็นพืชพื้นเมืองของอเมริกาใต้ ชาวโปรตุเกสนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยในช่วงปลายสมัยกรุงศรีอยุธยาเพื่อรับซื้อเมล็ดไปคั่วบิบน้ำมันสำหรับไปทำสบู่ เพราะในสมัยก่อนยังไม่มีสารเคมีที่ทำให้เกิดฟอง (ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดพิษณุโลก, 2548; ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดชัยนาท, 2548)

ระพีพันธ์ และ สุขสันต์ (2525) รายงานว่า สบู่ดำ มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกากลางและทวีปอเมริกาแถบตะวันตก ชาวโปรตุเกสนำเข้ามาในทวีปเอเชียเมื่อประมาณ 200 ปีมาแล้ว ด้วยจุดประสงค์ที่จะสกัดเอาน้ำมันมาบริโภค แต่ก็บริโภคไม่ได้เพราะมีสารพิษพวก curcin หรือ curcasin และสารพวก resin (จเร, 2527) สบู่ดำ มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปแต่ละประเทศและแต่ละท้องถิ่น เช่น การเรียกชื่อสบู่ดำในประเทศต่าง ๆ ชาวจีน เรียกว่า หมาฟุ้งสู ชาวจีนุ่่น เรียกว่า บูราคีรี ชาวพม่า เรียกว่า เจทซู ชาวเขมร เรียกว่า ทะวอง และชาวมลายู เรียกว่า ยาเนา ส่วนการเรียกชื่อสบู่ดำในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เช่น ภาคกลาง เรียกว่า สบู่ดำ ภาคเหนือ เรียกว่า ละหุ่งฮั่ว ชาวเขา เรียกว่า ไทยู หรือเกงยู ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เรียกว่า หมักเขา หรือ สีหลอด ภาคใต้ เรียกว่า หงเทศ

นายระพีพันธ์ ภาสบุตร ได้นำน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำมาทดลองใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ผลการทดลองเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2523 ปรากฏว่า น้ำมันสบู่ดำเดินเครื่องยนต์ได้ดีกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น ที่เคยทดลองมาก่อนหน้านี้ การทดลองใช้น้ำมันสบู่ดำกับเครื่องยนต์ดีเซลครั้งนี้มี นายสุขสันต์ สุทธิผลไพบุลย์ นักวิชาการเกษตร 7 สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์อยู่ร่วมสังเกตการณ์ด้วยซึ่งทำให้ความสนใจช่วยหาเมล็ดสบู่ดำมาให้ทดลองและร่วมงานกับ นายระพีพันธ์ ภาสบุตร ในเวลาต่อมา (ทวิศักดิ์, 2548)

สบู่ดำมีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนทวีปอเมริกาแต่ปัจจุบันพบได้มากมายในเขตร้อนและกึ่งร้อนในทวีปเอเชียและแอฟริกาจากแครีเบียนซึ่งมีการใช้สบู่ดำอยู่แล้วโดยชาวมายา (Wiesenhütter, 2003) สบู่ดำแพร่กระจายไปอย่างมากโดยชาวโปรตุเกสที่เดินเรือไปตามหมู่เกาะเคปเวิร์ดและเกาะกินีบิสเซาในทวีปแอฟริกา และเอเชีย (Heller, 1996; Wiesenhütte, 2009) เนื่องจากใบสบู่ดำมีพิษจึงนิยมที่จะปลูกเพื่อเป็นรั้วบ้าน และเพราะว่าน้ำมันสบู่ดำรับประทานไม่ได้จึงนำมาทำเป็นสบู่และเป็นยาสมุนไพร น้ำมันสบู่ดำจึงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหรือเป็นแหล่งพลังงาน การเผาโดยตรงหรือผ่านกระบวนการสำหรับไบโอดีเซลแล้วสามารถเป็นพลังงานที่ช่วยเหลือสนับสนุนทางด้านเศรษฐกิจโดยทั่วไปและพื้นที่ชนบท ทั้งสองกระบวนการในการผลิตไบโอดีเซลนั้นยังการพัฒนาน้อยมาก ดังนั้นพลังงานเหล่านี้จึงมีราคาสูงขึ้นและเป็นประโยชน์จากพลังงานธรรมชาติต่อไป เมื่อมีการสนับสนุนเกี่ยวกับการจัดการและกระบวนการผลิตพลังงานธรรมชาติจะเป็นการลดการสะสมของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศลงได้ (Jongschaap *et al.*, 2007)

3. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

สบู่ดำ มีชื่อสามัญว่า physic nut หรือ purging nut จัดอยู่ในวงศ์เดียวกับยางพารา ละหุ่ง และมันสำปะหลัง (Family Euphorbiaceae) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas* L.

ลักษณะทั่วไป เป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลางสูงประมาณ 2-7 เมตร จัดอยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae เช่นเดียวกับยางพารา สบู่แดง ปัตตาเวีย มะละกอฝรั่ง หนุมานนั่งแท่น ไป้เขียน มันสำปะหลัง มะยม และมะขามป้อม เป็นต้น (สำนักงานเกษตรจังหวัดสกลนคร, 2548) สบู่ดำเป็นไม้เนื้ออ่อน และมีอายุยืนกว่า 50 ปี (Wiesenhütter, 2003)

ราก สบู่ดำมีระบบรากฝอย (fibrous root system) รากจะงอกออกมาจากเมล็ดหลังจากเพาะเมล็ดนานประมาณ 7-10 วัน รากจะเจริญเติบโตโดยแผ่กระจายไปทั้งตามแนวรัศมีทรงพุ่มและตามแนวตั้ง (ระพีพันธ์ และ สุขสันต์, 2525; Heller, 1996; Silva *et al.*, 2007; Jongschaap *et al.*, 2007)

ลำต้น ต้นสบู่ดำเป็นพืชที่มีจำนวนโครโมโซมแบบดิพลอยด์ ($2n=22$) เป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลาง และอาจมีความสูงกว่า 5 เมตร อายุยืนกว่า 20 ปี มีเปลือกลำต้นเรียบ มีสีเทา-น้ำตาล

ลำต้นเกลี้ยง อวบน้ำ เป็นไม้เนื้ออ่อน ไม่มีแก่น หักง่าย มีน้ำยางสีขาวใส (ระพีพันธ์ และ สุขสันต์, 2525)

ใบ เป็นแบบใบเดี่ยว แผ่นใบเป็นแบบ palmately compound, orbicular-cardate (broadly-ovate) คล้ายคลึงกับใบพุดตาลหรือใบฝ้าย แต่หนากว่าเพราะมีไขเคลือบอยู่ที่ผิวใบ ขอบใบมีรอยหยักตื้น ๆ ตั้งแต่ 3-7 หยัก กว้างและยาวประมาณ 6-15 เซนติเมตร (ขึ้นกับพันธุ์และความสมบูรณ์ของต้น) ฐานใบเป็นแบบ cordate ปลายเป็นแบบ mucronate ยกเว้นปลายใบตรงตำแหน่งหยักตรงกลางเป็นแบบ acute การจัดเรียงตัวของเส้นใบเป็นแบบ palmately netted แผ่นใบมีสีเขียวใบไม้ ขนาดของแผ่นใบเฉลี่ยมีความยาวประมาณ 19.8 เซนติเมตร และมีความกว้างประมาณ 16.7 เซนติเมตร ใบสับดูมีส่วนของก้านใบเชื่อมติดกับส่วนของลำต้น ก้านใบสีเขียว ความยาวก้านใบประมาณ 2.5-7.5 เซนติเมตร ตำแหน่งของการเกิดใบจะเกิดสลับกัน สับดูดำมักจะทิ้งใบในฤดูแล้ง และเมื่อแล้งจัดก็จะทิ้งใบหมดทั้งต้น (ระพีพันธ์ และ สุขสันต์, 2525)

ดอก ออกบริเวณปลายกิ่ง ลักษณะเป็นช่อดอกแบบ compound dichasia เป็นดอกไม้สมบูรณ์เพศ ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่แยกกัน (monoecious) แต่อยู่ภายในช่อดอกเดียวกัน โดยออกเป็นช่อบริเวณซอกใบส่วนปลายของยอด ช่อดอกยาวประมาณ 6-10 เซนติเมตร ลักษณะดอกเป็นรูปถ้วย ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียมีกลีบเลี้ยงและกลีบดอกจำนวน 5 กลีบ เท่า ๆ กัน กลีบเลี้ยงมีสีเขียวอ่อนอมเหลือง กลีบดอกสีเหลืองอมขาว มีต่อมน้ำหวานติดอยู่ที่โคนด้านในของกลีบดอก ดอกตัวผู้มีจำนวนเกสรตัวผู้จำนวน 10 อัน เรียงเป็นวงละ 5 อัน 2 ชั้น ดอกตัวเมียประกอบด้วยรังไข่และยอดเกสรตัวเมียเป็นรูปสามง่าม ส่วนของรังไข่แบ่งออกเป็น 3 พู (carpel) อัตราส่วนของตัวผู้:ดอกตัวเมีย ประมาณ 7:1 สับดูจัดเป็นพืชผสมข้าม ดอกตัวผู้ในช่อเดียวกันบานก่อนที่ดอกตัวเมียพร้อมที่จะรับการผสม (receptive) จึงต้องมีแมลงช่วยในการผสมพันธุ์ เช่น ผีเสื้อกลางคืน และผึ้ง โดยดอกตัวผู้และตัวเมียจะมีความพร้อมสำหรับการผสมพันธุ์ในช่วงกลางคืน ดอกสมบูรณ์เพศหรือดอกกะเทยที่สามารถผสมตัวเองได้ จะพบในปริมาณน้อย ปริมาณดอกย่อยประมาณ 70-120 ดอกต่อ 1 ช่อ แต่จะติดผลเพียง 6-15 ผลเท่านั้น (ระพีพันธ์ และ สุขสันต์, 2525; Jongschaap *et al.*, 2007)

ผล ผลที่เกิดจากช่อดอกเดียวกันจะสุกแก่ไม่พร้อมกัน ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อแก่มีสีเหลือง คล้ายลูกจันทน์ ผลมีลักษณะกลมรีเล็กน้อย ผลมีขนาดปานกลาง กว้าง 2-3 เซนติเมตร ยาว 2.5-3.5 เซนติเมตร ผลมี 3 พู ๆ ละ 1 เมล็ด ในแต่ละผลมีเมล็ดประมาณ 2-3 เมล็ด (Wiesenhütter, 2003)

เมื่อสุกแก่ผลจะปริแตก จำนวนผล 85-90 ผลจะมีน้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม (ระพีพันธ์ และ สุขสันต์, 2525)

เมล็ด รูปกลมรี เปลือกนอกสีดำ เนื้อในสีขาว มีสารพิษ (curcin) หากบริโภคจะเกิดอาการ อาเจียนและท้องเสีย เมล็ดกว้างประมาณ 1 เซนติเมตร ยาวประมาณ 2 เซนติเมตร เมล็ด ประกอบด้วยเนื้อเมล็ดสีขาว (albumen หรือ karnel) ประมาณร้อยละ 32 น้ำมันร้อยละ 30-38 และเปลือกร้อยละ 30-38 ของน้ำหนักเมล็ด ซึ่งในปริมาณน้ำหนัก 100 เมล็ดจะหนักประมาณ 69.8 กรัม หรือประมาณ 1,000-2,000 เมล็ด/กิโลกรัม ส่วนของเนื้อเมล็ดและเปลือกมีน้ำมันประมาณร้อยละ 52-62 และร้อยละ 0.98 ของน้ำหนักเมล็ดตามลำดับ ขนาดของเมล็ดมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1.94 เซนติเมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1.16 เซนติเมตร เมล็ดแต่ละเมล็ดมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 0.64 กรัม เมล็ดสบู่ดำไม่มีการพักตัว (ระพีพันธ์ และ สุขสันต์, 2525)

4. วิธีการปลูกและดูแลรักษาสบู่ดำ

4.1 วิธีการปลูกและขยายพันธุ์

สบู่ดำเป็นพืชที่ทนและปรับตัวเข้ากับสภาพแห้งแล้งได้ดีแม้มีปริมาณน้ำฝนต่ำเพียง 300-1,000 มิลลิเมตรต่อปี จึงทำให้เจริญได้ดีในแถบเขตร้อน ในพื้นที่ที่มีความสูงจนถึง 1,000 เมตรจากระดับทะเล หรือพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ (Joker and Jepsen, 2003) จึงสามารถปลูกสบู่ดำได้อย่างแพร่หลาย แม้ในพื้นที่มีสภาพไม่เหมาะสม สบู่ดำสามารถให้ผลผลิตได้ตลอดปี เฉลี่ยประมาณ 2-4 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี อย่างไรก็ตาม สบู่ดำอาจให้ผลผลิตสูงกว่านี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุ สภาพแวดล้อม การจัดการ และวิธีการปลูก โดยสามารถให้ผลผลิตได้ตั้งแต่ปีแรก และให้ผลผลิตสูงสุดเมื่ออายุประมาณ 3-5 ปี (Becker and Francis, 2000) ทั้งนี้สายพันธุ์ที่พบในประเทศไทยมีลักษณะของผล 3 ลักษณะ คือ พันธุ์ที่มีผลกลมขนาดปานกลาง ผลกลมรีขนาดเล็ก และผลกลมขนาดปานกลางและมีเปลือกหนา (จเร, 2527)

สบู่ดำสามารถปลูกง่ายสามารถเกิดเองในสภาพธรรมชาติและเกิดจากการการเกษตร เป็นพืชที่มีการรอดตายสูงและอายุเก่าแก่ ในสมัยอดีตปลูกสบู่ดำเพื่อป้องกันและควบคุมการเกิดกร่อนดิน ปลูกโดยใช้วิธีการปักชำโดยตรงแม้ว่าจะไม่มีการพัฒนาของรากแก้วก็ตาม สบู่ดำที่เกิด

จากการปักชำกิ่งจะมีการพัฒนาเพียงรากฝอยเท่านั้น รากไม่สามารถหยั่งลงลึกในดินได้ จะทำให้ต้น
 สปูดำถูกโค่นจากแรงลมได้ ในระบบการปลูกพืชแซมและวนเกษตรจะปลูกโดยใช้เมล็ดระบบราก
 แก้วจะสามารถหยั่งลงในดินได้ลึก ซึ่งเป็นแหล่งธาตุอาหารขนาดใหญ่และไม่มีการแข่งขันจากพืชชนิดอื่น ๆ หากใช้เมล็ดพันธุ์พืชที่แก่มาปลูกจะได้ผลดีเจริญเติบโตเร็ว (Achten *et al.*, 2008)

สมบัติ (2549) รายงานว่า การปลูกสปูดำสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบขึ้นกับสภาพ
 พื้นที่และการจัดการน้ำ บางพื้นที่เป็นที่ลุ่มมีน้ำท่วมขังจะปลูกด้วยวิธีกร่องเพื่อระบายน้ำ และให้
 น้ำลงประธานในระบบการให้น้ำตามร่อง (furrow) ในพื้นที่ดอนสามารถขุดหลุมปลูกได้ แต่ใน
 พื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังต้องคำนึงถึงการระบายน้ำที่ดีเนื่องจากสปูดำไม่ทนต่อสภาพน้ำท่วมขัง วิธีการ
 ปลูกสปูดำโดยทั่วไป สามารถปลูกได้ 4 วิธี คือ

- 1) การปลูกโดยใช้ต้นกล้าที่เพาะจากกิ่งปักชำ (ระพีพันธ์ และ สุขสันต์, 2525; สมบัติ, 2549)
- 2) การปลูกโดยใช้ต้นกล้าที่เพาะจากเมล็ด (สมบัติ, 2549; ภาณี และคณะ, 2550)
- 3) การปลูกโดยการใช้กิ่งสปูดำปลูกลงแปลงโดยตรง (ระพีพันธ์ และ สุขสันต์, 2525; สมบัติ, 2549)
- 4) การปลูกโดยใช้เมล็ดเพาะลงในแปลงปลูกโดยตรง (สมบัติ, 2549)

4.2. สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสปูดำ

สปูดำสามารถเจริญเติบโตได้ในดินป่าและในดินทรายหรือกรวดที่มีการระบายน้ำดีก็
 สามารถเจริญเติบโตได้ ส่วนในดินที่แน่นทึบนั้นรากพืชจะได้รับอันตรายจากผลกระทบของน้ำ เช่น
 ในดินอันดับเวอร์ทิซอลส์ (Vertisols) หรือในดินเหนียวประเภทอื่น ๆ เป็นต้น ดินที่เหมาะสมต่อการ
 ปลูกควรมีความลึกอย่างน้อย 45 เซนติเมตร และควรมีความลาดชันไม่เกิน 30 องศา สปูดำมี
 ความต้องการธาตุอาหารน้อย ดินควรมีค่าพีเอชไม่เกิน 9 สำหรับการปลูกในดินกรดจัดอาจจะต้องมี
 การจัดการธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียม พืชนี้สามารถปลูกในดินบริเวณชายฝั่งทะเลซึ่งมีปริมาณ

ธาตุอาหารต่ำได้ แต่ในดินประเภทนี้จะต้องใช้ปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพื่อเพิ่มผลผลิต มีการศึกษาพบว่า ไมคอร์ไรซา (Mycorrhiza) สามารถช่วยส่งเสริมการดูดฟอสฟอรัสและจุลธาตุอยู่บริเวณรากพืชไปใช้ได้เพิ่มขึ้น การใส่เชื้อไมคอร์ไรซาจะช่วยเพิ่มชีวมวลได้ถึงร้อยละ 30 และช่วยสร้างเมล็ดในระยะ 7 เดือนหลังจากปลูกโดยใช้ต้นกล้าอายุ 1 ปี (Achten *et al.*, 2008)

ในสภาพพื้นที่ดิน ที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช Lele (2005) ได้รายงานว่ สบู่ดำสามารถเจริญเติบโตอยู่รอดได้ เช่น ดินด่าง (alkaline soil) ดินเค็ม (saline soil) ดินทราย (sandy soil) หรือดินที่มีหินมาก (stony soil) หรือแม้แต่ในสภาพพื้นที่ที่มีปริมาณฝนตกน้อยประมาณ 200 มิลลิเมตรต่อปี Joker and Jepsen (2003) ได้สรุปว่า สบู่ดำถูกนำไปปลูกในที่ต่าง ๆ ทั่วโลก แต่ที่พบมีการปรับตัวได้ดีมักอยู่ในเขตร้อน (tropics) ที่มีฝนตกระหว่าง 300-1,000 มิลลิเมตรต่อปี ในพื้นที่ดินที่มีการระบายน้ำและอากาศดี ในแหล่งที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ แต่ถ้าเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์และมีปริมาณฝนตกมากกว่า 1,000 มิลลิเมตรต่อปี เกษตรกรในประเทศต่าง ๆ จะใช้พื้นที่ไปปลูกพืชเศรษฐกิจที่มีผลตอบแทนดีกว่า ดังนั้นในประเทศไทย ถ้าราคาน้ำมันดีเซลยังคงอยู่ระหว่างลิตรละ 25-30 บาท การปลูกสบู่ดำคงจะต้องปลูกแบบหัวไร่ปลายนา หรือในแหล่งดินด่างภาคกลาง ดินเค็มทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือหรือภาคใต้ หรือที่ลาดเทบนภูเขา ซึ่งจากการสำรวจในปี พ. ศ. 2525 ชดาคร ได้รายงานว่ สบู่ดำสามารถเจริญเติบโตอยู่ที่อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ได้ บนพื้นที่ที่สูง 1,130 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง

สบู่ดำเป็นพืชที่สามารถดัดแปลงกับนิเวศวิทยาได้สูง เช่น ในสภาพป่าชุ่มน้ำก็สามารถเจริญเติบโตแต่ต้องเป็นช่วงฤดูแล้ง ในสภาพกึ่งร้อนและร้อน (Jones and Muller, 1992; Makkar *et al.*, 1992; Openshaw, 2000; Wiesenhütter, 2003; Jongschaap *et al.*, 2007) แสดงให้เห็นว่า สบู่ดำเป็นพืชที่สามารถเจริญได้ในอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 20-28 องศาเซลเซียส แต่จากการสำรวจพบว่าสามารถเจริญเติบโตได้ในเขตที่มีปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ 250-3,000 มิลลิเมตร สบู่ดำสามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงได้ดีมาก แต่ในภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีน้ำแข็งจะมีผลโดยตรงที่ทำให้เกิดความเสียหาย ในประเทศนิการากัวซึ่งอยู่สูงกว่าระดับทะเลปานกลางถึง 1,800 เมตร สบู่ดำจะไม่ไวต่อความยาวของกลางวัน (Wiesenhütter, 2003; Achten *et al.*, 2008)

Rijssenbeek (2006) ได้รวบรวมรายงานการปลูกสบู่ดำในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลกพบว่า มีวิธีการปลูก ที่แตกต่างกัน และได้กล่าวว่หากจะมีการปลูกสบู่ดำในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งนั้น จะต้อง

คำนึงถึงสภาพแวดล้อม สภาพภูมิประเทศ และสภาพภูมิอากาศ เพื่อเป็นการวางแผนในการปลูก ยกตัวอย่าง เช่น ในประเทศอินเดีย จะไม่ใช้วิธีการปลูกด้วยกิ่งปักชำ เนื่องจากกิ่งปักชำเป็นพาหะ ของโรคไวรัสในมันสำปะหลัง ที่ปลูกมากในอินเดีย แต่ในแอฟริกานิยมปลูกแบบใช้กิ่งปักชำใน การขยายพันธุ์

การปลูกสับดูดาแบบหยอดเมล็ดโดยตรงมีอัตราการรอดน้อยที่สุด แต่ในส่วนที่มีอัตราการรอดมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นการใช่วิธีปลูกแบบปักชำโดยตรงในแปลงปลูกและวิธีการปลูก โดยเพาะต้นกล้าจากเมล็ดและกิ่งปักชำก่อน ขณะที่ Heller (1992) ได้ทำการปลูกสับดูดาที่ประเทศ เซเนกัล ในปี 1987 โดยใช้วิธีการปลูกด้วยเมล็ดโดยตรง การเพาะเมล็ดก่อนปลูกและการปลูกด้วย กิ่งสับดูดาโดยตรง พบว่า กิ่งที่ปลูกโดยตรงให้ ผลผลิตสูงที่สุดในฤดูการเก็บเกี่ยวแรกมากกว่าการ ปลูกด้วยเมล็ดโดยตรงและต้นกล้าที่เพาะจากเมล็ด

สภาพพื้นที่ที่เหมาะสมควรเป็นดินร่วน มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์ มีความเป็นกรด เล็กน้อย เช่นเดียวกับพืชไร่ทั่วไป แต่มีข้อควรระวัง คือ สับดูดาเป็นพืชที่ไม่ทนต่อดินมีน้ำขัง ดังนั้น พื้นที่ที่เหมาะสมจึงต้องเป็นที่ลาดเทมีการระบายน้ำดี อาจเป็นที่ราบเชิงเขา ถ้าเป็นที่ราบ ลุ่ม ควรทำทางระบายน้ำ แต่จะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต หรือในกรณีที่น่าอดอน เมื่อปรับที่นำมา ใช้เป็นที่ไร่สำหรับปลูกสับดูดาต้องมีการระบายน้ำออกให้มีการระบายน้ำได้เป็นอย่างดี (Wiesenhütter, 2003) ในสภาพดินอุดมสมบูรณ์และมีปริมาณฝนมากกว่า 1,000 มิลลิเมตรต่อปี หรือ มีแหล่งน้ำให้กับพืชได้อย่างเพียงพอ การปลูกพืชผักและไม้ผลเศรษฐกิจจะให้ผลตอบแทนดีกว่า สำหรับสภาพดินปลูกพืชไร่ทั่วไปที่มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และมีปริมาณฝนน้อยกว่า 1,000 มิลลิเมตรต่อปี พืชแข่งขันที่สำคัญ คือ มันสำปะหลัง

4.3 การจัดการและดูแลสับดูดา

1) การจัดการน้ำในสับดูดา

สมบัติ (2549) รายงานว่า สับดูดาเป็นพืชที่ต้องการน้ำน้อยแต่ต้องการน้ำอย่างต่อเนื่อง และสับดูดาไม่ทนต่อสภาพน้ำท่วมขัง แต่อย่างไรก็ดีควรมีการจัดการน้ำที่เพียงพอ เนื่องจากสับดูดา ขาดน้ำจะทิ้งใบและไม่ให้ผลผลิต จากการศึกษาทดลองปลูกสับดูดาในแปลงทดลอง

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ในปี 2548 พบว่า หากมีการจัดการน้ำและ ธาตุอาหารที่ดีสับค้ำสามารถเก็บเกี่ยวได้ตลอดทั้งปี สามารถให้ผลผลิตได้สูงถึง 800 กิโลกรัมต่อไร่ ด้วยระยะปลูก 1x2 เมตร ซึ่งต่างกับการปลูกสับค้ำในประเทศไทยส่วนใหญ่ที่อาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียว และจะให้ผลผลิตเพียง 100-200 กิโลกรัมต่อไร่เท่านั้น

Jongschaap *et al.* (2007) ได้กล่าวว่า สับค้ำต้องการปริมาณน้ำน้อยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตกึ่งร้อนและร้อน (Wiesenhütter, 2003) จึงนับว่าเป็นพืชที่ทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี ต้องการน้ำปริมาณที่น้อยและใช้น้ำต่อการปลูกไม่บ่อยนัก อย่างเช่น *J. pandurifolia* L. และ *J. gossypifolia* L. (Li Gue, 2002) ซึ่งมีรายงานว่า กระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นในพืชไม่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงความต้องการน้ำจริงของสับค้ำได้ กระบวนการหายใจของพืชในช่วงอากาศเย็นและกระบวนการอื่น ๆ ในช่วงอากาศเย็น เช่น กระบวนการเคลื่อนย้ายสารหรือความต้องการน้ำ เป็นต้น เป็นที่น่าเสียดายที่ไม่มีการศึกษาหาข้อมูลอย่างแท้จริงในเรื่องความต้องการของน้ำกับการผลิตเหมือนในพืชชนิดอื่น เช่น พืชตระกูลถั่วต่าง ๆ มีความต้องการน้ำคร่าว ๆ เพียง 1000 ลิตรต่อน้ำหนักผลผลิตเมล็ด 1 กิโลกรัม ปริมาณน้ำที่ใช้เพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไปของสับค้ำเป็นตัวเลขที่กว้างมากเป็นพิเศษ สำหรับสับค้ำที่ปลูกเป็นไร่หรือปลูกเป็นสวน (ไร่) นั้นไม่มีการศึกษาในระยะยาวว่า มีอิทธิพลของการลดการการระเหยของน้ำในดินโดยการเพิ่มร่มเงาหรือไม่ และในปัจจุบันมีการปกคลุมด้วยหญ้า ใบแก่และกิ่งอาจจะไม่ร่วงซึ่งเป็นผลทางลบของการคลุมน้ำเมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น กระบวนการหายใจของพืชที่มีความกว้างของทรงพุ่มจะเพิ่มมากขึ้น แต่ไม่ปัญหาถ้าไม่มีพืชอื่นมาแย่งแย่งน้ำใช้ประโยชน์ได้ที่อยู่ในดิน การคายระเหยที่เป็นไปได้จริงขึ้นอยู่กับสภาพอากาศที่แปรปรวน เช่น การแผ่กระจายความร้อนของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ ความชื้น ใอน้ำไม่เพียงพอ และความเร็วลม (Penman, 1956)

ศักยภาพของการคายระเหยอาจต่างจากการคายระเหยน้ำจริง เช่นการคายระเหยน้ำจริงขึ้นอยู่กับความชื้นในดิน นอกจากนั้นคุณสมบัติของดิน เช่น ความลึก ความสามารถของดินที่ยึดเกาะน้ำไว้อย่างเหนียวแน่น โดยเนื้อดินและปริมาณอินทรีย์วัตถุ การคายระเหยน้ำจริงในเขตที่มีความหนาแน่นของระบบราก คือ ความสามารถของรากในการดูดธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำในช่วงเขตรากพืชนั่นเอง ตัวอย่างการปลูกสับค้ำในประเทศอินเดียแสดงให้เห็นว่า การหายใจของพืชทำให้ปริมาณน้ำในดินลดลงอย่างชัดเจน ในช่วงฤดูร้อนและเดือนที่มีความร้อนสูงพืชจะมีความต้องการน้ำมาก ความต่างศักย์ของน้ำต่ำ เห็นได้จากปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินมีไม่เพียงพอต่อ

ความต้องการและเป็นไปได้ว่าเป็นเพราะลักษณะของดินในการกักเก็บน้ำฝน อัตราส่วนระหว่าง ศักยภาพการคายระเหยและการระเหยของน้ำจริงเป็นสาเหตุทำให้พืชเจริญเติบโตและผลผลิต เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 50 (Jongschaap *et al.*, 2007)

Sudheer (2008) รายงานการปลูกสับปะรดในประเทศอินเดียว่า การปลูกสับปะรดด้วย ระบบน้ำหยด (drip irrigation) สามารถให้ผลผลิตสูงถึง 800 กิโลกรัมต่อไร่ และการปลูกสับปะรดด้วย การจัดการน้ำด้วยวิธีการให้น้ำหยด (drip irrigation) ร่วมกับการจัดการธาตุอาหารที่ดี (mineral management) ในพื้นที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ในประเทศอินเดียจะทำให้สับปะรดให้ผลผลิตได้สูงถึง 1,040 กิโลกรัมต่อไร่ (Prveen, 2008)

Abdrabbo *et al.* (2008) ได้ทำการทดสอบภาคสนามที่สถานีทดลอง Enshas ประเทศ อียิปต์ สับปะรดที่ปลูกใหม่และปีที่สองของการปลูก โดยมีกรให้น้ำในปริมาณที่แตกต่างกันในช่วง การย้ายปลูก ได้แก่ ร้อยละ 125, 100, 75 และ 50 ของศักยภาพการคายระเหยของน้ำ (ETp) พบว่า อัตรา การบริโภคน้ำเฉลี่ยของเท่ากับ 6 ลิตรต่อสับปะรดตลอดฤดูปลูกซึ่งหมายความว่า สับปะรดสามารถอยู่ รอดและผลิตผลผลิตที่เต็มไปด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพสูงกว่าปริมาณน้ำขั้นต่ำ เมื่อเทียบกับพืช อื่นๆ น้ำมันที่สกัดจากเมล็ดมีค่าเท่ากับ 28.69, 58.39, 30.17 และ 22.15 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ค่าต่ำสุดของไขมันรวม (fat and oil) เท่ากับร้อยละ 25 และ 24.5 ของเมล็ดสับปะรดได้จาก การชลประทานที่ร้อยละ 125 และ 50 ของศักยภาพการคายระเหยของน้ำตามลำดับ ในขณะที่การรักษา ระดับน้ำชลประทานที่ร้อยละ 100 ได้ปริมาณน้ำมันในเมล็ดสูงสุดเท่ากับร้อยละ 29.93 แต่ปริมาณ น้ำชลประทานไม่มีผลสมบัติของน้ำมัน แสดงให้เห็นว่า ความเครียดที่เกิดจากการขาดน้ำไม่มีผลต่อ องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดสับปะรด

2) การจัดการธาตุอาหารในสับปะรด

สับปะรดเป็นพืชที่ให้ผลผลิตอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปีแสดงให้เห็นว่าสับปะรดต้องการธาตุ อาหารในการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต ก่อนปลูกควรรองก้นหลุมด้วยปุ๋ยคอกอัตรา 2 กิโลกรัมต่อต้น หลังจากนั้นเมื่อสับปะรดอายุ 1 เดือนให้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่และ ควรใส่ปุ๋ยทุกปี (สมบัติ, 2549)

สุขสันต์ (2548) รายงานการปลูกสับดูคาโดยใช้ปุ๋ยเคมีผสมสำเร็จรูปสูตร 15-15-15 อัตรา 4 ระดับ คือ 0, 16, 48 และ 80 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า ปีที่ 1 เก็บผลผลิตได้ 9.1, 27.4, 57.3 และ 56.7 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ และในปีที่ 2 เก็บผลผลิตได้ 26.4, 39.0, 51.9 และ 46.8 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ โดยทั้งสองปีในทุกตำรับการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จากการทดลอง 2 ปี พบว่า สับดูคาเป็นพืชที่ต้องการความอุดมสมบูรณ์สูงกว่าพืชไร่อื่น ๆ และตอบสนองต่อปุ๋ยเคมีข้างต้นในอัตราสูงถึง 48 กิโลกรัมต่อไร่

Jongschaap *et al.* (2007) ได้รายงานไว้ว่า สับดูคาต้องการคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เพื่อแลกเปลี่ยนพลังงานกับแสงอาทิตย์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ใบสับดูคาที่ยังอ่อนอยู่นั้นมีการตัดแปลงในการตอบสนองต่อแสงอาทิตย์ในประเทศเบลีซ (Baumgart, 2007) กระบวนการหายใจในที่ที่มีไนโตรเจนนั้นประกอบไปด้วย คลอโรฟิลล์ที่มีในใบพืช ในโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่สะสมอยู่ใน โครงสร้างของราก ลำต้น กิ่งก้าน ใบ ดอก ผลและเมล็ด ความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นตัวจำกัดการเจริญเติบโตของพืชและการผลิตดอกออกผล ปุ๋ยอินทรีย์ (เปลือกสับดูคา) และความหนาแน่นของประชากรพืชมีอิทธิพลเป็นอย่างมากในการเจริญเติบโตของพืชและการผลิตพืช ในประเทศอินเดียมีการใส่เปลือกสับดูคา 3 ตันต่อเฮกตาร์ หลังจากปลูกสับดูคาแล้ว 2-2.5 ปี พบว่า ได้ผลผลิตเมล็ดเฉลี่ย 1.25 ตันต่อเฮกตาร์เมื่อใช้ระยะปลูก 4x3 เมตร มีจำนวนต้นเท่ากับ 833 ตันต่อเฮกตาร์ (ตำรับควบคุม) ได้ผลผลิต 0.6 ตันต่อเฮกตาร์ และ 1.45 ตันต่อเฮกตาร์เมื่อใช้ระยะปลูกเท่ากับ 3x2 เมตรที่มีจำนวนต้นเท่ากับ 1,667 ตันต่อเฮกตาร์ (Ghosh *et al.*, 2007)

การทดลองใส่ปุ๋ยในพื้นที่รอบนอกของประเทศอินเดีย เปรียบเทียบในระดับของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่ต่างกันของไนโตรเจน (0-60 และ 0-30 ตันต่อเฮกตาร์ตามลำดับ) โดยสับดูคามีระยะปลูกเท่ากับ 2x2 เมตร (2,500 ตันต่อเฮกตาร์) พบว่า การใส่ปุ๋ยในโตรเจน 45 กิโลกรัม ในปีที่ 2 มีผลทำให้ความสูงของพืชเพิ่มขึ้นร้อยละ 23 (เฉลี่ยสูง 1.97 เมตร) พื้นที่ใบเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 (เฉลี่ย 1.1 ตารางเมตรต่อตารางเมตร) น้ำหนักแห้งทั้งหมดเพิ่มขึ้นร้อยละ 32 (9.5 ตันต่อเฮกตาร์) เมล็ดเพิ่มขึ้นร้อยละ 72 (0.44 ตันต่อเฮกตาร์) และน้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 76 (141.7 ตันต่อเฮกตาร์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการใส่ฟอสฟอรัส 20 กิโลกรัม ได้ผลผลิตไปในทิศทางเดียวกัน (Patolia *et al.*, 2007a) ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต ถ้าไม่มีการแข่งขันเรื่องแสงอาทิตย์ น้ำและธาตุอาหารระหว่างพืชอื่นปริมาณธาตุอาหารในใบที่โตเต็มที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากความ

หนาแน่นของพืช ในช่วงการแข่งขันของพืชอยู่ในช่วง 1,667-10,000 ต้นต่อเฮกตาร์ ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในใบ และปริมาณธาตุอาหารที่พืชนำดูดไปใช้มีความสอดคล้องกับความหนาแน่นของพืช (Chaudhary *et al.*, 2007) ในการใส่ปุ๋ยตามนี้ทำให้สับดูมีผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเท่าตัว ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยอินทรีย์หรืออนินทรีย์ (Patolia *et al.*, 2007a; Potolia *et al.*, 2007b) การนำเปลือกสับดูมาใช้เป็นปุ๋ยซึ่งได้มาจากกากที่เหลือจากการสกัดน้ำมันแล้ว (Ghosd *et al.*, 2007) การปลูกเชื้อไมคอร์ไรซาทำให้พืชดูดธาตุฟอสฟอรัสและธาตุจากขี้เถ้าลอย (Al, Cu, Zn, Fe, Pb) ไปใช้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Sharma, 2007b)

3) การจัดการวัชพืช

สมบัติ (2548) รายงานว่า การกำจัดวัชพืชมีความสำคัญมากในช่วงแรกของการปลูก เมื่อสับดูยังมีอายุอยู่ในช่วง 1-3 เดือน เนื่องจากวัชพืชจะแข่งขันกับสับดูสูง หากไม่ดูแล วัชพืชจะขึ้นคลุมต้นสับดู การกำจัดวัชพืชทำโดยการถากรอบโคนต้น จากนั้นใช้สารกำจัดวัชพืช อาจเป็น พาราควัท (paraquat) หรือไกลโฟเสท (glyphosate) ฉีดในร่องน้ำ ระวังไม่ให้ละอองสารสัมผัสต้น และยอดสับดูเพื่อเป็นการลดการใช้แรงงาน เมื่อสับดูมีอายุ 3-4 เดือน ทรงพุ่มของสับดูจะคลุมโคนต้น วัชพืชจะขึ้นได้น้อย แต่ยังคงมีวัชพืชขึ้นในร่องน้ำ ซึ่งสามารถกำจัดวัชพืชโดย สารกำจัดวัชพืช ความถี่ในการกำจัดวัชพืช ขึ้นกับปริมาณวัชพืช ฤดูกาล และความชื้นในดิน การควบคุมวัชพืชหลังจากปลูกอาจใช้ ฟางข้าว แกลบ หรือวัสดุคลุมดิน อื่น ๆ คลุมโคนต้นสับดู เป็นการควบคุมวัชพืช ลดค่าแรงงานกำจัดวัชพืช รักษาความชื้นในดิน และเมื่อสลายตัวก็เป็นอินทรีย์วัตถุคืนให้กับดินต่อไป

4.4 โรคและแมลงศัตรูสับดู

แมลงศัตรูที่มีรายงานว่าพบเข้าทำลายสับดูในต่างประเทศมี 12 ชนิด คือ *Pachycoris klugii* Burmeister, *Leptoglossus zonatus* (Dallas), *Hypselonotus intermedius* Distant, *Calidea dregii* Laporte, *Pinnaspis strachni* Cooley, *Oedaleus senegalensis* Krauss, *Ferrisia virgata* (L.), *Nezara viridula* (L.), *Spodoptera litura* (Fabricius), *Podagrica* spp., *Diaprepes abbreviatus* L. และ *Lagocheirus undatus* (Voet) (Wongsiri, 1991; Anonemous, 2005; Eubanks *et al.*, 2005;

Fargo, 2005; Grimm, 2005; Gubitz *et al.*, 2005; Heller, 2005; Simpson *et al.*, 2005; Stansty, 2005; Texas Department of Agriculture, 2005)

เดือนจัต และ พิธิษฐ์ (2525) รายงานว่า สบู่ดำเป็นพืชที่มีปัญหาแมลงศัตรูรบกวนน้อย เนื่องจากมีการปลูกในพื้นที่ไม่มาก แต่ถ้ามีการปลูกในพื้นที่มาก ๆ แมลงศัตรูอาจจะเป็นอุปสรรคสำคัญในการปลูกสบู่ดำ เดือนจัต และคณะ (2525) ทำการสำรวจแมลงศัตรูสบู่ดำในแปลงปลูกสบู่ดำ ที่สถานีทดลองพืชไร่ร้อยเอ็ด มหาสารคาม สกลนคร อุบลราชธานี กาฬสินธุ์ ศูนย์วิจัยเกษตรภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ.ขอนแก่น พบว่า สบู่ดำมีแมลงศัตรูที่ทำให้เกิดความเสียหาย 5 ชนิด คือ เพลี้ยไฟ (thrips) เพลี้ยหอย (soft scale insect) เพลี้ยจักจั่น (leaf hoppers) หนอนคืบละหุ่ง (castor semilooper) และ ปลวก (termites) นอกจากนี้ยังพบไร 1 ชนิด คือ ไรขาว (broad mites) เดือนจัต และคณะ (2525) รายงานว่า เพลี้ยไฟเป็นแมลงที่มีขนาดเล็ก ความยาวลำตัวประมาณ 1 มิลลิเมตร เคลื่อนไหวรวดเร็ว เพลี้ยไฟจะดูดน้ำเลี้ยงบริเวณรอย่นของใบ ชอกใบที่ม้วนลง บริเวณเส้นใบและใต้ใบ ทำให้ใบกรอบแห้ง ขอบใบม้วนขึ้นด้านบน บริเวณใต้ใบมีลักษณะคล้ายสีสนิมติดอยู่เมื่อมีการทำลายอย่างรุนแรง จะทำให้ใบไหม้เป็นจุดหรือกรอบแห้งทั้งใบ ใบสบู่ดำ 1 ใบ จะพบเพลี้ยไฟ 10-50 ตัว จากการสำรวจ ในแปลงปลูกสบู่ดำที่สถานีทดลองพืชไร่ร้อยเอ็ด พบว่า เพลี้ยหอยเข้าทำลายสบู่ดำอย่างรุนแรงทั้งแปลง ในขณะที่แปลงปลูกสบู่ดำในพื้นที่อื่น ๆ พบความเสียหายของสบู่ดำจากการเข้าทำลายของเพลี้ยหอยน้อยมาก เพลี้ยหอยจะดูดน้ำเลี้ยงจากส่วนต่าง ๆ ของสบู่ดำตั้งแต่ใบ ยอดอ่อน ก้านใบ ผล และลำต้น ทำให้ใบแห้งเหี่ยว ก้านใบ ผลและลำต้นแห้งตาย เพลี้ยจักจั่นทั้งตัวอ่อนและ ตัวเต็มวัยดูดน้ำเลี้ยงบริเวณใต้ใบ ทำให้ใบห่อลงข้างล่างหรือหงิกงอ ถ้าระบาดในระยะต้นอ่อน จะทำให้สบู่ดำแคระแกรน แต่ถ้าระบาดอย่างรุนแรงอาจทำให้สบู่ดำตายได้พบหนอนคืบละหุ่งกัดกินใบสบู่ดำ ซึ่งหนอนคืบละหุ่งนี้ อาจจะเคลื่อนย้ายมาจากแปลงปลูกละหุ่งที่ปลูกบริเวณใกล้ ๆ กับแปลงปลูกสบู่ดำ และพบปลวกเข้าทำลายบริเวณโคนต้นสบู่ดำ ทำให้ต้นสบู่ดำแห้งตาย นอกจากนี้ยังมีไรขาวซึ่งเป็นศัตรู ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของสบู่ดำ พบเข้าทำลายสบู่ดำร้อยละ 70-80 ไรขาวจะดูดน้ำเลี้ยงบริเวณใต้ใบ ทำให้ใบหดเล็กลงกว่าปกติ ใบแห้งกร้าน ส่วนหยักของใบจะบิดงอและม้วนลงด้านล่าง เส้นใบนูนมากขึ้น ซึ่งมีผลทำสบู่ดำชะงักการเจริญเติบโต ไม่ติดดอกและผล ต่อมา พิธิษฐ์ และคณะ (2529) ทำการสำรวจ ในแหล่งปลูกสบู่ดำที่สถานีทดลองพืชไร่มหาสารคาม ร้อยเอ็ด มุกดาหาร ศูนย์วิจัยพืชไร่อุบลราชธานี สำนักงานพัฒนาที่ดิน เขต 5 ขอนแก่น พบแมลงศัตรูสำคัญ 5 ชนิด คือ เพลี้ยไฟ (thrips) เพลี้ยหอย (soft scale insect)

เพลี้ยจักจั่น (leaf hoppers) เพลี้ยแป้ง (mealy bug) และ หนอนชอนใบ (leaf miner) และพบไร 2 ชนิด เข้าทำลายสับดูดำ คือ ไรขาว (broad mites) และไรแดง (red spider mite)

นอกจากนี้ยังมีการสำรวจชนิดและปริมาณแมลงที่พบในแปลงสับดูดำที่ปลูกในหลาย ๆ แห่่ง ซึ่ง โกศล (2549) รายงานว่า จากการสำรวจแปลงสับดูดำที่จังหวัดนครปฐม เพชรบุรี ฉะเชิงเทรา และสระบุรี ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2548 ถึงเดือนกันยายน 2549 พบว่า แมลงศัตรูพืชของสับดูดำหลายชนิด เช่น เพลี้ยแป้ง 3 ชนิด ได้แก่ เพลี้ยแป้ง (*N. viridis*) เพลี้ยแป้ง (*Phenacoccus* sp.) และเพลี้ยแป้ง (*Planococcus* sp.) เพลี้ยหอย 1 ชนิด ได้แก่ เพลี้ยหอย (*Chloropulvinaria* sp.) หนอนชอนใบ 1 ชนิด ได้แก่ หนอนชอนใบ (*Phyllocnistis* sp.) ไรศัตรูพืช 1 ชนิด ได้แก่ ไรขาว (*P. latus*) มวน 1 ชนิด ได้แก่ มวนทองแดง (*Chrysocoris stollii*) ซึ่งเป็นศัตรูที่สำคัญของสับดูดำขณะเดียวกันได้สำรวจพบ ศัตรูธรรมชาติของศัตรูสับดูดำอีกหลายชนิด ได้แก่ ตัวเต่าลายหยัก (*Menochilus sexmaculatus*) ตัวเต่าลายขวาง (*Cocinella transversalis*) ตัวเต่าสีส้ม (*Micraspis discolor*) แมลงวันขายาว (*Dolichopus* sp.) แมลงวันดอกไม้ (*Syrphus* sp.) แมลงช้างปีกใส (*Mallada basalis*) และแมลงช้างปีกใส (*Plesiochrysa ramburi*) เป็นศัตรูธรรมชาติของเพลี้ยแป้งทั้ง 3 ชนิด ซึ่งแมลงช้างปีกใส (*M. basalis*) และแมลงช้างปีกใส (*P. ramburi*) เป็นศัตรูธรรมชาติที่สำคัญของเพลี้ยหอย (*Chloropulvinaria* sp.) เช่นเดียวกัน ส่วนไรตัวห้ำ (*Amblyseius longispinosus*) แมงมุม และด้กัแตนดำข้าว (Mantid) เป็นศัตรูธรรมชาติที่สำคัญของ ไรขาว (*Polyphagotarsonemus latus*) หนอนชอนใบ (*Phyllocnistis* sp.) และมวนทองแดง (*Chrysocoris stollii*) เพลี้ยแป้งเป็นศัตรูที่สำคัญของสับดูดำพบในทุกฤดู โดยเฉพาะฤดูแล้งจะพบมาก เพลี้ยแป้งจะทำลายยอด และใบอ่อนของต้นสับดูดำทำให้ใบหงิกมีรูปร่างบิดเบี้ยวเนื่องจากถูกคูดน้ำเลี้ยง พบกระจายอยู่ทั่วแปลง วิธีการควบคุมโดยใช้สารเคมี คาร์บาริล อัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ฉีดช่วงเช้า หรือช่วงเย็นที่มีแสงแดดอ่อน เพลี้ยไฟเข้าทำลายได้ทุกฤดู ส่วนมากพบร่วมกับไรแดง เพลี้ยไฟจะคูดน้ำเลี้ยงบริเวณใต้ใบของสับดูดำทำให้ใบเหลืองซีดและร่วงในที่สุด วิธีการควบคุมใช้สารเคมีชนิดเดียวกับเพลี้ยแป้ง ไรแดง พบในช่วงฤดูหนาว และแห้งแล้ง ทำความเสียหายรุนแรงต่อต้นสับดูดำ อาจทำให้ใบร่วงทั้งต้น มีการเพิ่มจำนวนรวดเร็ว ต้นที่ถูกไรแดงลงจะมีใบสีเหลืองและลักษณะการเข้าทำลายของแมลงศัตรูสับดูดำและการควบคุม สมบัติ (2549) รายงานว่า ร่วงหมดต้นภายในเวลาที่รวดเร็วต้องมีการตรวจตาและกำจัดอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการแพร่กระจายไปทั่วแปลง ใช้สารเคมีเคเวเทน อัตรา 50 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่นช่วงเช้า หรือ ช่วงเย็นที่มีแสงแดดอ่อน หนอนชอนใบ หนอนชนิดนี้จะเข้าทำลายใบโดยเข้าไปในชั้นระหว่างผิวใบด้านบนและด้านล่าง ทำให้ใบมีแผลคล้ายจุดไหม และเมื่อกินอาหารเต็มที่

แล้วก็จะออกมา สร้างดักแด้บริเวณมุมใบแล้วกลายเป็นผีเสื้อตัวเล็ก ๆ บินออกไป หนอนชนิดนี้ ส่วนใหญ่จะเข้าทำลาย ต้นสับดูดำที่มีขนาดเล็ก ทำให้ใบมีแผลคล้ายจุดไหม้ เส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 1 เซนติเมตร ทำให้ใบแห้งกรอบ ถ้าใบได้รับความเสียหายมากก็จะร่วงในที่สุด สับดูดำต้นเล็กจะประสบปัญหาหมากกว่าต้นใหญ่เพราะมีใบน้อยเมื่อใบถูกทำลายทำให้ต้นชะงักการเจริญเติบโต ใช้สารเคมี อะบาเมกติน อัตรา 30 มิลลิกรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่นช่วงเช้า หรือช่วงเย็นที่มีแสงแดดอ่อนและไรขาว พบการเข้าทำลายของไรขาวได้ทุกฤดู ไรขาวจะเข้าทำลายสับดูดำอายุ 1-6 เดือนก่อนข้างรุนแรง เนื่องจากไรขาวมีขนาดเล็กมาก และการเข้าทำลายมีลักษณะคล้ายโรคไวรัสในพืช และอาการคล้ายกับพืชที่ถูกสารกำจัดวัชพืช 2, 4-D ไรขาวจะดูดกินน้ำเลี้ยงที่ใบ ก้านช่อดอก ยอด ทำให้เกิดการแตกพุ่มแฉ่ ช่อดอกไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดการชะงักการเจริญเติบโตของสับดูดำ ทำให้ผลผลิตลดลง ไรขาวถือว่าเป็นแมลงศัตรูพืชที่ทำความเสียหายรุนแรง ควบคุมโดยสารเคมี ไดโคโฟ อัตรา 50 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ฉีดพ่นช่วงเช้า หรือช่วงเย็นที่มีแสงแดดอ่อน

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะยังพบแมลงที่กล่าวมาข้างต้นอยู่หากไม่ทำความเสียหายมากนัก และมีแมลงจัดอยู่ในระดับที่มีไม่มาก ไม่ทำความเสียหายรุนแรงนัก หากไม่จำเป็นก็ควรลดการใช้สารเคมี เนื่องจากสับดูดำเป็นพืชผสมข้ามต้องอาศัยแมลง เช่น ผี และแมลงที่เป็นประโยชน์หลายชนิดหากพ่นสารกำจัดแมลง แมลงพวกนี้ก็จะตายไปด้วย เกรงว่าจะมีผลกระทบต่อกรมผสมเกสรของสับดูดำ (สมบัติ, 2549)

1) โรคที่พบในสับดูดำ ได้แก่

1.1 โรคใบจุด (*Cercospora* sp.)

1.2 โรคราแป้ง (*Oidium* sp.)

1.3 โรคแอนแทรคโนส (*Colletotrichum gloeosporioides*)

1.4 โรคกิ่งตาย (*Schizophyllum commune*)

1.5 โรคใบลอก-ยังไม่ทราบสาเหตุ

1.6 อาการใบด่างเหลืองคล้ายไวรัส

1.7 โรคใบจุดชนิดอื่น ๆ ที่ต้องศึกษาในรายละเอียด

2) แนววิธีในการควบคุมโรคสบูดำ มีดังนี้

2.1) แนวทางป้องกัน ใช้เมล็ดและท่อนพันธุ์พืชที่ปลอดโรคในการขยายพันธุ์ ปลูกในพื้นที่ที่มีการเตรียมดินที่ดี มีการระบายน้ำดี เพื่อให้พืชแข็งแรง ควรใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก อินทรีย์วัตถุ เพื่อช่วยควบคุมโรคทางดิน จัดทรงพุ่มต้นให้โปร่ง ได้รับแสงแดดส่องถึงทั่วทั้งต้น มีการระบาย อากาศที่ดีจะช่วยลดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมเชื้อโรค และพ่นสารเคมีป้องกันตามกลุ่มสาเหตุของเชื้อโรค เมื่อมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

2.2) แนวทางกำจัดโรคในสบูดำ จุดต้นที่ผิดปกติ เป็นโรค ทำลายไม่ให้เป็นแหล่งเพาะเชื้อ และพ่นสารเคมีควบคุมโรคชนิดที่ได้ผลกับชนิดเชื้อโรคที่ทราบกลุ่มเชื้อสาเหตุ เช่น กลุ่มเชื้อรา เมื่อมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

5. ประโยชน์ของสบูดำ

จากเอกสารคำแนะนำการปลูกสบูดำ กรมวิชาการเกษตร (นิรนาม, 2526) ได้กล่าวว่า ประโยชน์โดยทั่วไป คือ

1. ใช้ปลูกตามรั้วบ้านเรือน ป้องกันสัตว์บุกรุกได้ เนื่องจากต้นสบูดำมีสารพิษ hydrocyanic acid, curcin และมีกลิ่นเหม็นเขียว

2. ปลูกคลุมบริเวณดินทรายเพื่อรักษาความชุ่มชื้นและเป็นแนวกันไฟ

3. ในต่างประเทศต้นสบูดำเป็นที่อาศัยของแมลงจำพวกหนึ่งคล้ายครั้งซึ่งมักจะสร้างขึ้นที่ใบ แล้วเก็บเอาชันไปทำน้ำมันขัดเงา

4. สรรพคุณทางสมุนไพร ใช้ใบสดแก้เคล็ดขัดยอกปวดบวม ฟกช้ำ โรคมิวหนั่ง ผื่นคัน กระจกหัก ขางของใบใช้รักษาโรคปากนกกระจอก ห้ามเลือด แก้ปวดฟัน

5. ในด้านอุตสาหกรรม ใช้ประโยชน์เป็นน้ำมันหล่อลื่น สบู่ เทียนไข และใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันโซล่า

เมล็ด หีบเป็นน้ำมัน ใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล ใช้บำรุงรากผม ใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้กากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน ซึ่งมีธาตุอาหารหลัก มากกว่าปุ๋ยหมักและมูลสัตว์หลายชนิด ยกเว้นมูลไก่ที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมากกว่า และยังมีสารพิษ Curcin มีฤทธิ์เหมือนสลด เมื่อกินเข้าไปแล้วจะทำให้ท้องเดิน (ระพีพันธ์ และคณะ, 2525)

นอกจากจะใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงแล้วยังสามารถนำไปผลิตสบู่หรือยาฆ่าแมลงได้อีก (Wiesenhütter, 2003) น้ำมันที่ได้สามารถนำไปใช้ได้โดยตรงกับเครื่องยนต์ขนาดเล็กหรือเครื่องจักรกลขนาดใหญ่ได้โดยที่เครื่องไม่ลดความเร็วลง การผสมน้ำมันกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันอื่น ๆ ก็สามารถทำได้เช่นกัน ได้ทำการทดสอบน้ำมันสบู่ดำกับเครื่องยนต์ขนาดเล็กโดยที่ไม่ใช้น้ำมันดีเซลเลย ผลปรากฏว่า พลังงานเบรคใช้เฉพาะเพิ่มขึ้น เบรคประสิทธิภาพความร้อนลดลง อุณหภูมิก๊าซไอเสียเพิ่มขึ้น และการแพร่กระจายก๊าซใน โตรเจนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ก่อนให้ความร้อนและเพิ่มความดันในลูกสูบ พลังงานเบรคใช้เฉพาะลดลง เบรคประสิทธิภาพความร้อนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิก๊าซไอเสียลดลงและการแพร่กระจายก๊าซใน โตรเจนเพิ่มขึ้น Kumar *et al.* (2007) ได้เปรียบเทียบการใช้น้ำมันสบู่ดำกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ 4 จังหวะ ได้สรุปว่า เขม่าควันแพร่กระจายเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล น้ำมันสบู่ดำมีการเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 130 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม สำหรับน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นถึง 100 มิลลิกรัมต่อกิโกรัม สำหรับน้ำมันสบู่ดำนั้นได้วัดและมีทิศทางเหมือนกับการกระจายของคาร์บอนมอนอกไซด์ ระดับเขม่าเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างน้ำมันสบู่ดำ (4.4 BSU) และน้ำมันดีเซล (3.8 BSU) ควันเพิ่มขึ้นทั้งคู่ ต่อไปจะเพิ่มการศึกษาในเรื่องการเหนี่ยวนำไฟเครื่องยนต์และระยะเวลาในการเผาไหม้สบู่ดำเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล (Achten *et al.*, 2008)

6. ธาตุอาหารพืช

ธาตุอาหารพืช คือ ธาตุที่พืชดูดไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต ดำรงชีพ ให้ผลผลิตและขยายพันธุ์ ที่จำเป็นมีทั้งหมด 16 ธาตุ คือ ธาตุอาหารที่ได้จากน้ำและอากาศ มี 3 ธาตุ ได้แก่ ไฮโดรเจน คาร์บอนและออกซิเจน คิดเป็น 95-99% ของความต้องการธาตุอาหารของพืชทั้งหมด นอกนั้นพืชจะได้รับส่วนใหญ่จากดิน มี 13 ธาตุ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ใหญ่ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) คือ

6.1 มหธาตุ (macronutrient) คือธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมาก ความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเต็มวัยสูงกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ยงยุทธ, 2552) ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ส่วน คาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจนนั้น แม้พืชจะใช้ในปริมาณมากแต่เนื่องจากพืชได้รับมาในรูปของน้ำและแก๊ส คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน จึงไม่ได้รวมอยู่ในกลุ่มนี้ (ยงยุทธ, 2552)

6.2 จุลธาตุ (micronutrient) คือ ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อย ความเข้มข้นของธาตุโดยน้ำหนักแห้งเมื่อพืชเจริญเต็มวัยต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ยงยุทธ, 2552) ได้แก่ โบรอน คลอรีน ทองแดง แมงกานีส โมลิบดีนัม สังกะสี และนิกเกิล

6.3 รูปของธาตุอาหารที่พบในดิน

รูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ทันที (unavailable form) ได้แก่ สารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ โครงสร้างโมเลกุลสลับซับซ้อน โมเลกุลของธาตุต่างๆ จับกันแน่นไม่สามารถละลายน้ำได้ง่าย เช่น หิน แร่ อินทรีย์วัตถุ

รูปที่เป็นประโยชน์ (available form) ได้แก่ สารประกอบที่มีโครงสร้างง่ายๆ โมเลกุลสามารถแตกเป็นอนุโมลหรือไอออนได้ง่ายซึ่งทำให้ละลายน้ำได้ง่าย หรืออาจจะอยู่ในรูปของไอออนในสารละลายดิน ซึ่งรูปนี้จะเป็นรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ทันที เช่น NO_3^- , K^+ , Cl^-

ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินขึ้นอยู่กับพีเอชของดิน ธาตุอาหารส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์เมื่อดินเป็นกรดเล็กน้อย แต่ก็มีบางธาตุเช่น แอมโมเนียม สังกะสีจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ในดินที่เป็นกรดจัด หรือ โมลิบดีนัมจะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์เมื่อดินมีพีเอชสูง (ยงยุทธ, 2552)

ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นในพืชซึ่งถือว่าเป็นระดับที่เพียงพอ

ธาตุอาหารพืช	ปริมาณธาตุอาหารต่อน้ำหนักแห้งของพืช
คาร์บอน	45 %
ออกซิเจน	45 %
ไฮโดรเจน	6 %
ไนโตรเจน	1.5 %
โพแทสเซียม	1.0 %
แคลเซียม	0.5 %
แมกนีเซียม	0.2 %
ฟอสฟอรัส	0.2 %
กำมะถัน	0.1 %
เหล็ก	100 มก. กก. ⁻¹
คลอรีน	100 มก. กก. ⁻¹
แอมโมเนียม	50 มก. กก. ⁻¹
สังกะสี	20 มก. กก. ⁻¹
โบรอน	20 มก. กก. ⁻¹
ทองแดง	6 มก. กก. ⁻¹
โมลิบดีนัม	0.1 มก. กก. ⁻¹
นิกเกิล	3 มก. กก. ⁻¹

ที่มา : ยงยุทธ (2552)

ตารางที่ 2 รูปของธาตุอาหารที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที

ธาตุ	สัญลักษณ์	รูปของธาตุอาหารที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที
คาร์บอน	C	CO ₂
ไฮโดรเจน	H	H ₂ O
ออกซิเจน	O	O ₂ , H ₂ O
ไนโตรเจน	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺
ฟอสฟอรัส	P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻
โพแทสเซียม	K	K ⁺
แคลเซียม	Ca	Ca ²⁺
แมกนีเซียม	Mg	Mg ²⁺
กำมะถัน	S	SO ₄ ²⁻ , SO ₂
เหล็ก	Fe	Fe ²⁺
แมงกานีส	Mn	Mn ²⁺
สังกะสี	Zn	Zn ²⁺
ทองแดง	Cu	Cu ²⁺
โบรอน	B	BO ₃ ³⁻
โมลิบดีนัม	Mo	MoO ₄ ²⁻
คลอรีน	Cl	Cl ⁻
นิกเกิล	Ni	Ni ²⁺

ที่มา : ขงยุทธ (2552)

ตารางที่ 3 บทบาทหน้าที่ของธาตุอาหารที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

พืช	บทบาทและหน้าที่
C,H,O	- เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบอินทรีย์
N	- เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกรดอะมิโน โปรตีน กรดนิวคลีอิก และเอนไซม์
P	- เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของกรดนิวคลีอิก ATP sugarphosphate - เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของฟอสโฟไลปิดของเยื่อหุ้มเซลล์
K	- ควบคุมแรงดันออสโมติกของเซลล์คุม - กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์
Ca	- เป็นองค์ประกอบของมิดเดิลลาเมลลาของผนังเซลล์
Mg	- เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์
S	- เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน 3 ชนิด คือ เมทไทโอนีน และซิสเตอีน - เป็นองค์ประกอบของโปรตีน
Fe	- เป็นองค์ประกอบของไซโตโครม เฟอร์รีดอกซิน และเหล็กพอร์ไฟริน - การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์
Mn	- กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ - จำเป็นสำหรับกระบวนการ photolysis ของน้ำ
Zn	- การสังเคราะห์ออกซิน - กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์
Cu	- เป็นองค์ประกอบของพลาสโตไซยานิน - กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์
B	- การสังเคราะห์นิวคลีโอไทด์ - การเคลื่อนย้ายน้ำตาล
Mo	- เป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ไนโตรรีดักเตส ไนโตรจีเนส
Cl	- จำเป็นสำหรับกระบวนการ photolysis ของน้ำและรักษาสมดุลประจุของเซลล์
Ni	- เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์ยูรีเอส

ที่มา : ขงยุทธ (2552)

6.4 ลักษณะอาการขาดธาตุอาหารที่จำเป็น

เมื่อพืชได้รับธาตุอาหารในระดับที่ไม่เพียงพอ พืชจะแสดงอาการขาดธาตุนั้นๆ ลักษณะต่างๆ ไปที่เกิดขึ้นเมื่อพืชขาดธาตุอาหาร คือ เกิดคลอโรซิส (chlorosis) เกิดเนโครซิส (necrosis) แคระแกร็น รูปร่างผิดปกติ เหี่ยว ลักษณะอาการบางลักษณะจะค่อนข้างเฉพาะ ดังนั้นจากลักษณะอาการที่เกิดขึ้นอาจจะนำไปใช้ประกอบการพิจารณาว่าพืชขาดธาตุใดได้

เมื่อพืชได้รับธาตุอาหารบางธาตุไม่เพียงพอ พืชจะสลายสารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุนั้นเป็นองค์ประกอบที่อยู่ในใบแก่ให้เป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลงและละลายน้ำได้ แล้วลำเลียงในท่อลำเลียงอาหารไปยังบริเวณที่กำลังเจริญเติบโตและมีเมแทบอลิซึมสูง เช่น บริเวณเนื้อเยื่อเจริญปลายยอด ปลายราก กระบวนการดังกล่าวนี้เป็นการหมุนเวียนธาตุอาหารเพื่อกลับมาใช้อีกครั้ง ดังนั้นจึงทำให้ใบแก่ขาดธาตุอาหารและจะแสดงลักษณะอาการขาดธาตุดังกล่าวปรากฏให้เห็น ไอออนของธาตุที่สามารถเคลื่อนย้ายในท่อลำเลียงอาหารได้ (phloem-mobile ions) เช่น K^+ , Cl^- , HPO_4^{2-} และไอออนของธาตุที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายในท่ออาหาร (phloem-immobile ions) เช่น Ca^{+} (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ยงยุทธ, 2552)

ตารางที่ 4 ลักษณะอาการขาดธาตุอาหารพืช

ธาตุ	ลักษณะอาการขาด
ไนโตรเจน	ใบเหลือง (chlorosis) ทั้งใบ เกิดที่ใบแก่ก่อน อาจจะมีสีแดงที่ก้านใบ หรือถ้าอาการรุนแรงอาจเกิดใบเหลืองทั้งต้น
ฟอสฟอรัส	ใบมีสีเขียวเข้ม อาจจะมีสีแดงหรือสีม่วงที่ใบหรือก้านใบ ต้นแคระแกร็น เกิดที่ใบแก่ก่อน
โพแทสเซียม	ใบเหลือง ขอบใบ-ปลายใบไหม้ เนื้อเยื่อใบตายเป็นหย่อมๆ (necrotic spot) เกิดที่ใบแก่ก่อน
แคลเซียม	เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด-ปลายรากตาย ใบอ่อนหงิกงอ ปลายใบ-ขอบใบเหี่ยว ทำให้ผลผิดปกติ เช่น ทำให้ผลมะเขือเทศเกิดอาการ blossom-end rot
แมกนีเซียม	ใบเหลืองระหว่างเส้นใบ-เส้นใบเขียว (interveinal chlorosis) เนื้อเยื่อใบตายเป็นหย่อมๆ ในไม้ยืนต้นบริเวณของใบที่ยังคงมีสีเขียวอาจจะเป็นรูปตัววี (V-shape หรือ arrowhead) เกิดที่ใบแก่ก่อน
กำมะถัน	ใบเหลืองทั้งใบ เกิดที่ใบอ่อนก่อน หรือถ้าอาการรุนแรงอาจเกิดใบเหลืองทั้งต้น
เหล็ก	ใบเหลืองระหว่างเส้นใบ-เส้นใบเขียว เกิดที่ใบอ่อนก่อน ถ้าอาการรุนแรงใบอ่อนอาจจะมีสีขาวและแห้งตาย (necrosis)
แมงกานีส	ใบเหลืองระหว่างเส้นใบ-เส้นใบเขียว เนื้อเยื่อใบตายเป็นหย่อมๆ มีจุดสีดำหรือเป็นจุดสีดำ เกิดที่ใบอ่อนก่อน
สังกะสี	ข้อสั้น ใบเล็ก รวมกันเป็นกระจุก (rosette) ใบเหลืองเป็นหย่อมๆ
ทองแดง	ใบอ่อนเหลือง ใบอ่อนตาย เกิดยางไหลในพืชตระกูลส้ม
โบรอน	เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด-ปลายรากตาย ก้านใบแตก รากสะสมอาหารลดลง
โมลิบดีนัม	ใบมีสีอ่อน ขอบใบไหม้ ใบฉีกขาด
คลอรีน	ใบเหลืองระหว่างเส้นใบ-เส้นใบเขียว เส้นใบยกขึ้น

ที่มา : ขงยุทธ (2552)

7. ปุ๋ย

7.1 ความหมายของปุ๋ย

“ปุ๋ย” หมายความว่า สารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารแก่พืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใด หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ปุ๋ย หมายถึง วัสดุหรือสารที่ใส่ลงไปในดินเพื่อเพิ่มระดับความอุดมสมบูรณ์หรือเพิ่มปริมาณของธาตุอาหารที่พืชต้องการหรือได้รับไม่เพียงพอในการเจริญเติบโต และเพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิต (มุกดา, 2544; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

7.2 ประเภทของปุ๋ย

ในปัจจุบันมีการผลิตและการใช้ปุ๋ยจากแหล่งต่างๆ ดังนั้นสามารถจำแนกประเภทของปุ๋ยได้ตามหลักเกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้พิจารณา เช่น การใช้แหล่งที่มาในการพิจารณาจะจำแนกประเภทของปุ๋ยได้ดังนี้

1. ปุ๋ยเคมี หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้จากสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์สังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสมและปุ๋ยเชิงประกอบ และหมายความตลอดถึงปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปุ๋ยเคมีผสมอยู่ด้วย แต่ไม่รวมถึงปุ๋ยขี้วัว ขี้หมู ขี้ไก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยมูลสัตว์ หรือปุ๋ยชีวภาพ (มุกดา, 2544; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ปุ๋ยเคมีที่เกษตรกรนิยมใช้ในการเพิ่มผลผลิตของพืชมีรูปร่างอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับความต้องการใช้ของเกษตรกร สามารถจำแนกตามคุณสมบัติทางกายภาพได้ดังนี้

1) ปุ๋ยผง (power) หมายถึง ปุ๋ยเคมีที่ทำการบดให้ละเอียดอยู่ในรูปผง โดยใช้ตะแกรงร่อนเพื่อให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ

2) ปุ๋ยเกร็ด (crystal) ที่อยู่ในรูปผงหรือผลึกซึ่งมีความบริสุทธิ์สูง ละลายน้ำได้หมด ราคาแพงนิยมใช้เป็นปุ๋ยทางใบ

3) ปุ๋ยน้ำ (solution) หมายถึงปุ๋ยที่อยู่ในรูปของของเหลวไม่มีสิ่งเจือปนหรือตกตะกอน

ดินที่อุดมสมบูรณ์ต้องประกอบด้วยธาตุอาหารพืช 16 ชนิด พบในดิน 13 ชนิด เมื่อใช้ดินในการปลูกพืชไปนานๆดินเกิดการเสื่อมคุณภาพและความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง ต้องมีการปรับปรุงดินและเพิ่มธาตุอาหารการใส่ปุ๋ยเคมีเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้เพิ่มธาตุอาหารแก่ดิน ปุ๋ยเคมีสามารถแบ่งตามปริมาณธาตุอาหารสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) แม่ปุ๋ยหรือปุ๋ยเดี่ยว หมายถึง ปุ๋ยที่ประกอบด้วยธาตุอาหารหลักเพียงธาตุเดียวในปุ๋ยนั้นได้แก่

1.1 ปุ๋ยไนโตรเจน เช่น ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ปุ๋ยแอมโมเนียมคลอไรด์

1.2 ปุ๋ยฟอสฟอรัส เช่น ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ได้มาจากธรรมชาติได้แก่ หินฟอสเฟตที่เกิดจาก หินอัคนี และมูลค้างคาว ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ได้จากการสังเคราะห์ได้แก่ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟตธรรมดา

1.3 ปุ๋ยโพแทสเซียมเช่น ปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรด ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์และโพแทสเซียมซัลเฟต

2) ปุ๋ยผสม หมายถึง ปุ๋ยที่ได้มาจากการนำเอาแม่ปุ๋ยธาตุอาหารหลักชนิดต่างๆมาผสมกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เพื่อให้ได้สูตรตามที่เราต้องการ เช่นใน ไนโตรเจนกับฟอสฟอรัส ฟอสฟอรัสกับโพแทสเซียม หรือมีธาตุอาหารหลักทั้ง 3 ธาตุ คือไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมผสมกันก็ได้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ คือ

2.1 ปุ๋ยผสมแบบปั้นเม็ด โดยนำเอาแม่ปุ๋ยอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้ และสารเพิ่มน้ำหนัก (fillers) เพื่อให้น้ำหนักครบตามที่ต้องการ นำไปปั้นเม็ดด้วยเครื่องจักรซึ่งมี ปริมาณของธาตุอาหารที่สม่ำเสมอในแต่ละเม็ด

2.2 ปุ๋ยผสมแบบคลุกเคล้า (bulk blend) เป็นปุ๋ยที่นำเอาแม่ปุ๋ยที่มีการปั้นเม็ด แล้ว นำมาผสมคลุกเคล้ากันด้วยวิธีทางกายภาพเพื่อให้ได้สูตรตามที่เราต้องการ ซึ่งง่ายและ สะดวกกว่า วิธีปั้นเม็ดมากแต่ต้องคำนึงถึงขนาดของแม่ปุ๋ยที่ใช้ต้องมีขนาดใกล้เคียงกันเพื่อ ป้องกัน ความไม่ สม่ำเสมอของธาตุอาหารในแต่ละเม็ด ในด้านปุ๋ยจุลธาตุซึ่งใช้ในปริมาณน้อยๆ ควรเคลือบเม็ดแม่ปุ๋ยก่อนที่จะนำมาผสมกันเพื่อป้องกันการขาดจุลธาตุ (คณาจารย์ภาควิชา ปลูกพืชวิทยา, 2548)

2. ปุ๋ยอินทรีย์ หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้จากอินทรีย์วัตถุซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ขึ้น สับ บด หมัก ร่อน หรือวิธีการอื่นแต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี (มุกดา, 2544; คณาจารย์ภาควิชาปลูกพืชวิทยา, 2548)

1) ปุ๋ยคอก (animal manure) ได้แก่ มูลสัตว์ต่างๆ ที่อยู่ในรูปของเหลวและของแข็ง ส่วนใหญ่เป็นมูลสัตว์เลี้ยง ได้แก่ วัว ไก่ เป็ด และสุกร เป็นต้น มูลสัตว์เหล่านี้จะประกอบไปด้วย อุจจาระและปัสสาวะของสัตว์ ซึ่งเป็นส่วนของซากพืชและซากสัตว์ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลาย จากระบบย่อยของสัตว์ ปัสสาวะก็จะเป็นส่วนประกอบของเกลือและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ซึ่งเป็นแหล่งธาตุอาหารพืช ธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยคอกจะมีปริมาณน้อย และอยู่ในรูปที่เป็น ประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ (มุกดา, 2544; ทศนีย์ และ ประทีป, 2554)

2) ปุ๋ยหมัก (compost fertilizer) คือ ปุ๋ยที่ได้จากการหมักสารอินทรีย์ให้สลายตัวผุ พังตามธรรมชาติ โดยนำสิ่งเหล่านั้นมากองรวมกันรดน้ำให้ชื้น แล้วปล่อยให้ทิ้งไว้ให้เกิดการย่อย สลายตัวโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ จึงนำมาใช้ปรับปรุงดิน (มุกดา, 2544)

3) ปุ๋ยพืชสด (green manure) คือ ปุ๋ยที่ได้จากการไถกลบพืชและคลุกเคล้าลงสู่ดิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุหรือฮิวมัสให้แก่ดิน และในเวลาเดียวกันก็เป็นการเพิ่ม ปริมาณธาตุอาหารให้แก่ดินด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปลูกพืชวิทยา, 2548) ซึ่งได้จากการปลูกพืชบาง

ชนิด เมื่อเจริญเติบโตถึงระยะที่พืชเริ่มออกดอกถึงระยะบานจะไถกลบลงในดิน หรือได้จากการไถกลบเศษพืช จากต่อช่วงพืชที่เหลือทิ้งในไร่ นา หลังจากซากพืชย่อยสลายโดยสมบูรณ์จึงปลูกพืชหลัก หรือเศรษฐกิจต่อไป (มุกดา, 2544)

3. ปุ๋ยชีวภาพ คือ ปุ๋ยที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตและมีคุณสมบัติพิเศษสามารถสังเคราะห์สารประกอบธาตุอาหารพืชได้เอง หรือสามารถเปลี่ยนธาตุอาหารพืชที่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้มาอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ ต่างๆ (ทัศนีย์ และ ประทีป, 2554) ปุ๋ยชีวภาพแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

3.1) กลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถสังเคราะห์สารประกอบธาตุอาหารพืชในโตรเจนได้เอง ได้แก่ ไรโซเบียมที่อยู่ในปมรากพืชตระกูลถั่ว แฟรงเคียที่อยู่ในปมของรากสนทะเล สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่อยู่ในโพรงใบของแห่นางแว และยังมีจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดินอย่างอิสระที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศให้แก่พืชได้เช่นกัน (ทัศนีย์ และ ประทีป, 2554)

3.2) กลุ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยทำให้ธาตุอาหารพืชในดินละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้นเช่น ไมคอร์ไรซา ช่วยให้ออสฟอรัสที่ถูกตรึงอยู่ในดินละลายออกมาอยู่ในรูปที่พืชดูดไปใช้ได้ (ทัศนีย์ และ ประทีป, 2554)

4. ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ คือ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการผลิตที่ใช้อุณหภูมิสูงถึงระดับที่สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งที่เป็นโรคพืช โรคสัตว์ และโรคมนุษย์ รวมทั้งจุลินทรีย์ต่างๆไปด้วย จากนั้นนำจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็นปุ๋ยชีวภาพที่เลี้ยงไว้ในสภาพปลอดเชื้อมาผสมกับปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าว และทำการหมักต่อไปจนกระทั่งจุลินทรีย์ที่ใส่ลงไป ในปุ๋ยหมักมีปริมาณคงที่ จุลินทรีย์เหล่านี้นอกจากจะช่วยตรึงไนโตรเจนให้แก่พืชแล้ว ยังช่วยผลิตสารฮอร์โมนพืชเพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโตของรากพืช และจุลินทรีย์บางชนิดยังสามารถควบคุมโรคพืชในดินและกระตุ้นให้พืชสร้างภูมิคุ้มกันโรคได้อีกด้วย (ทัศนีย์ และ ประทีป, 2554)

7.3 หลักการใส่ปุ๋ยเคมี

การใช้ปุ๋ยเคมีให้เกิดประโยชน์สูงสุดนั้นจะต้องคำนึงถึงว่าพืชจะต้องดูดปุ๋ยเคมีไปใช้ในการเจริญเติบโตให้ได้มากที่สุดและสูญเสียให้น้อยที่สุด ดังนั้นการใช้ปุ๋ยเคมีเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์ต่อพืชมากที่สุด (มุกดา, 2544; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ชนิดของปุ๋ยที่ถูกต้อง

2. อัตราปุ๋ยที่พอเหมาะ

3. เวลาในการใส่ปุ๋ย ช่วงระยะเวลาความต้องการธาตุอาหารมากที่สุดของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป พืชอายุต้นส่วนใหญ่สามารถแบ่งช่วงความต้องการของธาตุอาหารออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

3.1) ช่วงแรก ช่วงที่พืชเริ่มงอก พืชต้องการธาตุอาหารน้อยเพราะมีธาตุอาหารสะสมไว้ที่เมล็ด (30 – 45 วัน)

3.2) ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่พืชเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เป็นระยะที่กำลังแตกกอ ช่วงระยะกำลังสร้างตาดอก

3.3) ช่วงที่ 3 เป็นช่วงเจริญเติบโตเต็มที่ เป็นระยะที่กำลังสร้างเมล็ดและสร้างผล

4. วิธีการใส่ปุ๋ย เพื่อให้พืชดูดไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น มีความสำคัญอย่างมากต่อพืช ธาตุไนโตรเจน จะถูกชะล้างไปครึ่งหนึ่งของปุ๋ยที่ใส่ลงไป ปุ๋ยไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียมจะละลายน้ำได้ดี ถ้าดินมีอากาศถ่ายเทได้ดี แอมโมเนียมจะถูกออกซิไดส์ (Oxidized) ไปเป็นไนเตรต ได้ง่าย ปุ๋ยฟอสเฟตเป็นปุ๋ยที่ไม่เคลื่อนย้าย ใส่ตรงจุดไหน ฟอสเฟตที่ละลายได้ก็จะอยู่จุดนั้น หรือเคลื่อนย้ายไม่เกิน 1 – 5 เซนติเมตร ส่วนปุ๋ยโพแทสเซียม ซึ่งละลายน้ำได้ดี โพแทสเซียมมีประจุบวก จึงสามารถดูดยึดอยู่ที่ผิวของดินเหนียวได้ จึงทำให้ถูกชะล้างได้ยาก ทำให้เกิดการ

เคลื่อนย้ายได้ยากเช่นเดียวกับปุ๋ยฟอสเฟต การใส่ปุ๋ย ณ ที่จุดพืชจุดไปใช้ประโยชน์มาก และรวดเร็วที่สุด ในการใส่ปุ๋ยนั้นควรพิจารณาให้เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อม (มุกดา, 2544; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ดังนี้

4.1) การใส่แบบหว่าน วิธีการใส่ปุ๋ยแบบหว่าน เราใช้วิธีใส่แบบนี้ต่อเมื่อการปลูกพืชแบบไม่เป็นแถว พืชที่มีรากกระจายอยู่ทั่วไปหมด เช่น หญ้าสนาม และหญ้าเลี้ยงสัตว์ และปุ๋ยมีราคาถูก และใส่ในอัตราที่สูง

4.2) การใส่แบบเฉพาะจุด หรือเป็นแบบแถบใช้วิธีใส่แบบนี้ต่อเมื่อปุ๋ยราคาแพง มีจำนวนจำกัด เมื่อปลูกพืชเป็นแถว การใส่แบบแถบทำได้สะดวก สำหรับพืชที่มีระบบรากจำกัด ไม่แพร่ไปทั่ว และ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

4.3) การใส่แบบฉีดให้ทางใบใช้วิธีใส่แบบนี้ต่อเมื่อในกรณีที่รากเสียหาย หรือเพิ่งเริ่มแยกปลูก เนื่องจากขาดธาตุอาหารพวกจุลธาตุ และ ต้องการเสริมธาตุอาหารให้พืช นอก จากได้รับทางราก

7.4 ข้อดี-ข้อเสียของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยอินทรีย์

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของปุ๋ยอินทรีย์

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน	1. มีปริมาณธาตุอาหารพืชต่ำ
2. อยู่ในดินนาน (ค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชอย่างต่อเนื่อง)	2. ใช้เวลานานกว่าธาตุอาหารจะเป็นประโยชน์ต่อพืช
3. ช่วยให้ปุ๋ยเคมีเป็นประโยชน์มากขึ้น	3. ราคาแพง เมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยธาตุอาหารพืช
4. ส่งเสริมสิ่งมีชีวิตที่เป็นประโยชน์ในดิน	4. หายาก ถ้าต้องการในปริมาณมาก
5. มีจุลธาตุ	5. ไม่สะดวกในการนำไปใช้

ที่มา : ทศนีย์ และ ประทีป, 2554

ตารางที่ 6 ข้อดี - ข้อเสียของปุ๋ยเคมี

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีปริมาณธาตุอาหารพืชสูงมาก(ใช้ในปริมาณน้อยก็เพียงพอ)	1. ปุ๋ยแอมโมเนียมทำให้ดินเป็นกรดเมื่อใช้ติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน
2. ราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยธาตุอาหารพืช	2. ไม่มีผลทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย ระบายน้ำ และถ่ายเทอากาศได้ดี
3. ช่วยให้ปุ๋ยเคมีเป็นประโยชน์มากขึ้น	3. มีความเค็ม
4. ใช้สะดวก	4. ผู้ใช้ต้องมีความรู้พอสมควร
5. ได้ผลเร็ว	

ที่มา : ทศนิยม และ ประทีป, 2554

8. สภาพทั่วไปของพื้นที่ทดลอง

8.1 ขอบเขตและลักษณะของพื้นที่

จังหวัดกาญจนบุรี ตั้งอยู่ทางภาคตะวันตกของประเทศ อยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 13 องศา 45 ลิปดา ถึง 15 องศา 40 ลิปดา เหนือ และเส้นแวงที่ 98 องศา 15 ลิปดา ถึง 99 องศา 53 ลิปดา ตะวันออก อยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครโดยทางรถยนต์ประมาณ 12 กิโลเมตร และทางรถไฟประมาณ 133 กิโลเมตร มีเนื้อที่ทั้งหมด 19,483.14 ตารางกิโลเมตร หรือ 12,176,967 ไร่ เป็นจังหวัดที่มีเนื้อที่มากเป็นอันดับสามรองจากจังหวัดเชียงใหม่และนครราชสีมา โดยมีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดอื่น ๆ ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับประเทศสหภาพเมียนมาร์ อำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก และอำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี
ทิศใต้	ติดต่อกับอำเภอบ้านโป่ง อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับอำเภอด่านช้าง อำเภอหนองหญ้าไซ อำเภอกอนเจดีย์ อำเภออู่ทอง อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี และอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับประเทศสหภาพเมียนมาร์ โดยมีทิวเขาตะนาวศรีเป็นแนวเขตแดนระหว่างประเทศ

8.2 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศของจังหวัดกาญจนบุรี ส่วนใหญ่จะคล้ายคลึงกับจังหวัดอื่น ๆ ในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่จะมีปริมาณฝนแตกต่างกันบ้างในแต่ละท้องถิ่น โดยเฉพาะทางตอนเหนือของจังหวัด จะมีปริมาณน้ำฝนมากกว่าบริเวณอื่น แต่อย่างไรก็ตามสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ฤดู ได้แก่

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ในระยะนี้เป็นช่วงของลมฝ่ายใต้พัดพาปกคลุมทำให้อากาศร้อนอบอ้าวทั่วไป และร้อนจัดในเดือนเมษายน

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม จนถึงต้นเดือนพฤศจิกายน เป็นช่วงยาวนานที่สุดที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากมหาสมุทรอินเดีย พัดพาความชื้นมาปกคลุมประเทศไทย ทำให้เกิดฝนตกทั่วไปและมีปริมาณมากในเดือนกันยายน โดยเฉพาะทางตอนเหนือของจังหวัด เช่น อำเภอสังขละบุรี ทองผาภูมิ เป็นต้น แต่ทางตอนล่างมีปริมาณฝนค่อนข้างน้อย และเนื่องจากมีทิวเขาตะนาวศรีกั้นเขตแดนไทยกับพม่าทางด้านตะวันตก ทิวเขานี้ปิดกั้นกระแสลมตะวันตกเฉียงใต้ในช่วงฤดูฝน ทำให้ลมมรสุมอ่อนกำลังลง พื้นที่บริเวณหลังเขา คือ บริเวณตอนกลางและตอนล่างของจังหวัดจะมีความชุ่มชื้นและไอน้ำน้อย มีผลทำให้ปริมาณน้ำฝนน้อยลงไปด้วย

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน จนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ เป็นผลมาจากความกดอากาศสูงจากประเทศจีน พัดพาเอาความหนาวเย็นและแห้งแล้งมาปกคลุม อากาศจะเย็นลงบริเวณทางตอนเหนือของจังหวัด และจะมีความหนาวเย็นมากกว่าบริเวณอื่น ๆ

ข้อมูลของสถานีตรวจอากาศ อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี รายงานว่า มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปี 1055.3 มิลลิเมตร จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยตลอดปีมี 111 วัน เดือนที่ฝนตกมากที่สุดในรอบปี คือเดือนกันยายน มีปริมาณน้ำฝน 227.8 มิลลิเมตร เดือนที่มีฝนตกน้อยที่สุด คือ เดือนมกราคม มีปริมาณน้ำฝนประมาณ 5.2 มิลลิเมตร เดือนที่มีวันฝนตกมากที่สุดในรอบปี คือเดือนกันยายน มีจำนวนวันฝนตกถึง 18 วัน และเดือนที่ฝนตกน้อยที่สุด คือ เดือนมกราคม มีจำนวนวันฝนตก 1 วัน

ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในรอบปีร้อยละ 69 เดือนมีนาคม เป็นเดือนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดร้อยละ 59 และเดือนตุลาคม เป็นเดือนที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงที่สุดคือ ร้อยละ 92

อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 28.0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในรอบปี คือเดือนเมษายน มีอุณหภูมิสูงถึง 31.1 องศาเซลเซียส และเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำสุด คือ เดือนธันวาคม มีอุณหภูมิเฉลี่ย 24.7 องศาเซลเซียส

สำหรับข้อมูลของสถานีตรวจอากาศ อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี พบมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปีมากถึง 1,763.5 มิลลิเมตร จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยตลอดปีมี 154 วัน เดือนที่ฝนตกมากที่สุดในรอบปี คือเดือนสิงหาคม มีปริมาณน้ำฝน 329.5 มิลลิเมตร เดือนที่มีฝนตกน้อยที่สุด คือเดือนธันวาคม มีปริมาณน้ำฝน 2.9 มิลลิเมตร เดือนที่มีวันฝนตกมากที่สุดในรอบปี คือเดือนสิงหาคม มีจำนวนวันฝนตกถึง 27 วัน และเดือนที่ฝนตกน้อยที่สุด คือ เดือนธันวาคม มีจำนวนวันฝนตก 1 วัน

ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในรอบปีมีประมาณ ร้อยละ 81 เดือนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดคือเดือนมีนาคม ร้อยละ 68 และเดือนสิงหาคม เป็นเดือนที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงที่สุดคือ ร้อยละ 90

อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 26.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในรอบปี คือเดือนเมษายน มีอุณหภูมิสูงถึง 29.6 องศาเซลเซียส และเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำสุด คือ เดือนธันวาคม มีอุณหภูมิเฉลี่ย 23.5 องศาเซลเซียส

8.3 สภาพภูมิประเทศ

ด้านทิศเหนือของจังหวัดกาญจนบุรี บริเวณอำเภอทองผาภูมิ อำเภอศรีสวัสดิ์ อำเภอสังขละบุรี และอำเภอหนองปรือ มีลักษณะเป็นพื้นที่ภูเขาสูงชันวางตัวยาวลงมาทางด้านทิศตะวันตก บริเวณอำเภอไทรโยค และอำเภอด่านมะขามเตี้ย โดยมีสภาพพื้นที่เป็นภูเขา เนินเขา หรือเป็นลูกคลื่นลอนลาด และมีที่ราบระหว่างหุบเขาสลับเป็นแนวยาวลงตามลำน้ำสาขาต่าง ๆ โดยมีแม่น้ำแควน้อยและแม่น้ำแควใหญ่เป็นแม่น้ำสายหลักที่สำคัญไหลผ่านจากทางด้านทิศเหนือลงมาทางด้านทิศใต้ของจังหวัด มาบรรจบกันเป็นน้ำแม่กลอง ที่ตำบลปากแพรก อำเภอเมืองกาญจนบุรี แล้วไหลลงสู่อ่าวไทยที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม ส่วนบริเวณตอนกลางของจังหวัด บริเวณอำเภอเมือง อำเภอบ่อพลอย อำเภอห้วยกระเจาและอำเภอเลาขวัญ ที่มีความสูงจากระดับทะเลประมาณ 200-400 เมตร มีลักษณะเป็นที่ดอนสลับกับพื้นที่เกือบราบ มีลำน้ำสาขาที่สำคัญ คือ ลำตะเพิน ไหลจากต้นน้ำบริเวณอำเภออุ้มถ่อง จังหวัดสุพรรณบุรี ผ่านอำเภอหนองปรือ อำเภอบ่อพลอย ไหลลงแม่น้ำแควใหญ่ ทำให้เกิดเป็นพื้นที่ราบตามลำน้ำสาขาดังกล่าว ส่วนบริเวณทางด้านทิศตะวันออกและทิศใต้ของจังหวัด มีความสูงจากระดับทะเลประมาณ 30-200 เมตร มีลักษณะเป็นที่ราบลุ่มของน้ำแม่กลองและแม่น้ำสาขาต่างๆ สภาพพื้นที่เป็นที่ราบหรือค่อนข้างราบเรียบ ส่วนใหญ่ใช้ทำนา หรือปลูกอ้อย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 กับสูตร 8-24-24 และปุ๋ยหมัก
2. เมล็ดสับปะรด พันธุ์ KUBP 78-9
3. เครื่องจักรกลทางการเกษตร ได้แก่ รถแทรกเตอร์ที่ติดตั้งพาล 3 และ พาล 7
4. อุปกรณ์สำหรับเตรียมแปลงทดลอง ได้แก่ ไม้ปักแปลงปลูก เชือก ตลับเมตร ฯลฯ
5. อุปกรณ์สำหรับการเก็บตัวอย่างดินและพืช
6. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินและพืช ได้แก่ pH meter, Spectrophotometer, Atomic absorption spectrophotometer, Micro Kjeldahl distillation apparatus, Digestion apparatus และ เครื่องเขย่า (reciprocating shaker)
7. อุปกรณ์ เครื่องแก้ว และเคมีภัณฑ์สำหรับงานแปลงการทดลอง การวิเคราะห์ดิน และการวิเคราะห์พืช
8. เครื่องมือการสำรวจดินภาคสนามมาตรฐาน (เอิบ, 2542; Soil Survey Division Staff, 1993)

วิธีการทดลอง

1. ศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของดินตัวแทนพื้นที่ที่แปลงทดลอง

1.1 การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างดินเพื่อประกอบการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1) ดินตัวแทนของพื้นที่ทดลอง (site characterization) จัดทำข้อมูลลักษณะดินตัวแทนในพื้นที่ โดยขุดหลุมให้มีขนาดกว้าง 1.5 เมตร ยาว 2 เมตร ลึก 2 เมตร ตกแต่งหน้าตัดดินให้สามารถมองเห็นสัณฐานวิทยาของดินในสนาม ศึกษาสภาพแวดล้อมพร้อมทำคำอธิบายหน้าตัดดินในแต่ละชั้นดิน (เอิบ, 2547) และเก็บตัวอย่างดินทั้งที่ถูกรบกวนและไม่ถูกรบกวนตามชั้นกำเนิดดิน (genetic horizon) คือ

1.1) ตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน (disturbed soil samples) จะเก็บทุกชั้นดินตามชั้นกำเนิดดิน (genetic horizon) ที่ได้แบ่งไว้ภายในหน้าตัดประมาณตัวอย่างละ 2-3 กิโลกรัม

1.2) ตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวน (undisturbed soil samples) โดยเลือกเก็บเฉพาะชั้นที่ต้องการเพื่อนำมาศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของดินบางประการ โดยใช้กระบอกรับตัวอย่าง (core) (เอิบ, 2542ข)

2) การเก็บตัวอย่างดินก่อนปลูก โดยทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20, 20-40 และ 40-60 เซนติเมตร ระดับความลึกละประมาณ 1-2 กิโลกรัม โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างทั่วแปลงนำตัวอย่างดินแต่ละระดับความลึกมาผสมรวมกัน

1.2 การเตรียมตัวอย่างดิน

1) นำตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนมาผึ่งให้แห้งในที่ร่มหลังจากนั้นนำดินมาบด และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร แยกก้อนกรวด และเศษซากพืชออก ซึ่งจะนำไปใช้ในการ

วิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของดิน และร่อนดินผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนรวม

2) นำตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวนมาศึกษาความหนาแน่นรวมของดิน และสภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัว

1.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

1) การวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

1.1) เนื้อดิน (Soil texture) วิเคราะห์ด้วยวิธีไปเปตต์ (pipette method) (Kilmer and Alexander, 1949; Day, 1965) เพื่อหาปริมาณอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว แล้วประเมินชั้นเนื้อดิน โดยใช้วิธีตารางสามเหลี่ยมมาตรฐาน

1.2) สภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัว (Saturated hydraulic conductivity) โดยใช้วิธีจับน้ำผันแปร (Variable method) (Klute, 1965) ใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลผ่านน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยกระบอกบรรจุดิน (soil core) ฐานกระบอกบรรจุดินที่มีสายยางเป็นทางไหลออกของน้ำ ฝากระบอกบรรจุดินมีหลอดคสเกลอยู่ด้านบน ซึ่งคอยวัดระดับน้ำที่ลดลง แผ่นโลหะหรือแผ่นพลาสติกเชื่อมคล้ายปะเก็น และค้อนปอนด์

1.3) ความหนาแน่นรวม (Bulk density) โดยวิธี core method (Blake and Hartge, 1986) โดยการอบตัวอย่างดินที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างมวลของดินขณะที่แห้งสนิทกับปริมาตรทั้งหมดของดิน (ปริมาตรของส่วนประกอบทุก ๆ ส่วนรวมกัน)

2) การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

2.1) พีเอชดิน วัดโดยเครื่องวัดพีเอช (pH meter) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ และ 1M KCl ในอัตราส่วนเท่ากับ 1:1 (Soil Conservation Service, 1982; National Soil Survey Center, 1996)

2.2) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic matter) โดยวิธี Walkley and Black Titration (Walkley and Black, 1934; Nelson and Sommers, 1996)

2.3) ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method (Jackson, 1958; Bremner, 1996)

2.4) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) สกัดโดยวิธี Bray II และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี Colorimetric (ทัตนิย์ และจรงค์ษ์, 2542; Bray and Kurtz, 1945)

2.5) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (Exchangeable K, Ca, Mg) โดยสกัดด้วยสารละลาย 1M NH_4OAc pH 7.0 (Pratt, 1987) และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

2.6) ปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงที่สกัดได้ (Extractable Fe, Mn, Zn, Cu) โดยสกัดด้วยสารละลาย Diethylene Triamine Penta Acetic Acid (DTPA) และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (ทัตนิย์ และ จรงค์ษ์, 2542; Viets and Lindsay, 1973)

2.7) ปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ (Extractable bases) ซึ่งประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม โดยวิธีการสกัดด้วยสารละลาย 1M NH_4OAc ที่เป็นกลาง (pH 7) (Thomas, 1982) แล้ววัดปริมาณเบสด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

2.8) สภาพกรดที่สกัดได้ (extractable acidity) ทำการสกัดด้วยสารละลาย barium chloride triethanolamine pH 8.2 (Peech, 1965)

2.9) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity: CEC) โดยสารละลาย 1M NH_4OAc pH 7.0 และแทนที่แอมโมเนียม (ammonium) ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) ความเข้มข้นร้อยละ 10 ในสภาพที่เป็นกรด กลั่นหาปริมาณแอมโมเนียม

แล้วหาค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542: Chapman, 1965; Summer and Miller, 1996)

2.10) ร้อยละความอิ่มตัวเบส (base saturation percentage: %BS) โดยคำนวณจากค่าของปริมาณเบสรวมที่สกัดได้ทั้งหมด และสภาพกรดที่สกัดได้ (extractable bases, extractable acidity) (Thomas, 1982; National Soil Survey Center, 1996) จากสูตร

$$\% \text{ BS} = \frac{\text{Extractable bases} \times 100}{\text{Extractable bases} + \text{Extractable acidity}}$$

2. สมบัติของปุ๋ยหมักที่ใช้ในการทดลอง

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำปุ๋ยหมักที่ใส่ในแปลงทดลองมาผึ่งในที่ร่มให้แห้ง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร ใช้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และไนโตรเจนรวม ส่วนดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2.0 มิลลิเมตรใช้สำหรับการวิเคราะห์สมบัติอื่น ๆ ต่อไป

2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมัก

1) พีเอชของปุ๋ยหมัก วัดโดยเครื่องวัดพีเอช (pH meter) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างปุ๋ยหมักต่อน้ำเท่ากับ 1:2 (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

2) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) โดยวิธี Walkley and Black Titration (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542; กรมวิชาการเกษตร, 2551; Walkley and Black, 1934) แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{Organic matter (\%)} = \% \text{Organic carbon} \times 1.724$$

3) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl method (กรมวิชาการ เกษตร, 2551; Jackson, 1958; Bremner, 1996)

4) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด วิเคราะห์โดยการย่อยด้วยกรดไนตริก-เพอร์คลอริก ($\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$) และซัลฟิวริก-ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$) และทำให้เกิดสีด้วยวิธีเฮลโด โมลิบโดฟอสฟอริกแอซิด (yellow molybdovanadophosphoric acid method) เพื่อนำไปวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

3) ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด โดยวิธีการย่อยด้วยกรดผสมไนตริก-เพอร์คลอริก ($\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$) และ ซัลฟิวริก-ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ($\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$) และนำไปวัดด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

4) ปริมาณสังกะสี เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และกำมะถันทั้งหมด โดยวิธีการย่อยด้วยกรดผสมไนตริก-เพอร์คลอริก ($\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$) และนำไปวัดด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

3. การศึกษารูปแบบการจัดการปุ๋ยเบื้องต้นสำหรับการปลูกสับปะรด

3.1 การวางแผนการทดลองและรายละเอียดของแผนการทดลอง

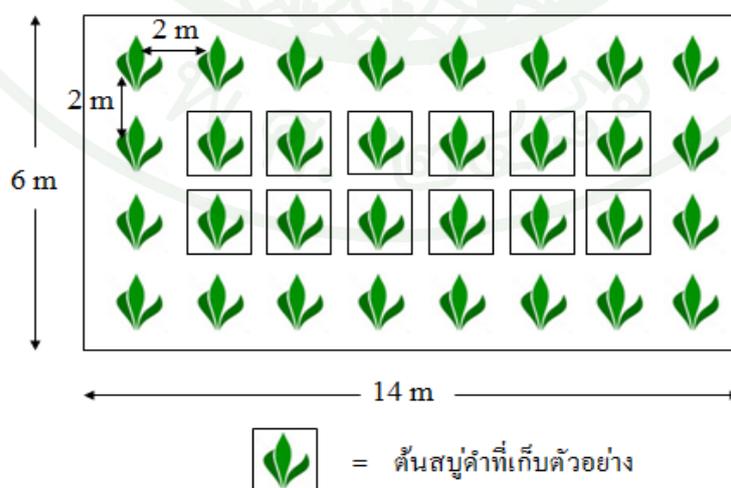
การศึกษาวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) มี 8 ดำรับการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ โดยแต่ละดำรับมีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 7 รายละเอียดการทดลอง

ตำรับ	รายละเอียด
F1	ตำรับควบคุม ไม่มีการใส่ปุ๋ย
F2	ปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่
F3	ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่
F4	ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่
F5	ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่
F6	ปุ๋ยสูตรสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่
F7	ปุ๋ยสูตรสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่
F8	ปุ๋ยสูตรสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่

3.2 การเตรียมดินก่อนปลูก

เตรียมดินเพื่อปลูกสับดำโดยการไถเปิดดินด้วยพาด 3 และพรวนดินด้วยพาด 7 เพื่อให้ดินร่วนซุยและหน้าดินเรียบสม่ำเสมอ จากนั้นทำการวางแปลงตามแนวปลูกและระยะปลูกโดยใช้ไม้ไผ่ที่เตรียมไว้ และเชือกวัดระยะ ทำแนวปลูกตามระยะปลูกเท่ากับ 2 x 2 เมตร แล้วใช้ไม้ไผ่ปักตามหลุมที่ได้กำหนดไว้



ภาพที่ 1 พื้นที่แปลงทดลองย่อยและระยะปลูก

3.3 วิธีการปลูก

ปลูกโดยใช้ระยะปลูก 2x2 เมตร ก่อนปลูกรองก้นหลุมด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยอินทรีย์อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทุกคำรับการทดลอง ปลูกโดยใช้เมล็ดพันธุ์หยอดลงตามหลุมที่เตรียมไว้จำนวน 3 เมล็ดต่อ 1 หลุม หลังจากนั้นเมื่อสบูดำมีความสูงประมาณ 10 เซนติเมตร ถอนให้เหลือ 1 ต้น

3.4 การดูแลและจัดการแปลง

ให้น้ำด้วยระบบน้ำหยดอัตรา 4 ลิตรทุก 2 วัน ในระยะแรกหลังจากหยอดเมล็ด และในช่วงฤดูแล้ง ทำการเด็ดยอดเมื่อสบูดำมีความสูงได้ 50 เซนติเมตร เพื่อบังคับให้เกิดการแตกกิ่งด้านข้าง กำจัดวัชพืชตามความเหมาะสม ใส่ปุ๋ยครั้งแรกเมื่อสบูดำอายุ 2 และ 6 เดือน ตามคำรับการทดลอง โดยวิธีการโรยรอบทรงพุ่มสบูดำ

3.5 การเก็บข้อมูลและการเก็บตัวอย่าง

- 1) ปริมาณช่อดอก (inflorescence) และปริมาณช่อดอกที่ติดผล (capsule cluster)
- 2) เก็บข้อมูลผลผลิตเมล็ด โดยวัดปริมาณผลผลิตของแต่ละแปลงย่อยในแต่ละเดือน
- 3) สุ่มเก็บตัวอย่างผลจากแต่ละแปลงย่อย จำนวน 100 ผล ชั่งน้ำหนักก่อนแล้ว แยกเมล็ดกับเปลือก ชั่งน้ำหนักก่อนอบด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำมาชั่งน้ำหนักเมล็ดแห้ง แล้วคำนวณผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15
- 4) วัดคุณภาพผลผลิตจากจำนวนเมล็ดในแต่ละคำรับ ได้แก่ ปริมาณเมล็ดต่อผล น้ำหนัก 100 เมล็ด และสัดส่วนระหว่างน้ำหนักเมล็ดต่อเปลือกนอก (seed coat)
- 5) รวบรวมเมล็ดคำรับละประมาณ 1 กิโลกรัมจากการสุ่มตัวอย่างจากเมล็ดที่เก็บเกี่ยวของแต่ละคำรับการทดลองในแต่ละเดือน รวมเป็น 1 ตัวอย่าง เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันสบู

ค่ารวม (fat and oil) จำนวน 1 ครั้งต่อปี ก่อนที่จะนำผลมาคำนวณย้อนกลับเพื่อหาผลผลิตน้ำมันสุญ์
 ค่าต่อพื้นที่

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) แล้วนำข้อมูลนั้นมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี Duncan's multiple range tests (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ขึ้นไป

4. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโบและผลสุญ์ดำ

4.1 การวิเคราะห์พืช

1) การเก็บตัวอย่างพืช

สุ่มเก็บตัวอย่างใบพืชหลังใส่ปุ๋ย (อายุ 2 และ 6 เดือน) โดยเก็บตัวอย่างใบสุญ์ดำใบที่ 5 จากยอดที่คลี่เต็มที่ จากต้นที่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิต (12 ต้นต่อ 1 แปลงย่อย) และสุ่มเก็บเมล็ดสุญ์ดำจากผลผลิตในแปลง 1 ครั้งต่อปี เพื่อนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโบ และเมล็ด

2) การเตรียมตัวอย่างใบพืช

นำมาอบให้แห้งโดยใช้ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง จนกว่าตัวอย่างพืชจะแห้งสนิท จากนั้นบดให้ละเอียดใส่ถุงที่แห้งและสะอาด เพื่อนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหาร

3) การวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบพืช มีดังนี้

3.1) ไนโตรเจนทั้งหมด วิเคราะห์ปริมาณในเนื้อเยื่อพืชด้วยวิธี Kjeldahl โดยทำการย่อยสลายตัวอย่างพืชด้วย $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{SO}_4\text{-Se}$ (digestion mixture) เพื่อเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนชนิดต่าง ๆ ในพืช ให้มาอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนียม-ไนโตรเจน; $\text{NH}_4^+\text{-N}$) ซึ่งเป็นรูปที่สามารถวิเคราะห์ได้โดยการกลั่น (distillation)

3.2) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด โดยการย่อยตัวอย่างด้วย $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{SO}_4\text{-Se}$ (digestion mixture) และทำให้เกิดสีด้วยวิธีเฮลโล โมลิบโดฟอสฟอริกแอซิด (yellow molybdo-vanadophosphoric acid method) แล้ววัดปริมาณของฟอสฟอรัสด้วยเครื่อง Spectrophotometer

3.3) ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด โดยการย่อยตัวอย่างด้วย $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{SO}_4\text{-Se}$ (digestion mixture) แล้ววัดความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

3.4) ปริมาณกำมะถัน โดยการย่อยตัวอย่างพืชด้วย $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ (acid mixture) แล้ววัดปริมาณของกำมะถันด้วยเครื่อง Spectrophotometer

3.5) ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส โดยการย่อยตัวอย่างพืชด้วย $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ (acid mixture) แล้ววัดความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ข้างต้นด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) แล้วนำข้อมูลนั้นมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี Duncan's multiple range tests (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ขึ้นไป

สถานที่และระยะเวลาที่ทำการทดลอง

1. สถานที่

1.1 งานภาคสนาม ดำเนินการที่สถานีวิจัยกาญจนบุรี หมู่ที่ 9 ตำบลวังด้ง อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี

1.2 งานวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย

1) การวิเคราะห์ดินและพืชทั่วไป ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช ภาควิชาพืชวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

2) การวิเคราะห์สมบัติเกี่ยวกับความชื้น และสมบัติทางฟิสิกส์บางประการ ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการส่วนวิเคราะห์กายภาพดิน สำนักงานวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ

3) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในเมล็ดสบู่ดำ ดำเนินการที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพฯ

2. ระยะเวลาในการทำการทดลอง

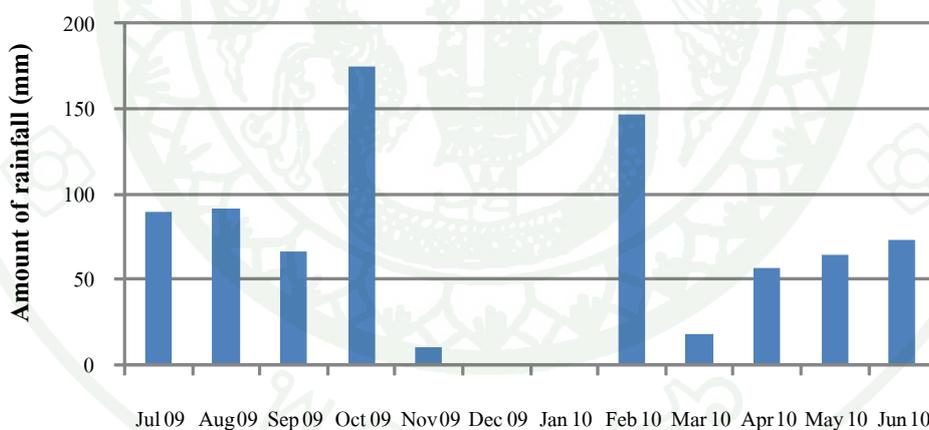
ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2554

ผลและวิจารณ์

1. สภาพพื้นที่ สัณฐานวิทยาดินในสนาม สมบัติทางฟิสิกส์ และเคมีของดิน

1.1 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่แปลงทดลองตั้งอยู่ที่ สถานีวิจัยกาญจนบุรี สถาบันพัฒนาระบบนิเวศเกษตร หมู่ที่ 9 บ้านหนองสามพราน ตำบลวังดั่ง อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี มีพื้นที่ 447 ไร่ 1 งาน 53 ตารางวา สภาพโดยทั่วไป มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสูง สลับกับเขาเตี้ย ๆ ป่าละเมาะ และป่าโปร่งมีที่ราบสูงเป็นบางส่วน ในปีที่ทำการศึกษา มีปริมาณฝนตกตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2552-เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553 รวมเท่ากับ 789.1 มิลลิเมตร (ภาพที่ 2)

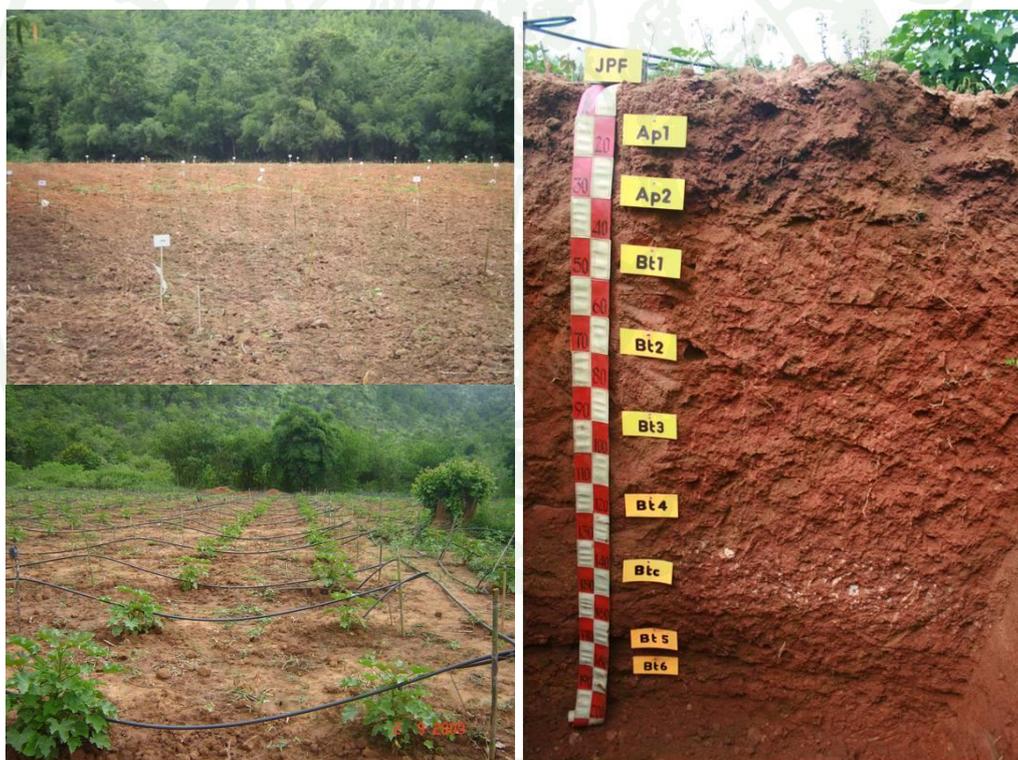


ภาพที่ 2 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยระหว่างเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552-กรกฎาคม พ.ศ. 2553 ของสถานีวิจัยกาญจนบุรี ต.วังดั่ง อ.เมือง จ.กาญจนบุรี

1.2 สัณฐานวิทยาสนามของดินตัวแทน

ดินในพื้นที่เกิดจากการทับถมของตะกอนของลำน้ำท้องถิ่น (local alluvium) และตะกอนลาดเชิงเขา (colluvium) ที่สลายตัวมาจากหินควอร์ตไซต์ (quartzite) และหินชนวน (slate)

สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดเทประมาณร้อยละ 3 เป็นดินลึกมาก ดินมีการระบายน้ำดี ดินมีความสามารถในการซึมผ่านน้ำปานกลาง และการไหลบ่าของน้ำที่ผิวดินปานกลาง ระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 200 เซนติเมตรขณะทำการศึกษาดิน ดินตัวแทนจำแนกอยู่ในอันดับแอลฟิซอลท์ (Alfisol) จำแนกอยู่ในกลุ่มดินย่อย Ultic Peleustalf ชั้นกำเนิดดินแบ่งออกได้ 9 ชั้น คือ Ap1-Ap2-Bt1-Bt2-Bt3-Bt4-Bt5-Bt6 (ภาพที่ 3) ดินบนลึก 35 เซนติเมตร มีเนื้อดินเป็นร่วนเหนียว ดินมีโครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดปานกลาง มีความคงทนของโครงสร้างมาก สีพื้นเป็นสีน้ำตาลแดง พีเอชดินเป็นกรดจัด มีค่าเท่ากับ 5.5 ดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ดินมีโครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมมุมมนขนาดปานกลาง สีพื้นเป็นสีน้ำตาลแดงถึงน้ำตาลเข้ม สีจุดประเป็นสีแดง พีเอชสนามของดินเป็นกรดจัดมากถึงกลาง (field pH 5.0-7.0)



ภาพที่ 3 สภาพพื้นที่ และลักษณะหน้าตัดดินตัวแทนพื้นที่ทดลอง

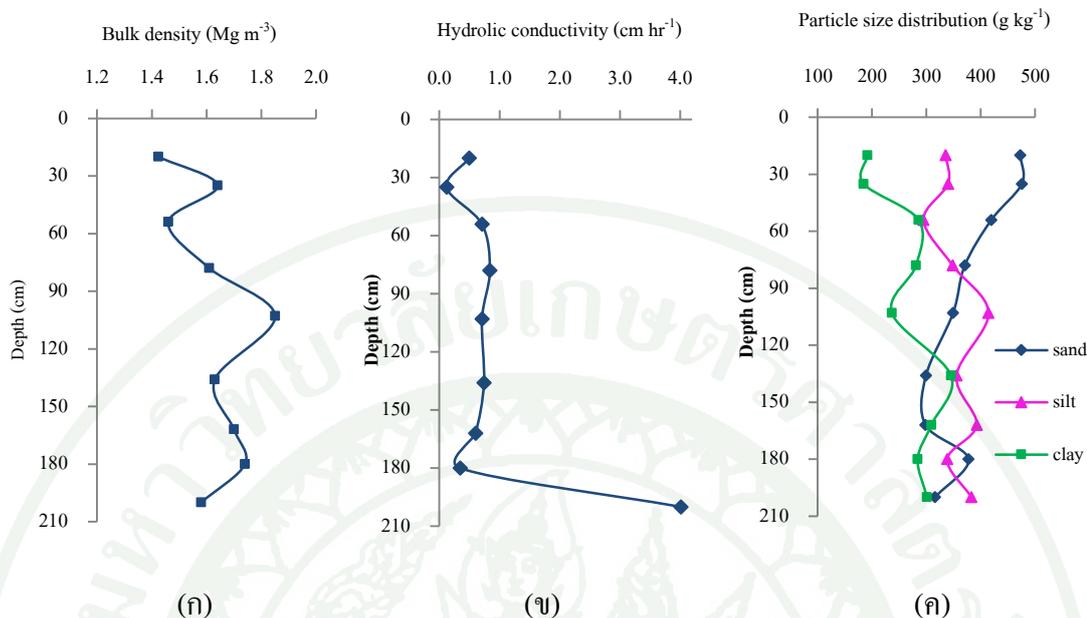
1.3 สมบัติทางฟิสิกส์ของดินตัวแทนพื้นที่แปลงทดลอง

ผลการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่ทำการศึกษา (ตารางผนวกที่ 1) ประกอบด้วย การแจกกระจายของขนาดอนุภาค และชั้นเนื้อดิน ความหนาแน่นรวมของดิน ค่าสภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การแจกกระจายขนาดอนุภาคและชั้นเนื้อดินซึ่งได้จากการเทียบหาประเภทชั้นเนื้อดิน จากตารางสามเหลี่ยมแสดงความสัมพันธ์ของอนุภาคดิน โดยใช้เกณฑ์ของกระทรวงเกษตร สหรัฐอเมริกา (USDA textural class) (เอิบ, 2542; Soil Survey Staff, 2010) พบว่า ปริมาณอนุภาค ขนาดทรายในอยู่ในพิสัย 299-476 กรัมต่อกิโลกรัม อนุภาคขนาดทรายแป้งอยู่ในพิสัย 295-414 กรัมต่อกิโลกรัม และอนุภาคขนาดดินเหนียวอยู่ในพิสัย 185-346 กรัมต่อกิโลกรัม โดยภาพรวมพบว่า ชั้นดินบนมีปริมาณอนุภาคขนาดทรายมากกว่าในชั้นดินล่าง และมีปริมาณลดลงตามความลึก ขณะที่ปริมาณอนุภาคขนาดดินเหนียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มดินร่วน (ภาพที่ 4)

ความหนาแน่นรวมวัดโดยวิธี core method ตามความลึกในแต่ละชั้นกำเนิดดินของดิน เมื่อใช้เกณฑ์การแบ่งระดับความหนาแน่นรวมของดินตามตารางผนวกที่ 17 (นงคราญ, 2529) พบว่า ในชั้นดินบนมีความหนาแน่นรวมอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง (1.42-1.64 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และชั้นดินล่างอยู่ในระดับค่อนข้างสูงถึงสูง (1.64-1.85 เมกะกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยความหนาแน่นรวมมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกภายในหน้าตัดดิน (ภาพที่ 4)

ค่าสภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัว ในบริเวณที่ศึกษาโดยใช้เกณฑ์การแบ่งระดับชั้นตาม ตารางผนวกที่ 18 พบว่า ดินมีค่าสภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัวในชั้นดินบนอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำ ปานกลาง (0.12-0.5 เซนติเมตรต่อชั่วโมง) ส่วนชั้นดินล่างอยู่ในระดับต่ำปานกลางถึงปานกลาง (0.34-4.01 เซนติเมตรต่อชั่วโมง) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึกภายในหน้าตัดดิน

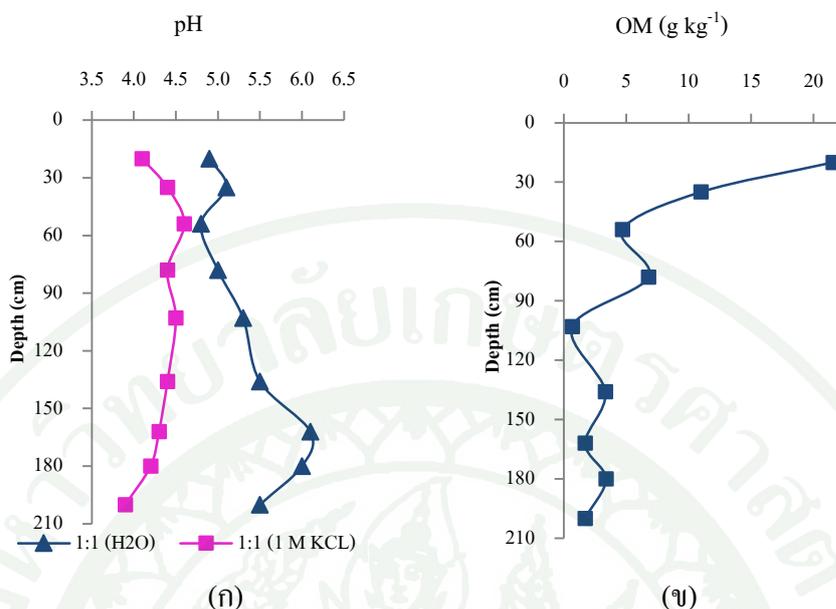


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นรวมของดิน (ก) สภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว (ข) และการกระจายขนาดอนุภาคดิน (ค) กับความลึกของดินตัวแทนแปลงทดลอง

1.4 สมบัติทางเคมีของดินตัวแทนพื้นที่แปลงทดลอง

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินตัวแทนพื้นที่แปลงทดลอง (ตารางผนวกที่ 2) มีผลการศึกษาดังนี้

ค่าพีเอชของดินวัดโดยใช้ดินต่อน้ำในอัตราส่วน 1:1 พบว่า ชั้นดินบนมีพีเอชดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดจัด (pH 4.9-5.1) ส่วนในชั้นดินล่างมีพีเอชดินเป็นกรดจัดถึงกรดอ่อน (pH 4.8-6.1) ส่วนพีเอชดินที่วัดโดยใช้อัตราส่วนดินต่อสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 1 โมลาร์ในอัตราส่วน 1:1 พบว่า ชั้นดินบนมีพีเอชเป็นกรดรุนแรงมาก (pH 4.1-4.4) และชั้นดินล่างเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดจัดมาก (pH 3.9-4.6) โดยค่าพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกภายในหน้าตัดดิน (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของดิน (ก) และปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ข) กับความลึกของดินตัวแทน

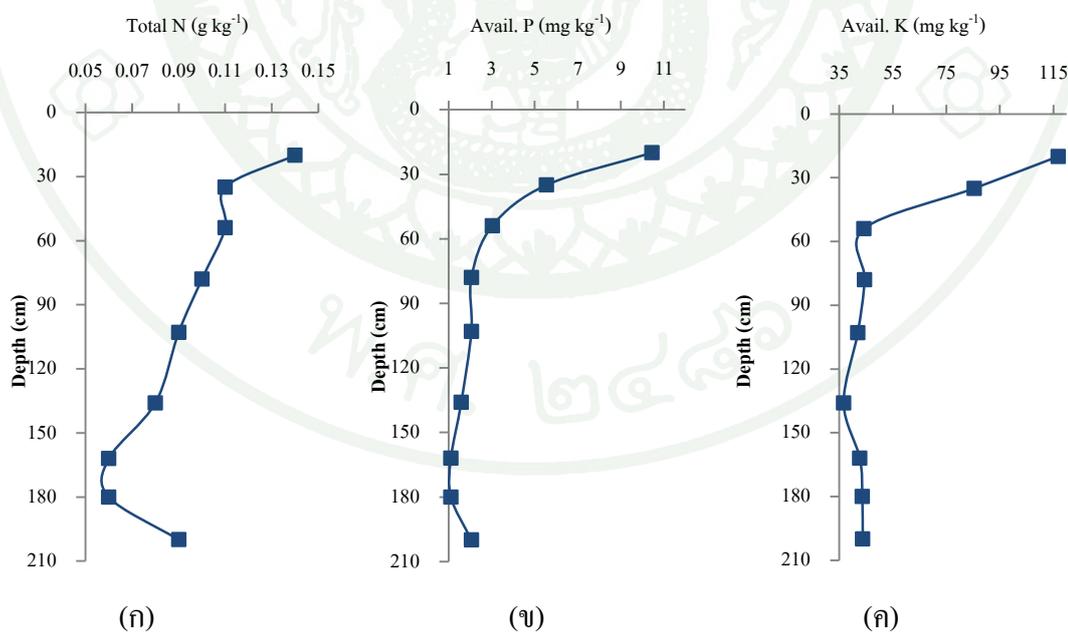
ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่ทำการศึกษา พบว่า ดินบนมีค่าอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง พิสัย 11.0-21.6 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากถึงต่ำ พิสัย 0.7-6.8 กรัมต่อกิโลกรัม โดยชั้น B₃ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำสุดในขณะที่ชั้น Ap₁ ซึ่งเป็นชั้นดินบนนั้นเกิดการทับถมของเศษพืช ใบ ลำต้น ที่ปกคลุมอยู่บนผิวดินและรากพืช ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ สะสมอยู่ในชั้นดินบนมากกว่าชั้นดินล่าง และมีปริมาณลดลงตามความลึกของดิน (Thompson and Troeh, 1978) (ภาพที่ 5)

ปริมาณไนโตรเจนรวม พบว่า ทั้งชั้นดินบนและชั้นดินล่างมีค่าอยู่ในระดับต่ำมากตลอดหน้าตัดดิน โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 0.11-0.14 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เนื่องจากอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งสำคัญของไนโตรเจนในดิน การเพิ่มขึ้นจะเป็นอิทธิพลการชะละลายของปุ๋ย (ไพบูลย์, 2528)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พบว่า ในชั้นดินบนมีปริมาณต่ำถึงปานกลาง พิสัย 5.6-10.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณดินล่างมีปริมาณต่ำมากถึงต่ำ พิสัย 1.11-3.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส มีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชดิน จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ดินในพื้นที่ศึกษามีพีเอชดินส่วนใหญ่เป็นกรดจัดถึงกรดอ่อน (pH 4.8-6.1) นอกจากนี้ปริมาณ

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน โดยเป็นแหล่งของฟอสเฟตอินทรีย์ ซึ่งในดินที่ศึกษามีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำมาก (ชัยฤกษ์, 2529; Brady and Weil, 2008) จึงทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ค่อนข้างระดับต่ำถึงต่ำมากไปด้วย (Sanchez, 1976) (ภาพที่ 6)

ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ พบว่า ในชั้นดินบนมีปริมาณสูงถึงปานกลาง (116.8-83.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนในชั้นดินล่างมีปริมาณต่ำมากถึงต่ำ อยู่ในพิสัย 4.22-36.6 มิลลิกรัมต่อ ซึ่งภายในหน้าตัดดิน พบว่า ชั้นดินบนและชั้นดินล่างตอนบนมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงกว่าชั้นดินล่าง และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก (ภาพที่ 6) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากอินทรีย์วัตถุในดิน โดยทั่วไปมีการสะสมอยู่ในดินบนมากกว่าดินล่าง เมื่อมีการย่อยสลายอินทรีย์สารจะมีการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์บางส่วนแก่ดิน ขณะที่ในดินล่างธาตุนี้อาจถูกปลดปล่อยออกมาระหว่างกระบวนการผุพังสลายตัวของหินต้นกำเนิด (Brady and Weil, 2008) หรือจากการชะละลายของปุ๋ยโพแทสเซียมในดินบนลงมาสะสมในชั้นดังกล่าว และได้รับอิทธิพลของปุ๋ยในการจัดการดิน

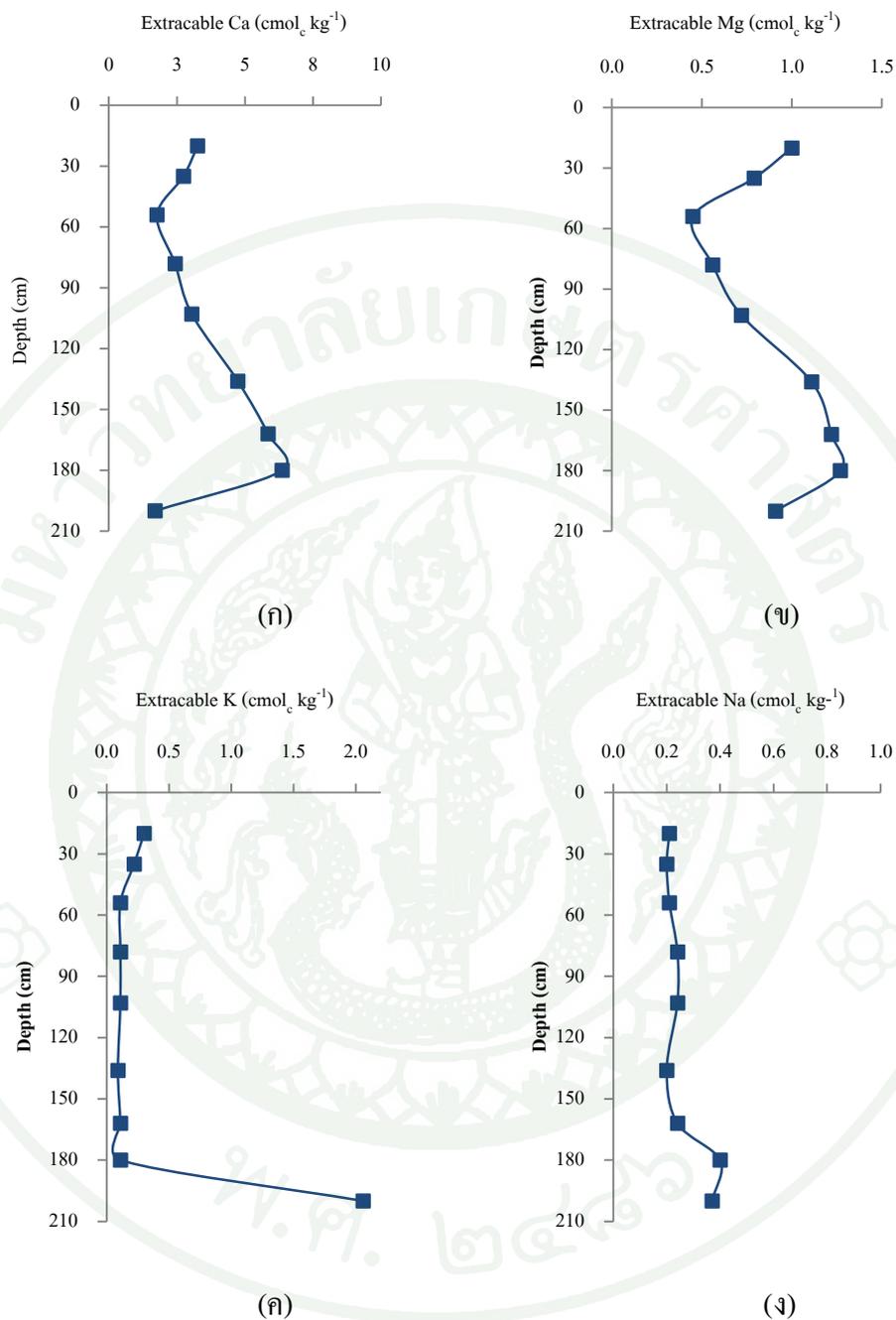


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ก) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ข) และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (ค) กับความลึกของดินตัวแทนแปลงทดลอง

ปริมาณเบสที่สกัดได้ประกอบด้วยแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียม ซึ่งปริมาณที่วิเคราะห์ในดินของทั้งสองแปลงทดลองมีดังนี้ (ภาพที่ 7) ปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้พบว่า ในดินบนมีปริมาณต่ำ และมีปริมาณต่ำมากถึงปานกลางในดินล่าง พบอยู่ในพิสัย 2.70-3.26 และ 1.70-6.36 เซนติโมลต่อกิโลกรัมตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงตามความลึก ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้พบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามความลึก โดยมีปริมาณต่ำทั้งในดินบนและดินล่าง (0.79-1.00 และ 0.45-1.27 เซนติโมลต่อกิโลกรัมตามลำดับ) ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้พบว่า ในชั้นดินบนมีค่าอยู่ในระดับต่ำ (0.22-0.30 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ส่วนในชั้นดินล่างพบอยู่ในระดับต่ำมากถึงสูงมาก พิสัย 0.09-2.06 เซนติโมลต่อกิโลกรัม โดยมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของดิน ปริมาณโซเดียมที่สกัดได้พบว่า ในชั้นดินบนมีปริมาณต่ำ มีค่าเท่ากับ 0.20-0.21 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วนในชั้นดินล่างมีปริมาณค่อนข้างแปรปรวน โดยพบอยู่ในพิสัย 0.21-0.40 เซนติโมลต่อกิโลกรัม

สภาพกรดที่สกัดได้พบว่า ทั้งในดินบนและดินล่างมีค่าอยู่ในระดับปานกลาง (4.0-10.0 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของหน้าตัดดิน แสดงว่าดินมีพัฒนาการทำให้อิทธิพลของการชะละลายมีผลต่อการสูญเสียเบสออกจากระบบ ขณะที่การหุพังสลายตัวส่งผลต่อการปลดปล่อยของไฮโดรเจน และอะลูมิเนียมออกมาสู่ระบบดิน (ไพบูลย์, 2528)

ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน พบว่า อยู่ในระดับต่ำตลอดหน้าตัดดิน (3.3-4.5 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส พบว่า มีค่าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลางในพิสัยร้อยละ 24.2-54.5 โดยมีค่าลดลงมาจนถึงชั้น Bt1 และเพิ่มขึ้นมาเล็กน้อยในชั้น Bt2 ลดลงอีกครั้งในชั้น Bt3 แล้วหลังจากนั้นเพิ่มขึ้นมาจนถึงชั้น Bt5 และลดลงในชั้น Bt6 เล็กน้อย (ภาพที่ 8)

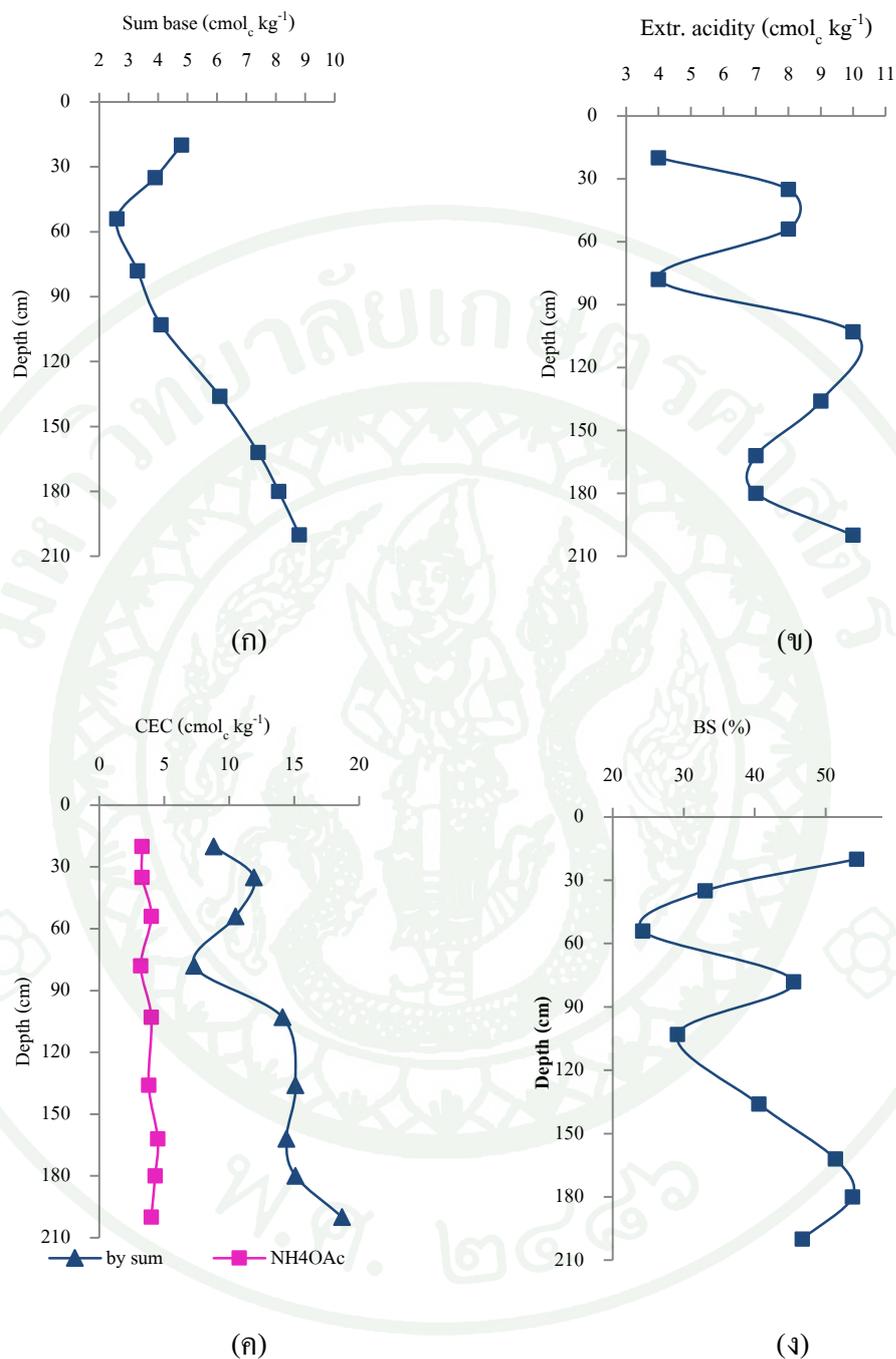


ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคลเซียมที่สกัดได้ (ก) ปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้ (ข) ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ (ค) และปริมาณโซเดียมที่สกัดได้ (ง) กับความลึกของดิน ตัวแทนแปลงทดลอง

2. สมบัติดินก่อนปลูก

การศึกษาสมบัติดินก่อนการปลูกสับค้ำ ดำเนินการ โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-20, 20-40 และ 40-60 เซนติเมตร พบว่า ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรและความลึก 20-40 เซนติเมตร ดินเป็นดินร่วน ส่วนที่ระดับความลึก 40-60 เซนติเมตรเป็นดินเหนียว โดยดินทั้งสามชั้น ความลึกมีปริมาณอนุภาคขนาดทราย และทรายแป้งใกล้เคียงกัน ขณะที่อนุภาคขนาดดินเหนียวมีปริมาณน้อยที่สุด (ตารางที่ 6)

ดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร พีเอชดินเป็นกรดจัด (pH 5.5) และเป็นกรดจัดมาก (pH 4.8-4.9) ในดินอีกสองชั้นข้างใต้ ดินที่ระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในปริมาณต่ำถึงค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าอยู่ในพิสัย 8.8-14.3 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนที่ระดับความลึก 40-60 เซนติเมตร พบในระดับต่ำมาก (3.3 กรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินทั้ง 3 ระดับความลึกมีปริมาณต่ำมาก (0.4-0.8 กรัมต่อกิโลกรัม) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรอยู่ในระดับปานกลาง (14.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และอยู่ในระดับต่ำในดินที่อยู่ลึกลงไป (5.0-5.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และดินมีปริมาณ โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินมีอยู่ในปริมาณสูงที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร ปานกลางที่ระดับความลึก 20-40 เซนติเมตร และต่ำที่ระดับความลึก 40-60 เซนติเมตร (108.5, 76.2 และ 52.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามระดับ) (ตารางที่ 7)



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเบสรวมที่สกัดได้ (ก) สภาพกรดที่สกัดได้ (ข) ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (ค) และอัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (ง) กับความลึกของดินตัวแทนแปลงทดลอง

ตารางที่ 8 การแจกกระจายของขนาดอนุภาคดิน และชั้นเนื้อดินของดินก่อนปลูก

Depth (cm)	Particle size distribution (g kg ⁻¹)			Textural class
	Sand	Silt	Clay	
0-20	410.8	365.4	223.8	Loam
20-40	371.1	401.4	227.5	Loam
40-60	308.1	393.8	298.2	Clay

ตารางที่ 9 ค่าพีเอช ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณธาตุอาหารหลักของดินก่อนปลูก

Depth (cm)	pH 1:1		OM (-----g kg ⁻¹ -----)	Total N	Avail. P (-----mg kg ⁻¹ -----)	Avail. K
	H ₂ O	KCl				
0-20	5.2	4.0	8.8	0.8	14.0	108.5
20-40	4.9	4.9	14.8	0.4	5.6	76.2
40-60	4.8	4.3	3.3	0.5	5.0	52.2

3. ปริมาณธาตุปุ๋ยของตำรับการทดลอง

ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยที่ใส่ตามตำรับการทดลอง โดยคำนวณจากค่าวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยหมัก และปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยเคมี พบว่า การใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณไนโตรเจน (N) ปริมาณ 5.12 กิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัส (P₂O₅) เท่ากับ 4.72 กิโลกรัม ปริมาณโพแทสเซียม (K₂O) เท่ากับ 0.93 กิโลกรัม ปริมาณแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) เท่ากับ 0.52 และ 0.29 กิโลกรัมตามลำดับ การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากัน คือ 7.5 กิโลกรัม (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 10 ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยที่ใส่ตามคำรับการทดลอง

วิธีการ	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
	(-----kg-----)				
คำรับควบคุม ไม่มีการใส่ปุ๋ย (F1)	-	-	-	-	-
ปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กก./ไร่ (F2)	5.12	4.72	0.93	0.52	0.29
ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กก./ไร่ (F3)	7.50	7.50	7.50	-	-
ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กก./ไร่ (F4)	15.00	15.00	15.00	-	-
ปุ๋ยสูตร 15-15-15+ปุ๋ยหมัก = 50+1,000 กก./ไร่ (F5)	12.62	10.32	8.53	0.52	0.29
ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กก./ไร่ (F6)	4.00	12.00	12.00	-	-
ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กก./ไร่ (F7)	8.00	24.00	24.00	-	-
ปุ๋ยสูตร 8-24-24+ปุ๋ยหมัก = 50+1,000 กก./ไร่ (F8)	9.12	16.72	12.93	0.52	0.29

โดยปริมาณธาตุอาหารหลักมีปริมาณเพิ่มขึ้นเท่าตัวเมื่อใส่ปุ๋ยนี้อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีธาตุอาหารหลักทั้งสามเท่ากับ 4, 12 และ 12 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นเท่าตัวเมื่อใส่ในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อคำนวณปริมาณธาตุอาหารหลักในแต่ละคำรับการทดลอง พบว่า ในทุกคำรับการทดลองจะได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยรองพื้นก่อนหยอดเมล็ด (ปุ๋ยหมัก 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่) เท่ากัน คือ ได้ในโตรเจน 12.66 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัส 10.32 กิโลกรัมต่อไร่ โพแทสเซียม 8.53 กิโลกรัมต่อไร่ แคลเซียม 0.52 กิโลกรัมต่อไร่ และแมกนีเซียม 0.09 กิโลกรัมต่อไร่ หลังจากสับค้ำอายุได้ 3 เดือนทำการใส่ปุ๋ยตามคำรับการทดลอง คำรับที่ได้รับไนโตรเจนสูงสุดเท่ากับ 15 กิโลกรัมต่อไร่คือคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F4) คำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 (F7) ได้รับปุ๋ยฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงสุดเท่ากันคือ 24 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยหมักรวม (F2, F6 และ F8) สับค้ำจะได้รับแคลเซียม และแมกนีเซียมเพิ่มเติมในอัตรา 0.52 และ 0.09 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ เช่นเดียวกับจุลธาตุอาหารในปริมาณ 1.03, 0.84, 0.21 และ 0.11 กรัมต่อไร่ สำหรับเหล็ก สังกะสี ทองแดง และแมงกานีสตามลำดับ

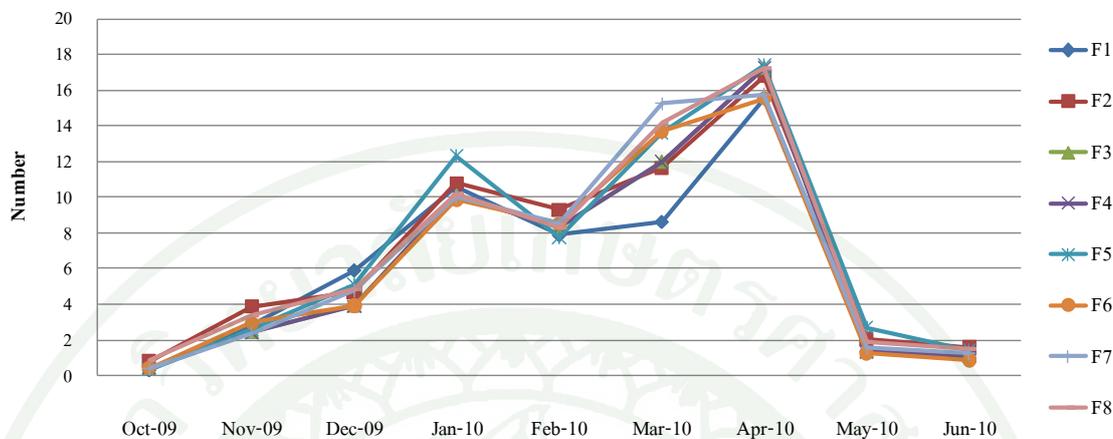
4. ผลของรูปแบบการจัดการปุ๋ยเบื้องต้นต่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของสับดูดำ

4.1 จำนวนช่อดอก

ปริมาณช่อดอกของสับดูดำ พบว่า สับดูดำเริ่มออกดอกหลังจากหยอดเมล็ด (ปลายเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2552) ไปแล้ว 3 เดือน คือเดือนตุลาคม พ.ศ. 2552 สับดูดำเริ่มมีปริมาณช่อดอกเพิ่มมากขึ้นเริ่มจากเดือนตุลาคม พ.ศ. 2552 จนกระทั่งมีจำนวนมากที่สุดในเดือนเมษายน พ.ศ. 2553 (ภาพที่ 9 และตารางผนวกที่ 4) ในทุกตำรับการทดลอง หลังจากนั้นจำนวนช่อดอกเริ่มลดลงอย่างมากในเดือนพฤษภาคม และมิถุนายน พ.ศ. 2552 โดยมีปริมาณช่อดอกสูงสุดในเดือนเมษายนมีค่าอยู่ในพิสัย 15.5-17.3 ช่อดอกต่อต้น และมีค่าเฉลี่ยของทุกตำรับการทดลองเท่ากับ 16.5 ช่อดอกต่อต้น อย่างไรก็ตาม จำนวนช่อดอกสับดูดำระหว่างเดือนมกราคม-มีนาคม พ.ศ. 2552 มีปริมาณค่อนข้างมากเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในพิสัย 8.4-12.6 ช่อดอกต่อต้น

แนวโน้มการติดช่อดอกของสับดูดำสูงสุดค่อนข้างแปรผันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตำรับทดลอง โดยพบว่า ในช่วงสองเดือนแรกของการติดช่อดอก (ต.ค.-พ.ย. 2552) ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F3) และตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) สับดูดำมีแนวโน้มติดช่อดอกในปริมาณที่สูงกว่าในตำรับอื่น แต่เมื่อพิจารณาระยะที่สับดูดำมีการผลิตช่อดอกในปริมาณมาก (ม.ค.-เม.ย. 2553) พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F5) สับดูดำมีแนวโน้มผลิตช่อดอกในจำนวนสูงสุดมีจำนวนอยู่ในพิสัย 7.6-17.4 ช่อดอกต่อต้น รองลงมาได้แก่ ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F7) และปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) โดยมีจำนวนช่อดอกอยู่ในพิสัย 8.6-15.7 และ 8.3-17.2 ช่อดอกต่อต้นตามลำดับ

Monthly number of inflorescence per plant

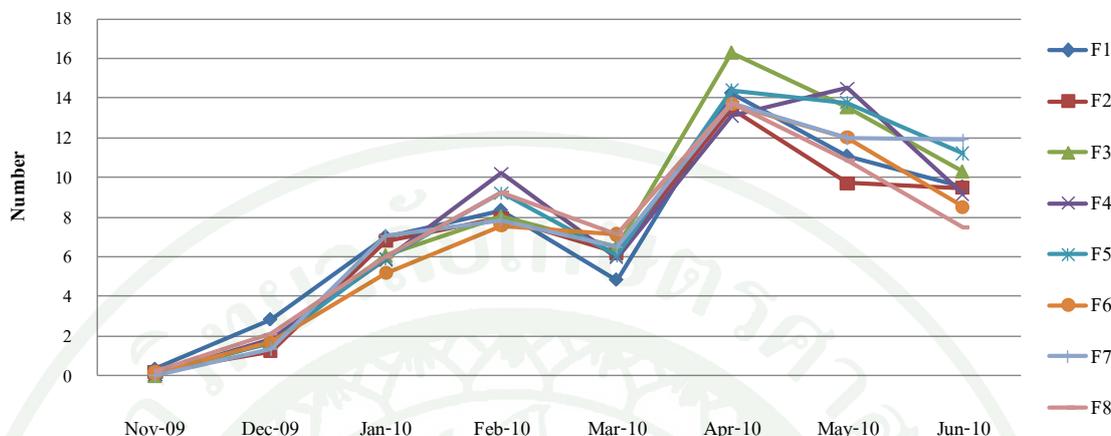


ภาพที่ 9 จำนวนช่อดอกสับู่ต่อต้น (รายเดือน)

4.2 จำนวนช่อดอกที่ติดผล

การนับจำนวนช่อดอกที่ติดผล (capsule cluster) ของสับู่ดำเริ่มดำเนินการในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2552 ซึ่งเป็นเดือนที่สับู่ดำในเกือบทุกตำรับการทดลองเริ่มมีการติดผล ยกเว้นในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F3) ที่ไม่พบช่อดอกที่มีการติดผลในเดือนดังกล่าวแต่อย่างใด (ภาพที่ 10 และตารางผนวกที่ 5) จำนวนช่อดอกติดผลค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2552 จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553 และมีจำนวนลดลงเล็กน้อยในเดือนถัดไป ในเดือนเมษายน 2553 สับู่ดำมีจำนวนช่อดอกติดผลเฉลี่ยสูงสุดในทุกตำรับการทดลอง โดยมีจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 14.1 ผลต่อต้น โดยในเดือนนี้ สับู่ดำมีการสร้างช่อดอกที่ติดผลจำนวนสูงสุดเท่ากับ 16.3 ช่อต่อต้นในตำรับที่ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F3) สำหรับเดือนพฤษภาคม และมิถุนายน พ.ศ. 2553 สับู่ดำมีปริมาณช่อดอกที่ติดผลเฉลี่ยลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเดือนที่มีจำนวนสูงสุด โดยมีจำนวนเฉลี่ยของทุกตำรับการทดลองเท่ากับ 12.2 และ 9.7 ช่อต่อต้นตามลำดับ

Monthly number of capsule cluster per plant



ภาพที่ 10 จำนวนช่อดอกสนุ่ที่มีการติดผลต่อต้น (รายเดือน)

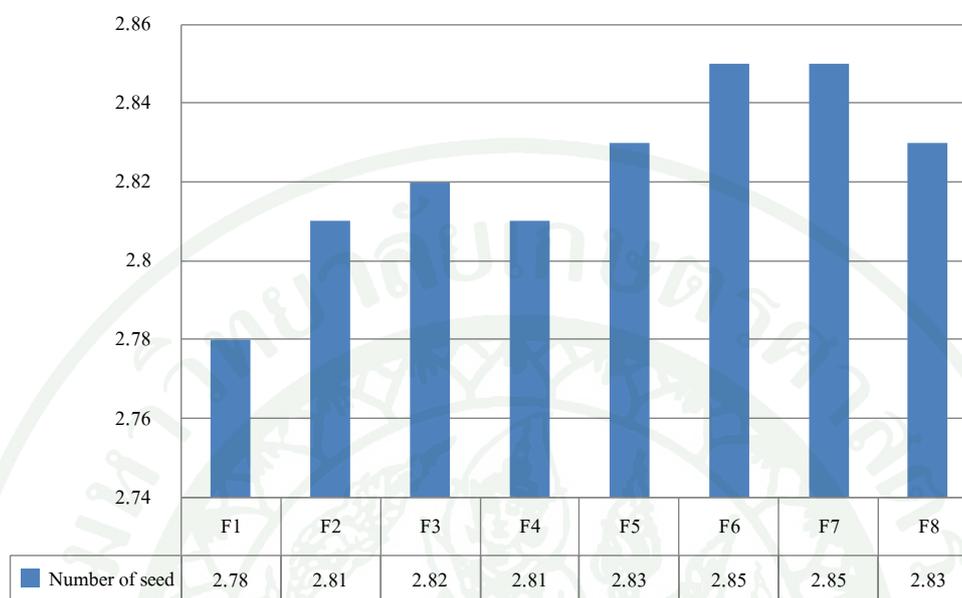
สนุ่ดำมีช่อดอก และช่อดอกที่ติดผลที่มีการนับในแต่ละเดือน ของแต่ละตำรับการทดลองมีจำนวนใกล้เคียงกัน โดยสนุ่ดำเริ่มดอกดอกหลังจากหยอดเมล็ดไปแล้ว 3 เดือน (ต.ค. 2552) และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งเดือนเมษายน พ.ศ. 2553 มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนถัดไปซึ่งเป็นช่วงต้นของฤดูฝน ส่วนการติดผลนั้น สนุ่ดำเริ่มมีการติดผลหลังจากที่ออกดอกแล้วประมาณ 1 เดือน (พ.ย. 2552) โดยแนวโน้มการเพิ่มขึ้นคล้ายคลึงกับจำนวนช่อดอก คือ มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งมีจำนวนสูงสุดในระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม พ.ศ. 2553 ใกล้เคียง แล้วจึงค่อย ๆ มีจำนวนลดลงในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553 การที่ในช่วงเดือนเมษายน ซึ่งสนุ่ดำมีอายุได้ 10 เดือน ทรงพุ่มกว้างพอเหมาะ กิ่งก้านไม่ซ้อนทับกัน สามารถรับแสงแดดได้เต็มที่ นอกจากการที่ ได้รับแสง และอากาศเต็มที่ แล้วทรงพุ่มที่โปร่งเปิดโอกาสให้แมลงเข้าช่วยผสมเกสรได้ง่าย เพราะสนุ่ดำเป็นพืชผสมข้าม แมลงจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการช่วยผสมเกสร แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงต้นฤดูฝนสนุ่ดำมีการเจริญเติบโตทางกิ่งก้านมากขึ้น ทรงพุ่มเริ่มชิดกันมาก ลักษณะต้นจึงสูงขึ้น การเจริญเติบโตด้านข้างน้อยลงเพื่อแข่งขันในการใช้ปัจจัยต่าง ๆ เช่น แสงและคาร์บอนไดออกไซด์ (ลิลลี่ และคณะ, 2549) การที่ทรงพุ่มชิดติดกันทำให้แสงส่องผ่านทรงพุ่มได้น้อยลงเนื่องจากถูกบดบังด้วยกิ่ง และใบที่หนาแน่น การสังเคราะห์แสงและการสร้างอาหารลดลง ส่งผลให้การสร้างดอก และติดผลลดลง

4.3 องค์ประกอบผลผลิต

จำนวนเมล็ดต่อผล พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน และแต่ละตำรับการทดลองมีจำนวนเมล็ดใกล้เคียงกันมาก โดยที่การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F7) มีจำนวนเมล็ดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2.85 เมล็ด รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F3) และการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) มีจำนวนเมล็ดเฉลี่ยเท่ากับ 2.83 เมล็ด ส่วนการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F2) การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F4) การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F5) และการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F6) มีจำนวนเมล็ดเฉลี่ยเท่ากับ 2.82 เมล็ด ส่วนจำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่ำสุด คือ การไม่ใส่ปุ๋ยเลยมีจำนวนเมล็ดเฉลี่ยเท่ากับ 2.78 เมล็ด (ภาพที่ 11 และตารางผนวกที่ 5)

น้ำหนักผลสดพบ ว่า ในแต่ละตำรับการทดลองมีความใกล้เคียงกันมาก โดยในตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F7) มีน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุด คือ 5.85 กรัม รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F3) การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F5) และการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) ซึ่งมีน้ำหนักผลเท่ากับ 5.81 กรัม ส่วนการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียวอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F2) การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F4) และการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F6) มีน้ำหนักผลเฉลี่ยเท่ากับกับการไม่ใส่ปุ๋ยเลย (F1) คือ 5.80 กรัม (ภาพที่ 11 และตารางผนวกที่ 6) เมื่อเปรียบเทียบขนาดผลในแต่ละเดือนที่มีการวัด พบว่า ในช่วงระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2553 ขนาดผลของแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ปรากฏว่าในเดือนมิถุนายนปีเดียวกัน ขนาดผลมีขนาดเล็กลงอย่างชัดเจนในทุกตำรับการทดลอง ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่า ในระยะที่ฝนเริ่มตกชุกหลังจากผ่านฤดูแล้งมา สบู่ค่าจะเริ่มเจริญเติบโตทางกิ่งก้านและเรือนยอดมากกว่าการให้ผลผลิต โดยสังเกตจากการที่ต้นสบู่ค่าเริ่มมีกิ่งก้าน และใบหนาแน่น ขณะที่จำนวนช่อดอก และช่อดอกที่ติดผลมีปริมาณลดลง (ภาพที่ 9 และ 10)

Average number of seed per fruit



หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

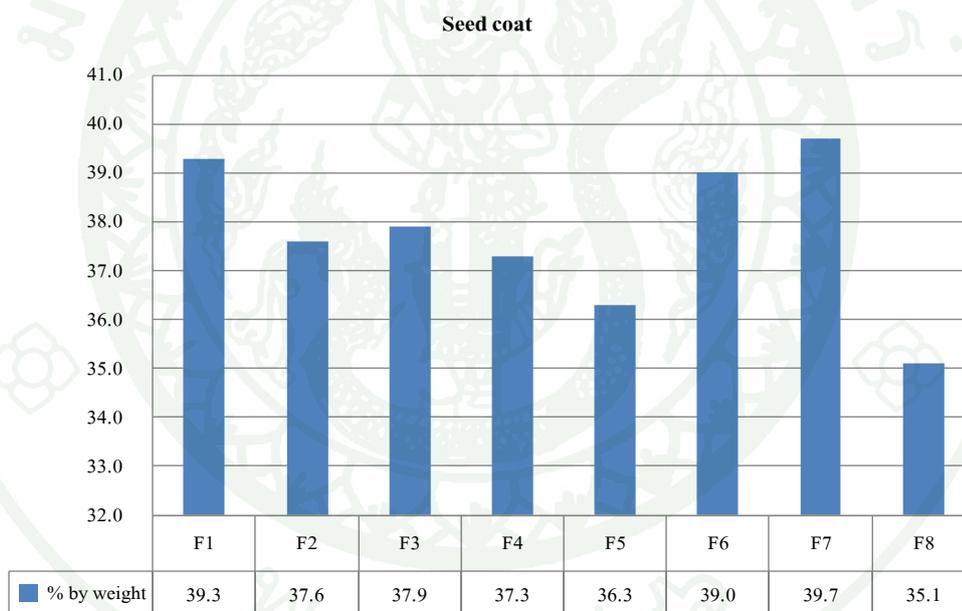
ภาพที่ 11 จำนวนเมล็ดสับดูค่าเฉลี่ยต่อผล

การใส่ปุ๋ยรูปแบบต่าง ๆ ไม่ทำให้จำนวนเมล็ด และน้ำหนักผลมีความแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม ผลจากการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยหมักและปุ๋ยเคมีทั้ง 2 สูตร ช่วยให้ได้ น้ำหนักผล และจำนวนเมล็ดสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย โดยเฉพาะการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 ทุกตำรับ การทดลองมีคุณภาพเมล็ดเฉลี่ยสูงกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ อาจสรุปว่า การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 มีแนวโน้มทำให้ผลมีขนาดใหญ่กว่าตำรับอื่น ๆ เช่นเดียวกับกรณีของจำนวนเมล็ด

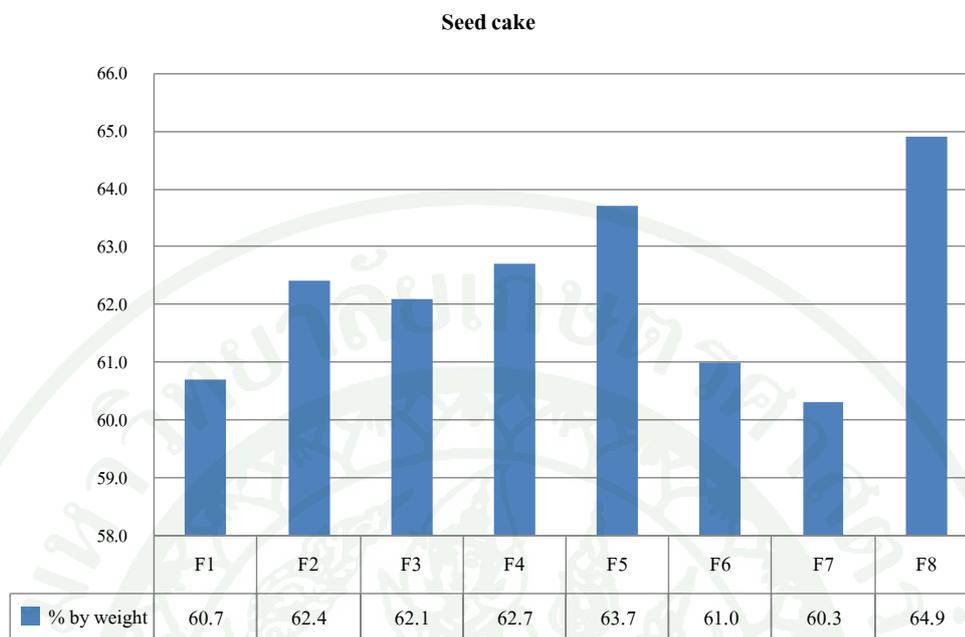
ร้อยละ โดยน้ำหนักของเปลือกนอกเมล็ดสับดูค่า พบว่า ตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (F1) นั้น มีร้อยละโดยน้ำหนักของเปลือกนอกเมล็ดสับดูค่าสูงสุด 39.3 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตำรับที่มีการใส่ปุ๋ย สูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F7) และปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F6) มีค่าเท่ากับ 39.7 และ 39.0 ตามลำดับ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F3) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียวในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F2) และปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F4) มีค่าเท่ากับ 37.9, 37.3 และ 37.6 ตามลำดับ ส่วนการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัม

ต่อไร่ (F5) และปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) มีค่าเท่ากับ 36.3 และ 35.1 ตามลำดับ (ภาพที่ 12 และตารางผนวกที่ 9)

ในขณะที่เดียวกันร้อยละโดยน้ำหนักของเนื้อในเมล็ดสับุดำ (ภาพที่ 14) ซึ่งเป็นส่วนกลับของร้อยละโดยน้ำหนักของเปลือกนอกเมล็ดสับุดำมีค่าสอดคล้องกับร้อยละโดยน้ำหนักของเนื้อในเมล็ดสับุดำ โดยดำรับที่มีการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) มีค่า 64.9 ใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F5) เท่ากับ 63.7 ส่วนดำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (F1) มีค่าร้อยละโดยน้ำหนักของเนื้อในเมล็ดสับุดำต่ำที่สุด คือ 60.7



ภาพที่ 12 ร้อยละโดยน้ำหนักของเปลือกนอกเมล็ดสับุดำ



ภาพที่ 13 ร้อยละโดยน้ำหนักของเนื้อในเมล็ดสบู่ดำ

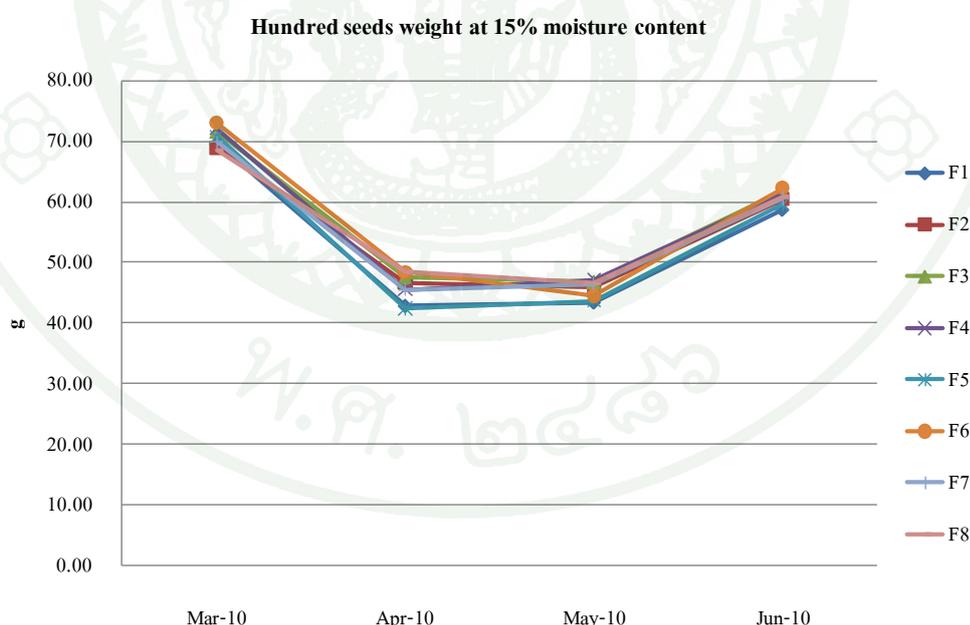
4.4 ผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15

น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด คัดที่ความชื้นร้อยละ 15 พบว่า ในแต่ละเดือนมีค่าใกล้เคียงกันมาก (ภาพที่ 15) โดยการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F6) มีน้ำหนัก 100 เมล็ด สูงสุด เท่ากับ 62.28 กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับการใส่ปุ๋ยวิธีการอื่น ๆ รองลงมาเป็นการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F3) การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F4) การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F7) และการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F4) มีน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด เท่ากับ 61.70, 61.23, 60.60, 60.40, 60.38 และ 59.61 กรัมตามลำดับ ในขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ย (F1) มีแนวโน้มให้น้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดต่ำสุดเท่ากับ 58.72 กรัม (ภาพที่ 13 และตารางผนวกที่ 7)

ผลผลิตเมล็ดรวมที่ความชื้นร้อยละ 15 พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) มีผลผลิตรวมสูงสุดเท่ากับ 225.1 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในอัตรา 100 กิโลกรัม (F4) การใส่ปุ๋ยสูตร 8-

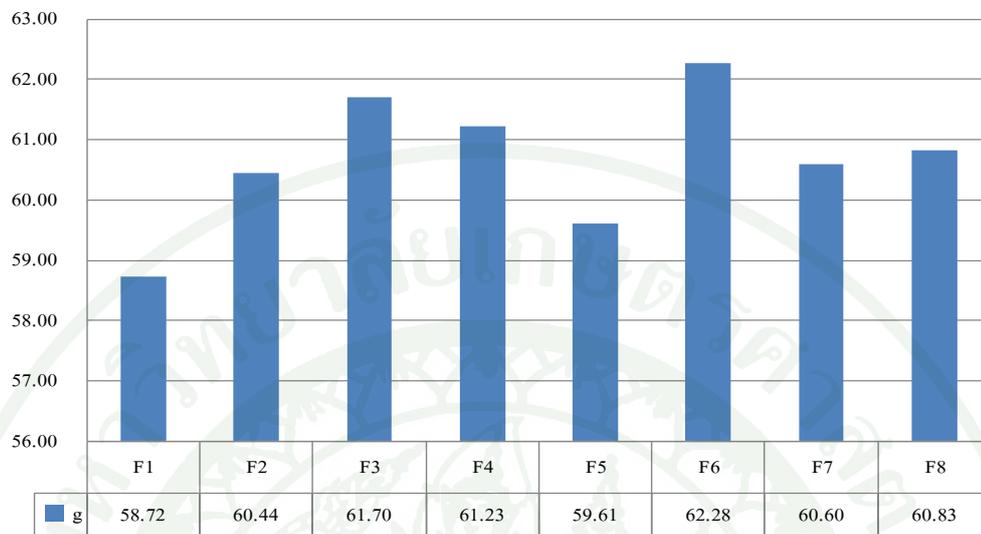
24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F6) การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F5) การใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียวอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F2) การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F7) และการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F5) มีผลผลิตเมล็ดรวมเท่ากับ 211.1, 208.1, 194.7, 190.9, 172.3 และ 167.4 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ สำหรับตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ย (F1) มีแนวโน้มได้ผลผลิตเมล็ดรวมต่ำสุดเท่ากับ 159.5 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาพที่ 15 และตารางผนวกที่ 8)

จากข้อมูลผลผลิตเมล็ดรวมตลอด 1 ปี พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อพิจารณาจากผลผลิตเมล็ดรายเดือน (ภาพที่ 16) พบว่า สนุ่ดำให้ผลผลิตสูงในเดือนแรกในทุกตำรับ การทดลอง คือ เดือนกุมภาพันธ์ 2553 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก มีผลผลิตเมล็ดบางส่วนสะสมมาตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2553 แต่ไม่ได้ทำการวัดผล การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F6) และ การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) ผลผลิตลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนมีนาคม 2553



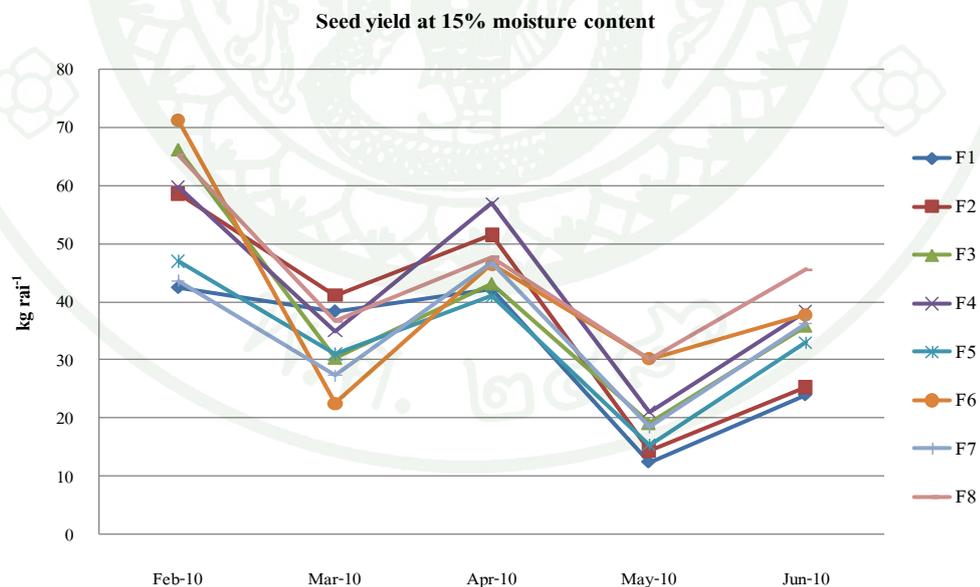
ภาพที่ 14 น้ำหนักเฉลี่ยรายเดือนของสนุ่ดำ 100 เมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15

Average 100 seeds weight at 15% moisture content



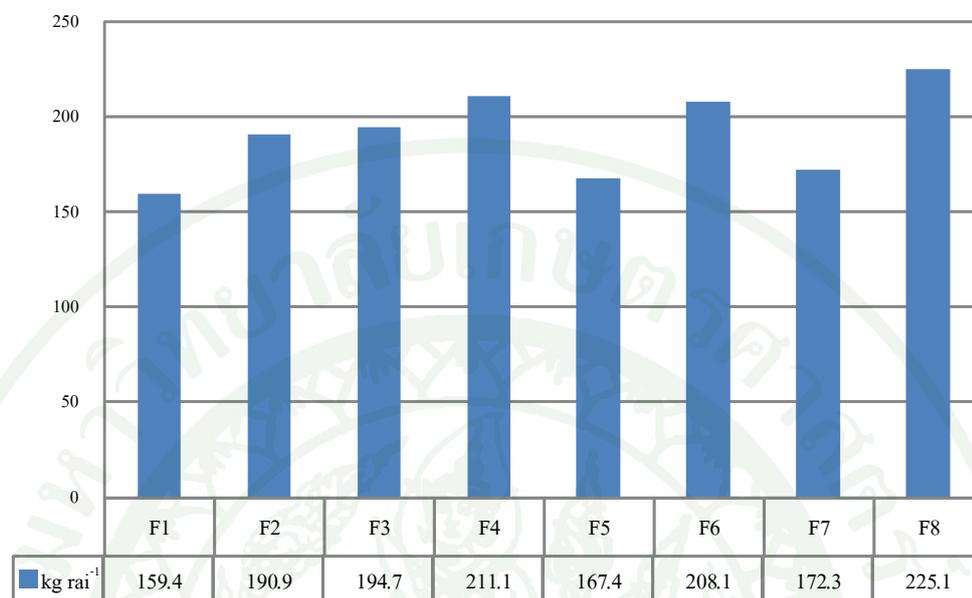
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 15 น้ำหนัก 100 เมล็ดสับดูค่าเฉลี่ยที่ความชื้นร้อยละ 15



ภาพที่ 16 ผลผลิตเฉลี่ยรายเดือนของเมล็ดสับดูค่าที่ความชื้นร้อยละ 15

Total seed yield at 15% moisture content



หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 17 ผลผลิตรวมในรอบปีของเมล็ดสบู่ดำที่ความชื้นร้อยละ 15

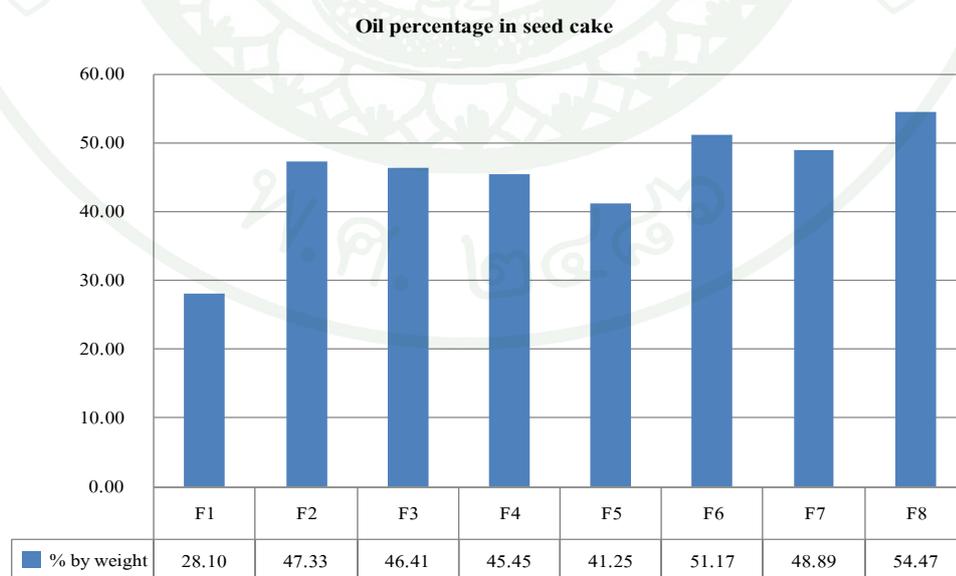
ในขณะที่ตำรับการทดลองอื่นๆ ผลผลิตค่อย ๆ ลดลง และหลังจากนั้นผลผลิตมีทิศทางเดียวกันทุกตำรับการทดลอง คือ เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในเดือนเมษายน 2553 ลดลงเล็กน้อยในเดือนพฤษภาคม 2553 และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอีกครั้งในเดือนมิถุนายน 2553 แต่อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยหมักร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี และการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียวมีแนวโน้มให้ผลผลิตเมล็ดรวมสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยประมาณ 31.5-65.2 กิโลกรัมต่อไร่ และสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวประมาณ 23.5-57.7 กิโลกรัมต่อไร่

4.5 ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำ

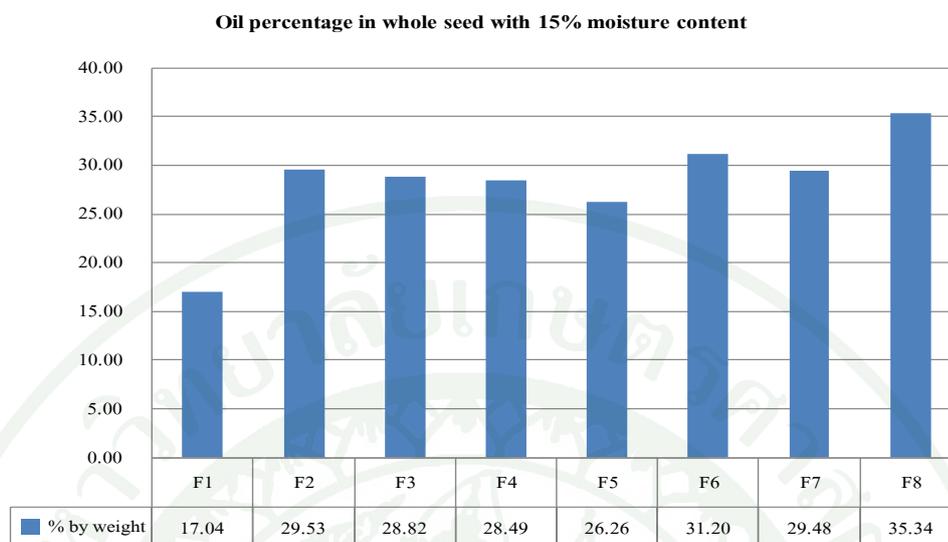
ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันในเนื้อในเมล็ดสบู่ดำ พบว่า มีความแตกต่างกัน โดยตำรับที่ใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) นั้น มีร้อยละน้ำมันสบู่ดำในเนื้อในเมล็ดสูงสุดร้อยละ 54.47 รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F6) ใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียวในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F2)

และใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F7) โดยมีน้ำมันสบู่ดำในเมล็ดร้อยละ 51.17, 48.89 และ 47.33 ตามลำดับ การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F3) ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F4) และการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัม (F5) มีน้ำมันสบู่ดำในเนื้อในเมล็ดร้อยละ 46.41, 45.45 และ 41.25 ตามลำดับ ส่วนตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ย (F1) นั้นมีร้อยละน้ำมันสบู่ดำในเมล็ดต่ำสุด คือ ร้อยละ 28.10 (ภาพที่ 18 ตารางผนวกที่ 10) สำหรับค่าสูงสุดของร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำมันสบู่ดำในเนื้อใน (kernel) ที่ได้จากการศึกษานี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างจากหลาย ๆ แหล่ง ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 54.59 (ที่ความชื้นเนื้อในเท่ากับร้อยละ 4.48) (Foidl *et al.*, 1996; Hillel, 1996; Makkar *et al.*, 1997; Rivera-Locra *et al.*, 1997; Openshaw *et al.*, 2000; Ginwal *et al.*, 2004)

ร้อยละน้ำมันในเมล็ดสบู่ดำคำนวณจากเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15 ของแต่ละตำรับนั้นพบว่า มีความแตกต่างกัน โดยตำรับที่ใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) นั้น มีร้อยละน้ำมันสบู่ดำในเมล็ดสูงสุดเท่ากับร้อยละ 54.47 ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยมีผลทำให้ร้อยละน้ำมันสบู่ดำในเมล็ดมีปริมาณต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 28.10 ซึ่งต่ำกว่าตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยหมักข้างต้นมากกว่า 1 เท่าตัว (ภาพที่ 20 และตารางผนวกที่ 10)



ภาพที่ 18 ร้อยละ โดยน้ำหนักของน้ำมันในเนื้อในเมล็ดสบู่ดำ



ภาพที่ 19 ร้อยละ โดยน้ำหนักของน้ำมันในเมล็ดสบู่ดำที่ความชื้นร้อยละ 15

สำหรับการใส่ปุ๋ยในตำรับอื่น ๆ พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F6) มีน้ำมันสบู่ดำในเมล็ดร้อยละ 31.20 ซึ่งใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียวในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F2) (29.53%) ส่วนการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F7) การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F3) การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F4) และการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักในอัตรา 1,000 กิโลกรัม (F5) มีน้ำมันสบู่ดำในเมล็ดในปริมาณร้อยละ 29.48, 28.82, 28.49 และ 26.26 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลผลิตน้ำมันสบู่ดำรายเดือน พบว่า ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553 มีปริมาณไม่แตกต่างกัน โดยที่การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F6) ทำให้ได้ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำสูงสุดเท่ากับ 27.3 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัม (F8) มีผลผลิตน้ำมันสบู่ดำเท่ากับ 27.2 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัม (F4) มีผลผลิตน้ำมันสบู่ดำเท่ากับ 17.3 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัม (F3) มีผลผลิตน้ำมันสบู่ดำเท่ากับ 16.3 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F2) มีผลผลิตน้ำมันสบู่ดำเท่ากับ 14.4 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F7) มีผลผลิตน้ำมันสบู่ดำเท่ากับ 10.8 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา

1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F5) มีผลผลิตน้ำมันสบู่มากเท่ากับ 9.4 กิโลกรัมต่อไร่ และการไม่ใส่ปุ๋ยเลย (F1) มีผลผลิตน้ำมันสบู่ต่ำสุดเท่ากับ 6.6 กิโลกรัมต่อไร่ (ภาพที่ 21 และตารางผนวกที่ 10)

ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2553 พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน โดยการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียวในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F2) มีผลผลิตน้ำมันสบู่ดำสูงสุดเท่ากับ 12.0 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) มีผลผลิตน้ำมันสบู่ดำเท่ากับ 10.9 กิโลกรัมต่อไร่ การไม่ใส่ปุ๋ย (F1) มีผลผลิตน้ำมันสบู่ดำเท่ากับ 5.9 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมากกว่าการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F7) ที่ให้ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำต่ำสุดเท่ากับ 4.9 กิโลกรัมต่อไร่สำหรับในเดือนนี้ (ภาพที่ 21 และตารางผนวกที่ 10)

ผลผลิตในเดือนเมษายน พ.ศ. 2553 พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) มีผลผลิตน้ำมันสบู่ดำสูงสุดเท่ากับ 14.3 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียวในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F2) การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัม (F4) การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F7) และการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F3) โดยมีผลผลิตน้ำมันสบู่ดำเท่ากับ 13.8, 13.7, 12.6. และ 12.1 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกับตำรับการทดลองที่เหลือ ยกเว้น ตำรับการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ย (F1) ที่ได้ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำต่ำสุดเพียง 6.5 กิโลกรัมต่อไร่ โดยผลผลิตที่ได้ต่ำกว่าการจัดการปุ๋ยทุกรูปแบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 21 และตารางผนวกที่ 10)

ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2553 มีความแตกต่างกัน โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) มีผลผลิตน้ำมันสบู่ดำสูงสุดเท่ากับ 8.3 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F6) มีผลผลิตน้ำมันสบู่ดำเท่ากับ 6.6 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งผลผลิตน้ำมันสบู่ดำที่ได้ใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัม (F4) การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F7) และการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F3) ซึ่งมีผลผลิตน้ำมันสบู่ดำอยู่ระหว่าง 5.0-5.5 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งตำรับทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นได้ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำสูงกว่าตำรับที่เหลือซึ่งได้แก่ ตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว อัตรา 1,000

กิโกรัมต่อไร่ (F2) การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F5) และการไม่ใส่ปุ๋ย (F1) ซึ่งได้ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำเฉลี่ยอยู่ในพิสัย 1.8-3.9 กิโลกรัมต่อไร่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 21 และตารางผนวกที่ 10)

ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553 พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) มีผลผลิตน้ำมันสบู่ดำสูงสุดเท่ากับ 12.5 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F7) และ การใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัม (F4) ซึ่งมีผลผลิตน้ำมันสบู่ดำเท่ากันคือ 9.9 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการใส่ปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียวในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F2) และการไม่ใส่ปุ๋ย (F1) ซึ่งได้ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำเท่ากับ 6.8 และ 3.7 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ปริมาณข้างต้นต่ำกว่าปริมาณผลผลิตน้ำมันสบู่ดำในตำรับอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 21 และตารางผนวกที่ 10)

ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำรวม พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยที่การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) ได้ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำมากที่สุดเท่ากับ 73.1 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าการใส่ปุ๋ยตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (F6) ถึงแม้ว่าจะได้ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำต่ำกว่าตำรับที่ใส่ปุ๋ยนี้ร่วมกับปุ๋ยหมักก็ตาม แต่ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำ (58.6 กิโลกรัมต่อไร่) ที่ได้จากตำรับนี้ ยังคงสูงกว่าตำรับที่มีการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F5) และการไม่ใส่ปุ๋ย (F1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (39.7 และ 24.5 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ) สำหรับในตำรับการใส่ปุ๋ยที่เหลือได้ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำค่อนข้างใกล้เคียงกัน และเช่นกัน ปริมาณผลผลิตน้ำมันสบู่ดำที่ได้ก็สูงกว่าตำรับที่ไม่มีมีการใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 22) การที่ผลผลิตน้ำมันในตำรับที่ไม่มีมีการใส่ปุ๋ยต่ำกว่าตำรับอื่นที่มีมีการใส่ปุ๋ยอย่างเด่นชัด น่าจะเป็นผลมาจากร้อยละของปริมาณน้ำมันสบู่ดำในเมล็ดซึ่งมีค่าต่ำมาก แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลของปุ๋ยมีผลต่อการสร้างน้ำมันสะสมในเมล็ดของสบู่ดำ เพราะฉะนั้น หากต้องการปลูกสบู่ดำเพื่อหวังผลผลิตน้ำมัน โดยการปลูกแบบไม่มีการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม ก็มี

แนวโน้มว่าจะได้ผลผลิตน้ำเมล็ดในระดับหนึ่ง แต่เมื่อนำไปสกัดน้ำมันเพื่อใช้ประโยชน์ก็จะได้น้ำมันสบู่ออกมาที่ปลูกในปริมาณต่ำ

เมื่อพิจารณาจากปริมาณธาตุปุ๋ยที่ใส่ให้กับสบู่ออกในแต่ละครั้งการทดลอง (ตารางที่ 6) จะสังเกตได้ว่า คำรับที่มีการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหมักในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (F8) สบู่ออกได้รับไนโตรเจนเท่ากับ 9.12 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งน้อยกว่าคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F4) (15 กิโลกรัม N ต่อไร่) และคำรับที่ใส่ปุ๋ยสูตรดังกล่าวร่วมกับปุ๋ยหมัก (F5) (12.62 กิโลกรัม N ต่อไร่) แสดงให้เห็นว่า การปลูกสบู่ออกโดยใช้ระยะปลูก 2 x 2 เมตร ซึ่งมีจำนวนต้นเท่ากับ 400 ต้นต่อไร่ ปริมาณไนโตรเจนที่เพียงพอจะอยู่ในระดับประมาณไม่เกิน 10 กิโลกรัม N ต่อไร่ หรือเท่ากับ 25 กรัม N ต่อต้น เนื่องจากการใส่ในปริมาณดังกล่าวให้ผลผลิตน้ำมันสบู่ออกสูงสุด ซึ่งสูงกว่าผลผลิตน้ำมันสบู่ออกในคำรับที่มีการใส่ไนโตรเจนในปริมาณที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ทั้งนี้ การใส่ปุ๋ยมากเกินไป ไม่ได้หมายความว่า จะทำให้สบู่ออกผลิตเมล็ดได้ในปริมาณมาก แต่ในทางตรงกันข้าม จะมีผลทำให้พืชสร้างชีวมวลส่วนเหนือดิน หรือเจริญเติบโตทางเรือนยอดมากกว่า โดยเฉพาะเมื่อปลูกสภาพที่ดินมีความชื้นเพียงพออยู่ตลอดเวลา (Achten *et al.*, 2008)

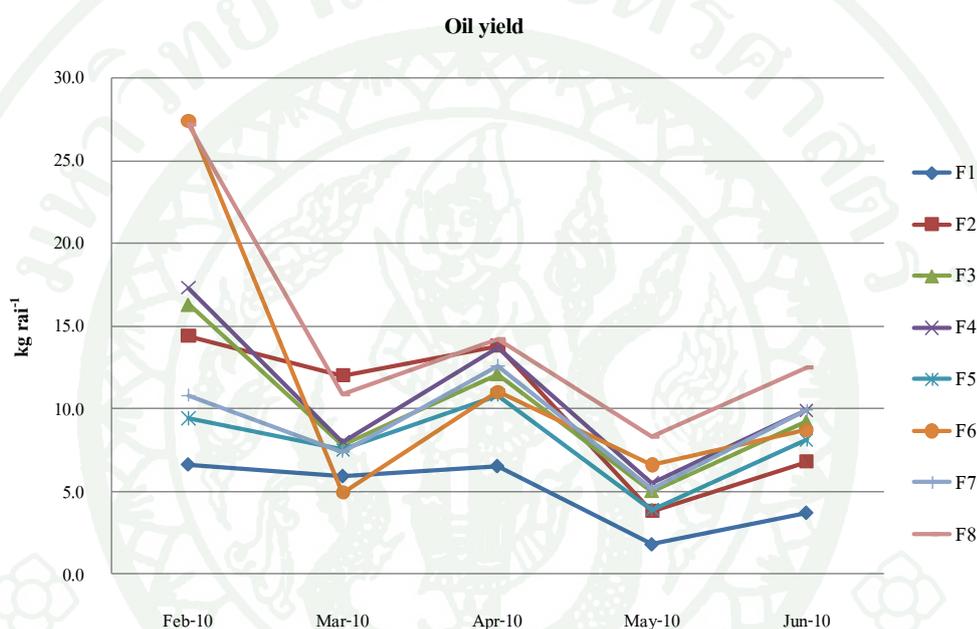
สำหรับในกรณีของฟอสฟอรัส การให้ธาตุปุ๋ยนี้ในอัตราสูงถึง 24 กิโลกรัม P ต่อไร่ ดังเช่นคำรับที่มีการใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ (F7) ไม่แสดงให้เห็นว่าสบู่ออกตอบสนองในเชิงบวกเมื่อพิจารณาจากผลผลิตน้ำมัน และเป็นที่น่าสังเกตว่า การให้ฟอสฟอรัสในอัตราดังกล่าว สบู่ออกมีแนวโน้มสร้างเปลือกเมล็ดในสัดส่วนที่สูงกว่าคำรับอื่น ๆ ที่มีการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสน้อยกว่า (ภาพที่ 13) ขณะที่แนวโน้มที่จะสร้างเนื้อในเมล็ดน้อยกว่า (ภาพที่ 14) เพราะโดยเฉลี่ยแล้วเปลือกเมล็ดจะมีน้ำมันสบู่ออกอยู่เพียงร้อยละ 1.17 โดยน้ำหนัก (Foidl *et al.*, 1996; Hillel, 1996; Makkar *et al.*, 1997; Rivera-Locra *et al.*, 1997; Openshaw *et al.*, 2000; Ginwal *et al.*, 2004) เพราะฉะนั้น ถึงแม้ว่าจะได้ผลผลิตเมล็ดสูงในระดับหนึ่ง แต่ส่วนที่จะสามารถสกัดน้ำมันได้ในปริมาณมากกว่ากลับมีน้อยกว่า จากผลการศึกษาข้างต้นจึงคาดว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่ใส่ให้แก่สบู่ออกในรูปปุ๋ยควรต่ำกว่า 60 กรัม P ต่อต้น นอกจากนี้ จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ปริมาณการใส่ปุ๋ยในระดับที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตของสบู่ออก โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน และฟอสฟอรัสมีความแตกต่างกันตามอายุของสบู่ออก (Patolia *et al.*, 2007a)

ส่วนโพแทสเซียม การใส่ในปริมาณมากหรือน้อยอาจจะไม่มีผลต่อการให้ผลผลิตมากเท่ากับ 2 ธาตุแรก เนื่องจากการทดลองนี้ เมื่อพิจารณาจากค่ารับ F2-F6 ปริมาณที่ให้แปรผันตั้งแต่ 0.93-24.00 กิโลกรัม K ต่อไร่ แต่ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำที่ได้เมื่อใส่โพแทสเซียมอัตรา 0.93 กิโลกรัม ต่อไร่ (F2) ไม่แตกต่างกับการใส่ในปริมาณ 24 กิโลกรัม K ต่อไร่ (F7) แต่อย่างไรก็ตาม ขณะที่การใส่โพแทสเซียมในปริมาณสูงก็ไม่แน่ว่าจะมีผลทางลบต่อการให้ผลผลิตเนื่องจาก ธาตุนี้พืชสามารถดูดใช้ได้เกินพอ (luxury uptake) (Havlin *et al.*, 2005; Brady and Weil, 2008) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากดินบริเวณที่ใช้ทำการทดลองที่ความลึกระหว่าง 0-40 เซนติเมตรมีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (76.2-108.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) จึงมีความเป็นไปได้ว่าในปีแรกของการเจริญเติบโต การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในปริมาณที่ไม่สูงมากนักก็จะเพียงพอต่อความต้องการของสบู่ดำ แต่เมื่อสบู่ดำมีอายุมากขึ้น ระบบรากน่าจะลึกเกินกว่า 40 เซนติเมตร ปริมาณปุ๋ยโพแทสเซียมอาจจะต้องพิจารณาใหม่ เนื่องจากรากหาอาหารของพืชจะอยู่ในบริเวณ ชั้นความลึกดินที่มีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในปริมาณต่ำ (52.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และเมื่อพิจารณาจากการสูญเสียธาตุอาหารไปกับผลผลิตเมล็ดสบู่ดำจำนวน 1 ต้นต่อพื้นที่ 1 เฮกตาร์ (Jongschaap *et al.*, 2007) ซึ่งประกอบด้วยไนโตรเจน 14.3-34.3 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 0.7-7.0 กิโลกรัม และโพแทสเซียม 14.3-31.6 กิโลกรัม แสดงให้เห็นว่า ต้องมีการปรับเปลี่ยนปริมาณการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และโพแทสเซียมตามอายุของสบู่ดำที่เพิ่มมากขึ้น สำหรับในกรณีของฟอสฟอรัสขึ้นอยู่กับการตกค้างของธาตุนี้ในดิน เนื่องจากเป็นธาตุปุ๋ยที่ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ง่าย โดยเฉพาะในกรณีของการศึกษานี้ที่ดินบนเป็นกรดจัดมากถึงกรดจัด (pH 4.9-5.1) และปริมาณที่สูญเสียไปกับผลผลิตก็น้อยกว่าในโตรเจน และโพแทสเซียมค่อนข้างมาก

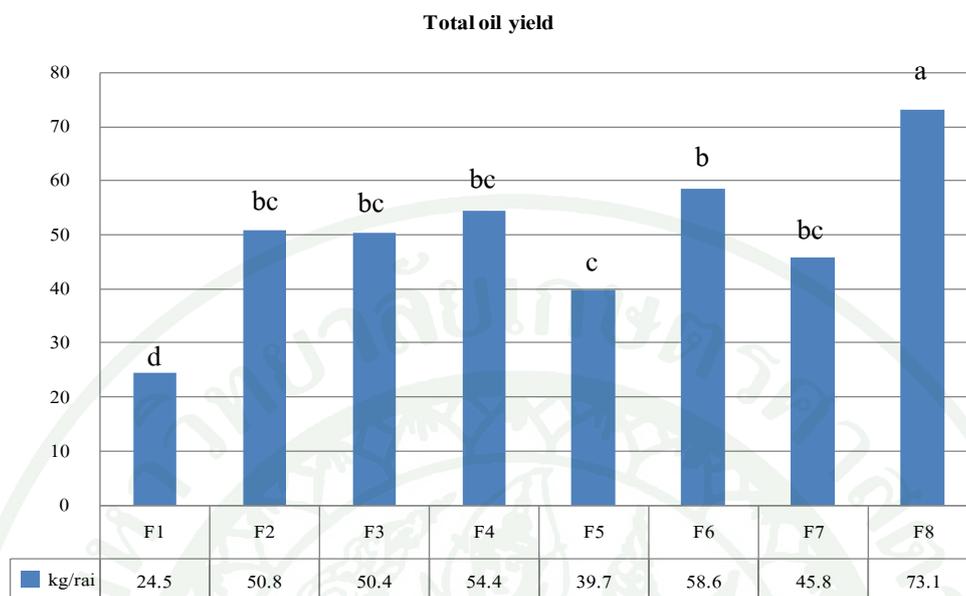
สำหรับแคลเซียม และแมกนีเซียมที่สบู่ดำได้รับเพิ่มเติมในค่ารับที่มีการใส่ปุ๋ยหมักไม่มีผลชัดเจนต่อการให้ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำ ถึงแม้ว่า ดินที่ใช้ปลูกสบู่ดำนี้มีปริมาณธาตุทั้งสองอยู่ในระดับต่ำก็ตาม ทั้งนี้ สามารถพิจารณาได้จาก ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำที่ได้รับ ซึ่งพบว่า ค่ารับ F5 ซึ่งได้รับธาตุทั้งสองเพิ่มเติม (0.52 และ 0.29 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ) ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำไม่ได้สูงกว่าค่ารับอื่นที่ไม่ได้รับปุ๋ยทั้งสองแต่อย่างใด

สำหรับกรณีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้ปุ๋ยหมักในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ (ค่ารับ F2, F5 และ F8) พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถให้ธาตุอาหารแก่พืชได้อย่างเพียงพอ เมื่อพิจารณาจากผลผลิตน้ำมันสบู่ดำต่อไร่ ถึงแม้ว่าจะมีรายงานว่า สบู่ดำที่ปลูก

ในดินเสื่อมโทรมจะตอบสนองต่อปุ๋ยคอกได้ดีกว่าปุ๋ยเคมีก็ตาม (Fredriksson *et al.*, 2006) แต่การใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะปุ๋ยสูตร 8-24-24 (F8) ให้ผลดีที่สุด สำหรับในกรณีของการใส่ร่วมกับปุ๋ยสูตร 15-15-15 การให้ผลผลิตของสบู่ดำไม่เป็นที่น่าพึงพอใจ เพราะได้ผลผลิตต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างคาร์บที่มีการใส่ปุ๋ยทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตของสบู่ดำไม่ควรเป็นสูตรเสมอ



ภาพที่ 20 ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำรายเดือนตามคาร์บการทดลอง



หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่อักษรเหมือนกันไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์
โดยวิธี DMRT

ภาพที่ 21 ผลผลิตรวมน้ำมันสับดูดำในรอบปีตามตำรับการทดลอง

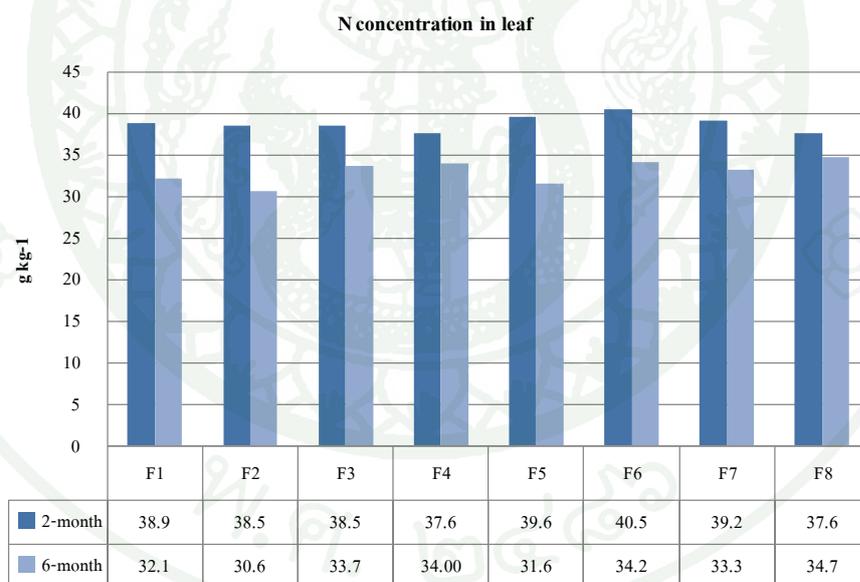
5. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโบและเมล็ดสับดูดำกับรูปแบบการจัดการปุ๋ย

5.1 ความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโบพืช

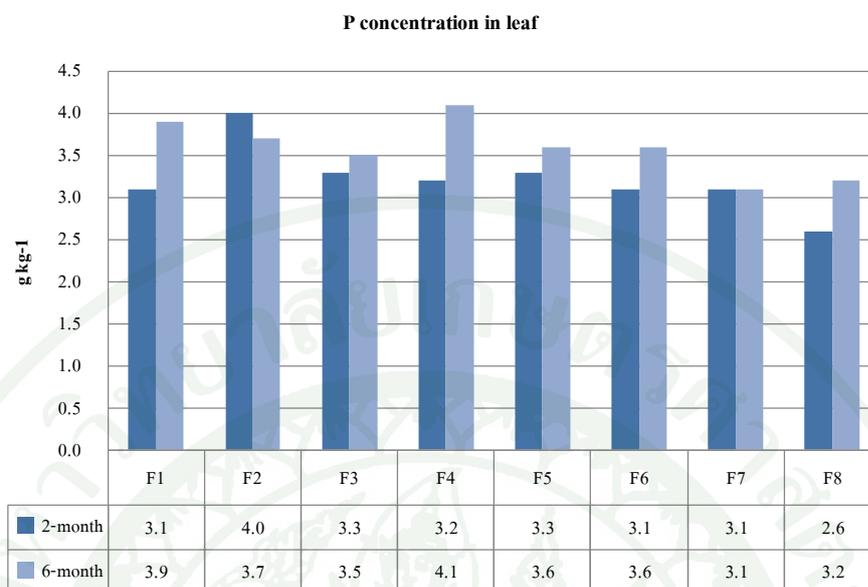
ข้อมูลด้านความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโบสับดูดำยังมีไม่มากนัก จากรายงานของ Jongchaap *et al.* (2007) ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ พบว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนไนโบสับดูดำอยู่ในพิสัย 12.3-64.0 กรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมอยู่ในพิสัย 1.5-3.4 และ 9.0-37.7 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นของธาตุอาหารรองอยู่ในพิสัย 6.1-50.4, 4.9-20.2 และ 1.2-2.5 กรัมต่อกิโลกรัม สำหรับแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันตามลำดับ ส่วนจุลธาตุอาหารซึ่งได้แก่ สังกะสี เหล็ก ทองแดง และแมงกานีสมีค่าอยู่ในพิสัย 9-28, 168-245, 5-17 และ 39-211 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Mattana *et al.*, 2005; Chaudhary *et al.*, 2007; Douradao *et al.*, 2007; Wan *et al.*, 2007)

ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบสบู่ดำซึ่งทำการเก็บตัวอย่างที่อายุ 2 เดือนและ 6 เดือน พบอยู่ในพิสัย 38.9-40.5 กรัมต่อกิโลกรัมสำหรับสบู่ดำอายุ 2 เดือน ส่วนเดือนที่ 6 หลังปลูกพบว่า อยู่ในพิสัย 30.6-34.7 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 22) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ พบว่า ในระยะแรกของการเจริญเติบโตสบู่ดำมีปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบสูงกว่าในระยะที่เริ่มออกดอกออกผล ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในพิสัยที่มีการศึกษามา

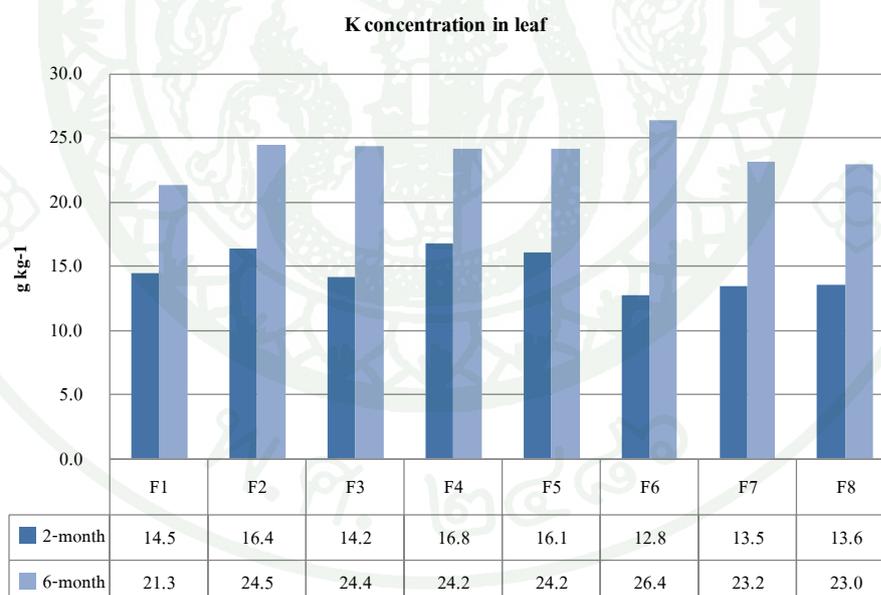
ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบสบู่ดำที่อายุ 2 และ 6 เดือน อยู่ในพิสัย 3.1-4.0 และ 3.1-4.1 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 23) โดยพบว่า ความเข้มข้นของธาตุนี้ในใบสบู่ดำที่อายุมากกว่าจะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อย และความเข้มข้นส่วนใหญ่จะสูงกว่าที่มีการศึกษามา ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบสบู่ดำอายุ 2 เดือนมีค่าอยู่ในพิสัย 12.8-16.8 กรัมต่อกิโลกรัม และที่อายุ 6 เดือนอยู่ในพิสัย 21.3-26.4 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 24) ซึ่งอยู่ในพิสัยที่มีการรายงานมา



ภาพที่ 22 ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบสบู่ดำอายุ 2 และ 6 เดือน



ภาพที่ 23 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบสับค้ำอายุ 2 และ 6 เดือน

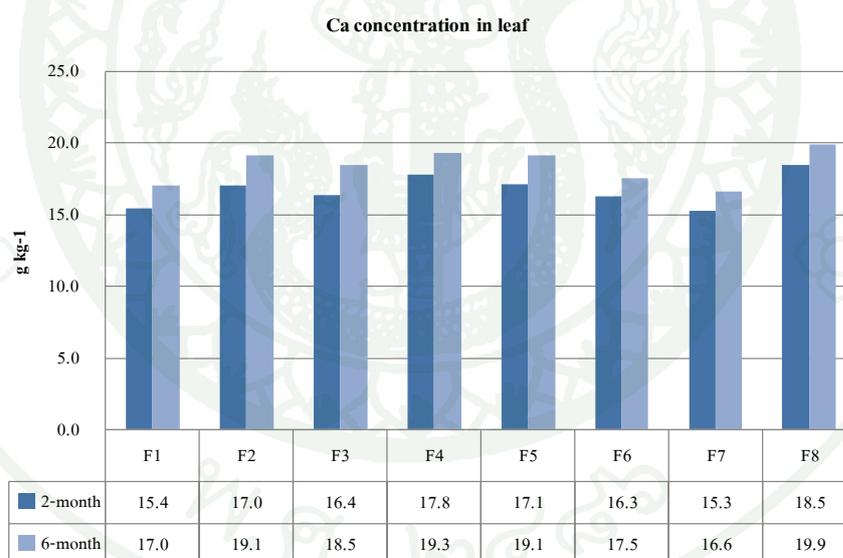


ภาพที่ 24 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบสับค้ำอายุ 2 และ 6 เดือน

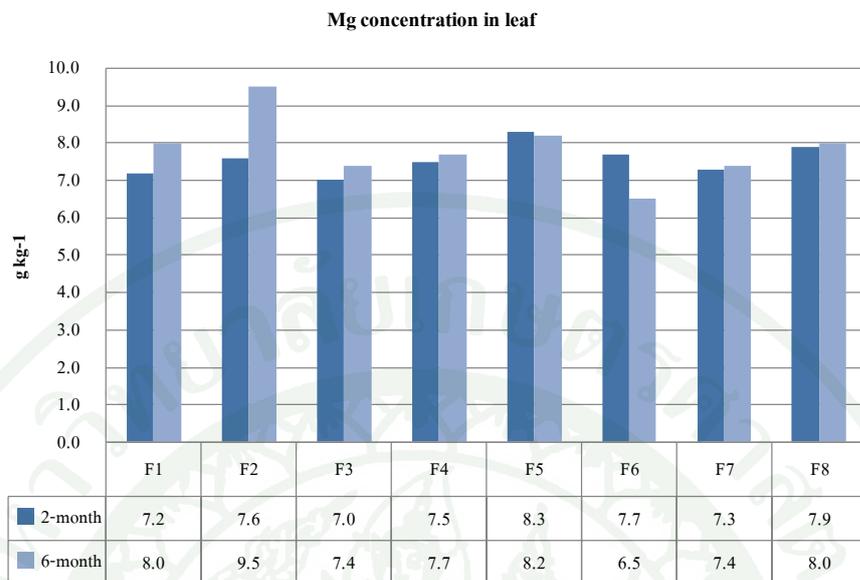
ความเข้มข้นของธาตุอาหารรอง พบว่า แคลเซียมมีความเข้มข้นสูงสุด รองลงมาได้แก่ แมกนีเซียม และกำมะถันตามลำดับ โดยที่แคลเซียมมีความเข้มข้นอยู่ในพิสัย 15.3-18.5 กรัมต่อกิโลกรัม สำหรับตัวอย่างใบสับค้ำอายุ 2 เดือน และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อสับค้ำมีอายุ 6 เดือน

(17.0-19.9 กรัมต่อกิโลกรัม) (ภาพที่ 25) ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบอายุ 2 เดือนอยู่ในพิสัย 7.0-8.3 กรัมต่อกิโลกรัม และพิสัย 6.5-9.5 กรัมต่อกิโลกรัมในใบสับุดำอายุ 6 เดือน (ภาพที่ 26) ส่วนความเข้มข้นของกำมะถัน พบว่าอยู่ในพิสัย 0.8-1.2 และ 0.9-1.3 กรัมต่อกิโลกรัมสำหรับใบสับุดำที่มีอายุ 2 และ 6 เดือน ตามลำดับ (ภาพที่ 27) ความเข้มข้นของธาตุอาหารรองทั้งสาม พบว่า ส่วนใหญ่มีปริมาณต่ำกว่าความเข้มข้นที่ได้มีรายงานมาทั้งสิ้น

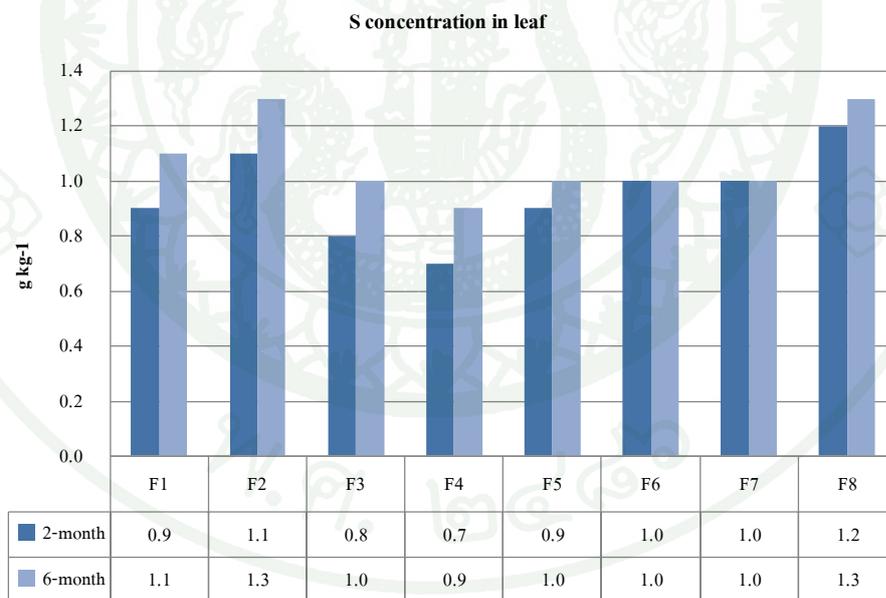
ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารพืชในใบสับุดำซึ่งได้แก่ ทองแดง ไม่แตกต่างจากค่าที่มีการรายงานมา (ภาพที่ 28) เช่นเดียวกับเหล็กในใบสับุดำอายุ 6 เดือน แต่ที่อายุ 2 เดือน ความเข้มข้นของเหล็กในใบสับุดำอยู่ต่ำกว่าพิสัยที่ได้มีรายงานมา (ภาพที่ 29) สังกะสีมีความเข้มข้นใกล้เคียงกับที่รายงานมา (ภาพที่ 30) และแมงกานีสในใบสับุดำทั้งสองช่วงอายุ พบว่ามีค่าความเข้มข้นสูงกว่าที่มีรายงานมาก่อนข้างมาก (ภาพที่ 31) อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของธาตุอาหารทั้งหมดดังที่ได้กล่าวมาไม่มีความแตกต่างกันระหว่างดำรับการทดลอง



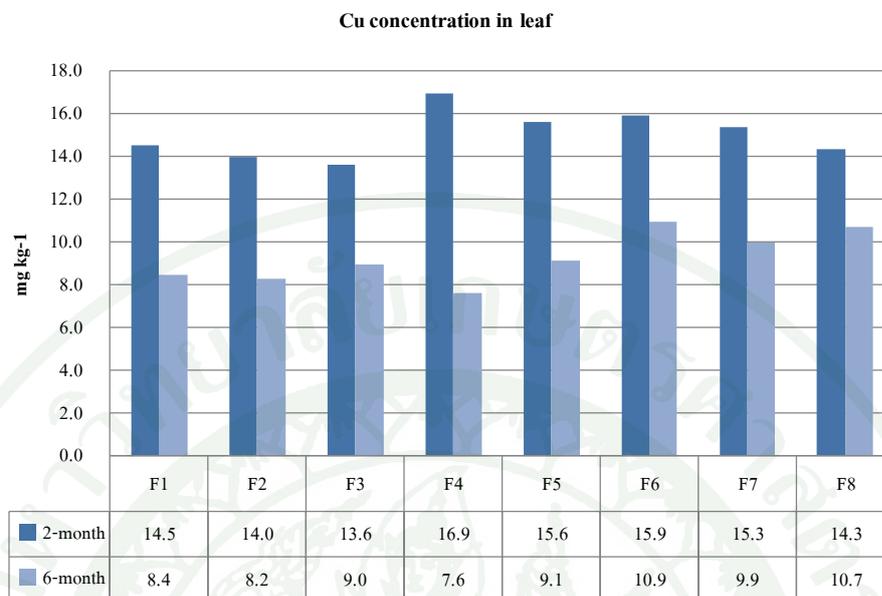
ภาพที่ 25 ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบสับุดำอายุ 2 และ 6 เดือน



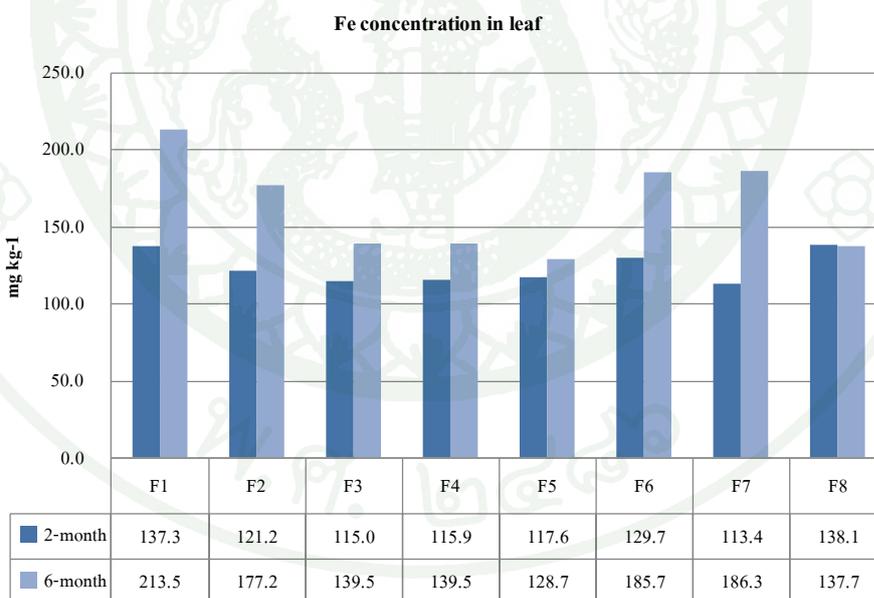
ภาพที่ 26 ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบสับจ้ออายุ 2 และ 6 เดือน



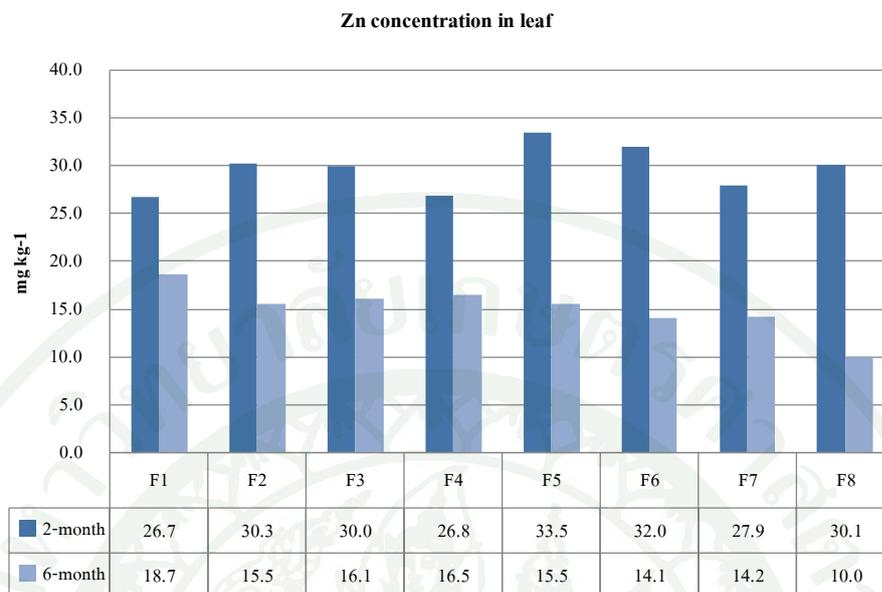
ภาพที่ 27 ความเข้มข้นของกำมะถันในใบสับจ้ออายุ 2 และ 6 เดือน



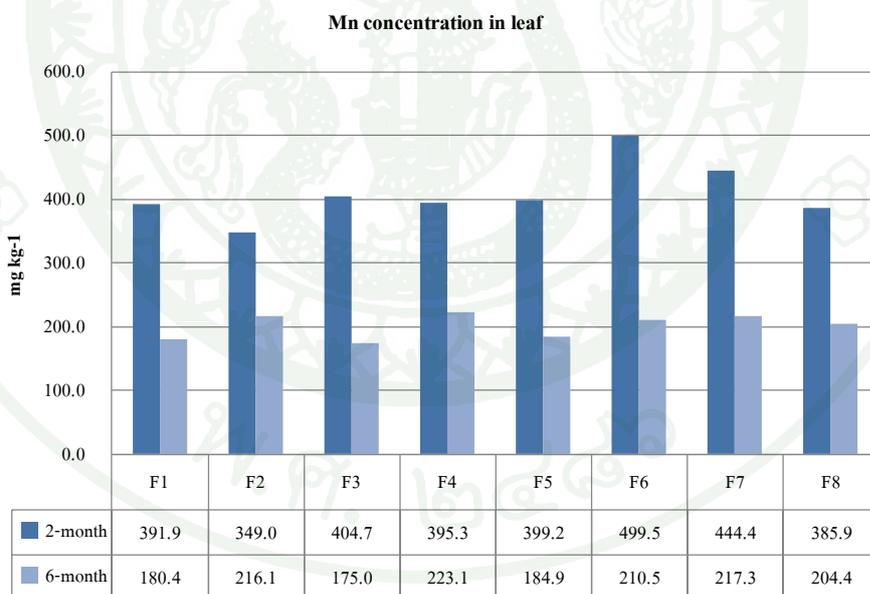
ภาพที่ 28 ความเข้มข้นของทองแดงในใบสนุ่นดำอายุ 2 และ 6 เดือน



ภาพที่ 29 ความเข้มข้นของเหล็กในใบสนุ่นดำอายุ 2 และ 6 เดือน



ภาพที่ 30 ความเข้มข้นของสังกะสีในใบสับุดำอายุ 2 และ 6 เดือน

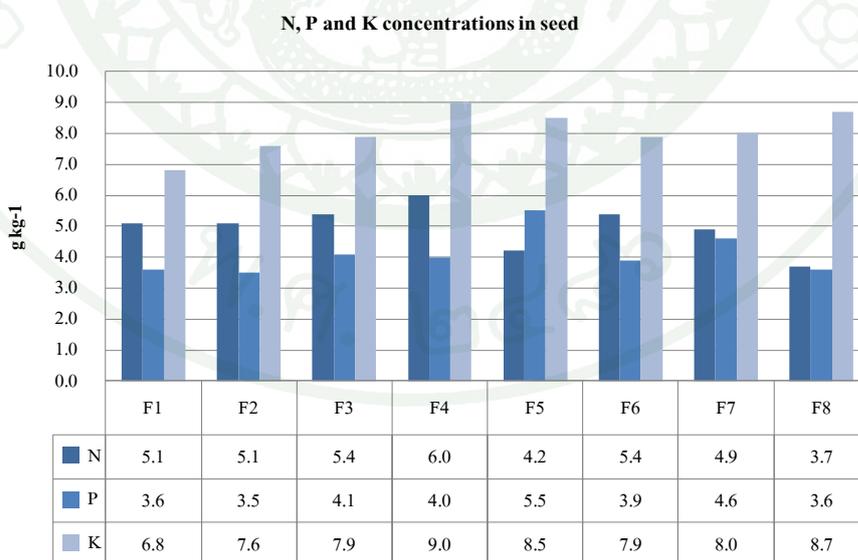


ภาพที่ 31 ความเข้มข้นของแมงกานีสในใบสับุดำอายุ 2 และ 6 เดือน

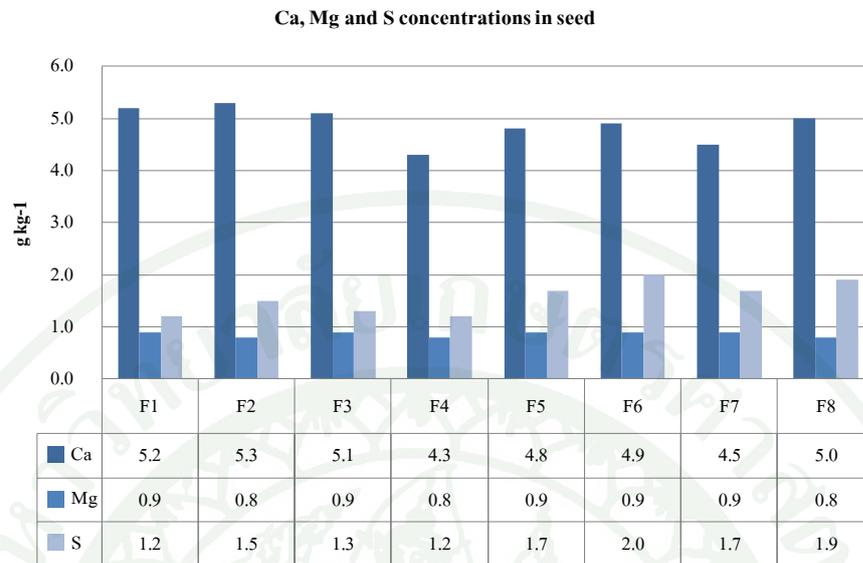
5.2 ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเมล็ด

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเมล็ดสบู่ดำที่พบว่ามียางานมีเพียงความเข้มข้นของ ฟอสฟอรัสที่มีค่าเท่ากับ 3.1 กรัมต่อกิโลกรัม (Jones and Miller, 1992) สำหรับผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเมล็ดสบู่ดำที่ได้จากการศึกษานี้ พบว่า ไม่มีความแตกต่างในแต่ละตำรับการทดลอง โดยความเข้มข้นของไนโตรเจนอยู่ในพิสัย 3.7-6.0 กรัมต่อกิโลกรัม ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสอยู่ในพิสัย 3.5-5.5 กรัมต่อกิโลกรัม ความเข้มข้นของโพแทสเซียมอยู่ในพิสัย 6.8-9.0 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 32 และตารางผนวกที่ 15) ความเข้มข้นของแคลเซียมอยู่ในพิสัย 0.43-0.53 กรัมต่อกิโลกรัม แมกนีเซียมอยู่ในพิสัย 0.08-0.09 กรัมต่อกิโลกรัม และกำมะถันอยู่ในพิสัย 1.2-2.0 กรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 33 และตารางผนวกที่ 15)

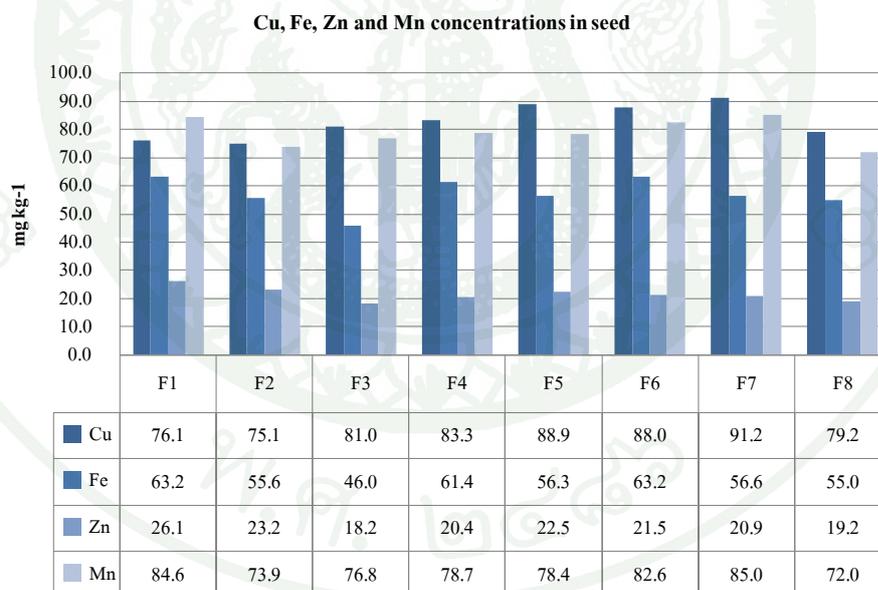
ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในผลสบู่ดำ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน โดยที่ความเข้มข้นของทองแดง อยู่ในพิสัย 75.1-91.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความเข้มข้นของเหล็ก อยู่ในพิสัย 46.0-63.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ความเข้มข้นของสังกะสีอยู่ในพิสัย 18.2-26.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนความเข้มข้นของแมงกานีส พบว่า อยู่ในพิสัย 72.0-84.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 34 และตารางผนวกที่ 16)



ภาพที่ 32 ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในเมล็ดสบู่ดำ



ภาพที่ 33 ความเข้มข้นของแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันในเมล็ดสบู่ดำ



ภาพที่ 34 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในเมล็ดสบู่ดำ

จากการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบ และเมล็ดสบู่ดำกับรูปแบบการจัดการปุ๋ยธาตุ พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันแต่อย่างใด เนื่องจากความเข้มข้นในใบและผลสบู่ดำจัดว่าอยู่ในพิสัยที่กว้างและไม่แน่นอน (Patolia *et al.* 2007a) ขณะที่

อัตราการเจริญเติบโต หรือขนาด และปริมาณใบในแต่ละต้นพืชก็มีผลต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารเช่นกัน ดังนั้น การแสดงรายละเอียดความเข้มข้นของธาตุอาหารทั้งในกรณีใบ และพืช จึงแสดงไว้เพื่อใช้สำหรับการอ้างอิงในอนาคตเท่านั้น



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. สบู่ดำพันธุ์ KUBP-98 ที่ปลูกด้วยเมล็ดเริ่มออกดอกประมาณ 4 เดือนหลังหยอดเมล็ด และเริ่มติดผลในเดือนถัดไป โดยมีปริมาณช่อดอกเพิ่มมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง จนกระทั่งมีปริมาณสูงสุดในเดือนเมษายน (มีการให้น้ำชลประทานแบบน้ำหยดตลอดฤดูแล้ง) และลดลงมากเมื่อเข้าสู่ฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม) ส่วนปริมาณช่อดอกที่ติดผลมีจำนวนสูงสุดในเดือนมีนาคม และค่อย ๆ ลดลงในเดือนพฤษภาคม และมิถุนายน

2. การใส่ปุ๋ยทุกรูปแบบทำให้จำนวนเมล็ดต่อผลสบู่ดำ น้ำหนัก 100 เมล็ดสบู่ดำเฉลี่ยที่ความชื้นร้อยละ 15 ผลผลิตรวมในรอบปีของเมล็ดสบู่ดำที่ความชื้นร้อยละ 15 ปริมาณน้ำมันในเมล็ดสบู่ดำ ร้อยละ โดยน้ำหนักของน้ำมันในเนื้อในเมล็ดสบู่ดำ และผลผลิตรวมน้ำมันสบู่ดำในรอบปีสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย

3. การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่มีแนวโน้มทำให้ได้ผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15 สูงสุด และทำให้ได้ผลผลิตน้ำมันสูงสุด ขณะที่การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ได้ผลผลิตเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15 ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่

4. การใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตราต่ำทำให้ได้ผลผลิตน้ำมันสบู่ดำต่อพื้นที่ไม่แตกต่างกับการใส่ในอัตราสูง ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ทั้งสองอัตรา ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ร่วมกับปุ๋ยหมัก และปุ๋ยหมักเพียงอย่างเดียว

5. การจัดการปุ๋ยรูปแบบต่าง ๆ ไม่มีผลทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหารในใบที่อายุ 2 และ 6 เดือน และในเมล็ดแตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

การปลูกสบู่ดำในปัจจุบันมีความตื่นตัวกันมากขึ้นและจากการทดลองแนะนำการจัดการปุ๋ยเพื่อการปลูกสบู่ดำเบื้องต้นควรใส่ปุ๋ยสูตร 8-24-24 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยหมักอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่หากต้องการผลผลิตสูงสุดในปีแรกของการปลูก แต่การใส่ปุ๋ยเคมีสูตรและอัตราดังกล่าวโดยไม่ใส่ปุ๋ยหมักร่วมจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจมากกว่าเนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับปุ๋ยหมัก

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการให้ผลผลิตของสบู่ดำต่อรูปแบบเรื่องการจัดการปุ๋ยเบื้องต้น และมีการให้น้ำชลประทานร่วมในช่วงฤดูแล้ง เพราะฉะนั้นหากปลูกในสภาพที่ไม่มี การจัดการน้ำชลประทาน ลักษณะการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต และการตอบสนองต่อรูปแบบ การจัดการปุ๋ยจะมีความแตกต่างกันออกไป ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมภายใต้สภาพน้ำฝน ตามธรรมชาติ และหากปลูกในดินที่มีลักษณะและสมบัติที่แตกต่างออกไปปริมาณปุ๋ยที่ใช้ก็ควรมี การปรับเปลี่ยนเช่นกัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2551. **คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์**. กลุ่มงานวิจัยเกษตรเคมี สำนักวิจัยและพัฒนา
ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ

โกศล เจริญสม. 2549. **การสำรวจศัตรูพืชและศัตรูธรรมชาติของสับด้า**.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จร สดากร. 2527. สับด้าพืชศัภยภาพสูงเพื่อพลังงานทดแทนของประเทศไทย. **วิชาการเกษตร** 2: 67-
72.

จำป็น อ่อนทอง. 2545. **คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช**. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะ
ทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2529. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. เอกสารประกอบการสอน. ภาควิชา
ปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทวีศักดิ์ อุ่ณจิตติกุล. 2548. **สับด้า พืชพลังงานสารพัดประโยชน์**. บริษัท วศิระ จำกัด, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และ จงรักย์ จันทร์เจริญสุข. 2542. **แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการ การ
วิเคราะห์ดินและพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และ ประทีป วีระพัฒนนิรันดร์. 2554. **ธรรมชาติของดินและปุ๋ย**. พิมพ์ครั้งที่
10. หจก. กร ศรีเอชัน, กรุงเทพฯ

นิพนธ์ วิสารทานนท์. 2550. โรคของต้นสับดูดำ, น. 41-48. ใน **โครงการสัมมนาวิชาการ เรื่อง “การประชุมวิชาการสับดูดำแห่งชาติครั้งที่ 1”**. โครงการศูนย์ไบโอดีเซล. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิรนาม. 2526. **คำแนะนำเกี่ยวกับการปลูกสับดูดำ**. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

_____. 2548ก. **สับดูดำ: จากพืชพื้นบ้านสู่พืชพลังงานทดแทนน้ำมัน**. มองเศรษฐกิจ ปีที่ 11 ฉบับที่ 1628, 21 เมษายน 2548.

_____. 2548ข. **สับดูดำ: จากพืชพื้นบ้านสู่พืชพลังงานทดแทนน้ำมัน**. แหล่งที่มา: <http://www.positionmag.com/prnews/prnews.aspx?id=31902>, 23 พฤษภาคม 2548

_____. 2549. **“สับดูดำ” พืชพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล**. แหล่งที่มา: [http:// www. kasetonline. com/plant.asp.htm](http://www.kasetonline.com/plant.asp.htm), 13 กุมภาพันธ์ 2549

นงคราญ กาญจนประเสริฐ. 2529. **การศึกษาลักษณะวินิจฉัยที่สำคัญในการพัฒนาการของดินและศักยภาพของดินอัลฟิโซลล์ บริเวณลุ่มน้ำแม่กลอง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พิสิษฐ์ เสพสวัสดิ์, ชีรเดช เจริญรักษ์, วรจิต ผาภูมิ และ ปัญญา บุญญถาวร. 2529. **การสำรวจแมลงศัตรู และการป้องกันกำจัดเพลี้ยหอยสับดูดำ**, น. 124-128. ใน **รายงานผลการค้นคว้าและวิจัย ปี 2529**. กลุ่มงานวิจัยแมลงศัตรูพืชน้ำมัน กองกสิกรรมและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

เดือนจิตต์ ตัทยาวิรุทธ์ และ พิสิษฐ์ เสพสวัสดิ์. 2525. **แมลงศัตรูสับดูดำ**. **ข่าวกสิกรรมและสัตววิทยา 4 (4): 25-27.**

เดือนจิตต์ สัตยาวิรุทธิ์, วรจิต ผาภูมิ, พิสิษฐ์ เสพสวัสดิ์, ศรีสมร พิทักษ์, เรณู สุวรรณพรสกุล และ ปัญญา บุญญถาวร. 2525. การสำรวจและรวบรวมแมลงศัตรูสับดูดำ, น. 17-20. ใน รายงานผลการค้นคว้าและวิจัยปี 2525. สาขาแมลงศัตรูพืชน้ำมัน กองกัญและสัตววิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ภาณี ทองพ่านัก, สมบัติ ชินะวงศ์, วิฑูรย์ ใจผ่อง และกำไร เรียนหัตถกรรม. 2550. อิทธิพลของ ช่วงเวลาที่เหมาะสมของการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์สับดูดำ, น. 136-140. ใน โครงการสัมมนาวิชาการ เรื่อง “การประชุมวิชาการสับดูดำแห่งชาติครั้งที่ 1”. โครงการเค ยูไปโอดีเซล. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ

ขงยุทธ โอสถสภา. 2552. ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ระพีพันธ์ ภาสบุตร และ สุขสันต์ สิทธิผลไพบุลย์. 2525. ผลการวิจัยค้นคว้าการใช้ไขมันสับดูดำ เป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล, น. 11-14. ใน การใช้ไขมันสับดูดำเดินเครื่องยนต์ ดีเซล. กองเกษตรเคมีและกองวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ระพีพันธ์ ภาสบุตร, สุขสันต์ สุขธิผลไพบุลย์, ไพจิตร จันทรวงศ์, วีระศักดิ์ อนันบุตร, มาลี ประภาวัต, วิไล กาญจนภูมิ และ อรวรรณ หวังศิธรรม. 2525. เดินเครื่องด้วยน้ำมัน "สับดูดำ".

ลิลี่ กาวิตะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และ สุริยา ตันติวิวัฒน์. 2549. สรีระวิทยาของพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิฑูรย์ ใจผ่อง. 2551. ศึกษารูปแบบวิธีการปลูกและระยะปลูกที่เหมาะสมที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของสับดูดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุขสันต์ สุทธิผลไพบุลย์ และระพีพันธุ์ ภาสบุตร. (ไม่ระบุปีพิมพ์). **ประวัติสบู่ดำพลังงานทดแทน น้ำมัน ดีเซลและเบนซิน.** เอกสารโรเนียว

สถาบันวิจัยพืชไร่. 2547. **พืชไร่ พืชพลังงานยุคใหม่.** เอกสารเผยแพร่. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ

สำนักงานเกษตรจังหวัดสกลนคร. 2548. **"สบู่ดำ" พืชพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล.** แหล่งที่มา : [http : // www.sakonnakhon.doae.go.th/nanasarab. htm](http://www.sakonnakhon.doae.go.th/nanasarab.htm), 13 มิถุนายน 2548.

สมบัติ ชินะวงศ์. 2548. **ไบโอดีเซลและโอกาสของสบู่ดำ.** น.26-34. ใน **เอกสารการสัมมนาวิชาการ.** บริษัทมติชน จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

สมบัติ ชินะวงศ์. 2549. **สบู่ดำ การปลูกและการสร้างมูลค่าเพิ่มจากผลพลอยได้.** สำนักส่งเสริมและฝึกอบรมกำแพงแสน, นครปฐม.

ศูนย์วิจัยพืชไร่นครราชสีมา. 2548. **เอกสารคำแนะนำการปลูกสบู่ดำ.** สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 4 กรมวิชาการเกษตร, นครราชสีมา.

ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพทางการเกษตรจังหวัดชัยนาท. 2548. **สบู่ดำ.** แหล่งที่มา : [http : // www.aopdmo1.doae.go.th/data/physicnut21.htm](http://www.aopdmo1.doae.go.th/data/physicnut21.htm), 27 เมษายน 2548.

ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพทางการเกษตรจังหวัดพิษณุโลก. 2548. **น้ำมันสบู่ดำพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล.** แหล่งที่มา : [http ://www.aopdmo2 doae.go.th/black%20 oil%201.htm](http://www.aopdmo2.doae.go.th/black%20oil%201.htm), 27 เมษายน 2548.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2544. **การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช.** ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เอิบ เขียวรัตน์รณณ์. 2547. **บทปฏิบัติการ การสำรวจดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. **การสำรวจดิน: มโนทัศน์ หลักการและเทคนิค**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

Abdrabbo A., A. Kheiraa and N. M.M. Atta. 2009. Response of *Jatropha curcas* L. to water deficits: yield, water use efficiency and oilseed characteristics. **Biomass and Bioenergy** 33(10): 1343-1350.

Achten W., L. Verchot, Y.J. Franthijs, V.P. Singh, R. Aerts and B. Muys. 2008. *Jatropha* bio-diesel product and use. **Biomass and Bioenergy** 32: 1063-1084.

Achten, W., E. Mathijs, L. Verchot, V.P. Singh and B. Muys. 2007. Bio-diesel from *Jatropha*: The Life-cycle Perspective. **Paper presented with Expert Seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and Genetics**, March 26-28, 2007. FACT Foundation, Wageningen, the Netherlands.

Anonemous. 2005. **The Potential of *Jatropha curcas* in Rural Development and Environment Protection an Exploration**. Source: [http://www.Jatropha. De/rf-conf1.htm](http://www.Jatropha.De/rf-conf1.htm), June 25, 2005.

Baumgart, S. 2007. ***Jatropha* Cultivation Belize**. Expert Seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and Genetics, March 26-28, 2007. FACT Foundation. Wageningen, the Netherlands.

Becker, K. and G. Francis. 2000. **Bio-diesel from *Jatropha* Plantations on Degraded Land**. Department of Aquaculture Systems and Animal Nutrition, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany.

- Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density, pp. 363-382. *In* A. Klute, 2nd ed. **Methods of Soil Analysis, Part I: Physical and Mineralogy Methods**. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin
- Brady, N. C. and R.R. Weil. 1999. **The Nature and Properties of Soils**. 12th ed. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available form of phosphorus in soil. **Soil Sci.** 59: 39-45.
- Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-total, pp.1085-1121. *In* D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, eds. **Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods**. SSSA Inc., ASA Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, pp. 891-901. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties**. Agron. No. 9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin.
- Chaudhary, D.R., J.S. Patolia, A. Ghosh, J. Chikara, G.N. Boricha & A. Zala. 2007. Changes in Soil Characteristics and Foliage Nutrient Content in *Jatropha curcas* Plantations in Relation to Stand Density in Indian Wasteland. **Paper presented with Expert seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and genetics**. March 26-28, 2007, FACT Foundation. Wageningen, the Netherlands.
- Day, P.R.. 1965. Particle fraction and particle size analysis, pp. 545-567. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis, Part I: Particle Size Analysis**. Agron., No.9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin, USA.

- Demirbas, A. 2002. Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol. **Energy Convers. Manage.** 43: 2349-2356.
- Eubanks, M.D., J.D. Styrsky and R.F. Denno. 2005. **The Evolution of Omnivory in Heteropteran Insects.** Source: <http://www.esapubs.org/archive/ecol/E084/063/appendix-C.htm>, June 25, 2005.
- Fargo, N.D. 2005. **Bibliography F.** Source: <http://www.ndsu.nodak.edu/ndsu/rider/Pentatomoidea/Bibliography/bibliographyf.htm>, June 22, 2005.
- Fredriksson, H., A. Baky, S. Bernesson, A. Nordberg, O. Noren and P. Hansson. 2006. A. Use of on-farm produced biofuels on organic farms-evaluation of energy balances and environmental loads for three possible fuels. **Agric. Sys.** 89: 184–203.
- Foidl, N., G. Foidl, M. Sanchez, M. Mittelbach & S. Hackel. 1996. *Jatropha curcas* L. as source for the production of biofuel in Nicaragua. **Bioresource Tech.** 58: 77-82.
- Francis, G., R. Edinger & K. Becker. 2005. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. **Nat. Res. Forum** 29: 12-24.
- Ghosh, A., J.S. Patolia, D.R. Chaudhary, J. Chikara, S.N. Rao, D. Kumar, G.N. Boricha and A. Zala. 2007. Response of *Jatropha curcas* under different spacing to *Jatropha* de-oiled cake. **Paper presented with Expert seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and Genetics.** March 26-28, 2007, FACT Foundation. Wageningen, the Netherlands.
- Ginwal, H.S., P.S. Rawat and R.L. Srivastava. 2004. Seed source variation in growth performance and oil yield of *Jatropha curcas* Linn. in Central India. **Silvae Genetica** 53: 186-92.

Grimm, C. 2005. **Evaluation of Damage to Physic Nut (*Jatropha curcas*) by True Bugs.**

Source: [http : // www.Blackwell-synergy.com/links/doi](http://www.Blackwell-synergy.com/links/doi), July 1, 2005.

Gubitz, G.M., M. Mittelbach and M. Trabi. 2005. **Biofuels and Industrial Products from**

***Jatropha curcas*.** Source: [http : // www.Jatropha.de/conferences/abstracts-](http://www.Jatropha.de/conferences/abstracts-Jatropha97.htm)

[Jatropha97.htm](http://www.Jatropha.de/conferences/abstracts-Jatropha97.htm), June 12, 2005.

Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. **Soil Fertility and Fertilizers:**

An Introduction to Nutrient Management. 7th ed. Upper Saddle River, NJ.

Heller, J. 1992. **Untersuchungenuber Genotypische Eigenschaften und Vermehrungsund**

Anbauverfahren bei der Purgiernyß (*Jatropha curcas* L.) [Studies on

genotypiccharacteristics and propagation and cultivation methods for physic nuts

(*Jatropha curcas* L.)]. Dr. Kovac, Hamburg.

_____. 1996. **Physic Nut, *Jatropha curcas*, Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops 1.** IPGRI, Rome, Italy.

Heller, J.. 2005. **Physic Nut *Jatropha curcas* L.** Source: [http : //](http://www.ipgri.cgiar.org/publications/pdf/161.pdf)

www.ipgri.cgiar.org/publications/pdf/161.pdf, June 22, 2005.

Jackson, K.L. 1965. **Soil Chemical Analysis Advance Course.** Dept. of Soil Sci., Univ. of

Wisconsin, Madison, Wisconsin.

Joker, D. and Jepsen, J. 2003. ***Jatropha curcas* L., Seed Leaflet.** No. 83 August 2003. Danida

Forest Seed Centre, Denmark. Available:

www.dfsc.dk/pdf/Seedleaflets/jatropha_curcas_83.pdf, April 16, 2008

- Jongschaap, R.E.E. 2008. **A to Z of *Jatropha curcas* L.** Plant research international wageningen UR, June 9 2008. Wageningen, the Netherlands.
- Jongschaap R.E.E., W.J. Corre, P.S. Bindraban and W.A. Brandenburg. 2007. **Claims and Facts on *Jatropha curcas* L.** Plant research international Wageningen UR. Wageningen, the Netherlands.
- Jongschaap, R.E.E., W.J.Corré, P.S. Bindraban and W.A. Brandenburg. 2007. **Claims and Facts on *Jatropha curcas* L. Global *Jatropha curcas* Evaluation, Breeding and Propagation Programme.** Plant Research International B.V., Wageningen, the Netherlands.
- Jones, N. And J.H. Miller. 1992. ***Jatropha curcas*: a Multipurpose Species for Problematic Sites.** ASTAG Tech. Papers-Land Resources 1. World Bank, Washington DC.
- Kandpal, J.B. and M. Madan. 1994. ***Jatropha curcas*: a Renewable Source of Energy for Meeting Future Energy Needs.** Technical Note 6: 159-160.
- Kilmer, V.J. and L.T. Alexander. 1949. Method of making mechanical analysis of soil. **Soil Sci.** 68: 15-24.
- Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soils, pp. 210-220. In C. A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis, Part I: Physical Method.** Agron., No. 9. Amer. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin.
- Kumar, A. and A. Kumari. 2007. ***Jatropha curcas*: High Yielding Accessions and Improvement. Paper presented with Expert seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and Genetics.** March 26-28, 2007, FACT Foundation. Wageningen, the Netherlands.

- Li Guo T. 2002. The photosynthesis and water use efficiency of eight garden tree species. **Forest Res.** 15: 291-296.
- Makkar, H.P.S., K. Becker, F. Sporer and M. Wink. 1997. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. L. **Agric. Food Chem.** 45: 3152-3157.
- Makkar, H.P.S., A.O. Aderibigbe and K. Becker. 1998. Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. **Food Chem.** 62: 207-15.
- Mattana, S. H., D. Dourado, J. Kakida, N. Tominaga and N. P. Gonçalves. 2005. Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), pp. 44-78. In EPAMIG-CTNM, eds. **Informe Agropecuário: Produção de Oleaginosas Para Biodiesel.** Belo Horizonte, Brazil.
- National Soil Survey Center. 1996. **Soil Survey Laboratory Methods Manual.** Soil Survey Invest. Rept. No 42, Version 3.0. U.S. Dept. of Agr., U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter, pp. 961-1010. In J.M. Bigham, ed. **Methods of Soil Analysis, Part III: Chemical Methods.** Amer. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin
- Openshaw, K. 2000. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Energy** 19: 1-15.
- O'Neal, A.M. 1952. Pedology (translation from French). George Allen and Unwin Ltd., London.

- Patolia, J.S., A. Ghosh, J. Chikara, D.R. Chaudhary, D.R. Parmar and H.M. Bhuvra. 2007a. Response of *Jatropha curcas* Grown on Wasteland to N and P Fertilization. **Paper presented with Expert seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and Genetics.** March 26-28, 2007, FACT Foundation. Wageningen, the Netherlands.
- Patolia, J.S., J. Chikara, A.R. Prakash, A. Ghosh, D.R. Chaudhary and H.M. Bhuvra. 2007b. Provenance Trials for Selection of High Yielding *Jatropha curcas* on Wastelands. **Paper presented with Expert seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and Genetics.** March 26-28, 2007, FACT Foundation. Wageningen, the Netherlands.
- Penman, H.L. 1956. Evaporation: an introduction survey. **Neth. J. Agric. Sci.** 4: 9-29.
- Pratt, P.F. 1987. Potassium, pp. 234-237. *In* C.A. Black, ed. **Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties.** Agron. Monograph No.9. Amer. Soc. of Agron. Inc., Madison, Wisconsin.
- Praveen, V. 2008. **Jatropha Agro-technical Options & Economic Increase for Sustainable Feedstock Production (Computer Program).** Jatropha Conference World. Centre for foranagement Technology. Jakarta, Indonesia.
- Reinhard K. Henning. 2004. **“The Jatropha System” Integrated Rural Development Utilisation of *Jatropha curcas* L. (JCL) as Raw Material and as Renewable Energy.** Rothkreuz 11, D-88138. April 2004. Weissensberg, Germany,
- Reinhard K. Henning. 2009. **The Jatropha System an Integrated Approach of Rural Development. Jatropha Book.** Baganí Rothkreuz 11, D-88138, Weissensberg, Germany.

Richards, L. A. 1954. **Diagnostic and Improvement of Saline and Alkaline Soils.** U.S.

Salinity Laboratory, Dept. Agr. Hbk. 60, Washington, DC, U.S.

Rijssenbeek, T. 2006. **Handbook on *Jatropha curcas*.** Source: <http://www.factfuels.org>, March 27, 2006.

Rivera-Locra, J.A., J.C. Ku-Vera. 1997. Chemical composition of three different varieties of *J. curcas* from Mexico, p.47–52. In G.M. Gubitz, M. Mittelbach and M. Trabi, eds. **Biofuels and Industrial Products from *Jatropha curcas*.** Proceedings from the symposium “*Jatropha 97*”, Managua, Nicaragua, February 23–27., 1997. Graz, Austria:Dbv-Verlag.

Sharma, N. 2007a. Effect on Germination on Raised Bed and Sunken Bed Nursery in Different Provenances of *Jatropha curcas* L. **Paper presented with Expert seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and Genetics.** March 26-28, 2007. FACT Foundation, Wageningen, the Netherlands.

Sharma, N. 2007b. Reclamation of Ash Ponds and Cultivation of *Jatropha curcas* using Arbuscular Mycorrhiza Fungi as Technology Demonstration for Biofuel Production and Environmental Cleaning in Chattisgarh State. **Paper presented with Expert seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and Genetics.** March 26-28, 2007. FACT Foundation, Wageningen, the Netherlands

Silva R., L. Soares Severino and N. Esberard de Macêdo Beltrão. 2007. Growth of *Jatropha curcas* seedlings on containers of different volumes. **Paper presented with Expert seminar on *Jatropha curcas* L. Agronomy and Genetics.** March 26-28, 2007. FACT Foundation. Wageningen, the Netherlands.

- Simpson, S.E., H.N. Nigg and J.L. Knapp. 2005. **Host Plants of Diaprepes Root Weevil and Their Implications to the Regulatory Process.** Source: <http://www.fcprac.ifas.ufl.edu/citrustopics/pest>, July 1, 2005.
- Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil Survey Manual.** US. Dep. of Agr. Handbook No. 18, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- Soil Survey Staff. 2010. **Keys to Soil Taxonomy.** 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Stansly, P. 2005. **Biology of Diaprepes abbreviatus.** Source: <http://www.imok.ufl.edu/entlab/pres/diaprep>, July 1, 2005.
- Sudheer, S. 2008. **Biotechnology for Improved Planting Material and Plantation (Computer Program).** Jatropha Conference World. Centre for Management Technology. Jakarta, Indonesia.
- Summer, M.E and W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients, pp.1021-1229. In J.M. Bigham, ed. **Methods of Soil Analysis, Part III: Chemical Methods.** Amer. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin.
- Texas Department of Agriculture. 2005. **Citrus root weevil-Diaprepes abbreviatus.** Source: <http://www.agr.state.tx.us/license/diaprepes>, July 1, 2005.
- Thomas, G.W. 1982. Exchange cations, pp. 159-165. In A.L. Page, ed. **Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties.** Soil Sci. Soc. Amer. Book Series No. 2. Soil Sci. Soc. Amer. and Amer. Soc. Agron., Madison, WI

- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity, pp. 475-490. *In* J.M. Bigam, ed. **Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods**. Soil Sci. Soc. Amer. Book Series No. 5. Soil Sci. Soc. Amer. and Amer. Soc. Agron., Madison, WI.
- Viets, F. G. and W. L. Lindsay. 1973. Testing soils for zinc, copper, manganese and iron, pp. 153-172. *In* L. M. Walsh and J. Beaton, eds. **Soil Testing and Plant Analysis**. Soil Sci. Soc. of Amer. Inc. Madison, Wisconsin
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. **Soil.Sci.** 37: 29-38.
- Wan, S.P., T.K. Sreedevi, A.V.R. Kesava Rao and Y. Dixin. 2007. **Biofuels: a Strategy for Enhanced Water Use Efficiency, Improved Livelihoods and Protecting Environment in the Semi-arid Tropics**. Linkage between Energy and Water Management for Agriculture in Developing Countries, January 29-31, 2007. ICRISAT, IWMI, FAO, IWREC, Patancheru, India.
- Wongsiri, N. 1991. **List of Insect, Mite and Other Zoological Pests of Economic Plants in Thailand**. Technical Bulletin. Entomology and Zoology Division, Department of Agriculture, Bangkok, Thailand.
- Wiesenhütter, J. 2003. **Use of the Physic Nut (*Jatropha curcas* L.) to Combat Desertification and Reduce Poverty**. In convention project to combat desertification (CCP project). August, 2003. Deutsche gesellschaft fur technische zusammenarbeit (GZT).



ภาคผนวก

SOIL PROFILE DESCRIPTION

Representative Soil of the Experimental Area**I Information on the site**

Profile symbol	: JPF
Soil name	: -
Classification	: Ultic Paleustalf
Date of examination	: 21 st October 2009
Described by	: Somchai Anusontpornperm, Supicha Tanachit, Walailak Saikaew, Chatchai Warrawetmongkol, Sumrit Riyapan, Nantita Deeyai, Jittirat Choochat, Nipat Tanhimmal, Pahol Ruksumruad
Location	: Kanchanaburi Research Station; Ban Nong Sampran, Tambon Wang Dong, Amphoe Muang, Changwat Kanchanaburi
Elevation	: Approximately 76.8 m (MSL)
Map sheet number	: 4937III, Co-ordinate: 47P 535142 UTM: 1561440
Landform	
1. Physiographic position	: Erosional surface of dissected footslope
2. Surrounding landform	: Undulating
3. Slope on which profile site	: 3% (aspect: 330° Azimuth)
Land use	: Used for growing cassava before setting up the experiment
Annual rainfall	: Approximately 1,026.5 mm
Mean temperature	: Approximately 27.7°C
Climate	: Tropical savannah
Others	: -

II General information on the soil

Parent material	: Local alluvium over mixed colluvium of metamorphic rock, mainly quartzite and slate
Drainage	: Well drained
Permeability	: Moderate
Runoff	: Moderate
Depth of ground water	: Deeper than 2.0 m at the time of sampling

III Profile description

Horizon	Depth (cm)	Description
Ap1	0-20	Reddish brown (5YR 4/4); clay loam; strong medium subangular blocky structure; slightly hard dry, firm moist, slightly sticky and slightly plastic; few very fine and fine vesicular pores; many very fine and few fine roots; strongly acid (field pH 5.5); gradual, smooth boundary to Ap2
Ap2	20-35	Yellowish red (5YR 4/6); clay loam; strong medium subangular blocky structure; slightly hard dry, firm moist, slightly sticky and slightly plastic; few very fine and fine vesicular pores; many very fine and few fine roots; strongly acid (field pH 5.5); distinct, smooth boundary to Bt1
Bt1	35-54	Reddish brown (2.5YR 4/4); clay; strong fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, firm moist, moderately sticky and moderately plastic; common faint clay coating on faces of peds and pore walls; common very fine vesicular and few fine simple tubular pores; common very fine and few fine roots; few small and medium holes of termite nest; strongly acid (field pH 5.0); gradual, smooth boundary to Bt2
Bt2	54-78	Dark red (2.5YR 3/6); clay; strong fine subangular blocky structure; slightly hard dry, firm moist, moderately sticky and moderately plastic; common faint clay coating on faces of peds; many very fine and few fine vesicular pores; common very fine and fine roots; few fine Fe oxide nodules; few small and medium holes of termite nest; strongly acid (field pH 5.0); gradual, smooth boundary to Bt3
Bt3	78-103	Dark red (2.5YR 3/6) (60%) mixed with red (2.5YR 4/8) (40%); sandy clay; strong fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, firm moist, moderately sticky and moderately plastic; common distinct clay coating on faces of peds and Fe oxide nodule surfaces; few very fine vesicular and common very fine simple tubular pores; common very fine and fine roots; few fine Fe oxide nodules; few small and medium holes of termite nest; few traces of dead roots; strongly acid (field pH 5.0); gradual, smooth boundary to Bt4

Bt4	103-130/136	Red (2.5YR 4/8) (95%) mixed with light red (2.5YR 6/8) (5%); clay; strong fine and medium subangular blocky structure; slightly hard dry, firm moist, moderately sticky and very plastic; common distinct clay coating on faces of peds and pore walls; few small and medium semi-angular gravel of weathered metamorphic rocks; few very fine vesicular, many very fine simple tubular and dendritic pores; few very fine, very few fine and medium roots; few fine Fe oxide nodules; few small and medium holes of termite nest; few small angular gravel of fresh quartz; few traces of dead roots; moderately acid (field pH 6.0); abrupt, wavy boundary to Btc
Btc	136-152/162	Red (2.5YR 4/6) (60%) mixed with light red (2.5YR 6/8) (40%); very gravelly clay; moderate very fine and fine subangular blocky structure, mainly containing small subrounded stones of weathered metamorphic rocks; soft dry, very firm moist, moderately sticky and very plastic; many prominent clay coating on faces of peds and surfaces of weathered rock fragments; very few very fine vesicular pores; very few very fine roots; moderately acid (field pH 6.0); gradual, wavy boundary to Bt5
Bt5	162-180	Reddish brown (2.5YR 4/4) (50%) mixed with light red (2.5YR 6/8) (50%); slightly gravelly clay; strong fine subangular blocky structure; slightly hard dry, firm moist, moderately sticky and very plastic; many prominent clay coating on faces of peds and surfaces of weathered rock fragments; few very fine vesicular and common very fine simple tubular pores; very few very fine roots; few small krotovinas; common spots of organic material accumulation; moderately acid (field pH 6.0); gradual, wavy boundary to Bt6
Bt6	180-200+	Reddish brown (2.5YR 4/4) (95%) mixed with dark reddish brown (2.5YR 3/3) (5%); slightly gravelly clay; strong medium subangular blocky structure; slightly hard dry, very firm moist, very sticky and very plastic; many prominent clay coating on faces of peds and surfaces of rock fragments; few very fine vesicular and common very fine dendritic pores; very few very fine roots; many medium semi-angular gravel and small stones of mixed metamorphic rocks; common fine highly weathered rock fragments; few traces of dead roots; neutral (field pH 7.0).

ตารางผนวกที่ 1 สมบัติทางฟิสิกส์ของดินตัวแทนพื้นที่ทดลอง

Depth (cm)	horizon	Particle size distribution			Textural class	Bulk density (Mg m ⁻³)	Hydraulic conductivity (cm hr ⁻¹)
		sand	silt	clay			
(-----g kg ⁻¹ -----)							
Ultic Paleustalf							
0-20	Ap1	473	336	191	Loam	1.42	0.50
20-35	Ap2	476	339	185	Loam	1.64	0.12
35-54	Bt1	420	295	285	Clayloam	1.46	0.71
54-78	Bt2	370	350	280	Clayloam	1.61	0.84
78-103	Bt3	349	414	237	Loam	1.85	0.71
103-130/136	Bt4	299	355	346	Clay loam	1.63	0.74
136-152/162	Btc	316	384	300	Clay loam	1.70	0.60
162-180	Bt5	298	392	310	Clay loam	1.75	0.34
180-200+	Bt6	377	399	284	Clay loam	1.58	4.01

ตารางผนวกที่ 2 สมบัติทางเคมีของดินตัวแทนพื้นที่ทดลอง

Depth (cm)	Horizon	pH 1:1		OM	Total N	Avail. P	Avail. K	Extractable bases				Sum base	Extr. acidity	CEC		BS (%)
		H ₂ O	KCl					Ca	Mg	K	Na			by sum	NH ₄ OAc	
				(-----g kg ⁻¹ -----)	(-----mg kg ⁻¹ -----)	(-----cmol _c kg ⁻¹ -----)										
0 - 20	Ap1	4.9	4.1	21.57	0.14	10.45	116.83	3.26	1.00	0.30	0.21	4.8	4.0	8.8	3.3	54.4
20 - 35	Ap2	5.1	4.4	10.98	0.11	5.55	85.44	2.74	0.79	0.22	0.20	3.9	8.0	11.9	3.3	33.0
35-54	Bt1	4.8	4.6	4.70	0.11	3.03	44.22	1.77	0.45	0.11	0.21	2.6	8.0	10.5	4.0	24.2
54-78	Bt2	5.0	4.4	6.79	0.10	2.06	44.46	2.43	0.56	0.11	0.24	3.3	4.0	7.3	3.2	45.5
78-103	Bt3	5.3	4.5	0.68	0.09	2.06	41.89	3.05	0.72	0.11	0.24	4.1	10.0	14.1	4.0	29.1
103-130/136	Bt4	5.5	4.4	3.33	0.08	1.59	36.61	4.74	1.11	0.09	0.20	6.1	9.0	15.1	3.8	40.6
136-152/162	Btc	5.5	3.9	1.72	0.06	1.11	42.67	5.85	1.22	0.11	0.24	7.4	7.0	14.4	4.5	51.4
162-180	Bt5	6.0	4.3	3.38	0.06	1.11	43.58	6.36	1.27	0.11	0.40	8.1	7.0	15.1	4.3	53.8
180-200+	Bt6	6.1	4.2	1.70	0.09	2.06	43.76	1.70	0.91	2.06	0.37	8.8	10.0	18.7	4.0	46.7

ตารางผนวกที่ 3 สมบัติของปุ๋ยหมักที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติปุ๋ยหมัก	ค่าวิเคราะห์
pH (H ₂ O 1:2)	6.2
อินทรีย์วัตถุ (OM)	24.59 g kg ⁻¹
ไนโตรเจนทั้งหมด (total N)	5.12 g kg ⁻¹
ฟอสฟอรัส (P ₂ O ₅)	4.72 g kg ⁻¹
โพแทสเซียม (K ₂ O)	0.93 g kg ⁻¹
แคลเซียมทั้งหมด (total Ca)	0.52 g kg ⁻¹
แมกนีเซียมทั้งหมด (total Mg)	0.29 g kg ⁻¹
โซเดียมทั้งหมด (total Na)	0.08 g kg ⁻¹
เหล็กทั้งหมด (total Fe)	1.03 mg kg ⁻¹
สังกะสีทั้งหมด (total Zn)	0.84 mg kg ⁻¹
ทองแดงทั้งหมด (total Cu)	0.21 mg kg ⁻¹
แมงกานีสทั้งหมด (total Mn)	0.11 mg kg ⁻¹

ตารางผนวกที่ 4 จำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้นตามตำรับทดลอง (ต.ค. 2552-มิ.ย. 2553)

Treatment	Oct 09	Nov 09	Dec 09	Jan 10	Feb 10	Mar 10	Apr 10	May 10	Jun 10
F1	0.3	2.9	5.9	10.6	7.9	8.6	15.5	1.4	1.0
F2	0.3	2.8	5.5	11.1	8.9	11.8	16.2	2.4	2.2
F3	0.8	3.9	4.7	10.8	9.3	11.7	16.8	2.1	1.6
F4	0.4	2.4	3.9	10.1	8.3	12.0	17.3	1.4	1.1
F5	0.4	2.6	5.1	12.3	7.8	13.6	17.4	2.7	1.4
F6	0.4	3.0	3.9	9.9	8.5	13.7	15.5	1.3	0.9
F7	0.4	2.4	4.8	10.0	8.6	15.3	15.7	1.6	1.3
F8	0.9	3.4	4.9	10.2	8.3	14.2	17.2	1.9	1.5
Average	0.5	2.9	4.8	10.6	8.4	12.6	16.5	1.8	1.4

ตารางผนวกที่ 5 จำนวนช่อดอกที่ติดผลเฉลี่ยต่อต้นตามตำรับทดลอง (พ.ย. 2552-มิ.ย. 2553)

Treatment	Nov 09	Dec 09	Jan 10	Feb 10	Mar 10	Apr 10	May 10	Jun 10
F1	0.3	2.8	7.0	8.3	4.8	14.2	11.1	9.5
F2	0.2	1.2	6.8	7.9	6.2	13.5	9.7	9.5
F3	0.0	1.7	6.1	8.0	6.5	16.3	13.5	10.3
F4	0.1	1.8	5.9	10.2	6.0	13.1	14.5	9.2
F5	0.2	1.6	5.9	9.2	6.0	14.4	13.8	11.2
F6	0.2	1.7	5.2	7.6	7.1	13.7	12.0	8.5
F7	0.0	1.4	7.1	7.9	6.5	13.7	12.0	11.9
F8	0.3	2.1	6.0	9.3	7.2	13.7	10.8	7.5
Average	0.2	1.8	6.2	8.6	6.2	14.1	12.2	9.7

ตารางผนวกที่ 6 จำนวนเมล็ดเฉลี่ยต่อผล

Treatment	Mar 10	Apr 10	May 10	Jun 10	Average
F1	2.8	2.8	2.9	2.6	2.78
F2	2.9	2.9	2.9	2.7	2.81
F3	2.8	2.9	2.9	2.7	2.82
F4	2.8	2.9	2.9	2.7	2.81
F5	2.8	2.9	2.9	2.7	2.83
F6	2.9	2.9	2.9	2.6	2.85
F7	2.8	2.9	2.9	2.7	2.85
F8	2.8	2.9	2.9	2.7	2.83
F-Test	ns ^{1/}	ns	ns	ns	ns
CV.%	2.5	2.7	2.2	3.5	1.1

^{1/} Means within the same column followed by the same letters are not significantly different at 95% level by LSD and DMRT; ns = not significant

ตารางผนวกที่ 7 น้ำหนักผลเฉลี่ยที่ความชื้นร้อยละ 15 (กรัมต่อผล)

Treatment	Mar 10 (g)	Apr 10 (g)	May 10 (g)	Jun 10 (g)	Average (g)
F1	5.8	6.0	6.0	5.4	5.8
F2	5.9	6.0	5.9	5.5	5.8
F3	5.8	5.9	6.0	5.5	5.8
F4	5.8	5.9	6.0	5.5	5.8
F5	5.8	5.9	6.0	5.6	5.8
F6	6.0	5.8	5.9	5.4	5.8
F7	5.8	6.0	6.0	5.6	5.9
F8	5.7	6.0	6.0	5.6	5.8
F-Test	ns ^{1/}	ns	ns	ns	ns
CV.%	2.5	2.8	2.3	3.5	1.3

^{1/} Means within the same column followed by the same letters are not significantly different at 95% level by LSD and DMRT; ns = not significant

ตารางผนวกที่ 8 น้ำหนัก 100 เมล็ดสับคั่วที่ความชื้นร้อยละ 15

Treatments	One hundred seed weight at 15% moisture content				
	Mar 10	Apr 10	May 10	Jun 10	Average
F1: control, no fertiliser	69.61	42.78	43.36	58.72	58.72
F2: compost, 1,000 kg rai ⁻¹	68.89	46.66	45.98	60.44	60.44
F3: 15-15-15, 50 kg rai ⁻¹	71.58	47.56	46.83	61.70	61.70
F4: 15-15-15, 100 kg rai ⁻¹	72.09	45.50	47.17	61.23	61.23
F5: 15-15-15+Compost, 50+1,000 kg rai ⁻¹	70.82	42.44	43.63	59.61	59.61
F6: 8-24-24, 50 kg rai ⁻¹	73.05	48.40	44.53	62.28	62.28
F7: 8-24-24, 100 kg rai ⁻¹	69.88	45.56	46.47	60.60	60.60
F8: 8-24-24+Compost, 50+1,000 kg rai ⁻¹	68.48	48.37	46.68	60.83	60.83
F-test	ns	ns	ns	ns	ns
CV.%	6.9	12.2	6.6	4.9	4.9

^{1/} Means within the same column followed by the same letters are not significantly different at 95% level by LSD and DMRT; ns = not significant

ตารางที่ 9 ผลผลิตเมล็ดสับคั่วที่ความชื้นร้อยละ 15

treatments	Seed yield at 15% moisture content (kg rai ⁻¹)					
	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Total
F1: control, no fertiliser	42.5	38.4	42.1	12.4	24.0	159.4
F2: compost, 1,000 kg rai ⁻¹	58.6	41.1	51.5	14.4	25.3	190.9
F3: 15-15-15, 50 kg rai ⁻¹	66.1	30.4	43.1	19.2	35.9	194.7
F4: 15-15-15, 100 kg rai ⁻¹	59.7	35.0	56.9	21.1	38.4	211.1
F5: 15-15-15+compost, 50+1,000 kg rai ⁻¹	47.0	31.0	41.0	15.4	33.0	167.4
F6: 8-24-24, 50 kg rai ⁻¹	71.2	22.5	46.4	30.2	37.8	208.1
F7: 8-24-24, 100 kg rai ⁻¹	43.6	27.3	46.7	18.4	36.3	172.3
F8: 8-24-24+compost, 50+1,000 kg rai ⁻¹	65.3	36.7	47.6	30.0	45.5	225.1
F-test	-	-	-	-	-	ns ^{1/}
CV.%	-	-	-	-	-	17.6

^{1/} Means within the same column followed by the same letters are not significantly different at 95% level by LSD and DMRT; ns = not significant

ตารางผนวกที่ 10 ร้อยละ โดยน้ำหนักระหว่างเปลือกกับเนื้อใน ปริมาณน้ำมันสบู่อำในเนื้อใน และ ปริมาณน้ำมันสบู่อำในเมล็ด (คำนวณจากเมล็ดที่ความชื้นร้อยละ 15)

treatments	Seed coat	Seed cake	Oil (seed cake)	Oil (whole seed)
	(-----% by weight-----)			
F1: control, no fertiliser	39.30	60.70	28.10	17.04
F2: compost, 1,000 kg rai ⁻¹	37.60	62.40	47.33	29.53
F3: 15-15-15, 50 kg rai ⁻¹	37.90	62.10	46.41	28.82
F4: 15-15-15, 100 kg rai ⁻¹	37.30	62.70	45.45	28.49
F5: 15-15-15+compost, 50+1,000 kg rai ⁻¹	36.30	63.70	41.25	26.26
F6: 8-24-24, 50 kg rai ⁻¹	39.00	61.00	51.17	31.20
F7: 8-24-24, 100 kg rai ⁻¹	39.70	60.30	48.89	29.48
F8: 8-24-24+compost, 50+1,000 kg rai ⁻¹	35.10	64.90	54.47	35.34

ตารางผนวกที่ 11 ผลผลิตน้ำมันสบู่อำรายเดือน และผลผลิตรวมต่อปีนับตั้งแต่วันที่ทำการหยอดเมล็ด

treatments	Oil yield (kg rai ⁻¹)					
	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Total
F1: control, no fertiliser	6.6	5.9	6.5d	1.8d	3.7d	24.5d
F2: compost, 1,000 kg rai ⁻¹	14.4	12.0	13.8ab	3.8d	6.8c	50.8bc
F3: 15-15-15, 50 kg rai ⁻¹	16.3	7.8	12.1ab	5.0bc	9.2b	50.4bc
F4: 15-15-15, 100 kg rai ⁻¹	17.3	8.0	13.7ab	5.5bc	9.9b	54.4bc
F5: 15-15-15+compost, 50+1,000 kg rai ⁻¹	9.4	7.5	10.8bc	3.9d	8.1b	39.7c
F6: 8-24-24, 50 kg rai ⁻¹	27.4	4.9	11.0bc	6.6b	8.7b	58.6b
F7: 8-24-24, 100 kg rai ⁻¹	10.8	7.4	12.6ab	5.1bc	9.9b	45.8bc
F8: 8-24-24+compost, 50+1,000 kg rai ⁻¹	27.2	10.9	14.2a	8.3a	12.5a	73.1a
F-test	ns ^{1/}	ns	*	*	*	**
CV.%	23.6	36.9	26.6	53.0	42.9	25.2

^{1/} Means within the same column followed by the same letters are not significantly different at 9.5% level by LSD and DMRT; * = significant at 9.5% ; ** = significant at 9.9% ; ns = not significant

ตารางผนวกที่ 12 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในใบสับคั่วอายุ 2 และ 6 เดือน (กรัมต่อกิโลกรัม)

Treatment	N (g kg ⁻¹)		P(g kg ⁻¹)		K(g kg ⁻¹)	
	2-month	6-month	2-month	6-month	2-month	6-month
F1	38.9	32.1	3.1	3.9	14.5	21.3
F2	38.5	30.6	4.0	3.7	16.4	24.5
F3	38.5	33.7	3.3	3.5	14.2	24.4
F4	37.6	34.0	3.2	4.1	16.8	24.2
F5	39.6	31.6	3.3	3.6	16.1	24.2
F6	40.5	34.2	3.1	3.6	12.8	26.4
F7	39.2	33.3	3.1	3.1	13.5	23.2
F8	37.6	34.7	2.6	3.2	13.6	23.0
F-test	ns ^{1/}	ns	ns	ns	ns	ns
CV.%	6.8	15.6	19.8	15.3	18.2	11.9

^{1/} Means within the same column followed by the same letters are not significantly different at 95% level by LSD and DMRT; ns = not significant

ตารางผนวกที่ 13 ความเข้มข้นของธาตุอาหารรองในใบสับคั่วอายุ 2 และ 6 เดือน (กรัมต่อกิโลกรัม)

Treatment	Ca (g kg ⁻¹)		Mg (g kg ⁻¹)		S (g kg ⁻¹)	
	2-month	6-month	2-month	6-month	2-month	6-month
F1	15.4	17.0	7.2	8.0	0.9	1.1
F2	17.0	19.1	7.6	9.5	1.1	1.3
F3	16.4	18.5	7.0	7.4	0.8	1.0
F4	17.8	19.3	7.5	7.7	0.7	0.9
F5	17.1	19.1	8.3	8.2	0.9	1.0
F6	16.3	17.5	7.7	6.5	1.0	1.0
F7	15.3	16.6	7.3	7.4	1.0	1.0
F8	18.5	19.9	7.9	8.0	1.2	1.3
F-test	ns ^{1/}	ns	ns	ns	ns	ns
CV.%	13.9	14.2	12.5	18.0	12.5	15.3

^{1/} Means within the same column followed by the same letters are not significantly different at 95% level by LSD and DMRT; ns = not significant

ตารางผนวกที่ 14 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในใบสับุด้าอายุ 2 และ 6 เดือน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

Treatment	Cu (mg kg ⁻¹)		Fe (mg kg ⁻¹)		Zn (mg kg ⁻¹)		Mn (mg kg ⁻¹)	
	2-	6-	2-	6-	2-	6-	2-	6-
F1	14.5	8.4	137.3	213.5	26.7	18.7	391.9	180.4
F2	14.0	8.2	121.2	177.2	30.3	15.5	349.0	216.1
F3	13.6	9.0	115.0	139.5	30.0	16.1	404.7	175.0
F4	16.9	7.6	115.9	139.5	26.8	16.5	395.3	223.1
F5	15.6	9.1	117.6	128.7	33.5	15.5	399.2	184.9
F6	15.9	10.9	129.7	185.7	32.0	14.1	499.5	210.5
F7	15.3	9.9	113.4	186.3	27.9	14.2	444.4	217.3
F8	14.3	10.7	138.1	137.7	30.1	10.0	385.9	204.4
F-test	ns ^{1/}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV.%	16.2	17.0	16.1	15.2	13.1	18.5	19.4	24.8

^{1/} Means within the same column followed by the same letters are not significantly different at 95% level by LSD and DMRT; ns = not significant

ตารางผนวกที่ 15 ความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในเมล็ดสับุด้า (กรัมต่อกิโลกรัม)

Treatment	N (g kg ⁻¹)	P (g kg ⁻¹)	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	S (g kg ⁻¹)
F1	5.1	3.6	6.8	5.2	0.9	1.2
F2	5.1	3.5	7.6	5.3	0.8	1.5
F3	5.4	4.1	7.9	5.1	0.9	1.3
F4	6.0	4.0	9.0	4.3	0.8	1.2
F5	4.2	5.5	8.5	4.8	0.9	1.7
F6	5.4	3.9	7.9	4.9	0.9	2.0
F7	4.9	4.6	8.0	4.5	0.9	1.7
F8	3.7	3.6	8.7	5.0	0.8	1.9
F-test	ns ^{1/}	ns	ns	ns	ns	ns
CV.%	16.2	17.0	16.1	15.2	13.1	18.5

^{1/} Means within the same column followed by the same letters are not significantly different at 95% level by LSD and DMRT; ns = not significant

ตารางผนวกที่ 16 ความเข้มข้นของจุลธาตุอาหารในเมล็ดสนุ่นดำ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

Treatment	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)
F1	76.09	63.23	26.05	84.59
F2	75.06	55.61	23.17	73.90
F3	80.97	46.01	18.20	76.83
F4	83.27	61.35	20.38	78.69
F5	88.87	56.30	22.50	78.36
F6	88.01	63.17	21.45	82.59
F7	91.24	56.55	20.93	85.04
F8	79.20	55.02	19.18	72.02
F-test	ns ^{1/}	ns	ns	ns
CV.%	8.3	25.4	18.8	17.9

^{1/} Means within the same column followed by the same letters are not significantly different at 95% level by LSD and DMRT; ns = not significant

ตารางผนวกที่ 17 การแบ่งกลุ่มของเนื้อดิน (เอิบ, 2548; Soil Survey Division Staff, 1993)

คำเรียกทั่วไป	ลักษณะเนื้อดิน	ชั้นเนื้อดินต่าง ๆ (texture classes)
ดินทราย (sandy soils)	เนื้อหยาบ (coarse textured)	ได้แก่ ทรายชนิดต่าง ๆ (ทรายหยาบ ทรายละเอียด ทรายละเอียดมาก) ทรายปนดินร่วน ชนิดต่าง ๆ (ทรายหยาบปนดินร่วน ทรายปนดินร่วน ทรายละเอียดปนดินร่วน และทรายละเอียดมากปนดินร่วน)
ดินร่วน (loamy soils)	เนื้อดินหยาบปานกลาง (moderately coarse-textured)	ดินร่วนปนทรายหยาบ ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายละเอียด
	เนื้อปานกลาง (moderately fine-textured)	ดินร่วนปนทรายละเอียดมาก ดินร่วน ดินร่วนปนทรายแป้ง และทรายแป้ง
	เนื้อละเอียดปานกลาง (moderately fine-textured)	ดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
ดินเหนียว (clayey soils)	เนื้อละเอียด (fine textured)	ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนทราย แป้งและดินเหนียว

ตารางผนวกที่ 18 เกณฑ์การแบ่งระดับความหนาแน่นรวมของดิน

ระดับ (rating)	พิสัย (Mg m^{-1})
ต่ำมาก	<1.2
ต่ำ	1.2-1.4
ปานกลาง	1.4-1.6
ค่อนข้างสูง	1.6-1.8
สูง	1.8-2.0
สูงมาก	>2.0

ที่มา: นงคราญ (2529)

ตารางผนวกที่ 19 ระดับชั้นของค่าสภาพน้ำน้ำขณะดินอิ่มตัว

ระดับชั้น	ค่าสภาพน้ำน้ำขณะดิน
ช้ามาก (very slow)	< 0.125
ช้า (slow)	0.125-0.50
ช้าปานกลาง (moderately slow)	0.50-2.00
ปานกลาง (moderate)	2.00-6.25
เร็วปานกลาง (moderately rapid)	6.25-12.50
เร็ว (rapid)	12.50-25.00
เร็วมาก (very rapid)	> 25.00

ที่มา: O'Neal (1952)

ตารางผนวกที่ 20 ข้อกำหนดที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมี และการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (เอิบ, 2548; Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973; Soil Survey Division Staff, 1993)

1. พิเศษของดิน (Soil reaction), pH (ดิน : น้ำ = 1:1)

ระดับ (rating)	พิสัย (range)
เป็นกรดรุนแรงมากที่สุด (ultra acid)	< 3.5
เป็นกรดรุนแรงมาก (extremely acid)	3.5-4.4
เป็นกรดจัดมาก (very strongly acid)	4.5-5.0
เป็นกรดจัด (strongly acid)	5.1-5.5
เป็นกรดปานกลาง (moderately acid)	5.6-6.0
เป็นกรดเล็กน้อย (slightly acid)	6.1-6.5
เป็นกลาง (neutral)	6.6-7.3
เป็นด่างเล็กน้อย (slightly alkaline)	7.4-7.8
เป็นด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9-8.4
เป็นด่างจัด (strongly alkaline)	8.5-9.0
เป็นด่างจัดมาก (very strongly alkaline)	> 9.0

2. อินทรีย์วัตถุ (organic matter) (% organic carbon x 1.724)

ระดับ (rating)	พิสัย (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก (VL)	< 5
ต่ำ (L)	5-10
ค่อนข้างต่ำ (ML)	10-15
ปานกลาง (M)	15-25
ค่อนข้างสูง (MH)	25-35
สูง (H)	35-45
สูงมาก (VH)	> 45

ตารางผนวกที่ 20 (ต่อ)

3. ปริมาณไนโตรเจนรวม (total nitrogen) (กองวางแผนการใช้ที่ดิน, 2535)

ระดับ (rating)	พิสัย (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก (VL)	< 1.0
ต่ำ (L)	1.0-2.0
ปานกลาง (M)	2.0-5.0
สูง (H)	5.0-7.5
สูงมาก (VH)	> 7.5
ต่ำมาก (VL)	< 1.0
ต่ำ (L)	1.0-2.0

4. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) (Bray II)

ระดับ (rating)	พิสัย (mg kg ⁻¹)
ต่ำมาก (VL)	< 3
ต่ำ (L)	3-6
ค่อนข้างต่ำ (ML)	6-10
ปานกลาง (M)	10-15
ค่อนข้างสูง (MH)	15-25
สูง (H)	25-45
สูงมาก (VH)	> 45

ตารางผนวกที่ 20 (ต่อ)

5. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available K) (NH_4OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย (mg kg^{-1})
ต่ำมาก (VL)	< 30
ต่ำ (L)	30-60
ปานกลาง (M)	60-90
สูง (H)	90-120
สูงมาก (VH)	> 120

6. เบสรวมที่สกัดได้ (extractable bases) (NH_4OAc)

ระดับ (rating)	พิสัย (cmol (+) kg^{-1})				
	extr.Ca	extr.Mg	extr.K	extr.Na	extr.bases
ต่ำมาก (VL)	< 2.0	< 0.3	< 0.2	< 0.1	< 2.6
ต่ำ (L)	2-5	0.3-1.0	0.2-0.3	0.1-0.3	2.6-6.6
ปานกลาง (M)	5-10	1.0-3.0	0.3-0.6	0.3-0.7	6.6-14.3
สูง (H)	10-20	3.0-8.0	0.6-1.2	0.7-2.0	14.3-31.2
สูงมาก (VH)	> 20	> 8.0	> 1.2	> 2.0	> 31.2

ตารางผนวกที่ 20 (ต่อ)

7. ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)

ระดับ (rating)	พิสัย (cmol (+) kg ⁻¹)
ต่ำมาก (VL)	<3
ต่ำ (L)	3-5
ค่อนข้างต่ำ (ML)	5-10
ปานกลาง (M)	10-15
ค่อนข้างสูง (MH)	15-20
สูง (H)	20-30
สูงมาก (VH)	>30

8. อัตราร้อยละความอิ่มตัวเบส (base saturation)

ระดับ (rating)	พิสัย (%)
ต่ำ (L)	<35
ปานกลาง (M)	35-75
สูง (H)	>75

หมายเหตุ

VL	=	ต่ำมาก (very Low)
L	=	ต่ำ (Low)
ML	=	ค่อนข้างต่ำ (Moderately Low)
M	=	ปานกลาง (Moderate)
MH	=	ค่อนข้างสูง (Moderately High)
H	=	สูง (High)
VH	=	สูงมาก (very Low)

ตารางผนวกที่ 21 เกณฑ์การแบ่งระดับสภาวะกรดแลคเปลี่ยนแปลงได้

ระดับ (rating)	พีอี (cmol (+) kg ⁻¹)
ต่ำมาก	<1.0
ต่ำ	1.0-2.0
ปานกลาง	2.0-5.0
ค่อนข้างสูง	5.0-10.0
สูง	10.0-20.0
สูงมาก	>20.0

ที่มา: นงคราญ (2529)

ตารางผนวกที่ 22 การแปลงค่า non SI unit เป็น SI unit

Quantity	SI unit	Conversion equation
Electrical conductivity	dS m ⁻¹	1 mS/cm = dS m ⁻¹
		1 μ/cm = 0.001 dS m ⁻¹
Cation exchange capacity	cmol (+) kg ⁻¹	1 meq/100g = cmol (+) kg ⁻¹
Anion exchange capacity	cmol (-) kg ⁻¹	1 meq/100g = cmol (-) kg ⁻¹
Exchange cation	cmol (+) kg ⁻¹	1 meq/100g = cmol (+) kg ⁻¹
Mass ratio	g kg ⁻¹	1% = 10 g kg ⁻¹
	mg kg ⁻¹	1 ppm = 1 mg kg ⁻¹
		1 mg/100g = 10 mg kg ⁻¹
	μg kg ⁻¹	1 ppb = 1 μg kg ⁻¹
Mass concentration	mg kg ⁻¹	1 ppt = 1 ng kg ⁻¹
	g L ⁻¹	1% = 10 g L ⁻¹
	mg L ⁻¹	1 ppm = 1 mg L ⁻¹
	μg L ⁻¹	1 ppb = 1 μg L ⁻¹
Density	Mg m ⁻³	1g/cm ³ = 1 Mg m ⁻³
Specific surface	m ² kg ⁻¹	1 m ² /g = 1000 m ² kg ⁻¹
Pressure	kPa, Mpa	1 bar = 0.1 Mpa
Radioactivity	Bq	1 Ci = 3.7 x 10 ¹⁰
Rate, Yield	kg ha ⁻¹	1 kg/10a = 10 kg ha ⁻¹
	Mg ha ⁻¹	1t/10a = 10 Mg ha ⁻¹

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาววลัยลักษณ์ สายแก้ว
วัน เดือน ปี ที่เกิด	12 พฤษภาคม 2529
สถานที่เกิด	สุรินทร์
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) สาขาวิทยาศาสตร์เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	พนักงานราชการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมวิทยาศาสตร์ทหารบก
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา เพื่อการตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ