



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

ปริญญา

ปฐพีวิทยา	ปฐพีวิทยา
สาขา	ภาควิชา
เรื่อง	อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์หมักร่วมต่อคุณภาพ และผลผลิตของหน่อไม้ฝรั่ง (<i>Asparagus officinalis</i> Linn.) และสมบัติทางเคมีของชุดดินกำแพงแสน Effects of Multi-mixed Organic Fertilizers on Quality and Yield of Asparagus (<i>Asparagus officinalis</i> Linn.), and Chemical Properties of Kamphaeng Saen Soil Series
นามผู้วิจัย	นางรัตนาภรณ์ คชวงศ์
ได้พิจารณาเห็นชอบโดย	
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	(อาจารย์แสงดาว เขาแก้ว, Ph.D.)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(อาจารย์สุกัญญา เข้มประชา, ป.ศ.)
หัวหน้าภาควิชา	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชัย อนุสนธิ์พรเพิ่ม, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์หมักร่วมต่อคุณภาพ และผลผลิตของหน่อไม้ฝรั่ง
(*Asparagus officinalis* Linn.) และสมบัติทางเคมีของชุดดินกำแพงแสน

Effects of Multi-mixed Organic Fertilizers on Quality and Yield of Asparagus
(*Asparagus officinalis* Linn.), and Chemical Properties of Kamphaeng Saen Soil Series

โดย

นางรัตนภรณ์ คชวงศ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา)

พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รัตนกรณธ์ กชวงศ์ 2556: อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์หมักร่วมต่อคุณภาพ และผลผลิตของ
หน่อไม้ฝรั่ง (*Asparagus officinalis* Linn.) และสมบัติทางเคมีของชุดดินกำแพงแสน
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ปฐพีวิทยา) สาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์แสงดาว เขมแก้ว, Ph.D. 129 หน้า

การใช้ปุ๋ยอย่างไม่เหมาะสมในการปลูกหน่อไม้ฝรั่ง (*Asparagus officinalis* Linn.) ทำให้
ต้นทุนการผลิตสูงแต่คุณภาพผลผลิตต่ำ จึงทำการศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อ
ผลผลิตและคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่งพันธุ์ร็อคคอมพิวท์ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน และสมบัติทาง
เคมีของดิน โดยเปรียบเทียบปุ๋ยอินทรีย์ 3 สูตร คือ “W” (มูลสุกรอัดเม็ด) “SMB” และ “SMC” ซึ่งได้
จากการหมักร่วมของกากตะกอนบ่อแก๊สชีวภาพจากฟาร์มโคนม (S) มูลโคนมหมัก (M) ทะลาย
ปาล์มน้ำมันเป่า (B) หรือถ่านแกลบ (C) วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block
(RCB) จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 8 ดำรับการทดลอง (ไม่ใส่ปุ๋ย, ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว, ใส่ปุ๋ย SMB,
SMC หรือ W อัตราต่ำและสูงร่วมกับปุ๋ยเคมี) กำหนดอัตราต่ำและสูงของปุ๋ยอินทรีย์โดยคำนวณจาก
ปริมาณไนโตรเจนที่มีอยู่ในปุ๋ยให้ได้เท่ากับ 56.8 และ 170.4 กิโลกรัม N ต่อไร่ ต่อปี ตามลำดับ โดย
ทุกดำรับที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์จะใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 30 กิโลกรัม N ต่อไร่ ต่อปี

ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณผลผลิตรวมและผลผลิตที่มีมูลค่าทางการตลาดสูง (เกรดเอ-ตุ้ม-
เขียว) ในดำรับการทดลองที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตร SMB อัตราสูงร่วมกับปุ๋ยเคมีมีค่าสูงสุด ขณะที่ดำรับ
ควบคุมซึ่งไม่มีการใส่ปุ๋ยให้ผลผลิตรวมต่ำสุด และดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวให้ผลผลิต
ที่มีมูลค่าทางการตลาดต่ำ (เกรดซี-ตุ้ม) สูงสุด ทุกดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ช่วยเพิ่มปริมาณ
อินทรีย์วัตถุ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน และปริมาณผลผลิตของหน่อไม้ฝรั่ง พบ
ความสัมพันธ์เชิงบวกของปริมาณผลผลิตหน่อสดกับการดูดใช้ธาตุไนโตรเจน แคลเซียม แมกนีเซียม
กำมะถัน เหล็ก และสังกะสีจากดิน ทุกดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์พบการสะสมไนเตรทในดิน
เพิ่มขึ้น และพบการสะสมของฟอสฟอรัส สังกะสี และทองแดงร่วมด้วยในดำรับการทดลองที่ใส่มูล
สุกรอัดเม็ด การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งสามสูตรร่วมกับปุ๋ยเคมีสามารถเพิ่ม
ปริมาณและคุณภาพผลผลิตหน่อไม้ฝรั่งที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสนได้

Ruttanaporn Cochawong 2013: Effects of Multi-mixed Organic Fertilizers on Quality and Yield of Asparagus (*Asparagus officinalis* Linn.), and Chemical Properties of Kamphaeng Saen Soil Series. Master of Science (Soil Science), Major Field: Soil Science, Department of Soil Science. Thesis Advisor: Ms. Saengdao Khaokaew, Ph.D. 129 pages.

Improper management of fertilizers in asparagus (*Asparagus officinalis* Linn.) cropping can be costly to farmers and may result in poor yield quality. This study aims to investigate the effects of three organic fertilizers on soil chemical properties, as well as the yield and spear quality of asparagus (Brock's Improved cultivar) grown in Kamphaeng Saen Soil Series. Three of the fertilizers studied, called "W" (swine manure pellets), "SMB" and "SMC" formula, were prepared from a mixture of biogas sludge (S), cattle manure (M), and oil palm empty fruit bunch (B) or rice husk charcoal (C), respectively. Field experiments were conducted using Randomized Complete Block (RCB), with three replications and eight treatments (no fertilizer, only synthetic fertilizer, SMB, SMC, or W at low and high amounts with synthetic fertilizer). The low and high amounts of each organic fertilizer were calculated based on its nitrogen content, i.e. a low amount ($56.8 \text{ kg N rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$), and a high amount ($170.4 \text{ kg N rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$). For every treatment that involved organic fertilizer, the synthetic fertilizer 16-16-16 formula was also applied, at the amount of $30 \text{ kg N rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$.

Results showed that applying high amounts of SMB, together with the synthetic fertilizer, significantly enhanced the spear quality (grade ALG) and yield of the asparagus. The control treatment, where no organic and synthetic fertilizers were added, resulted in the lowest yield. The treatment that only involved the synthetic fertilizer resulted in the lowest quality of asparagus spear (grade CL). The soil organic matter content, soil cation exchange capacity, and asparagus yield increased in every treatment where organic fertilizers were added. Additionally, positive relationships between the amount of asparagus yield and nitrogen, calcium, magnesium, sulfur, iron, and zinc up-taken from soils were observed. The use of each organic fertilizer employed in this study resulted in an accumulation of nitrate in the soil. An accumulation of phosphate zinc and copper in the soil was observed when swine manure pellet was applied. This study demonstrated that the three organic fertilizers mixed with the synthetic one increased the quality and quantity of the asparagus grown in Kampaengsean Soil Series.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ในโอกาสนี้ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่าน ได้แก่ อาจารย์ ดร.แสงดาว เขาแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์ ดร.สุกัญญา เข้มประชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวนุช ถาวรพฤษ์ ประธานการสอบ และ ดร.พิชิต พงษ์สกุล ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องในการเขียนวิทยานิพนธ์ รวมถึงให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ อย่างดียิ่ง จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ลงได้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาปรัชญาพีวทยา และ Dr. Gautier Landrot ที่ได้ให้ความรู้ต่างๆ ทั้งยังให้คำแนะนำในการเขียนและนำเสนอผลงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี ในส่วนของการศึกษาภาคสนามและในห้องปฏิบัติการนั้นขอขอบคุณ คุณพนม นันทดี และครอบครัว คุณสมไชย นามสิน คุณสัจจา ธรรมลังกา คุณชัยภัทร คงแก้ว บุคลากรของกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี และกลุ่มวิจัยปรัชญาพีวทยา กรมวิชาการเกษตร ตลอดจนพี่น้องชาวสโมสรมบัณฑิตปรัชญาพีวทยาทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณครอบครัวเวชพันธ์ และครอบครัวควงศ์ซึ่งคอยเคียงข้างเป็นทั้งแรงงานและกำลังใจที่สำคัญมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ ขออุทิศคุณค่าและความดีจากวิทยานิพนธ์นี้แด่ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนุชัย กองแก้ว ซึ่งเป็นผู้ริเริ่มงานวิจัยนี้ และขอแสดงความรำลึกถึงพระคุณที่ท่านให้ความรู้ ความเมตตา คอยดูแลแนะนำแนวทางการศึกษา ทั้งยังเป็นกำลังใจเมื่อประสบปัญหาด้วยความปรารถนาดี ตลอดเวลาที่มีวาสนาเป็นลูกศิษย์ของท่าน

รัตนภรณ์ ควงศ์

มีนาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	40
อุปกรณ์	40
วิธีการ	41
ผลและวิจารณ์	55
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	94
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	96
ภาคผนวก	110
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	129

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อมูลสมบัติทางเคมีบางประการของดินที่เหมาะสมสำหรับหน่อไม้ฝรั่ง	13
2	ข้อมูลระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เหมาะสมในเนื้อเยื่อหน่อไม้ฝรั่ง	15
3	ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่แนะนำให้ใส่ตามระดับของอินทรีย์วัตถุในดิน	16
4	ปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แนะนำให้ใส่ตามค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดิน	17
5	ปริมาณปุ๋ยโพแทสเซียมที่แนะนำให้ใส่ตามค่าวิเคราะห์โพแทสเซียมในดิน	17
6	ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกหน่อไม้ฝรั่งในประเทศไทย	20
7	ร้อยละของเกษตรกรผู้ปลูกหน่อไม้ฝรั่งจำแนกโดยปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี	25
8	ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่เพิ่มผลผลิตได้เท่ากับปุ๋ยเคมี 1 กิโลกรัม	27
9	ปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมักมูลสัตว์ และกากตะกอนชีวภาพ	30
10	ปริมาณธาตุอาหารในมูลสุกร	32
11	รายละเอียดการศึกษาการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จากปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในชุดดินกำแพงแสน	46
12	ตำรับการทดลองและรายละเอียดของตำรับการทดลองการปลูกหน่อไม้ฝรั่งในชุดดินกำแพงแสน ตำบลด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี	49
13	การใส่ปุ๋ยตามชนิดและอัตรา (กิโลกรัม N ต่อไร่) ที่ช่วงเวลาต่างๆ ใน 3 รอบการผลิต	51
14	มาตรฐานคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่งตามที่บริษัทผู้รับซื้อกำหนด	54
15	แสดงค่าวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการของชุดดินกำแพงแสนในแปลงทดลองก่อนปลูกหน่อไม้ฝรั่ง	56
16	สมบัติทางเคมีของวัสดุอินทรีย์ และปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดก่อนการหมักร่วม	59
17	สมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ	61
18	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ระหว่างปริมาณการดูแลใช้ธาตุอาหารพืช กับปริมาณ ผลผลิตหน่อไม้ฝรั่งรวม 3 รอบการผลิต	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในชุดดิน กำแพงแสนที่ได้รับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพดินที่มีออกซิเจนในช่วง ระยะเวลาการบ่มดินต่าง ๆ	111
2	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณผลผลิตของ หน่อไม้ฝรั่ง (รวม 3 รอบการผลิต)	112
3	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณร้อยละ ชั้นคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่ง (รวม 3 รอบการผลิต)	113
4	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่หน่อไม้ฝรั่งดูดใช้	114
5	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณของแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันที่หน่อไม้ฝรั่งดูดใช้	115
6	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณของเหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดงที่หน่อไม้ฝรั่งดูดใช้	116
7	สรุปผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลง สมบัติทางเคมีของดินหลังทำการทดลองปลูกหน่อไม้ฝรั่ง	117
8	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อค่าพี-เอช (pH) และค่า การนำไฟฟ้า (EC) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง	118
9	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) และปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง	119
10	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณแอมโมเนียม ไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) และปริมาณไนเตรทไนโตรเจน ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ของชุดดิน กำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง	120
11	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ เป็นประโยชน์ (Available P) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง	121

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
12	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) และปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ (Extractable S) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง	122
13	ผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ (Available Fe) และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Available Zn) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง	123
14	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ (Available Mn) และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Available Cu) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง	124
15	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในหน่อไม้ฝรั่ง	125
16	เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมีของดิน	126
17	ระดับปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ค่าความจุแลกเปลี่ยนประจุบวก และปริมาณร้อยละประจุบวกที่เป็นค่า	128
18	ระดับปริมาณจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน โดยน้ำยาสกัด DTPA	128

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหน่อไม้ฝรั่ง	6
2	วงจรการเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่งส่วนเหนือดิน	10
3	การเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่งในระยะต่างๆ ได้แก่ ระยะการเจริญเติบโตของรากและลำต้นเหนือดิน (ก) ระยะการเจริญเติบโตของหน่อหรือช่วงเก็บเกี่ยวหน่อให้ผลผลิต (ข) ระยะชราภาพของลำต้นเหนือดินและการพักตัวของกลุ่มตา (ค)	11
4	ปริมาณการส่งออกหน่อไม้ฝรั่งสดของไทย	24
5	โครงสร้างของระบบก๊าซชีวภาพแบบ Fixed dome	29
6	วัสดุอินทรีย์ที่นำมาผสมกับกากตะกอนชีวภาพ	35
7	แผนที่ตั้งโดยสังเขปของจังหวัดกาญจนบุรีและพื้นที่ศึกษา	38
8	การปลูกโดยใช้ต้นกล้าอายุ 2 เดือน	49
9	การดูแลจัดการแปลงหลังย้ายปลูก	52
10	ปริมาณแอมโมเนียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ก) และปริมาณไนเตรท (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ข) ในชุดดินกำแพงแสนที่ได้รับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพดินที่มีออกซิเจนในช่วงระยะเวลาการบ่มดินต่าง ๆ	64
11	ปริมาณผลผลิตหน่อไม้ฝรั่ง (ก) และปริมาณร้อยละชั้นคุณภาพ เอ-ตุ่ม-เขียว (ALG) และ ซี-ตุ่ม (CL) (ข) รวม 3 รอบการผลิต	68
12	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณของไนโตรเจน (ก) ฟอสฟอรัส (ข) และโพแทสเซียม (ค) ที่หน่อไม้ฝรั่งดูดใช้	71
13	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณของแคลเซียม (ก) แมกนีเซียม (ข) และกำมะถัน (ค) ที่หน่อไม้ฝรั่งดูดใช้	73
14	ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณของสังกะสี (ก) และทองแดง (ข) ที่หน่อไม้ฝรั่งดูดใช้	75

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อค่าพี-เอช (pH) (ก) และสภาพการนำไฟฟ้า (EC) (ข) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง	79
16	ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) (ก) และปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) (ข) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง	82
17	ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) (ก) และปริมาณไนเตรท ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) (ข) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง	85
18	ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) (ก) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) (ข) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง	88
19	ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) (ก) ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) (ข) และปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ (Extractable S) (ค) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง	91
20	ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ (Available Fe) (ก) ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Available Zn) (ข) ปริมาณแมงกานีสที่เป็นประโยชน์ (Available Mn) (ค) และปริมาณทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Available Cu) (ง) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง	93

อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์หมักร่วมต่อคุณภาพ และผลผลิตของหน่อไม้ฝรั่ง
(*Asparagus officinalis* Linn.) และสมบัติทางเคมีของชุดดินกำแพงแสน

Effects of Multi-mixed Organic Fertilizers on Quality and Yield of Asparagus
(*Asparagus officinalis* Linn.), and Chemical Properties of Kamphaeng Saen Soil Series

คำนำ

หน่อไม้ฝรั่งเป็นพืชผักที่มีศักยภาพในการส่งออกของไทย จากข้อมูลการผลิตหน่อไม้ฝรั่งของโลกพบว่าทวีปเอเชียมีการผลิตหน่อไม้ฝรั่งในปริมาณสูงสุด โดยประเทศไทยเป็นอันดับสามของเอเชีย (Benson, 2009) ปริมาณการส่งออกหน่อไม้ฝรั่งหน่อสดของไทยในปี 2554 ประมาณ 6.2 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าถึง 487 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2555) ซึ่งพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัด นครปฐม ราชบุรี และกาญจนบุรี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) โดยปัจจุบันเกษตรกรผู้ปลูกหน่อไม้ฝรั่งในพื้นที่ดังกล่าวต้องประสบปัญหาการผลิตหลายด้าน เช่น โรคและแมลง ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ ขาดสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ดี ปุ๋ยและสารเคมีราคาแพง รวมถึงการใช้ปุ๋ยเคมีโดยขาดองค์ความรู้ทางวิชาการทำให้มีการใช้ปุ๋ยอย่างไม่เหมาะสมทั้งชนิดและปริมาณ (นิตยา, 2550) ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตหน่อไม้ฝรั่งของเกษตรกรเพิ่มสูงขึ้นแต่คุณภาพผลผลิตต่ำลง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2553) การใช้ปุ๋ยเคมีอย่างไม่เหมาะสมนอกจากจะเป็นปัญหาด้านคุณภาพผลผลิตของหน่อไม้ฝรั่งแล้วยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีในโตรเจนปริมาณมากเกินไปจะก่อให้เกิดการปนเปื้อนไนเตรทในดินและน้ำบาดาล ซึ่งอาจส่งผลร้ายแรงต่อสุขภาพผู้บริโภค คุณภาพดินและน้ำในระยะยาวได้ (Phupaibul *et al.*, 2004; Tirado, 2007) จากการสำรวจของ พรพรรณ (2553) พบว่า เกษตรกรผู้ปลูกหน่อไม้ฝรั่งในจังหวัดนครปฐม กาญจนบุรีและราชบุรีมีการใช้ปุ๋ยเคมี สูตร 13-13-21 และ 15-15-15 โดยเฉลี่ยสูงถึง 480-900 กิโลกรัม ต่อไร่ ต่อปี ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม อยู่ระหว่าง 60-175, 25-140 และ 90-270 กิโลกรัม ต่อไร่ ต่อปี ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่สูงมาก ในขณะที่เดียวกันดินที่เกษตรกรใช้มีสมบัติหลายประการที่ไม่เอื้อต่อความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเคมีและการเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่ง โดยเฉพาะสมบัติทางเคมี เช่น ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณอินทรีย์วัตถุ ดังนั้นหากนำปุ๋ยอินทรีย์ที่ให้ธาตุอาหารสูง โดยเฉพาะไนโตรเจนมาใช้ทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีในโตรเจนปริมาณมากในการปลูกหน่อไม้ฝรั่งอาจเป็นแนวทางที่สามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ เนื่องจากการปลดปล่อยธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์จะช้ากว่าในปุ๋ยเคมี อีกทั้งการ

ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ยังช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินได้ด้วย ดังนั้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีสำหรับหน่อไม้ฝรั่งนอกจากจะเป็นการลดปริมาณปุ๋ยเคมีแล้วยังเป็นการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน ทั้งยังช่วยเพิ่มผลผลิตได้มากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์อย่างเดียวยิ่งด้วย (Manna *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2012b) อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือวัสดุอินทรีย์ในการปรับปรุงดินมักใช้วัสดุอินทรีย์เดี่ยวๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์หรือวัสดุอินทรีย์ยังมีข้อด้อยเนื่องจากข้อจำกัดบางประการของปุ๋ยอินทรีย์หรือวัสดุอินทรีย์นั้นๆ เช่น การมีจุลินทรีย์ที่ก่อโรคสูง การมีปริมาณไนโตรเจนต่ำหรือสูงเกินไปเมื่อเทียบกับปริมาณคาร์บอน ซึ่งหากวัสดุใดมีค่าสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนแคบเกินไปก็มีโอกาสปลดปล่อยไนโตรเจนปริมาณมากในเวลาอันรวดเร็วจนเกิดการสะสมไนเตรทในพืช และน้ำใต้ดินได้ ขณะที่วัสดุอินทรีย์บางชนิดมีปริมาณไนโตรเจนต่ำทำให้สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง เมื่อนำมาใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีจึงเกิดการแย่งไนโตรเจนกับพืช เนื่องจากต้องนำไปไนโตรเจนไปใช้ในกระบวนการย่อยสลาย จึงไม่สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารในช่วงเวลาที่พืชต้องการได้ (Khalil *et al.*, 2005; Flavel and Murphy, 2006) ดังนั้นการเพิ่มศักยภาพของปุ๋ยอินทรีย์และวัสดุอินทรีย์อาจทำได้โดย การนำวัสดุอินทรีย์นั้นๆ มาผสมและหมักร่วมกันเรียกว่าปุ๋ยอินทรีย์หมักร่วม (Multi-mixed organic fertilizer) ซึ่งอาจเป็นแนวทางในการลดข้อด้อยหรือข้อจำกัดบางประการของสมบัติวัสดุอินทรีย์หรือปุ๋ยอินทรีย์นั้นๆ (Singh *et al.*, 2007)

จังหวัดนครปฐม ราชบุรี และกาญจนบุรีซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกหน่อไม้ฝรั่งที่สำคัญของประเทศไทย มีวัสดุอินทรีย์บางชนิดที่เหลือทิ้งจากการเกษตร และผลพลอยได้จากกระบวนการต่างๆ ในพื้นที่สามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์หมักร่วมสำหรับหน่อไม้ฝรั่งได้ เช่น กากตะกอนชีวภาพจากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มโคนม มูลโคนม ทะลายปาล์มเปล่า และถ่านแกลบ ซึ่งวัสดุอินทรีย์เหล่านี้แม้จะสามารถนำมาใช้เพื่อเป็นปุ๋ยอินทรีย์หรือวัสดุปรับปรุงดินได้ แต่การนำมาใช้โดยตรงมีข้อจำกัดบางประการที่พึงระวัง เช่น กรณีของกากตะกอนชีวภาพซึ่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายสมบูรณ์และไนโตรเจนสูง สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (Wong, 1990; Li *et al.*, 2012a) แต่มีข้อจำกัดคือ จะมีการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในช่วงเวลาสั้นได้เร็วกว่าปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักทำให้เกิดการสะสมไนเตรทในดินสูง (Guster *et al.*, 2005) ขณะที่ถ่านแกลบซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์ที่กลุ่มหมอดินอาสาประจำตำบลผลิตใช้เองเพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงดินเนื่องจากช่วยให้ดินร่วนซุย มีการดูดซับน้ำ และธาตุอาหารได้ดี แต่มีข้อจำกัดคือปริมาณธาตุอาหารน้อยมาก (ยงยุทธ, 2554; Masulili *et al.*, 2010) ส่วนทะลายปาล์มเปล่าเป็นวัสดุอินทรีย์ที่ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินได้ดีเช่นกัน และยังมีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบมากกว่าถ่านแกลบแต่มีข้อจำกัดคือ มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง (Barkar *et al.*, 2011) ดังนั้นการหมักร่วมวัสดุ

อินทรีย์เหล่านี้เพื่อให้เกิดเป็นปุ๋ยอินทรีย์สูตรใหม่อาจเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถกำจัดข้อด้อยต่างๆ ของวัสดุอินทรีย์ที่เกษตรกรมีในพื้นที่ ทำให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์ที่พร้อมใช้ และมีสมบัติดีกว่าการใช้วัสดุอินทรีย์ชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงอย่างเดียว

การศึกษานี้มีจุดประสงค์ที่จะศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์หมักร่วมสูตรต่างๆ ที่ได้จากการหมักร่วมของวัสดุอินทรีย์ที่สามารถหาได้ในพื้นที่จังหวัดนครปฐม ราชบุรี และกาญจนบุรี ได้แก่ กากตะกอนชีวภาพ มูลโคนม ทะลายปาล์มเปล้า และถ่านแกลบ ร่วมกับปุ๋ยเคมี เปรียบเทียบกับการใช้มูลสุกรอัดเม็ดซึ่งเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่เกษตรกรผู้ปลูกหน่อไม้ฝรั่งนิยมซื้อมาใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณ และคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่งพันธุ์บร็อกคิมพริฟ (Brock's Improved) ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน จังหวัดกาญจนบุรี รวมทั้งศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยดังกล่าวต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน เพื่อนำไปสู่ข้อเสนอแนะเรื่องการใช้ปุ๋ยเพื่อการผลิตหน่อไม้ฝรั่งที่ยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสมบัติทางเคมีของวัสดุอินทรีย์ และปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ที่ได้จากการหมักร่วมของวัสดุอินทรีย์
2. ศึกษาอัตราการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในชุดดินกำแพงแสน
3. ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อผลผลิต และคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่งพันธุ์บร็อกคิมพรว์ (Brock's Improved) ที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ตำบลด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี
4. ศึกษาผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อสมบัติทางเคมีของชุดดินกำแพงแสน

การตรวจเอกสาร

ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับหน่อไม้ฝรั่ง

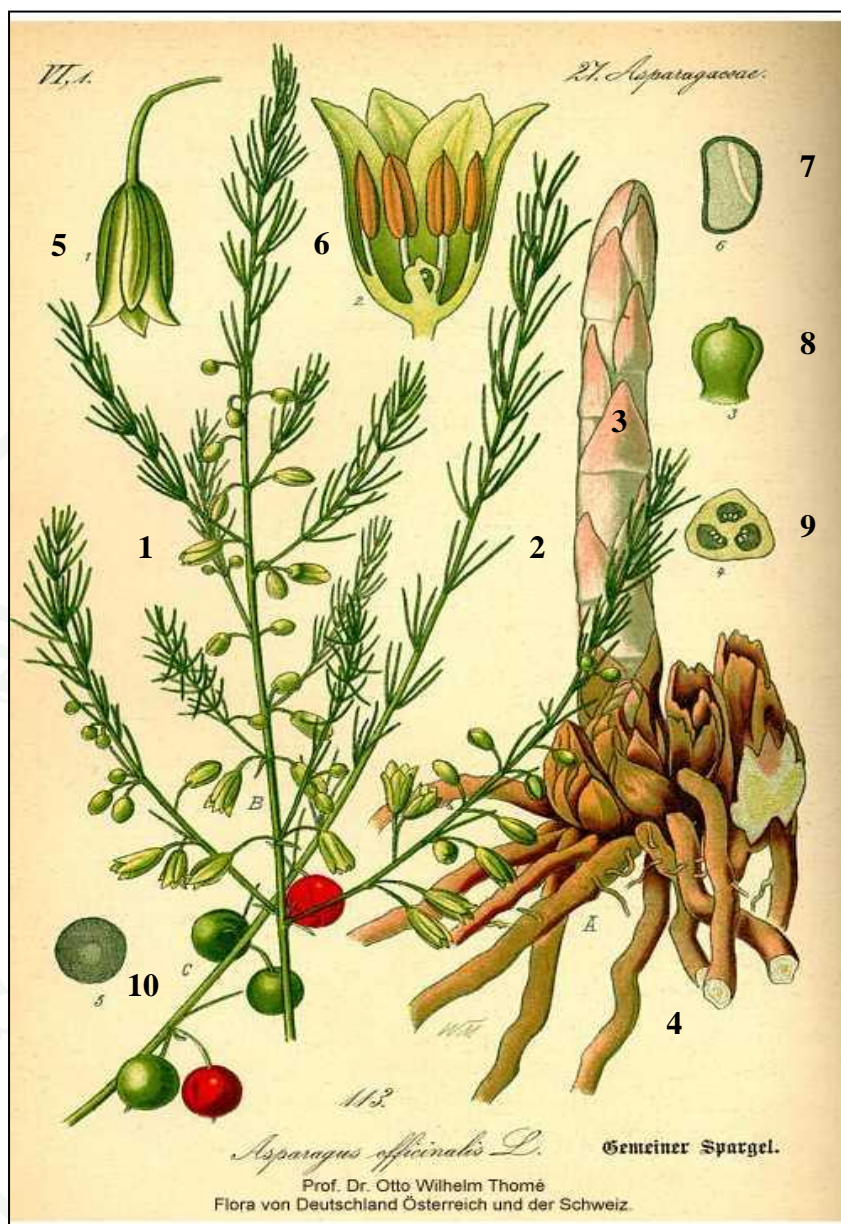
1. แหล่งกำเนิดและลักษณะทางพฤกษศาสตร์

หน่อไม้ฝรั่ง (*Asparagus officinalis* Linn.) อยู่ในวงศ์ Liliaceae สกุล *Asparagus* มีชื่อสามัญว่า *Asparagus* (Quattrocchi, 1947) เป็นพืชเนื้ออ่อน (herbaceous plant) ประเภทใบเลี้ยงเดี่ยวที่มีอายุหลายปี (perennial plant) (Crockett, 1977) มีถิ่นกำเนิดบริเวณเขตติดต่อระหว่างทวีปเอเชีย และยุโรป หรือแถบชายฝั่งทะเลของยุโรปติดต่อไปจนถึงชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของทะเลเมดิเตอร์เรเนียน และเอเชียกลาง มีการเพาะปลูกมาตั้งแต่ยุคกรีก โรมัน โดยใช้เป็นทั้งอาหารและยาที่มีฤทธิ์ขับปัสสาวะ และกล่อมประสาท หน่อไม้ฝรั่งมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนเหนือดิน และส่วนใต้ดิน (ไจน, 2542; Drost, 1997; Lyle, 2009) ดังแสดงในภาพที่ 1

1.1 ส่วนเหนือดิน คือ ลำต้นเหนือดิน (fern) ซึ่งเจริญมาจากเหง้าเติบโตเป็นหน่อ (spear) ลำต้นเป็นข้อปล้องผิวเรียบสีเขียวปลายหน่อแหลมซึ่งจะพัฒนาต่อไปเป็นต้นเทียมสูงประมาณ 1.3 – 2 เมตร ในหนึ่งกอมีหลายต้น โดยมีใบ 2 ชนิด คือ ใบแท้และใบเทียม

1.1.1 ใบแท้ (leaf scale) มีลักษณะเป็นเกล็ดรูปสามเหลี่ยม ปกคลุมส่วนปลายของหน่อ และเจริญต่อเป็นเกล็ดต่างๆ อยู่บริเวณข้อของลำต้น มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงต่ำ

1.1.2 ใบเทียม (cladophyll) ซึ่งเป็นส่วนของลำต้นที่แปรสภาพคล้ายใบ มีลักษณะเรียวยาวแหลมคล้ายเข็มยาวประมาณ 2-3 เซนติเมตร รวมกันอยู่เป็นกลุ่มประมาณ 6 อัน รอบข้อ ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงแทนใบแท้



- | | |
|---|---|
| 1 Asparagus fern | 6 Asparagus flower cut vertically |
| 2 Asparagus spear | 7 Asparagus seed cut vertically |
| 3 Asparagus leaf | 8 Asparagus ovary |
| 4 Asparagus crown with bud and fleshy roots | 9 Asparagus transverse section of ovary |
| 5 Asparagus flower | 10 Asparagus fruits |

ภาพที่ 1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของหน่อไม้ฝรั่ง

ที่มา: Stübers (2007)

หน่อไม้ฝรั่งมีดอกแบบไม่สมบูรณ์เพศ (incomplete flower) คือ มีต้นที่ให้ดอกเพศผู้ และต้นที่ให้ดอกเพศเมีย (dioecious plant) ผสมพันธุ์ข้ามต้น โดยอาศัยแมลงหรือลมเป็นพาหะ โดยต้นเพศผู้อาจมีดอกกระเทย (hermaphroditic flower) ผสมในตัวเองได้ มีผลแบบ berry ลักษณะกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5 เซนติเมตร ผลอ่อนมีสีเขียว ผลแก่มีสีแดง ภายในแบ่ง ออกเป็น 3 พู บรรจุเมล็ดค่อนข้างกลม เป็นเหลี่ยมตรงหัว

1.2 ส่วนใต้ดิน คือ ลำต้นใต้ดินหรือเหง้า (crown หรือ rhizome) ประกอบด้วยกลุ่มตาข้าง (lateral buds) ซึ่งจะเจริญเป็นหน่อ ส่วนรากแบ่งออกเป็นสองชนิด คือ รากสะสมอาหารและรากหาอาหาร

1.2.1 รากสะสมอาหาร หรือ รากเนื้อ (storage root หรือ fleshy root หรือ tuberous root) คือรากที่แตกออกจากส่วนตาของลำต้นใต้ดิน ทำหน้าที่เก็บสะสมอาหารในรูปน้ำตาล สามารถแผ่ขยายได้ปีละไม่เกิน 30 เซนติเมตร

1.2.2 รากหาอาหาร หรือ รากฝอย (fibrous root หรือ absorptive root) เป็นรากที่แตกออกจากรากเนื้อ ทำหน้าที่ดูดน้ำและธาตุอาหารในดิน และยึดเหนี่ยวให้ต้นตั้งอยู่ได้โดยสามารถหยั่งลึกลงไปในดินได้มากกว่า 1 เมตร มีอายุสั้นจะตายภายใน 1 ปี แล้วเกิดขึ้นใหม่เรื่อย ๆ

2. การเจริญเติบโตและสร้างผลผลิต

ในเขตอบอุ่นหน่อไม้ฝรั่งจะมีรอบการเจริญเติบโตสัมพันธ์กับฤดูกาลโดยมีการพัฒนาของส่วนเหนือดินในฤดูใบไม้ผลิและเก็บเกี่ยวผลผลิตได้จนถึงฤดูร้อน แล้วเกิดความเสื่อมโทรมลงของส่วนเหนือดินเพื่อเข้าสู่การพักตายอด (crown buds) ในฤดูหนาว แต่สำหรับในเขตร้อนซึ่งมีฤดูหนาวสั้นและมีอุณหภูมิเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ส่วนเหนือดินจึงมีรอบการเจริญเติบโตต่อเนื่องกันตลอดปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของต้นหน่อไม้ฝรั่งและการจัดการแปลง (Crackett, 1977; Drost, 1997; Biggs *et al.*, 2006) ซึ่งวงจรการเจริญเติบโตของลำต้นหน่อไม้ฝรั่งส่วนเหนือดินในเขตร้อนจะมีอายุประมาณ 4-8 เดือน (ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน, 2553) โดย Feller *et al.* (2012) รายงานว่า สามารถแบ่งขั้นการเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่งตามลักษณะที่แสดงออกของส่วนเหนือดิน โดย BBCH scale (Biologische Bundesanstalt (Julius Kühn-Institut), Bundessortenamt Chemische Industrie) ได้ 9 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

- การงอกของเมล็ดหรือตายอด (germination/sprouting)
- การพัฒนาของต้นอ่อน (development of the seedling)
- การเพิ่มขนาดของหน่อ (formation of side shoots)
- การยืดขยายของลำต้น (stem elongation)
- การแตกแขนงของตายอด (inflorescence emergence)
- การออกดอก (flowering)
- การพัฒนาของผล (development of fruit)
- การสุกของผล (fruit ripening)
- การเสื่อมชราและเริ่มพักตัว (senescence/beginning of dormancy)

โดยซึ่งทั้ง 9 ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นหมุนเวียนไปในทุกๆระยะของการเจริญเติบโต ซึ่ง Wilson *et al.* (2002) ได้แบ่ง ระยะเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่งออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ การเจริญเติบโตของรากและลำต้นเหนือดิน (fern growth) การเจริญเติบโตของหน่อหรือช่วงเก็บเกี่ยว (harvest) และการชราภาพของลำต้นเหนือดินหรือการพักตัวของกลุ่มตา (dormancy) ซึ่งการปลูกหน่อไม้ฝรั่งเพื่อให้หน่อได้คุณภาพตามความต้องการของตลาดนั้น จำเป็นต้องมีการดูแลรักษาแตกต่างกันในแต่ละช่วงของระยะการเจริญเติบโต (สุนัยวิทย์และพัฒนาพืชผักเขตร้อน, 2553)

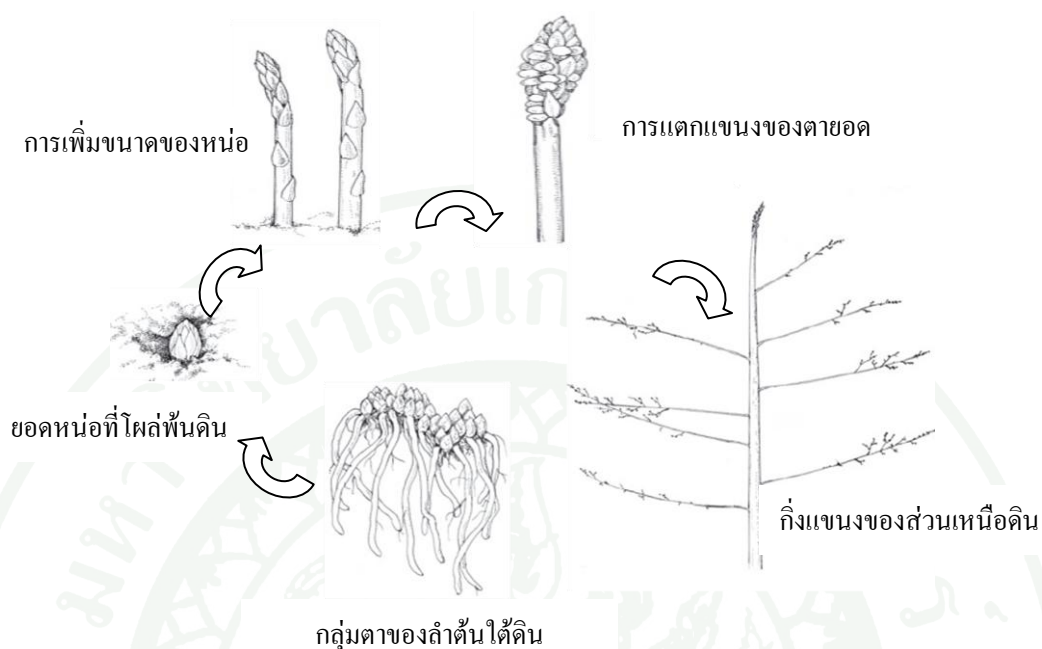
2.1 ระยะการเจริญเติบโตของรากและลำต้นเหนือดิน

ในเขตร้อนวงจรการเติบโตของหน่อไม้ฝรั่งจะเริ่มต้นขึ้นโดยการกระตุ้นจากความชื้นเป็นสำคัญ ทำให้มีการเจริญของหน่อออกมาจากกลุ่มตา (bud cluster) ของลำต้นใต้ดินคั่นส่วนยอดพื้นผิวดินขึ้นมา ซึ่งหน่อแรกที่เกิดมาจะมีผลชะลอการเจริญเติบโตของหน่อถัดไปที่เกิดในกลุ่มตา

เดียวกัน (Drost, 1997) ในช่วงแรกหน่อที่เกิดขึ้นมาใหม่นี้ จะยังไม่ทำการเก็บเกี่ยว แต่จะปล่อยให้มีการแตกแขนงของตายอดแล้วพัฒนาต่อไปเป็นลำต้นเหนือดินเพื่อทำหน้าที่สังเคราะห์แสงสร้างอาหารไปเก็บสะสมในรากสะสมอาหารใต้ดินเป็นแหล่งอาหารสำหรับการหายใจและการเจริญเติบโตของรากและสร้างตาใหม่ต่อไป โดยมีวงจรการเติบโตดังแสดงในภาพที่ 2 ทั้งนี้ควรมีระยะเวลาของการสะสมอาหารอย่างน้อย 3-4 เดือน แล้วตัดแต่งต้นที่ไม่สมบูรณ์หรือทรุดโทรมออกเพื่อคัดเลือกต้นที่สมบูรณ์ประมาณ 4-5 ต้นไว้เป็นต้นแม่ ในช่วงนี้ต้องพรวนดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์หรือพรวนดินกลบโคนต้นเมื่อพบรากโผล่พื้นดิน และควรทำราวเชือกเพื่อช่วยค้ำทรงต้นไม้ให้หักล้มเนื่องจากแรงลม (ภาพที่ 3 ก)

2.2 ระยะการเจริญเติบโตของหน่อหรือช่วงเก็บเกี่ยวหน่อ

หลังจากที่ลำต้นเหนือดินและรากมีการเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว จะมีการแทงหน่อออกมาพร้อมๆ กันจากหลายกลุ่มตาของลำต้นใต้ดิน หน่ออ่อนที่เจริญเติบโตขึ้นมาใหม่นี้จะไม่ปล่อยให้มีการแตกแขนงของตายอดหรือเจริญเป็นลำต้นเหนือดินอีก แต่จะเก็บเกี่ยวเพื่อบริโภคเมื่อนานหน่อเพิ่มขึ้นจนมีความยาวได้ 20-30 เซนติเมตร ซึ่งระยะเวลาของการเก็บเกี่ยวนี้ไม่ควรเกิน 2 เดือน (ภาพที่ 3 ข) และระหว่างการเก็บเกี่ยวควรเปลี่ยนต้นแม่โดยเลือกหน่อที่สมบูรณ์มีขนาดใหญ่ไว้ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงแทนต้นเก่า ควรพูนโคนต้นเพื่อจัดการดินในแปลงที่ยุบตัวลงระหว่างการเก็บเกี่ยว ผลผลิตจะเข้าสู่ขั้นตอนการออกดอก ติดผลและการสุกของผลในต้นเพศเมีย โดยพบว่าในต้นเพศผู้นั้นจะให้หน่อขนาดเล็กกว่าต้นเพศเมียแต่ให้ผลผลิตปริมาณมากและนานกว่าต้นเพศเมีย (Drost, 1997; Feller *et al.*, 2012)



ภาพที่ 2 วงจรการเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่งส่วนเหนือดิน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Feller *et al.* (2012)

2.3 ระยะเวลาชราภาพของลำต้นเหนือดินและการพักตัวของกลุ่มตา

เมื่อผลผลิตหน่อไม้ฝรั่งมีปริมาณและขนาดหน่อลดลงพร้อมกับต้นแม่ทรุดโทรม เปลี่ยนเป็นสีเหลืองแห้งตาย (ภาพที่ 3 ค) เนื่องจากอาหารสะสมในรากมีปริมาณลดลงจนไม่สามารถสร้างจุดกำเนิดตาใหม่ได้ ระยะเวลาจึงควรหยุดการเก็บเกี่ยวหน่อและตัดต้นแม่ทิ้งไปพร้อมทั้งกำจัดวัชพืชเพื่อให้หน่อใหม่ที่แข็งแรงงอกขึ้นมาแทน และพรวนดินเพื่อให้ออกซิเจนแก่รากพร้อมทั้งใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อให้หน่ออ่อนที่แตกขึ้นมาพัฒนาไปเป็นลำต้นเหนือดินเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตของลำต้นเหนือดินและรากอีกครั้ง ซึ่งใช้ระยะเวลาประมาณ 1 เดือน (สุนย์วิชัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน, 2553; โฉน, 2542; ธนพันธุ์, 2545; Neeson, 2004)

(ก)



(ข)



(ค)



ภาพที่ 3 การเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่งในระยะต่างๆ ได้แก่ ระยะการเจริญเติบโตของรากและลำต้นเหนือดิน (ก) ระยะการเจริญเติบโตของหน่อหรือช่วงเก็บเกี่ยวหน่อให้ผลผลิต (ข) ระยะชราภาพของลำต้นเหนือดินและการพักตัวของกลุ่มตา (ค)

3. ปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่ง

3.1 ปัจจัยทางพันธุกรรม (genetic factor)

การเจริญเติบโตของพืชจะถูกควบคุมโดยหน่วยพันธุกรรม (gene) ซึ่งจะควบคุมการทำงานระดับเซลล์ และการพัฒนาของเนื้อเยื่อและอวัยวะให้มีขนาด รูปร่างเป็นไปตามแบบแผนของชนิดและพันธุ์พืช โดยมีอิทธิพลร่วมกับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ดังนั้นในการคัดเลือกพันธุ์หน่อไม้ฝรั่งจึงควรเลือกต้นพันธุ์ที่มีคุณภาพตรงตามมาตรฐานพันธุ์ โดยให้ผลผลิตสูงมีคุณภาพตามความต้องการของตลาดและมีการเจริญเติบโตดีเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

3.2 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม (environmental factors)

3.2.1 ดิน

ดินมีอิทธิพลต่อผลผลิตหน่อไม้ฝรั่งอย่างยิ่ง โดยสมบัติของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่ง คือ เนื้อดินเป็นดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย ควรมีค่าพี-เอช 6-6.7 มีการระบายน้ำดีและมีธาตุอาหารสูงหรือมีความอุดมสมบูรณ์ระดับปานกลางขึ้นไป หน้าดินลึกไม่น้อยกว่า 1.8 เมตร และไม่ควรมีระดับน้ำใต้ดินสูงเกิน 1 เมตร แม้ในฤดูฝน อุณหภูมิดินที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ด ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส ควรมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอย่างน้อยร้อยละ 3 ทั้งนี้หน่อไม้ฝรั่งยังสามารถทนต่อสภาพดินเค็มได้สูงอีกด้วย (ไฉน, 2542; ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน, 2553; Neeson, 2004) โดยสมบัติทางเคมีบางประการของดินที่เหมาะสมสำหรับหน่อไม้ฝรั่ง แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลสมบัติทางเคมีบางประการของดินที่เหมาะสมสำหรับหน่อไม้ฝรั่ง

Analyte	Unit	Range
pH	pH	6.0-6.7
Olsen Phosphorus	mg kg ⁻¹	30-50
Potassium	cmol kg ⁻¹	0.6-1.0
Calcium	cmol kg ⁻¹	6.0-12
Magnesium	cmol kg ⁻¹	1.0-3.0
Sodium	cmol kg ⁻¹	0.0-0.5
CEC	cmol kg ⁻¹	12-25
Available Nitrogen	kg rai ⁻¹	16-24

ที่มา: RJ Hill Laboratories Limited (n.d.)

3.2.2 แสง

แสงสว่างเป็นสิ่งจำเป็นในกระบวนการสังเคราะห์แสง การปลูกหน่อไม้ฝรั่งควรปลูกกลางแจ้งไม่มีร่มเงาบัง เพื่อให้การสังเคราะห์แสงมีช่วงเวลายาวนานและมีประสิทธิภาพ (ไจน, 2542) โดยควรมีความยาวช่วงแสงไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมงต่อวัน (ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน, 2553) พื้นที่ปลูกหน่อไม้ฝรั่งในเขตอบอุ่นจึงมีช่วงเวลาที่สามารถผลิตหน่อไม้ฝรั่งได้น้อยกว่าแถบร้อนซึ่งสามารถให้ผลผลิตได้ตลอดปี (Benson, 2009)

3.2.3 อุณหภูมิ

อุณหภูมิอากาศมีอิทธิพลต่อการแตกตาและการเติบโตของหน่อไม้ฝรั่ง พื้นที่ปลูกหน่อไม้ฝรั่งไม่ควรมีสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงบ่อย โดยหน่อไม้ฝรั่งจะมีการพัฒนาในส่วนรากและลำต้นเหนือดินได้ดีในสภาพอุณหภูมิอากาศระหว่าง 18-29 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสง หน่อไม้ฝรั่งจะเจริญเติบโตช้าและให้ผลผลิตลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำ แต่หน่อจะแตกกิ่งแขนงเร็วและมีเส้นใยมากถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิต่ำกว่า 10 หรือ สูงกว่า 35 องศาเซลเซียส จะแสดงอาการพักตัวเนื่องจากอัตราการดูดซึมน้ำธาตุอาหารจะหยุดลงอย่างรวดเร็ว (ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน, 2553; Drost, 1997) การปลูกหน่อไม้ฝรั่งในเขต

ร้อนจะให้หน่อได้ตลอดปี แต่ขนาดของหน่อจะเล็ก อายุการให้ผลผลิตสั้น มีโรคและแมลงมากกว่า ในเขตหนาว (ไจน, 2542)

3.2.4 ความชื้น

หน่อไม้ฝรั่งเป็นพืชที่ชอบน้ำจึงต้องรักษาความชื้นในดินไว้และต้องมีแหล่งน้ำในพื้นที่เพียงพอตลอดปี หากขาดน้ำหน่อจะมีเส้นใยมากทำให้เหนียวและกระด้าง หน่อไม้ฝรั่งจึงต้องการความชื้นในดินสูงถึงร้อยละ 60 (ไจน, 2542) โดย Drost (1997) กล่าวว่า ดินที่ความชื้นต่ำมีผลต่อการสังเคราะห์แสงและสมดุลคาร์โบไฮเดรตของหน่อไม้ฝรั่ง แต่การให้น้ำมากเกินไปหรือการระบายน้ำไม่ดีอาจส่งผลให้เกิดต้นเหลือง เป็นแผลที่ลำต้น โรคและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย

3.2.5 ธาตุอาหาร

ความต้องการธาตุอาหารของหน่อไม้ฝรั่งในส่วนธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 150 50 และ 50 กิโลกรัม ต่อเฮกแตร์ ต่อปี ตามลำดับ (Neeson, 2004) และมีการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารไปกับผลผลิต (crop removal) ในรอบปีโดยมีสัดส่วน N:P:K เท่ากับ 7:2:5 (Drost, 1997) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนรอบการผลิต โดยความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เหมาะสมในเนื้อเยื่อต้นเทียมและหน่อแสดงในตารางที่ 2 แต่อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อหน่อไม้ฝรั่งยังขึ้นอยู่กับพันธุ์ สภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก ขนาด และความยาวของส่วนต่างๆ ที่นำมาวิเคราะห์อีกด้วย (Makus, 1994; Amaro-Lopez *et al.*, 1999)

ตารางที่ 2 ข้อมูลระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เหมาะสมในเนื้อเยื่อหน่อไม้ฝรั่ง

Analyte	Unit	Fern	Spear
		Upper 30 cm	Upper 9 cm
Nitrogen	g 100g ⁻¹	2.40-3.80	6.50-9.00
Phosphorus	g 100g ⁻¹	0.21-0.35	0.60-0.90
Potassium	g 100g ⁻¹	1.50-2.40	3.00-4.60
Sulphur	g 100g ⁻¹	0.25-0.40	0.70-0.90
Calcium	g 100g ⁻¹	0.40-0.80	0.30-0.40
Magnesium	g 100g ⁻¹	0.15-0.20	0.15-0.20
Iron	mg kg ⁻¹	40-150	50-150
Manganese	mg kg ⁻¹	25-100	20-40
Zinc	mg kg ⁻¹	10-60	80-120
Copper	mg kg ⁻¹	6-12	7-20
Boron	mg kg ⁻¹	50-100	50-100

ที่มา: RJ Hill Laboratories Limited (n.d.)

บทบาทของธาตุอาหารพืชต่อการเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่ง

3.2.5.1 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืชมากที่สุดโดยเป็นธาตุองค์ประกอบของโปรตีน เอนไซม์ต่างๆ และคลอโรฟิลล์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ยงยุทธ, 2552) Wilson *et al.* (2005) กล่าวว่า หน่อไม้ฝรั่งมีการใช้ธาตุไนโตรเจนสูงในช่วงที่มีการเจริญเติบโตของลำต้นเหนือดินและราก ลำต้นเหนือดินที่มีขนาดใหญ่และแข็งแรงสามารถสร้างคาร์โบไฮเดรตส่งไปเก็บในลำต้นใต้ดิน Drost (1997) รายงานว่า จากการใช้ ¹⁵N ติดตามการดูดใช้และการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนของหน่อไม้ฝรั่งที่เจริญเติบโตเต็มที่ที่เป็นเวลา 2 ปี พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนไม่เกินร้อยละ 6 ของปริมาณ ¹⁵N ทั้งหมดที่สูญเสียไปกับผลผลิต และเมื่อเข้าสู่ระยะเสื่อมชราไนโตรเจนร้อยละ 90 จะเคลื่อนย้ายจากส่วนเหนือดินลงสู่ลำต้นใต้ดิน ซึ่งหน่อไม้ฝรั่งที่ขาดธาตุไนโตรเจนจะมีใบเทียมเป็นฝอยเล็กๆ สีเหลืองซีด โดยแสดงอาการที่ใบแก่

ก่อนแล้วแห้งจนหลุดร่วงไป ลำต้นเป็นสีน้ำตาลเล็กน้อย ขอบปล้องสั้นและมีหน่อขนาดเล็ก (เซน, 2537; Barker and Pilbeam, 2007) โดยกรมวิชาการเกษตรได้ให้คำแนะนำการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามระดับอินทรีย์วัตถุในดิน สำหรับหน่อไม้ฝรั่งในระยะย้ายกล้าปลูก ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่แนะนำให้ใส่ตามระดับของอินทรีย์วัตถุในดิน

Organic matter level (g 100g ⁻¹)	Rate of nitrogen (kg N rai ⁻¹)
< 1.5	24
1.5-2.5	18
> 2.5	18

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2553ข)

3.2.5.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่หน่อไม้ฝรั่งมีการใช้เป็นอันดับสามรองมาจากธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมตามลำดับ (Drost, 1997) ธาตุฟอสฟอรัสมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยเป็นองค์ประกอบของสารฟอสเฟตที่ทำหน้าที่ในการรับช่วงถ่ายทอดพลังงานในระบบต่างๆ เช่น ระบบการสังเคราะห์แสง ระบบหายใจ การขนย้ายอาหาร รวมถึงการดูดกินน้ำและธาตุอาหารพืช รูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้คือ $H_2PO_4^-$ และ HPO_4^- (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ยงยุทธ, 2552) ฟอสฟอรัสมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและแผ่กระจายของรากหน่อไม้ฝรั่ง (Drost, 2005) หน่อไม้ฝรั่งที่ขาดฟอสฟอรัสจะมีอาการใบเหลือง ลำต้นสีชมพู การเจริญเติบโตของลำต้นและรากแคระแกรน หน่อมีเส้นใยมาก (เซน, 2537; Barker and Pilbeam, 2007) โดยกรมวิชาการเกษตรได้ให้คำแนะนำการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสสำหรับหน่อไม้ฝรั่งตามค่าวิเคราะห์ดิน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณปุ๋ยฟอสฟอรัสที่แนะนำให้ใส่ตามค่าวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในดิน

Phosphorus soil test (mg kg ⁻¹)	Rate of phosphorus (kg P ₂ O ₅ rai ⁻¹)
< 10	12
10-20	6
> 20	6

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2553ข)

3.2.5.3 โปแทสเซียม

โปแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่หน่อไม้ฝรั่งมีการใช้เป็นอันดับที่สองรองจากไนโตรเจน โดยเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต ควบคุม osmotic pressure ของเซลล์ การเปิด-ปิดปากใบ รักษาระดับ pH ในไซโทพลาสซึมและคลอโรพลาสต์ รวมถึงการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และส่งเสริมการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อเจริญส่วนปลายยอดหรือราก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โดยธาตุโปแทสเซียมมีอิทธิพลร่วมกับฟอสฟอรัสในการพัฒนาราก นอกจากนี้โปแทสเซียมยังมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์พืช เมื่อขาดโปแทสเซียมหน่อไม้ฝรั่งจะมีอาการคลอโรซีสอย่างรุนแรงที่ใบแก่ก่อน ใบอ่อนคลี่ออกช้า กิ่งคดงอขนาดเล็กยาวและหักล้มง่าย (เชน, 2537; Barker and Pilbeam, 2007) โดยกรมวิชาการเกษตรได้ให้คำแนะนำการใส่ปุ๋ยโปแทสเซียมสำหรับหน่อไม้ฝรั่งตามค่าวิเคราะห์ดิน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณปุ๋ยโปแทสเซียมที่แนะนำให้ใส่ตามค่าวิเคราะห์โปแทสเซียมในดิน

Potassium soil test (kg K ₂ O rai ⁻¹)	Rate of potassium (kg K ₂ O rai ⁻¹)
< 60	24
60-100	16
> 100	6

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2553ข)

3.2.5.4 แคลเซียม

หน่อไม้ฝรั่งต้องการแคลเซียมเพื่อเสริมสร้างการเจริญเติบโตของราก โดยเฉพาะในส่วนปลายของรากตลอดจนควบคุมการงอกของเมล็ด นอกจากนี้ยังควบคุมการเคลื่อนย้ายสารต่างๆ ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์การแบ่งเซลล์และทำให้ผนังเซลล์แข็งแรง เป็นต้น (ยงยุทธ, 2552) แคลเซียมจึงมีความสำคัญต่อคุณภาพผลผลิตหน่อไม้ฝรั่งมาก เมื่อขาดธาตุแคลเซียมของหน่อไม้ฝรั่งจะแสดงอาการคลอโรซิสที่ใบอ่อนก่อน ใบเป็นฝอยละเอียด ก้านใบบิด ลำต้นกลางหน่อคดงอและตายจากปลายยอดสู่โคนต้น (เชน, 2537; Barker and Pilbeam, 2007)

3.2.5.5 แมกนีเซียม

แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบหลักของคลอโรฟิลล์ เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แป้ง โปรตีน ไขมัน และวิตามินอีกหลายชนิดโดยทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นเอ็นไซม์ต่างๆ (ยงยุทธ, 2552) เมื่อหน่อไม้ฝรั่งขาดแมกนีเซียมจะปรากฏอาการคลอโรซิสเช่นเดียวกับการขาดไนโตรเจน หน่ออ่อนโค้งงอ ข้อปล้องสั้น (เชน, 2537; Barker and Pilbeam, 2007)

3.2.5.6. กำมะถัน

หน่อไม้ฝรั่งอยู่ในกลุ่มพืชที่ต้องการกำมะถันมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) กำมะถันเป็นองค์ประกอบของ กรดอะมิโน วิตามินและโคแฟกเตอร์ต่างๆ ในพืช ซึ่งดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจึงจะปลดปล่อยกำมะถันในรูปซัลเฟตให้แก่พืชได้อย่างเพียงพอ (ยงยุทธ, 2552) Shalaby (2004) รายงานว่า กำมะถันมีอิทธิพลต่อปริมาณโปรตีนในหน่อไม้ฝรั่งและมักพบอาการขาดกำมะถันทั่วไปในพื้นที่การเกษตรซึ่งมีผลต่อคุณภาพของผลผลิตหน่อไม้ฝรั่ง โดยอาการขาดกำมะถันของหน่อไม้ฝรั่งจะมีสีเขียวอ่อนปนเหลือง และตายจากยอดลงมาสู่ใบล่าง ปลายหน่อโค้งงอ ลำต้นเล็กเป็นฝอย (เชน, 2537; Barker and Pilbeam, 2007)

3.2.5.7 เหล็ก

เหล็กมีบทบาทต่อเมตาบอลิซึมของพืชที่เกี่ยวข้องกับการสร้างคลอโรฟิลล์ สอร์โอมินพืชและเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์หลายชนิด (ขงยุทธ, 2552) หากขาดธาตุเหล็กใบจะแสดงอาการคลอโรซิสที่ใบอ่อน ลำต้นมีสีชมพู หน่อไม่สมบูรณ์ อาการตายเริ่มจากยอดสู่โคน (เซน, 2537; Barker and Pilbeam, 2007)

3.2.5.8 สังกะสี

สังกะสีมีบทบาทต่อการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดซึ่งมีผลต่อการสร้างพลังงานในพืชและยังเกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีน กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อการสร้างฮอร์โมนควบคุมการเจริญเติบโตอีกด้วย (ขงยุทธ, 2552) หน่อไม้ฝรั่งที่ขาดสังกะสีจะมีอาการคลอโรซิสรุนแรง ลำต้นแคระแกร็น ขอบปล้องสั้น ใบอ่อนไม่คลี่ออก (เซน, 2537; Barker and Pilbeam, 2007) อย่างไรก็ตามหน่อไม้ฝรั่งจัดเป็นพืชที่ตอบสนองต่อสังกะสีต่ำมักไม่เกิดอาการขาดสังกะสี (ปริดา และคณะ, 2534)

3.2.5.9 แมงกานีส

แมงกานีสเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงและมีบทบาทที่อาจแทนที่แมกนีเซียมได้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมน้ำตาล (ขงยุทธ, 2552) ซึ่งหน่อไม้ฝรั่งจัดเป็นพืชที่ตอบสนองต่อแมงกานีสต่ำ (ปริดา และคณะ, 2534) ส่วนอาการขาดแมงกานีสจะเกิดคลอโรซิสใบบางเล็กลีบ ใบอ่อนไม่คลี่ ลำต้นไม่แข็งแรงและหน่อเล็ก (เซน, 2537; Barker and Pilbeam, 2007)

3.2.5.10 ทองแดง

ทองแดงเป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีนที่มีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ในกระบวนการหายใจและมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ลิกนิน เพิ่มความสมบูรณ์ของละอองเรณู (ขงยุทธ, 2552) หน่อไม้ฝรั่งที่ขาดทองแดงปลายใบจะแห้งโดยเกิดที่ใบอ่อนก่อน ขอบปล้องสั้น ไม่แตกหน่อ (เซน, 2537; Barker and Pilbeam, 2007) อย่างไรก็ตาม ปริดา และคณะ (2534) รายงานว่า หน่อไม้ฝรั่งเป็นพืชที่มีการตอบสนองต่อทองแดงต่ำ

4. การปลูกหน่อไม้ฝรั่งในประเทศไทย

4.1 พื้นที่ปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

สภาพพื้นที่ของการปลูกหน่อไม้ฝรั่งโดยทั่วไปควรมีความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 600 เมตร และมีความลาดเอียงไม่เกินร้อยละ 5 ซึ่งแหล่งผลิตหน่อไม้ฝรั่งที่สำคัญของไทยส่วนใหญ่อยู่ในภาคกลางและภาคตะวันตก ได้แก่ กาญจนบุรี นครปฐม ราชบุรี สุพรรณบุรี และสระแก้ว (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551) โดยพื้นที่การปลูกหน่อไม้ฝรั่งในภาคและจังหวัดต่างๆ แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกหน่อไม้ฝรั่งในประเทศไทย

Location	Asparagus planted area (rai)		
	Year 2551	Year 2552	Year 2553
Total	22,563	20,840	15,763
Northern	142	86	350
North Eastern	1,556	709	256
Central Region	20,865	20,045	15,157
Phetchaboon	142	86	350
Ubon Ratchathani	112	-	-
Sisaket	145	91	103
Surin	237	148	-
Buriram	219	94	-
Maha Sarakham	297	167	-
Kalasin	228	93	73
Nakhon Ratchasima	318	116	80
Suphanburi	1,926	1,796	1,121
Sa Kaeo	535	462	72
Nakorn Pathom	4,160	4,224	3,712
Kanchanaburi	7,721	7,367	4,841
Rachaburi	6,523	6,196	5,011
Prachuap Khiri Khan	-	-	400

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554)

4.2 พันธุ์หน่อไม้ฝรั่ง

ปัจจุบันการปลูกหน่อไม้ฝรั่งในประเทศไทยยังใช้เมล็ดพันธุ์ที่พัฒนาและปรับปรุงพันธุ์จากต่างประเทศ ทั้งสายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตชนิดหน่อเขียว และหน่อขาวซึ่งมีมากกว่า 30 ชนิด แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พันธุ์ผสมเปิด (open pollinated varieties) และพันธุ์ลูกผสม (standard hybrid) โดยมีพันธุ์หน่อไม้ฝรั่งที่เกษตรกรใช้ปลูกเพื่อการค้ามากที่สุด 8 สายพันธุ์ดังนี้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2544)

4.2.1 พันธุ์แมริวอชิงตัน เป็นพันธุ์ผสมเปิดพันธุ์แรกที่น่าเข้ามาปลูกในประเทศไทยโดยให้ผลผลิตสูง และต้านทานโรคราสนิม หน่อเป็นสีเขียว

4.2.2 พันธุ์แคลิฟอร์เนีย 309 เป็นพันธุ์ผสมเปิดที่ให้ผลผลิตสูง ต้านทานโรคสูง หน่อเป็นสีเขียว

4.2.3 พันธุ์แคลิฟอร์เนีย 500 เป็นพันธุ์ผสมเปิดที่ให้ผลผลิตดี หน่อมีขนาดปานกลาง ส่วนปลายหน่อจะมีกาบใบหุ้มแน่น หน่อเป็นสีเขียว

4.2.4 พันธุ์บลูคิมพีเรียล เป็นพันธุ์ลูกผสมที่ให้ผลผลิตดี ลักษณะของส่วนปลายหน่อและโคนหน่อกลมมนสวย โดยส่วนปลายหน่อจะมีกาบใบหุ้มแน่น

4.2.5 พันธุ์บร็อคคิมพูฟ เป็นพันธุ์ลูกผสมที่ให้ผลผลิตดีมาก หน่อมีขนาดใหญ่ โดยเฉพาะส่วนโคนหน่อจะใหญ่ แต่ส่วนปลายยอดหน่อจะเรียวเล็กกว่าส่วนโคน โดยส่วนปลายหน่อจะมีกาบใบหุ้มไม่ค่อยแน่น พื้นที่ปลูก คือ จังหวัดในภาคตะวันตก เช่น นครปฐม ราชบุรี กาญจนบุรี และสุพรรณบุรี

4.2.6 พันธุ์แอทลาส เป็นพันธุ์ลูกผสมที่ให้ผลผลิตดี หน่อมีลักษณะยาวเรียวเสมอกัน กาบใบหุ้มแน่น มีพื้นที่ปลูกเพียงเล็กน้อยในประเทศไทย

4.2.7 พันธุ์ยูซี 157 เป็นพันธุ์ลูกผสมมีทั้งรุ่นที่ 1 และรุ่นที่ 2 (F1 Hybrid และ F2 Hybrid) ให้ผลผลิตดีมาก หน่อมีขนาดใหญ่ ปลายหน่อและโคนหน่อยาวเรียวเสมอกัน ส่วนปลายจะมีกาบใบหุ้มแน่น สีของหน่อเป็นสีเขียวเข้ม เหมาะสมกับพื้นที่ซึ่งมีสภาพอุณหภูมิกลางวันเย็น และ

มีปริมาณฝนไม่ตกชุกมากเกินไป คุณภาพของหน่อไม้ฝรั่งพันธุ์นี้จะดีมาก พื้นที่ปลูกอยู่ในจังหวัดขอนแก่น กาฬสินธุ์ อุดรธานี และสุพรรณบุรี

4.2.8 พันธุ์พอลโล เป็นพันธุ์ลูกผสมที่ให้ผลผลิตดี ลักษณะของหน่อยาวเรียวยาวเสมอทั้งโคนหน่อและส่วนปลาย ส่วนโคนหน่อเป็นสีเขียวอมม่วง ส่วนปลายจะมีกาบใบหุ้มไม่แน่นค่อนข้างบานเร็วกว่าพันธุ์อื่น ถ้าปลูกในแหล่งที่มีปริมาณฝนตกชุกจะไม่ทนทานต่อโรค พื้นที่ปลูกอยู่ในจังหวัด นครปฐม ราชบุรี กาญจนบุรี และมหาสารคาม

สำหรับพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุดในอำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี คือ พันธุ์บร็อกคิมพู้ฟ (Brock's Improved) (นิตยา, 2550) ซึ่งเป็นพันธุ์ลูกผสมที่มีแนวโน้มให้ผลผลิตดีในสภาพภูมิอากาศในเขตพื้นที่ภาคตะวันตก ปัจจุบันเกษตรกรต้องซื้อเมล็ดพันธุ์จากบริษัทที่จำหน่ายเมล็ดพันธุ์ หรืออาจซื้อต้นกล้าที่เพาะจากเหง้าหรือเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เนื่องจากเมล็ดพันธุ์จากแปลงปลูกของเกษตรกรเองจะมีความแปรปรวนทางพันธุกรรมสูง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

5. การใช้ปุ๋ยในหน่อไม้ฝรั่ง

คำแนะนำการใส่ปุ๋ยสำหรับหน่อไม้ฝรั่งโดยทั่วไป

ก่อนปลูกควรรองก้นหลุมด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัม ต่อไร่ หรือ 1 ช้อนโต๊ะต่อหลุม และในระยะเจริญเติบโตหลังย้ายปลูก 1 เดือน และ ระยะพักต้น ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 หรือ 16-16-16 อัตรา 20-30 กิโลกรัม ต่อไร่ ต่อเดือน ส่วนระยะให้ผลผลิตใส่ปุ๋ยสูตรเดิม หรือ สูตร 13-13-21 อัตรา 25 กิโลกรัม ต่อไร่ ต่อเดือน เพื่อไม่ให้หน่อบานเร็ว (กรมส่งเสริมการเกษตร 2551; ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน, 2553)

ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีความจำเป็นมากสำหรับการปรับปรุงสมบัติของดินให้ดีขึ้น โดยใส่รองพื้นปริมาณ 2-3 ตัน ต่อไร่ และใส่ในช่วงพักต้นอีก 1-2 ตัน ต่อไร่ (กรมส่งเสริมการเกษตร 2551; ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน, 2553) โดย Neeson (2004) รายงานว่า ในขั้นตอนการเตรียมดิน ควรใส่ปุ๋ยพืชสด อัตรา 80-150 กิโลกรัมในโตรเจน ต่อปี หรือ ใส่มูลโค 120 กิโลกรัมในโตรเจน ต่อปี อย่างไรก็ตามจำนวนและปริมาณปุ๋ยที่ใช้ย่อมแตกต่างกันตามสภาพพื้นที่จึงควรมีการวิเคราะห์ดินก่อนปลูกเพื่อลดต้นทุนปุ๋ยและได้ผลตอบแทนสูงสุด

การศึกษาการใช้ปุ๋ยสำหรับหน่อไม้ฝรั่งมีรายงาน ดังนี้

อดิษฐ (2537) ศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจน 3 อัตรา ได้แก่ 0, 75 และ 150 กิโลกรัม ไนโตรเจน ต่อไร่ ต่อปี โดยใส่ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มูลไก่ผสมขานอ้อยหมักอัตรา 2 ตัน ต่อไร่ ต่อการกระจายของรากและผลผลิตหน่อไม้ฝรั่งพันธุ์ร็อคคิมพรีฟที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน พบว่า การให้ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 150 กิโลกรัม ต่อไร่ มีผลให้การชอนไชสู่ดินล่างและการกระจายของรากน้อยกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยและการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 75 กิโลกรัม ต่อไร่ และยังพบว่าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนไม่มีอิทธิพลต่อผลผลิตหน่อไม้ฝรั่งทั้ง 2 รอบการผลิต อาจเนื่องจากหน่อจากหน่อไม้ฝรั่งได้รับไนโตรเจนเพียงพอแล้วจากปุ๋ยอินทรีย์จึงไม่ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

จิตชนก (2549) ศึกษาการให้ปุ๋ยไนโตรเจน 2 อัตรา คือ 15 และ 30 กิโลกรัม ต่อไร่ ต่อรอบการผลิต กับหน่อไม้ฝรั่งพันธุ์ร็อคคิมพรีฟอายุ 1, 2 และ 3 ปี พบว่า จำนวนและน้ำหนักหน่อสดรวมไม่แตกต่างกันในแต่ละอัตราปุ๋ยไนโตรเจน แต่แตกต่างกันตามอายุของต้น โดยต้นอายุ 2 ปี ให้ผลผลิตหน่อสดสูงที่สุด

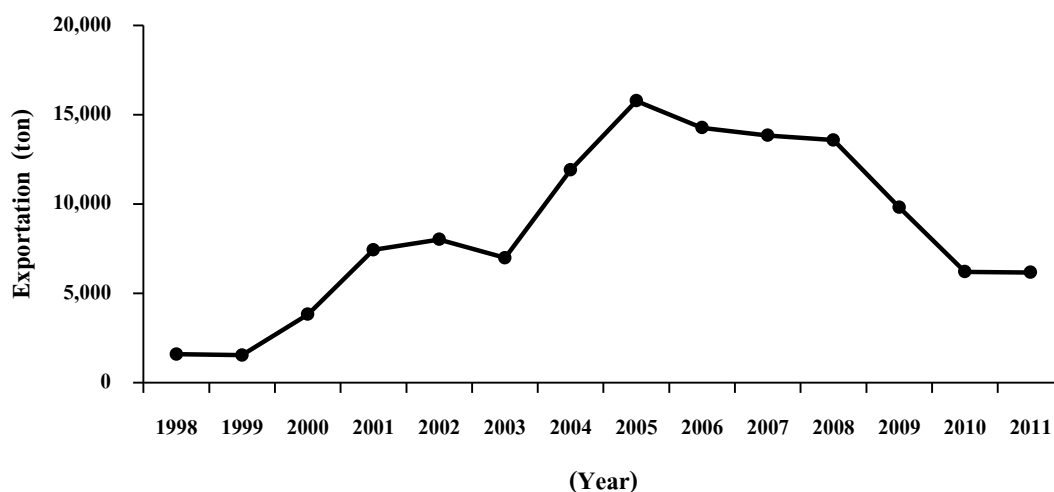
ไชยา (2554) ทำการทดลองในเรื่องทดลองเพื่อศึกษาผลของปุ๋ยละลายช้าต่อผลผลิตของหน่อไม้ฝรั่งพันธุ์ร็อคคิมพรีฟที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสนผสมเกลบดินและมูลไก่ สัดส่วน 4:1:1 พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนละลายช้า (floranid; isobutylidene diurea) อัตรา 24 กิโลกรัม ต่อไร่ โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง มีผลให้จำนวน เส้นผ่าศูนย์กลางและน้ำหนักหน่อสูงที่สุด

6. สภาพปัญหาการผลิต

6.1 ปัญหาด้านพันธุ์และสารเคมีตกค้าง

จากข้อมูลการส่งออกหน่อไม้ฝรั่งของไทย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) พบว่า ปริมาณการส่งออกหน่อไม้ฝรั่งลดลงเรื่อยๆ ตั้งแต่ปี 2549 เป็นต้นมา (ภาพที่ 4) กรมส่งเสริมการเกษตร (2553) รายงานว่า แม้ประเทศไทยจะมีศักยภาพในการผลิตสูงเนื่องจากสามารถให้ผลผลิตได้ตลอดทั้งปีและมีคุณภาพดีกว่าประเทศคู่แข่ง เช่น ฟิลิปปินส์ แต่มีข้อจำกัดเรื่องสารเคมีตกค้าง ขาดแคลนพันธุ์ที่ดี และมีสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงบ่อยส่งผลกระทบต่อคุณภาพผลผลิต ทั้งนี้กรมส่งเสริมการเกษตรได้แนะนำแนวทางพัฒนาไว้ดังนี้ คือ ใช้สารเคมีที่ประเทศคู่ค้ากำหนดส่งเสริมการผลิตแบบอินทรีย์ หาพันธุ์ที่เหมาะสมโดยสนับสนุนการใช้ต้นกล้าจากเทคนิคเพาะเลี้ยง

เนื้อเยื่อ โดย นิติยา (2550) รายงานว่า ปัญหาส่วนใหญ่ของเกษตรกรผู้ปลูกหน่อไม้ฝรั่งในอำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี ที่เป็นปัญหาด้านการผลิต ได้แก่ การเกิดโรคระบาด การขาดแคลนน้ำ ที่ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ ปุ๋ยและสารเคมีมีราคาแพง เป็นต้น



ภาพที่ 4 ปริมาณการส่งออกหน่อไม้ฝรั่งสดของไทย

ที่มา: คัดแปลงจาก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2555)

6.2 ปัญหาด้านการใช้ปุ๋ย

การปลูกหน่อไม้ฝรั่งมีการใช้ทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีอย่างเข้มข้นเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพเพียงพอสำหรับการส่งออก โดยในปัจจุบันเกษตรกรนิยมใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณมากขึ้น โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนซึ่งละลายน้ำง่าย และมีการปลดปล่อยไนโตรเจนในอัตราสูงเกินความต้องการสำหรับพืช และอาจเกิดการสูญเสียไปจากดินมากจนทำให้ความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนต่อพืชลดลง ซึ่งจากการศึกษาของ พรพรรณ (2553) พบว่า ปริมาณการใส่ปุ๋ยในแปลงหน่อไม้ฝรั่งของเกษตรกรผู้ปลูกหน่อไม้ฝรั่งในจังหวัดนครปฐม กาญจนบุรี และราชบุรี มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 13-13-21 และ 15-15-15 ในอัตรา 700 -899 กิโลกรัม ต่อไร่ ต่อปี สูงที่สุด (ตารางที่ 7) ซึ่งคิดเป็นปริมาณไนโตรเจน 60-175 กิโลกรัม ต่อไร่ ต่อปี ซึ่งการใส่ปุ๋ยสูงกว่าปริมาณดังกล่าวจะไม่มีผลต่อผลผลิตแต่จะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา เช่นเดียวกับรายงานของ Phupaibul *et al.* (2004) พบว่า มีการสะสมฟอสฟอรัสในดินและมีการปนเปื้อนไนเตรทในน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่เพาะปลูกหน่อไม้ฝรั่งในตำบลหนองงูเหลือม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม ซึ่งมีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราเฉลี่ย 134.4

กิโลกรัมไนโตรเจน ต่อไร่ ต่อปี และจากรายงานของ Tirado (2007) พบว่า มีการปนเปื้อนไนเตรทในแหล่งน้ำบาดาลสูงกว่า 3 เท่าของมาตรฐานปริมาณไนเตรทในน้ำดื่มที่องค์การอนามัยโลกกำหนดในบริเวณพื้นที่เพาะปลูกหน่อไม้ฝรั่งในจังหวัดกาญจนบุรี

ตารางที่ 7 ร้อยละของเกษตรกรผู้ปลูกหน่อไม้ฝรั่งจำแนกโดยปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี

Consumption of chemical fertilizers (kg rai ⁻¹ year ⁻¹)	Asparagus growers (%)			Total
	Kanchanaburi	Nakhon Pathom	Ratchaburi	(%)
100 - 299	0	0	1	1
300 - 499	2	5	7	14
500 - 699	7	6	12	25
700 - 899	8	19	6	33
>900	9	9	9	27
Total	26	39	35	100

ที่มา: พรพรรณ (2553)

สุกัญญา และคณะ (2554) ศึกษาอิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจน 5 อัตรา คือ 0, 5.6, 11.25, 22.5 และ 45 กิโลกรัมไนโตรเจน ต่อไร่ ร่วมกับมูลโคอัตรา 1.5 ตัน ต่อไร่ ต่อผลผลิตหน่อไม้ฝรั่งพันธุ์บร็อกคิมพีฟและการสะสมของไนเตรทในชั้นหน้าตัดดินของชุดดินกำแพงแสน อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี เป็นเวลา 1 ปี พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 22.5 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ เป็นอัตราที่เหมาะสมสำหรับการปลูกหน่อไม้ฝรั่ง เนื่องจากให้ผลผลิตไม่แตกต่างทางสถิติกับการให้ปุ๋ยในอัตราสูงสุด และมีปริมาณไนเตรทในชั้นดินล่างที่ความลึก 15-90 เซนติเมตร ในระดับที่ไม่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสู่ลำต้นได้ดิน ขณะที่การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตรา 45 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ มีโอกาสที่ไนเตรทจะเคลื่อนย้ายสู่แหล่งน้ำใต้ดินได้สูงและยังเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตของเกษตรกรอีกด้วย

อำนาจ (2548) กล่าวว่า ปัจจัยที่ส่งเสริมให้มีปริมาณไนเตรทสูงในสภาพดินที่มีออกซิเจน คือ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในรูปไนเตรทลงไปในดินมากและการมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูง โดยอินทรีย์วัตถุจะเป็นแหล่งสำรองไนโตรเจนที่ค่อยๆ ปลดปล่อยออกมาในรูปแอมโมเนียมแล้วเปลี่ยน

รูปเป็นไนเตรทอย่างรวดเร็วเกินความต้องการของพืช ทำให้เกิดการสะสมไนเตรททั้งในพืชและในดินแล้วเกิดการชะล้างไนเตรทสู่แหล่งน้ำต่อไป

ปุ๋ยอินทรีย์

1. ความหมาย ชนิด และสมบัติ

ปุ๋ย (fertilizer) หมายถึง สารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารแก่พืชไม่ว่าโดยวิธีใด หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดิน เพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช แบ่งได้ 3 ชนิด คือ ปุ๋ยแร่ธาตุ ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพ (อำนาจ, 2554)

ปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยที่มีส่วนประกอบเป็นสารอินทรีย์ แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ ปุ๋ยอินทรีย์สังเคราะห์ เช่น ปุ๋ยยูเรีย และปุ๋ยที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด รวมทั้งซากพืช ซากสัตว์ ของเสียจากอุตสาหกรรมหรือครัวเรือน เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบของสารอินทรีย์ต่างๆ ธาตุอาหารในปุ๋ยจะเกิดประโยชน์ต่อพืชได้เมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ก่อน แล้วจึงปลดปล่อยออกมาในรูปอนินทรีย์ (ชงชัย, 2550; อำนาจ, 2554)

ปุ๋ยอินทรีย์มีบทบาทและความสำคัญในด้านต่างๆ คือ ช่วยปรับปรุงสมบัติดินด้านกายภาพ เช่น ทำให้ดินร่วนซุย เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ ช่วยปรับปรุงสมบัติดินด้านเคมีจากการเพิ่มอินทรีย์วัตถุซึ่งทำให้ชะลอการสูญเสียธาตุอาหารในชั้นดิน ควบคุมการเปลี่ยนแปลงค่า pH เพิ่มค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ลดการละลายของธาตุบางชนิดที่เป็นพิษในดินกรดจัด เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ปุ๋ยอินทรีย์จึงเป็นสารปรับปรุงดินในรูปสารอินทรีย์ชนิดหนึ่ง โดยเน้นการปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพและความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นหลัก (ปิยะ, 2553)

เมื่อเปรียบเทียบในเชิงธาตุอาหารระหว่างปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีจะพบว่าโดยทั่วไปปุ๋ยอินทรีย์จะมีสมบัติและปริมาณธาตุอาหารที่มีความผันแปรสูงและมีปริมาณธาตุอาหารต่ำกว่าปุ๋ยเคมีมาก โดยธาตุอาหารในรูปอินทรีย์สารจะถูกปลดปล่อยให้พืชช้าๆ จากการย่อยสลาย การบอกปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์จึงแสดงในรูปปริมาณทั้งหมดในแต่ละธาตุเป็นร้อยละน้ำหนักแห้งของปุ๋ย แทนการแสดงในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช การให้ธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์แก่พืชจึงช้าและน้อย ซึ่งหากต้องการให้พืชได้รับธาตุอาหารเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีจะต้องใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีหลายเท่า (อำนาจ, 2548) ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่เพิ่มผลผลิตได้เท่ากับปุ๋ยเคมี 1 กิโลกรัม

Types of organic fertilizer	Amount of organic fertilizer to increase crop yields equal to 1 kg of chemical fertilizer (kg dry weight)
Bat guano	8
Chicken manure	12
Duck manure	14
Pig manure	18
Cow manure	20
Compost	44 -70

ที่มา: อำนาจ (2548)

Guster *et al.* (2005) ศึกษาผลระยะสั้นและผลตกค้างจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์โดยค่า Mineral-Fertilizer Equivalent (MFE) เปรียบเทียบการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยอินทรีย์กับปุ๋ยเคมี พบว่า ในระยะเวลา 1 ปี ปุ๋ยเคมีสามารถปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์แก่พืชได้ร้อยละ 50-80 แต่ให้แหล่งสะสมไนโตรเจนแก่ดินน้อย ส่วนปุ๋ยอินทรีย์จะปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์แก่พืชได้ไม่เกินร้อยละ 50 แต่ให้แหล่งสะสมไนโตรเจนแก่ดินสูงในระยะยาว

2. ปุ๋ยหมัก

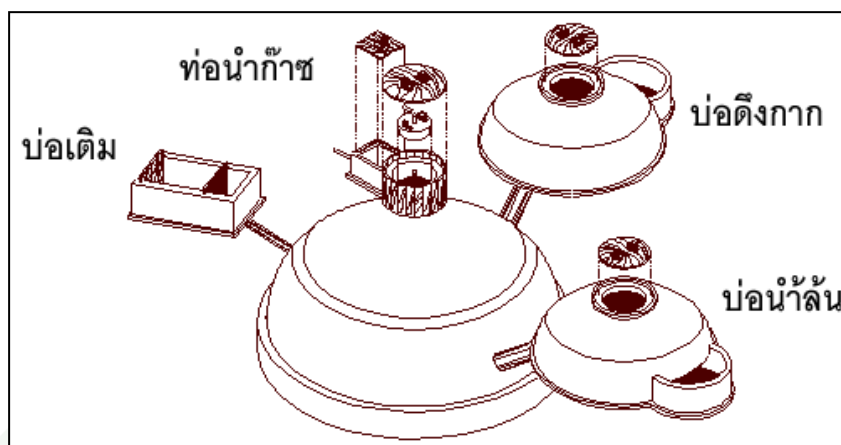
ปุ๋ยหมัก (compost) คือ การนำอินทรีย์สารมาองรวมกัน โดยรักษาความชุ่มชื้นไว้แล้วปล่อยให้เน่าเปื่อย มีกลิ่นของปุ๋ยทุก 1 เดือน ภายในระยะเวลา 3 – 4 เดือน ปุ๋ยหมักจึงสามารถใช้ประโยชน์ได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) จากการศึกษาของวาสนา และคณะ (2551) พบว่า เกษตรกรในชุมชนหุบมะเกลือ อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี มีการผลิตปุ๋ยหมักในท้องถิ่นจากมูลโคและผักตบชวาโดยใช้เทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองแบบกองเดิมอากาศ ซึ่งช่วยลดระยะเวลาการหมักเป็น 2 เดือน ลดต้นทุน แรงงานและพื้นที่ในการผลิตลง โดยปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดินและกรมวิชาการเกษตร

3. กากตะกอนชีวภาพ (Biogas sludge)

กากตะกอน หรือ สลัดจ์ (sludge) หมายถึง ตะกอนกึ่งแข็งกึ่งเหลวที่แยกออกจากน้ำเสีย (primary sludge) หรือของแข็งส่วนเกินที่ได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพหรือทางเคมี (secondary sludge) การกำจัดกากตะกอนมีหลักการโดยทั่วไป คือทำให้กากตะกอนเข้มข้นขึ้น แยกน้ำออกจากกากตะกอน และลดปริมาณสารอินทรีย์ ซึ่งการลดปริมาณสารอินทรีย์จะทำให้สภาพของกากตะกอนอยู่ในรูปที่คงตัวและไม่มีการเน่าเหม็นโดยอาศัยวิธีทางชีวภาพ คือ การย่อยสลายของจุลินทรีย์ทั้งชนิดที่ใช้ออกซิเจน (aerobic digestion) และไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic digestion) (วีระ, 2545; เกรียงศักดิ์, 2547; สันทัต, 2552)

กากตะกอนชีวภาพที่ได้จากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนหรือบ่อแก๊สชีวภาพแบบถังหมัก (anaerobic digester) มีความแตกต่างจากกากตะกอนจากบ่อแก๊สชีวภาพแบบบ่อเปิด (anaerobic pond) ซึ่งมีสภาพเป็นด่าง ค่า pH เท่ากับ 7.8 มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมปริมาณน้อยกว่าเพียงร้อยละ 0.37, 0.35 และ 0.21 ตามลำดับ (มานัส และ คณะ, 2535) โดยกากตะกอนที่ย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะมีสีน้ำตาลเข้มถึงสีดำอาจมีกลิ่นเหม็นบ้างถ้ามีแก๊สผสมมาก แต่จะไม่มีการเน่าเหม็นหากการย่อยสลายทั่วถึงและจะเกิดแก๊สมีเทนขึ้นในกระบวนการหมัก ส่วนกากตะกอนที่ย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนจะมีสีน้ำตาลอ่อนขุ่นเข้ม และมักมีกลิ่นเหม็น (เกรียงศักดิ์, 2552)

กากตะกอนชีวภาพ (biosludge) หรือ ตะกอนชั้นเหลว (bioslurry) จากบ่อรับกากจากบ่อน้ำล้นซึ่งนำมาตากแห้งบนลานตากตะกอนของระบบแก๊สชีวภาพแบบโดมคงที่ (fixed dome digester) ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ส่งเสริมให้ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็ก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) มีโครงสร้างของระบบแบ่งออกเป็น 4 ส่วนสำคัญ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 โครงสร้างของระบบก๊าซชีวภาพแบบ Fixed dome

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553)

ในพื้นที่ตำบลบ้านเลือก อำเภอโศกราม จังหวัดราชบุรี มีการใช้เทคโนโลยีบ่อแก๊สชีวภาพดังกล่าวเป็นระบบกำจัดของเสียจากฟาร์มโคนมด้วยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไม่มีอากาศ ซึ่งนอกจากเป็นการลดมลภาวะในชุมชนแล้ว ยังให้ผลตอบแทนเป็นแก๊สมีเทนและกากตะกอนที่ย่อยแล้ว ซึ่งไม่มีพลังงานความร้อนแฝง และไม่มีปัญหาการเน่าเหม็นเมื่อนำไปกำจัดในขั้นตอนสุดท้ายหรือนำไปใช้ประโยชน์ เป็นปุ๋ยอินทรีย์ (ศูนย์พัฒนาและส่งเสริมแก๊สชีวภาพภาคเหนือ, 2535; สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน, 2555)

Guster *et al.* (2005); Karki *et al.* (2005); Li *et al.* (2012a) รายงานว่า สมบัติของกากตะกอนของบ่อแก๊สชีวภาพจากเทคโนโลยีย่อยสลายขยะอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนได้ผ่านการย่อยสลายสารประกอบเชิงซ้อนเป็นอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายสมบูรณ์ มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ฮิวมัส และไนโตรเจนสูง สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ จุลินทรีย์ก่อโรคน้อย และไม่มีกลิ่นเหม็น เป็นปุ๋ยที่เป็นมิตรต่อสุขภาพ (healthy fertilizer) แต่มีข้อควรระวังของการสะสมไนเตรทในดิน และการปนเปื้อนลงสู่ลำน้ำใต้ดิน นอกจากนี้ Tulayakul *et al.* (2011) ได้รายงานว่าการนำกากตะกอนมูลสุกรจากระบบบ่อแก๊สชีวภาพไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืชควรระมัดระวังเนื่องจากมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี ทองแดง และตะกั่ว ซึ่งปริมาณธาตุอาหารหลักของกากตะกอน เปรียบเทียบกับปุ๋ยคอกและปุ๋ยหมักมูลสัตว์ แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ปริมาณธาตุอาหารหลักในปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมักมูลสัตว์ และกากตะกอนชีวภาพ

Nutrients	Fresh dung	Composted manure	Bio slurry
	(%)
Total N	0.5-1.0	0.5-1.5	1.4-1.8
Total P ₂ O ₅	0.5-0.8	0.4-0.8	1.1-2.0
Total K ₂ O	2.50	2.50	0.8-1.2

ที่มา: Karki *et al.* (2005)

ปิยะ (2553) กล่าวว่า การนำตะกอนน้ำเสียจากชุมชน (sewage sludge) มาตากหรืออบให้แห้งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปสารปรับปรุงดินได้ และการนำกากตะกอนน้ำเสียไปหมักในสภาพมีอากาศร่วมกับวัสดุอินทรีย์อื่นๆ เช่น ขี้เลื่อย ตอซังพืช แกลบ เป็นต้น เรียกว่า ตะกอนน้ำเสียหมัก (sewage sludge compost) จะทำให้ส่วนผสมที่ได้มีความเข้มข้นของโลหะหนักเจือจางลง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจากวัสดุอินทรีย์

จากอดีตถึงปัจจุบันได้มีการศึกษาการใช้กากตะกอนจากบ่อแก๊สชีวภาพเป็นปุ๋ยสำหรับพืช ดังนี้

มานัส และคณะ (2535) ทำการศึกษากากตะกอนที่ได้จากการหมักมูลสุกรเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวให้ผลผลิตสูงสุด โดยการใส่กากตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมีสัดส่วน 50:50 และ 25:75 ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ส่วนการใช้กากตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมีในระบบการปลูกกะหล่ำปลี-ข้าวโพดหวาน พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวให้ผลผลิตกะหล่ำปลีสูงสุด โดยการใช้กากตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตรา 75:25, 50:50 และ 25:75 ให้ผลผลิตเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ขณะที่ในระบบการปลูกกะหล่ำปลี-ข้าวโพดหวาน พบว่า ตำรับที่ได้รับกากตะกอนอย่างเดียวและการใช้กากตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตรา 75:25 ให้ผลผลิตกะหล่ำปลีสูงที่สุด โดยผลผลิตข้าวโพดหวานที่ปลูกตามหลังผักทั้ง 2 ระบบให้ผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับที่ใส่ปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดในสัดส่วนต่างๆ

Karki *et al.* (2005) รายงานว่า ผลของการใช้กากตะกอนชีวภาพมูลสุกรมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับการใส่ปุ๋ยเคมีในการผลิต ผัก ข้าวโพด ถั่วเขียว และผักบุ้งฝรั่ง

Hanackova *et al.* (2006) ศึกษาอิทธิพลของกากตะกอนชีวภาพของขยะอินทรีย์จากพืชและสัตว์ ต่อปริมาณอินทรีย์ในโตรเจนในดินและคุณภาพของหัวชูกำบัต พบว่า การใส่กากตะกอนชีวภาพมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียมและไนเตรทในดินซึ่งสอดคล้องต่อการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของหัวชูกำบัต

Bougnom *et al.* (2012) ทำการทดลองผลของการใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยคอกและกากตะกอนชีวภาพของมูลสัตว์เป็นปุ๋ยสำหรับหญ้าเลี้ยงสัตว์ พบว่า อิทธิพลร่วมของปุ๋ยเคมีและกากตะกอนชีวภาพช่วยส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน และปรับปรุงสมบัติของดิน ได้แก่ ค่าพี-เอช และค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งทำให้ผลผลิตสูงขึ้น โดยกากตะกอนชีวภาพมีอิทธิพลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ค่าการนำไฟฟ้า และผลผลิตเพิ่มขึ้น

4. มูลสุกร

มูลสุกรเป็นของเสียส่วนหนึ่งจากฟาร์มเลี้ยงสุกรซึ่งมี 2 ประเภทหลัก คือ ส่วนที่เป็นมูลสุกรและเศษอาหารที่ตกค้างในคอก และส่วนที่เป็นของเหลวจากปัสสาวะ และน้ำล้างคอก ซึ่งสามารถจัดการของเสียโดยทั่วไปด้วยการตากแห้งบรรจุกระสอบขายเป็นอาหารปลาหรือปุ๋ยอินทรีย์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

สุกัญญา และ คณะ (2552) ได้รายงานปริมาณธาตุอาหารในมูลสุกรดังแสดงในตารางที่ 10 ทั้งนี้ได้ทดลองนำมูลสุกรหรือกากตะกอนมูลสุกรมาใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยทางดินสำหรับพืช ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง ไม้ผล ไม้ดอก และพืชผัก ซึ่งพบว่าช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดิน ให้ธาตุอาหารรองและจุลธาตุ ทำให้ดินร่วนซุย และส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน เป็นต้น

ปราโมทย์ (2546) ศึกษาผลของปุ๋ยคอกชนิดต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตและคุณภาพหน่อไม้ฝรั่งพันธุ์ร็อคคิมพูฟใน 2 รอบการผลิต พบว่า การใส่ปุ๋ยมูลสุกรอัตรา 3 ตันต่อไร่ มีแนวโน้มให้จำนวนหน่อและผลผลิตรวมสูงที่สุดทั้ง 2 รอบการผลิต ส่วนด้านคุณภาพหน่อไม้ฝรั่งพบว่า การใส่มูลสุกรและการใส่ปุ๋ยหมักให้น้ำหนักหน่อเกรดเอ-ตมสูงสุดในรอบการผลิตแรกและรอบการผลิตที่สอง ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ปริมาณธาตุอาหารในมูลสุกร

N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Fe	Cu	Mn	Zn
(g kg ⁻¹)							(mg kg ⁻¹)			
2.7	3.1	1.1	3.9	1.2	0.2	0.3	0.4	611.1	1030.1	975.8

ที่มา: สุกัญญา และ คณะ (2552)

วัสดุอินทรีย์

วัสดุอินทรีย์ (organic materials) หมายถึง สารประกอบอินทรีย์จากเศษซากเหลือของพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ทั้งในรูปของแข็ง และของเหลว เมื่อถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จะได้ทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ เช่น โพลีแซคคาไรด์ กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน ฮอร์โมนพืช คาร์บอนไดออกไซด์ ฮิวมัส ธาตุอาหารพืช และเซลล์ของจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยวัสดุอินทรีย์บางชนิด ได้แก่ วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากไร่นา วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ซากสัตว์ และผลพลอยได้จาก โรงฆ่าสัตว์ และวัสดุอินทรีย์อื่นๆ สามารถนำมาใช้ปรับปรุงดินเพื่อการปลูกพืชได้ (อรพิน, 2551)

1. ถ่านแกลบ (rice husk charcoal or rice husk biochar)

ไบโอชาร์ (biochar) คือ ถ่านที่ได้จากวัสดุอินทรีย์ซึ่งผ่านการแยกสลายมวลชีวภาพด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 450 องศาเซลเซียส และเพิ่มความร้อนขึ้นช้าๆ ใช้เวลาหลายชั่วโมง (slow pyrolysis) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554; Zwieten *et al.*, 2010) โดยยงยุทธ (2554) กล่าวว่า ไบโอชาร์ หรือ ถ่านดำจากมวลชีวภาพ (charcoal from biomass) มีปริมาณธาตุอาหารต่ำจึงไม่ใช่ปุ๋ยแต่มีสมบัติเป็นสารปรับปรุงดินได้ โดยเป็นวัสดุพืชรุนที่สลายตัวยาก มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง และมีสภาพเป็นด่าง การใส่ไบโอชาร์ในดินจึงมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดินทำให้เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ และการเจริญเติบโตของพืช

ถ่านแกลบ (rice husk charcoal or rice husk biochar) คือ ไบโอชาร์ที่ได้จากการนำแกลบดิบมาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ในสภาพไร้ออกซิเจน (ภาพที่ 6 ก) เนื่องจากผ่านการเผาไหม้ด้วยอุณหภูมิต่ำอย่างช้าๆ ทำให้คาร์บอนยังคงรูปสารประกอบที่มีเสถียรภาพและมีความพืชรุนสูง

ทนทานต่อการย่อยสลาย มีธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และซิลิกาสูง สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน และเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนในดินที่ดี (ทัศนีย์, 2551; ประทีป, 2551) โดย Ogawa and Okimori (2010) กล่าวว่า ถ่านแกลบเป็นไบโอชาร์ชนิดหนึ่งที่มีการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงดินในประเทศญี่ปุ่น และอินโดนีเซียมายาวนาน สำหรับประเทศไทยได้มีการเผยแพร่การใช้ประโยชน์ และการผลิตถ่านแกลบโดยศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. คาซุทาเคะ คิวมา ซึ่งถ่านแกลบสามารถผลิตได้ง่ายจากการนำแกลบคิบมาเผาในสภาพออกซิเจนต่ำด้วยเตาเผาถ่านแกลบที่ดัดแปลงจากถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร ใช้เวลาประมาณ 12-14 ชั่วโมง

Ogawa and Okimori (2010) รายงานว่า ผลของการใช้ถ่านแกลบในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ในประเทศอินโดนีเซียมีการใช้ถ่านแกลบช่วยส่งเสริมระบบการปลูกพืชหมุนเวียนถั่วเหลือง – ข้าวโพด โดยพบการเพิ่มขึ้นของปมรากถั่ว เพิ่มการเจริญเติบโต และผลผลิตถั่วเหลืองและข้าวโพด ไม่เกิดการตกค้างของปุ๋ย และสารเคมี ส่วนการทดลองในประเทศไทยพบว่าถั่วเหลืองมีชีวมวลผลผลิต และอัตราการตรึงไนโตรเจนเพิ่มขึ้น สมบัติของดิน ได้แก่ ความพรุน การอุ้มน้ำ ค่าพี-เอช ดิน และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงขึ้น

Masulili *et al.* (2010) พบว่า ถ่านแกลบมีผลต่อการเพิ่มชีวมวลของข้าวที่ปลูกบนดินเปรี้ยวจัดในประเทศอินโดนีเซีย ช่วยเพิ่มความพรุน การอุ้มน้ำ ค่าปฏิกริยาดิน ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ปริมาณคาร์บอน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม ช่วยลดความหนาแน่น ความแกร่งของดิน และลดปริมาณอลูมิเนียมและเหล็กที่แลกเปลี่ยนได้

คำวิเคราะห์ถ่านแกลบของ ทัศนีย์ (2551); Islam (2008); Masulili (2010) และ Wang *et al.*, (2011) ซึ่งกล่าวว่า มีค่าพี-เอช 7.1-9.1 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เท่ากับร้อยละ 0-6.2, 0.12-0.35, 0.2-2.25, 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

3. ทะลายปาล์มเปล่า (oil palm empty fruit bunch)

ทะลายปาล์มเปล่า (ภาพที่ 6 ข) เป็นของเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มซึ่งคิดเป็นร้อยละ 22 ของน้ำหนักทะลายปาล์มสด ในอดีตเคยเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมเพราะเป็นทั้งแหล่งเพาะพันธุ์ศัตรูพืช และก่อให้เกิดมลภาวะ แต่เนื่องจากทะลายปาล์มเปล่ามีเส้นใยสูง และยังเป็นแหล่งคาร์บอนรวมถึงธาตุอาหารอื่นๆ (Tabi *et al.*, 2008; อัญชลี, 2550) ปัจจุบันจึงมีการนำมาใช้

เป็นวัสดุเพาะเห็ด อาหารสัตว์ อุตสาหกรรมสิ่งทอ เชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม วัสดุคลุมดินในสวนปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยหมัก (ธีระพงศ์, 2551)

Lim and Zaharah (2000) ศึกษาการย่อยสลายและการปลดปล่อยไนโตรเจนและโพแทสเซียมของทะลายปาล์มเปล่าที่ใช้เป็นวัสดุคลุมดินบริเวณโคนต้นปาล์มน้ำมันในประเทศมาเลเซีย พบว่าภายในระยะเวลา 3 และ 8 เดือน ทะลายปาล์มมีการย่อยสลายร้อยละ 50 และ 70 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยภายในระยะเวลา 6 และ 10 เดือน มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมร้อยละ 90 และ 99 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในทะลายปาล์ม ส่วนการปลดปล่อยไนโตรเจนไม่สามารถตรวจพบได้ในระยะเวลา 10 เดือน

Bakar *et al.* (2011) รายงานว่า ผลของการใส่ทะลายปาล์มเปล่าต่อเนื่องกัน 10 ปี ต่อสมบัติทางเคมีของดินในสวนปาล์มน้ำมันประเทศมาเลเซีย ช่วยเพิ่มค่าพี-เอชดิน ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน อินทรีย์คาร์บอน และปริมาณไนโตรเจน ช่วยลดปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้ และพบว่าการใส่ทะลายปาล์มเปล่าในอัตรา 300 กิโลกรัมต่อปี ให้ผลผลิตมากกว่าอัตรา 150 กิโลกรัมต่อปี ขณะที่การใส่ทะลายปาล์มอัตรา 150 กิโลกรัมต่อปี ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว

ค่าวิเคราะห์ทะลายปาล์มเปล่าในประเทศมาเลเซียและอินโดนีเซียของ Heriansyah (2000) Zaharah and Lim (2000) และ Tabi *et al.* (2008) ซึ่งพบว่า มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงถึงร้อยละ 48.8-51.1 มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันเท่ากับร้อยละ 0.2-0.8, 0.03-0.19, 1.4-2.4, 2, 1.7-0.2 และ 0.2 ตามลำดับ

(ก)



(ข)



ภาพที่ 6 วัสดุอินทรีย์ที่นำมาผสมกับกากตะกอนชีวภาพ ได้แก่ ถ่านแกลบจากกระบวนการ slow pyrolysis (ก) ทะลายปาล์มเปล่าจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม (ข)

การปลดปล่อยไนโตรเจน

ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ในดินจะเป็นแหล่งไนโตรเจนที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชซึ่งปริมาณไนโตรเจนที่พืชจะได้รับนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการสลายตัวของอินทรียสาร และการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปอนินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (N mineralization) ซึ่งประกอบด้วย 2 กระบวนการย่อย คือ กระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (ammonification) โดยไนโตรเจนในรูปอินทรียสารถูกเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+ \text{-N}$) และกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ซึ่งแอมโมเนียมจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรท ($\text{NO}_3^- \text{-N}$) โดยผ่านกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน ทั้งนี้จะมีไนโตรเจนส่วนหนึ่งที่ถูกนำไปใช้สร้างมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ปริมาณและความเร็วในการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนเป็นผลจากสมบัติของวัสดุอินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน หรือปริมาณสารประกอบพวกลิกนิน (lignin) และโพลีฟีนอล (polyphenol) ซึ่งเป็นสารต้านการสลายตัวเพราะมีโครงสร้างที่ย่อยสลายยาก โดยวัสดุอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนสูง สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ มีปริมาณลิกนินและโพลีฟีนอลต่ำจะมีการสลายตัวสูง และปลดปล่อยไนโตรเจนทันทีในช่วงแรก ส่วนวัสดุอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนต่ำ สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง มีปริมาณลิกนินและโพลีฟีนอลสูงจะมีการสลายตัวและปลดปล่อยไนโตรเจนอย่างช้าๆ (Vityakon *et al.*, 2000; Khalil *et al.*, 2005) ซึ่งจากการศึกษาของ Singh *et al.* (2007) พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ผสมกันระหว่างวัสดุอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูง (มีไนโตรเจนสูง สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ และมีปริมาณลิกนินและโพลีฟีนอลสูง) และวัสดุอินทรีย์ที่มีคุณภาพต่ำ (มีไนโตรเจนต่ำ สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง และมีปริมาณลิกนินและโพลีฟีนอลสูง) ในระบบการปลูกพืชหมุนเวียนข้าว-ข้าวบาร์เลย์ จะเกิดการปลดปล่อยไนโตรเจน และปริมาณไนโตรเจนรวมสูงกว่าการใส่วัสดุอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงอย่างเดียว และยังลดการสูญเสียไนโตรเจนอีกด้วย ส่วนปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นมูลสัตว์ป็นเมื่อนั้นจะมีปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์สูงกว่าปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์และปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายไม่สมบูรณ์ ตามลำดับ เนื่องจากมูลสัตว์มีปริมาณลิกนินน้อยและเป็นวัสดุอินทรีย์ที่ยังไม่ผ่านการเน่าเปื่อยจึงมีสารอินทรีย์ที่ไม่เสถียรอยู่มากกว่าปุ๋ยหมักเมื่อใส่ลงในดินจึงเกิดการสลายตัวและปลดปล่อยไนโตรเจนมากกว่าปุ๋ยหมักจึงควรลดปริมาณการใช้ลงเพื่อลดปัญหาการปนเปื้อนไนเตรทสู่น้ำใต้ดิน (Flavel *et al.*, 2006)

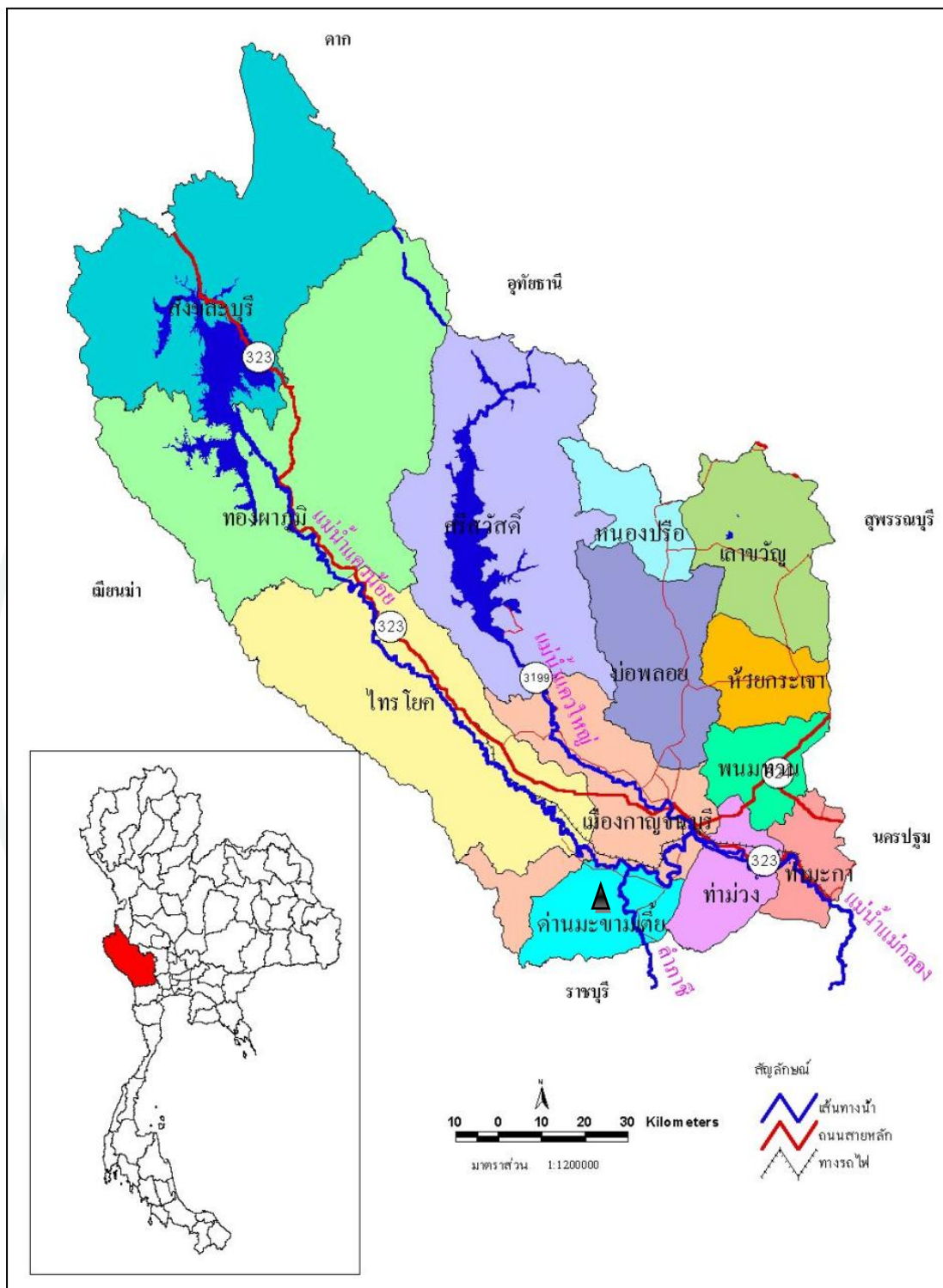
พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ในการศึกษาภาคสนามครั้งนี้ คือ แปลงหน่อไม้ฝรั่งของนายพนม นันทดี เกษตรกร บ้านท่าพลับ ตำบลด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี โดยมีสภาพทั่วไป ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ลักษณะภูมิประเทศ

จังหวัดจังหวัดกาญจนบุรี ตั้งอยู่ในภาคกลางด้านทิศตะวันตกของประเทศไทย เป็นจังหวัดชายแดนติดกับประเทศสาธารณรัฐสังคมนิยมแห่งประเทศไทยเป็นระยะทางตามแนวเทือกเขาตะนาวศรีประมาณ 371 กิโลเมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 19,483,148 ตารางกิโลเมตร ทิศเหนือติดจังหวัดตาก จังหวัดอุทัยธานี จังหวัดสุพรรณบุรี และประเทศสาธารณรัฐสังคมนิยมแห่งประเทศไทย ทิศตะวันออกติดจังหวัดสุพรรณบุรี จังหวัดนครปฐม และจังหวัดราชบุรี ทิศใต้ติดจังหวัดราชบุรี ทิศตะวันตกติดประเทศสาธารณรัฐสังคมนิยมแห่งประเทศไทย (ภาพที่ 7)

บ้านท่าพลับ ตำบลด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ยอยู่ในพื้นที่ทางใต้ของจังหวัดกาญจนบุรี บริเวณเขตที่ราบลุ่มแม่น้ำ ลักษณะเป็นที่ราบ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ ลักษณะภูมิอากาศแบ่งออกเป็น 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อนประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม โดยมีอากาศร้อนจัดอยู่ในเดือนเมษายน ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคม โดยฝนตกชุกที่สุดในช่วงเดือนกันยายนและเป็นช่วงที่มีความชื้นสูงด้วย ฤดูหนาวประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปีอยู่ในเกณฑ์น้อยเนื่องจากมีทิวเขาปิดกั้นกระแสลมจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในช่วงฤดูฝนทำให้เกิดสภาพอับฝนขึ้น อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 43.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 25.5 องศาเซลเซียส (สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี, 2554) แหล่งน้ำในพื้นที่ คือ แม่น้ำแม่กลองซึ่งสมรรถนะของลำน้ำลดลงตามความยาวของลำน้ำและมีการชลประทานที่สามารถส่งน้ำให้กับพื้นที่เพาะปลูกได้ตลอดทั้งปี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)



ภาพที่ 7 แผนที่ตั้งโดยสังเขปของจังหวัดกาญจนบุรีและพื้นที่ศึกษา

ที่มา: กรมการข้าว (2553)

2. ลักษณะของดินที่ใช้ศึกษา

ดินที่ใช้ในการศึกษาโดยศึกษาจากแผนที่ดินจังหวัดกาญจนบุรีที่จัดทำโดยกรมพัฒนาที่ดิน เป็นชุดดินกำแพงแสน (Kamphaeng Saen series: Ks) จัดจำแนกเป็น Typic Haplustalfs เป็นดินร่วน ริมฝั่งแม่น้ำพบในพื้นที่ตอนเขตดินแห้ง เกิดจากการทับถมของตะกอนแม่น้ำแม่กลอง บนตะพักลำน้ำค่อนข้างใหม่หรือสันดินริมน้ำ ซึ่งเกิดอยู่บนพื้นที่เนินตะกอนรูปพัดของเทือกเขาตะนาวศรี สภาพพื้นที่มีลักษณะค่อนข้างราบเรียบ มีความลาดชันร้อยละ 1-2 ดินชุดนี้เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายแป้งหรือดินร่วน ดินล่างเป็นดินร่วนปนเหนียวสีน้ำตาล มีระดับน้ำใต้ดินลึกจึงไม่พบจุดประในหน้าตัดดิน พบเกร็ดแร่ไมกาตลอดหน้าตัดดินและพบก้อนหินปูนปนเป็น ผงขนาดเล็กในดินชั้นล่าง คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงด่างอ่อน ดินบนมีอินทรียวัตถุสูง ดินล่างมีอินทรียวัตถุปานกลาง ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำ ค่าเปอร์เซ็นต์การอิ่มตัวด้วยเบสมากกว่าร้อยละ 80 ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์สูงทั้งดินบนและดินล่าง เป็นดินที่มีระดับความอุดมสมบูรณ์สูง แต่อาจมีน้ำท่วมขังหรือไหลบ่าท่วมขังอย่างฉับพลัน ในระยะที่มีฝนตกหนัก มีข้อจำกัดของการขาดน้ำในฤดูเพาะปลูก ในระยะที่ฝนทิ้งช่วง โดยแนวทางการจัดการดินสำหรับปลูกพืชผักควรปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยพืชสดและจัดระบบการชลประทานในพื้นที่เพาะปลูก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548; พงษ์สันต์, 2522)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์การทดลองในห้องปฏิบัติการ

- 1.1 Spectrophotometer
- 1.2 Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)
- 1.3 Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES)
- 1.4 Flame photometer
- 1.5 pH meter
- 1.6 Electrical conductivity meter (EC-meter)
- 1.7 Micro Kjeldahl distillation apparatus
- 1.8 Digestion apparatus
- 1.9 Fume hood
- 1.10 เครื่องชั่ง 3 และ 4 ตำแหน่ง
- 1.11 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ
- 1.12 เครื่องบดตัวอย่างดิน และตะแกรงร่อนดิน ขนาด 2 และ 0.5 มิลลิเมตร
- 1.13 เครื่องบดตัวอย่างพืช
- 1.14 เคมีภัณฑ์ (analytical reagent grade) สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช

2. อุปกรณ์การทดลองปลูกพืชในภาคสนาม

- 2.1 หน่อไม้ฝรั่งพันธุ์ปรับปรุงหรือคิมพรีฟ (Brock's Improve)
- 2.2 ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16
- 2.3 วัสดุอินทรีย์และปุ๋ยอินทรีย์
 - 2.3.1 กากตะกอนบ่อแก๊สชีวภาพจากฟาร์มโคนม (bio sludge: S)
 - 2.3.2 มูลโคนมหมัก (cattle manure: M)
 - 2.3.3 ทะลายปาล์มเปล่า (oil palm empty fruit bunch: B)
 - 2.3.4 ถ่านแกลบ (rice husk charcoal: C)
 - 2.3.5 มูลสุกรอัดเม็ด (swine manure pellets: W)

- 2.4 สารเคมีที่ใช้ป้องกันกำจัดศัตรูพืช
- 2.5 อุปกรณ์ในการเตรียมแปลง
 - 2.5.1 เทปวัดระยะ
 - 2.5.2 รถแทรกเตอร์ ใช้ในการไถพรวนและซักร่อง
 - 2.5.3 จอบ
 - 2.5.4 ไม้ปักแปลง และป้ายแสดงสิ่งทดลอง
 - 2.5.5 เชือกไนลอน
- 2.6 อุปกรณ์ในการเก็บเกี่ยวผลผลิต
 - 2.6.1 กระจับพลาสติก
 - 2.6.2 เครื่องชั่งน้ำหนักพืช
 - 2.6.3 ถุงกระดาษ และถุงพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างพืช
 - 2.6.4 กล้องโฟม
 - 2.6.5 น้ำแข็ง และถุงผ้าห่อน้ำแข็ง
- 2.7 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน
 - 2.7.1 พลั่วหรือจอบ
 - 2.7.2 ถุงพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างดิน
 - 2.7.3 สว่านเจาะดินแบบท่อ (core auger)
 - 2.7.4 ค้อนยางสำหรับเคาะสว่านเจาะดิน
 - 2.7.5 เทปวัดความลึก
- 2.9 อุปกรณ์ที่จำ เป็นอื่น ๆ

วิธีการ

1. การศึกษาและทดลองในห้องปฏิบัติการ

1.1 การศึกษาสมบัติของดินในแปลงก่อนและหลังการปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

เตรียมตัวอย่างดิน โดยเก็บตัวอย่างดินจากแปลงเกษตรกรที่บ้านท่าพลับ ตำบลด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี ที่ 2 ระดับความลึก คือ 0-15 และ 15-30 เซนติเมตร (กรมวิชาการเกษตร, 2553ก) นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เลือกวัสดุที่ไม่ใช่ดินออก นำไปบดให้ละเอียดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แบ่งตัวอย่างดินส่วนหนึ่งนำไปบดให้ละเอียด

อีกครั้งแล้วทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร เก็บไว้ในภาชนะที่แห้งและสะอาด นำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีต่อไป

1.1.1 การแจกกระจายของอนุภาคดิน (Particle size distribution) โดยวิธีไปเปต (pipette method) (Kilmer and Alexander, 1949; Day, 1965) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาจำแนกชั้นเนื้อดิน (soil texture classes) โดยใช้ไดอะแกรมสามเหลี่ยมมาตรฐานซึ่งกำหนดโดยกระทรวงเกษตร สหรัฐอเมริกา หรือ USDA textural class (Soil Survey Staff, 1999)

1.1.2 ปฏิกริยา หรือ พี-เอช ของดิน (Soil pH) โดยใช้ pH meter สกัดส่วนระหว่างดิน ต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 (Peech, 1965)

1.1.3 สภาพการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity, EC) โดยใช้สกัดส่วนระหว่างดิน ต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 และวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้ electrical conductivity meter (ทัศนีย์ และจรงค์, 2551; Rhoades, 1982)

1.1.4 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter, OM) โดยวิธี Walkley and Black Titration (Walkley and Black, 1934; ทัศนีย์ และจรงค์, 2551)

1.1.5 ปริมาณแอมโมเนียม และไนเตรท ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$) โดยวิธีสกัดดินด้วย 2 normal KCl และวิเคราะห์ปริมาณ โดยการกลั่นด้วย MgO และ Devarda alloy (ทัศนีย์ และจรงค์, 2551)

1.1.6 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus) ทำการสกัดดินโดยวิธี Bray II และวิเคราะห์ปริมาณ โดยวิธี spectrophotometric molybdenum blue (ทัศนีย์ และจรงค์, 2551; Thomas, 1982)

1.1.7 ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, Ca and Mg) ทำการสกัดด้วยสารละลาย 1 M NH_4OAc pH 7.0 และวิเคราะห์หาปริมาณ โดยใช้ เครื่อง AAS (ทัศนีย์ และจรงค์, 2551)

1.1.8 ปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ (Extractable SO_4^{2-}) ทำการสกัดด้วยสารละลาย calcium-bis-(dihydrogenphosphate) ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) แล้ววิเคราะห์ปริมาณด้วยวิธี Spectro photometric turbidimetric method โดยวัดความขุ่นของตะกอน BaSO_4 (ทัศนีย์ และจรงค์ษ์, 2551)

1.1.9 ปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Available Fe, Mn, Zn and Cu) ทำการสกัดด้วยสารละลาย diethylene triamine pentaacetic acid (DTPA) pH 7.3 และวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้เครื่อง AAS (ทัศนีย์ และ จรงค์ษ์, 2551; Viets and Lindsay, 1973)

1.2 การเตรียมปุ๋ยหมักรวม (multi-mixed organic fertilizer) สูตรต่างๆ

1.2.1 การเตรียมปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer)

ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้มี 3 ชนิด คือ กากตะกอนมูลโคนม มูลโคนม และมูลสุกรอัดเม็ด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.2.1.1 กากตะกอนบ่อแก๊สชีวภาพจากฟาร์มโคนม หรือ กากตะกอนชีวภาพ (biogas sludge: S) นำกากตะกอนจากลานตากตะกอนในฟาร์มโคนมของคุณสัจจา ธรรมลังกา เกษตรกร ตำบลบ้านเลื่อ อำเภอโศกราม จังหวัดราชบุรี มาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องย่อยของกลุ่มหมอดินอาสาประจำตำบลบ้านเลื่อ อำเภอโศกราม จังหวัดราชบุรี

1.2.1.2 มูลโคนมหมัก (cattle manure: M) นำมูลโคนมตากแห้งจากฟาร์มโคนมของคุณสัจจา ธรรมลังกา มาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องย่อยของกลุ่มหมอดินอาสาประจำตำบลบ้านเลื่อ อำเภอโศกราม จังหวัดราชบุรี

1.2.2 การเตรียมวัสดุอินทรีย์ (single organic material)

วัสดุอินทรีย์ที่ใช้มี 2 ชนิด คือ ทะลายปาล์มเปล่า และถ่านแกลบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.2.2.1 ทะลายปาล์มเปล่า (oil palm empty fruit bunch: B) นำทะลายปาล์มที่เหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดในพื้นที่อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี มาหมักในสภาพมีอากาศเป็นเวลา 2 เดือน แล้วนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องย่อยของกลุ่มหมอดินอาสาประจำตำบลบ้านเลือก อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี

1.2.2.2. ถ่านแกลบ (rice husk charcoal: C) นำแกลบดิบมาเผาด้วยเตาเผาแกลบประยุกต์จากถ่านน้ำมันที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องย่อยของกลุ่มหมอดินอาสาประจำตำบลบ้านเลือก อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี

1.2.3 การผสมปุ๋ยหมัก (multi-mixed organic fertilizer) จากวัสดุอินทรีย์และปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งมี 2 สูตร คือ สูตรที่ 1 SMB และ สูตรที่ 2 SMC โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1.2.2.1 สูตรที่ 1 SMB โดยผสม กากตะกอนชีวภาพ (S): มูลโคนม (M): ทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า (B) ในสัดส่วน 0.5:2:3 โดยน้ำหนัก

1.2.2.2 สูตรที่ 2 SMC โดยผสม กากตะกอนชีวภาพ (S): มูลโคนม (M): ถ่านแกลบ (C) ในสัดส่วน 0.5:2:3 โดยน้ำหนัก

ทำการหมักโดยให้กองปุ๋ยหมักมีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 1.5 เมตร x 3.5 เมตร x 1.3 เมตร โดยการกองทับต่อพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ที่เจาะรูห่างกันประมาณ 5 เซนติเมตร และปิดฝาปลายท่อให้สนิท ต่อต่อพลาสติกเข้ากับท่อพีวีซีที่ต่อกับเครื่องยนต์เป่าลมและใช้เศษไม้วางพาดบนท่อพลาสติกเพื่อช่วยระบายอากาศและป้องกันการอุดตัน กองปุ๋ยหมักจะได้รับการเติมอากาศครั้งละ 15 นาทีต่อวัน วันละ 2 ครั้ง ให้น้ำโดยรดน้ำภายนอกและกรอกน้ำลงในกองปุ๋ยวันละ 3-4 ครั้ง เมื่อเสร็จสิ้นการหมักอุณหภูมิของปุ๋ยหมักจะลดลงเหลือ 30 องศาเซลเซียส เศษวัสดุเปลี่ยนเป็นสีดำ ใช้ระยะเวลาในการหมัก 30 วัน

1.2.4 สำหรับมูลสุกรอัดเม็ดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ซื้อจากสหกรณ์กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหน่อไม้ฝรั่ง อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี ในราคากระสอบละ 450 บาท (40 กิโลกรัม) เพื่อใช้เปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักร่วมที่ผลิตขึ้นเอง

1.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีบางประการของปุ๋ยอินทรีย์และวัสดุอินทรีย์ (กากตะกอนชีวภาพ มูลโคนม ทะลายปาล์มเปล่า และถ่านแกลบ) และปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1.3.1 ค่าพี-เอช (pH) วัดค่าโดยใช้ pH meter อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:10 (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

1.3.2 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) วัดค่าโดยใช้ Electrical conductivity meter อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:10 (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

1.3.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย salicylic acid sulfuric และ sodium thiosulfate วิเคราะห์หาปริมาณโดยวิธี Kjeldahl method (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

1.3.4 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P₂O₅) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย acid mixture (HClO₄: HNO₃= 1:1) และวิเคราะห์หาปริมาณโดยวิธี spectrophotometric molybdovana dophosphate method (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

1.3.5 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K₂O) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย Acid mixture (HClO₄: HNO₃= 1:1) และวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้ flame photometric method (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

1.3.6 ปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงทั้งหมด (Total Ca Mg Fe, Mn, Zn and Cu) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย acid mixture (HClO₄: HNO₃= 1:1) และวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้ ICP-OES (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

1.3.7 ปริมาณกำมะถันทั้งหมด (Total S) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย Acid mixture (HNO₃:HCl= 1:3) และวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้ turbidimetric method แล้ววัดความขุ่นของตะกอน BaSO₄ ด้วย spectrophotometer (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

1.3.8 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักทั้งหมด (Total Cd Cr Cu Pb Zn and As) ในปุ๋ยอินทรีย์หมักร่วมที่ผลิตขึ้น 2 สูตร และมูลสุกรอัดเม็ด ทำการย่อยสลายตัวอย่างด้วย HNO₃, HCl และ H₂O₂ ในอุณหภูมิต่ำ และวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้ ICP-OES (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

1.4 การศึกษาการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จากปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในชุดดินกำแพงแสนที่ระยะเวลาการบ่มดินต่างๆ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) 4 ดำรับการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ โดยรายละเอียดต่างๆ ของการทดลอง แสดงในตารางที่ 11 ดังนี้

ตารางที่ 11 รายละเอียดการศึกษาการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จากปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในชุดดินกำแพงแสน

Treatment	Organic fertilizers			Soil	Soil + Organic fertilizers
	Conce. of N (g N 100g ⁻¹)	Wt. (g)	N (mg)	Wt. (g)	Conce. of N (mg N kg ⁻¹ soil)
Control	0	0	0	10	0
SMB	3.17	1	31.7	10	0.317
SMC	2.11	1.50	31.7	10	0.317
W	1.72	1.84	31.7	10	0.317

ทำการศึกษาโดยชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ผสมปุ๋ยอินทรีย์ให้อัตราไนโตรเจนโดยน้ำหนักเท่ากัน โดยการคำนวณ ดังนี้

ปุ๋ยสูตร SMB มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ร้อยละ 3.17 (สูงสุด)

ถ้า ปุ๋ย 100 กรัม มี N 3.17 กรัม

ดังนั้น ปุ๋ย 1 กรัม มี N เท่ากับ $(3.17 \times 1,000) / 100 = 31.7$ มิลลิกรัม

ปุ๋ยสูตร SMC มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ร้อยละ 2.11

ต้องการ N 31.7 มิลลิกรัม ต้องใส่ปุ๋ย เท่ากับ $(31.7 \times 100) / (2.11 \times 1,000) = 1.50$ กรัม

ปุ๋ยสูตร W มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ร้อยละ 1.72

ต้องการ N 31.7 มิลลิกรัม ต้องใส่ปุ๋ย เท่ากับ $(31.7 \times 100) / (1.72 \times 1,000) = 1.84$ กรัม

เติมน้ำกลั่นให้ดินมีความชื้นที่ระดับความจุความชื้นสนาม (Field Moisture Capacity) ในขวดพลาสติกแล้วปิดฝาจกนั้นทำการบ่ม (incubation) ในสภาพที่มีออกซิเจนที่อุณหภูมิห้อง ทำการศึกษา 5 ระยะเวลา คือ 0, 15, 30, 45 และ 60 วัน แล้วทำการวิเคราะห์การปลดปล่อย ไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ คือ แอมโมเนียมและไนเตรท โดยสกัดดินด้วย 2 M KCl จำนวน 100 มิลลิลิตร และหาปริมาณโดยการกลั่นด้วย MgO และ devarda alloy (จงรักภักดิ์, 2544)

1.5 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุอาหารในพืช

เตรียมตัวอย่างโดยนำหน่อสดอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นบดตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.5.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย digestion mixture ($H_2SO_4 - Na_2SO_4 - Se$ mixture) และวิเคราะห์หาปริมาณโดยวิธี Micro-Kjeldahl method (ทัศนีย์ และจงรักภักดิ์, 2551)

1.5.2 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย digestion mixture ($H_2SO_4 - Na_2SO_4 - Se$ mixture) และวิเคราะห์หาปริมาณโดยวิธี vanado-molybdate yellow color (ทัศนีย์ และจงรักภักดิ์, 2551)

1.5.3 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total potassium) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย digestion mixture ($H_2SO_4 - Na_2SO_4 - Se$ mixture) และวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้ AAS (ทัศนีย์ และจงรักภักดิ์, 2551)

1.5.4 ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมด (Total Ca and Mg) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย acid mixture ($HNO_3:HClO_4 = 5:2$) และวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้ AAS (ทัศนีย์ และจงรักภักดิ์, 2551)

1.5.5 ปริมาณกำมะถันทั้งหมด (Total sulfur) ย่อยสลายตัวอย่างด้วย acid mixture ($HNO_3:HClO_4 = 5:2$) และวิเคราะห์หาปริมาณโดย turbid metric method แล้ววัดความขุ่นของตะกอน $BaSO_4$ ด้วย Spectrophotometer (ทัศนีย์ และจงรักภักดิ์, 2551)

1.5.6 ปริมาณเหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงทั้งหมด (Total Fe, Mn, Zn and Cu) ย่อยสลายตัวอย่าง acid mixture ($\text{HNO}_3:\text{HClO}_4 = 5:2$) และวิเคราะห์หาปริมาณ โดยใช้ AAS (ทัศนีย์ และจรงค์, 2551)

2. การทดลองปลูกพืชในสนาม

ดำเนินการปลูกพืชทดสอบในแปลงของนายพนม นันทิ เกษตรกรบ้านท่าพลับ ตำบลด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี โดยดินที่ทำการศึกษาคือดินกำแพงแสน (Ks: Typic Haplastalfs) ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกอ้อยเดิมและเริ่มปลูกหน่อไม้ฝรั่งในปีแรก

2.1 การเตรียมพื้นที่

ก่อนปลูกไถเตรียมดิน 2 ครั้ง ด้วยรถไถแบบเดินตามผาน 3 ตากดินไว้ 2 เดือน แล้วกรร่องแปลงกว้าง 1.4 เมตร ยาว 22 เมตร และทำร่องขนาด 0.3 เมตร ในแปลงไถดินลึกประมาณ 1 เมตร แล้วใส่ปุ๋ยอินทรีย์ครั้งที่ 1 ตามดำรับการทดลอง

2.2 การปลูก

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block (RCB) จำนวน 3 ซ้ำ มี 8 ดำรับการทดลอง แสดงรายละเอียดในตารางที่ 12 ใช้หน่อไม้ฝรั่งพันธุ์ Brock's improved โดยใช้ต้นกล้าอายุ 2 เดือน ปลูกเป็นแถวเดี่ยวด้านข้างร่องเพียงแถวเดียว ระยะห่างระหว่างต้นประมาณ 20 เซนติเมตร (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 การปลูกโดยใช้ต้นกล้าอายุ 2 เดือน

ตารางที่ 12 ตำรับการทดลองและรายละเอียดของตำรับการทดลองการปลูกหน่อไม้ฝรั่งในชุดดิน
กำแพงแสน ตำบลด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี

Treatment	Organic fertilizers		Chemical fertilizer (16-16-16)
	Type	Rate (kg N rai ⁻¹)	Rate (kg N rai ⁻¹)
Control	-	0	0
CF	-	0	30
SMB _{low}	SMB	56.8	30
SMB _{high}	SMB	170.4	30
SMC _{low}	SMC	56.8	30
SMC _{high}	SMC	170.4	30
W _{low}	W	56.8	30
W _{high}	W	170.4	30

2.3 การดูแลและจัดการ

กำจัดวัชพืชโดยการถอนและพรวนดินพูนโคนต้นทุกสัปดาห์ คลุมหน้าดินด้วยแกลบคิบ เมื่อต้นหน่อไม้ฝรั่งมีอายุ 3-4 เดือนหลังย้ายปลูกจะต้องทำราวเชือกค้ำทรงต้นไม่ให้หักล้ม (ภาพที่ 9)

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์แบ่งใส่ 3 ครั้ง โดยพรวนดินใส่ปุ๋ยรองก้นหลุมก่อนย้ายปลูกสำหรับรอบการผลิตแรกและพรวนดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์กลับโคนต้นในช่วงพักต้นสำหรับรอบการผลิตถัดไปอีก 2 ครั้ง ส่วนปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 ใส่ตามคำแนะนำของ กรมส่งเสริมการเกษตร (2551) และศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อย (2553) โดยแบ่งใส่อัตรา 25 กิโลกรัม ต่อไร่ (4 กิโลกรัม N ต่อไร่) ต่อเดือน โดยทำการใส่เดือนละ 2 ครั้ง ครั้งละ 12.5 กิโลกรัม ต่อไร่ (2 กิโลกรัม N ต่อ ไร่) (ตารางที่ 13)

การให้น้ำใช้ระบบ Sprinkler สัปดาห์ละ 3-4 ครั้ง

การจัดการโรคและแมลงต้องฉีดพ่นสารเคมีกำจัดโรคและแมลงตามคำแนะนำของบริษัทที่รับซื้อเพื่อการส่งออก ซึ่งจะทำให้ในช่วงพักต้นหรือก่อนช่วงการเก็บเกี่ยวเท่านั้น

เริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อหน่อไม้ฝรั่งมีอายุ 4 เดือน หลังย้ายปลูก หรือ 1 เดือนหลังพักต้น โดยทำการเก็บเกี่ยวหน่อในช่วง 6.00 น.– 9.00 น. ทุกวันด้วยการใช้มือถอน นำมาตัดโคนออกให้ได้หน่อที่มีความยาว 25 เซนติเมตร แล้วคัดแยกตามชั้นคุณภาพ (ตารางที่ 14) เมื่อต้นเริ่มทรุดโทรมลงหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต ต้องทำการพักต้นอย่างน้อย 30 วัน โดยตัดส่วนเหนือดินออกแล้วพรวนดินใส่ปุ๋ยอินทรีย์หรือให้หน่อใหม่เจริญเติบโตเป็นต้นแม่สำหรับรอบการผลิตต่อไป ในปีแรกสามารถดำเนินการได้ 3 รอบการผลิต

ตารางที่ 13 การใส่ปุ๋ยตามชนิดและอัตรา (กิโลกรัม N ต่อไร่) ที่ช่วงเวลาต่างๆ ใน 3 รอบการผลิต

Duration	Organic fertilizers			Chemical fertilizers		
	Time	Rate (kg N rai ⁻¹)		Time	Rate (kg N rai ⁻¹)	
		low	high		per time	per duration
Land preparation	1	18.9	56.8			
Harvest 1 st				1-6	2	12
Dormancy	2	18.9	56.8			
Harvest 2 nd				7-11	2	10
Dormancy	3	18.9	56.8			
Harvest 3 th				12-15	2	8
Total	3	56.8	170.4	15		30

2.4 การบันทึกข้อมูลและสุ่มเก็บตัวอย่าง

การบันทึกข้อมูลและเก็บตัวอย่างแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลพืช และข้อมูลดิน

2.4.1 ข้อมูลพืช

บันทึกข้อมูลน้ำหนักสดของหน่อแยกตามชั้นคุณภาพทุกวัน และเก็บตัวอย่างหน่อที่เก็บได้ 1 วัน ในสัปดาห์ที่ 2 ของรอบการผลิต (ภาพที่ 11) โดยล้างทำความสะอาดเศษดินออกแล้วห่อด้วยผ้าสะอาดใส่ในกล่องโฟมที่มีน้ำแข็งเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในพืชในห้องปฏิบัติการ ตามข้อ 1.4

2.4.2 ข้อมูลดิน

เก็บตัวอย่างดินหลังปลูกที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามข้อ 1.1



ภาพที่ 9 การดูแลจัดการแปลงหลังย้ายปลูก

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลผลิต คุณภาพของผลผลิต และสมบัติดินหลังปลูกโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test วิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ระหว่างผลผลิตและการดูใช้ธาตุอาหาร

4. สถานที่และระยะเวลาในการทดลอง

4.1 สถานที่ทดลอง







4.1.1 การทดลองในห้องปฏิบัติการ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพมหานคร

4.1.2 การทดลองปลูกพืชในภาคสนาม แปลงหน่อไม้ฝรั่งของนายพนม นันทดี บ้านท่าพลับ หมู่ 10 ตำบลด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี ที่พิกัด 47P 540777 mE, 1533103 mN ในระบบ UTM

4.2 ระยะเวลาในการทดลอง

ระหว่างเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553 – เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 โดยแบ่งเป็นการทดลองปลูกหน่อไม้ฝรั่งรอบการผลิตที่ 1: กรกฎาคม พ.ศ.2553 – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 การทดลองปลูกหน่อไม้ฝรั่งรอบการผลิตที่ 2: มีนาคม พ.ศ.2554 – พฤษภาคม พ.ศ. 2554 การทดลองปลูกหน่อไม้ฝรั่งรอบการผลิตที่ 3: พฤษภาคม พ.ศ. 2554 - กรกฎาคม พ.ศ. 2554 การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ มิถุนายน พ.ศ. 2553 – เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555

ตารางที่ 14 มาตรฐานคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่งตามที่บริษัทผู้รับซื้อกำหนด

Symbol of classification	Provisions	Diameter (cm)	Price (baht kg ⁻¹)	Example
ALG เอ-ตุ้ม-เขียว	Neither bent nor stunted Straight with compact tip Shoot length 25 cm Green shoot length ≥ 20 cm	>1	66-50	
AG เอ-บาน-เขียว	Neither bent nor stunted Scale leaves are split Shoot length 25 cm Green shoot length ≥ 20 cm	>1	46	
AL เอ-ตุ้ม-ขาว	Neither bent nor stunted Straight with compact tip Shoot length 25 cm Green shoot length < 20 cm	>1	45	
BL บี-ตุ้ม	Neither bent nor stunted Straight with compact tip Shoot length 25 cm Green shoot length ≥ 20 cm	0.5-1	44	
CL ซี-ตุ้ม	Neither bent nor stunted Straight with compact tip Shoot length 25 cm Green shoot length ≥ 20 cm	<0.5	31	
SL เอส-ตุ้ม	Neither bent nor stunted Straight with compact tip Shoot length 20 cm	-	38	

ที่มา: สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2547)

ผลและวิจารณ์

1. สมบัติของดินก่อนปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

จากผลการวิเคราะห์สมบัติบางประการของชุดดินกำแพงแสนในแปลงทดลองก่อนปลูกหน่อไม้ฝรั่ง พบว่า สอดคล้องกับรายงานของกรมพัฒนาที่ดิน (2548) ชุดดินกำแพงแสนที่ทำการศึกษามีเนื้อดินเป็นดินร่วน (Loam) ถึงดินร่วนเหนียว (Clay loam) พบเกลือแอมโมเนียมที่ตลอดหน้าตัดดิน มีค่าพี-เอช เป็นค่าเล็กน้อย เท่ากับ 7.7-7.8 มีค่าการนำไฟฟ้า ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในระดับปานกลาง ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับที่เพียงพอสำหรับพืชทั่วไป ส่วนปริมาณ เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดงอยู่ในระดับไม่เพียงพอสำหรับพืชทั่วไป (ตารางที่ 15)

ดังนั้นสมบัติของดินบางประการอาจมีข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่งได้ เช่น จากค่าพี-เอช ซึ่งมากกว่า 7.5 อาจทำให้ฟอสเฟตไอออนทำปฏิกิริยาตกตะกอนกับแคลเซียมและแมกนีเซียม มีผลให้ปริมาณที่ละลายได้ของจุลธาตุในดินน้อย อีกทั้งดินยังมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำมาก และมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนค่อนข้างต่ำ ซึ่งอาจทำให้ดินขาดแคลนแหล่งสำรองธาตุอาหาร (มุกดา, 2547; Landon, 1991) ดังนั้นจึงอาจมีผลกระทบต่อปริมาณ และคุณภาพหน่อไม้ฝรั่งได้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

ตารางที่ 15 แสดงค่าวิเคราะห์คุณสมบัติบางประการของชุดดินกำแพงแสนในแปลงทดลอง
ก่อนปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

Properties analyzed	Soil depth (cm)		Methods
	0-15	15-30	
Soil texture	Loam	Clay loam	Pipette method
pH	7.8	7.7	pH meter (Soil:H ₂ O ; 1:1)
CEC	5.65	4.45	Ammonium acetate pH 7 replacement method
EC (dS m ⁻¹)	0.64	0.63	Electrical conductivity (Soil: H ₂ O; 1: 1)
OM (g 100 g ⁻¹)	0.93	0.68	Walkey and Black method
NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	3	0.9	Extracted with 2M KCl
NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	8	4	Extracted with 2M KCl
Available P (mg kg ⁻¹)	16	12	Bray 2 method
Exchangeable K (mg kg ⁻¹)	47	39	Extracted with 1 M NH ₄ OAc pH 7
Exchangeable Ca (mg kg ⁻¹)	2,471	1,867	Extracted with 1 M NH ₄ OAc pH 7
Exchangeable Mg (mg kg ⁻¹)	160	158	Extracted with 1 M NH ₄ OAc pH 7
Extractable S (mg kg ⁻¹)	84.48	78.53	Extracted with Ca (H ₂ PO ₄) ₂
Available Fe (mg kg ⁻¹)	5.31	5.47	Extracted with 0.005 M DTPA pH 7.3
Available Zn (mg kg ⁻¹)	0.5	0.48	Extracted with 0.005 M DTPA pH 7.3
Available Mn (mg kg ⁻¹)	32.3	27.6	Extracted with 0.005 M DTPA pH 7.3
Available Cu (mg kg ⁻¹)	1.29	1.24	Extracted with 0.005 M DTPA pH 7.3

2. ธาตุอาหารและสมบัติทางเคมีของวัสดุอินทรีย์และปุ๋ยอินทรีย์

2.1 สมบัติของวัสดุอินทรีย์และปุ๋ยอินทรีย์ก่อนการหมัก (Single organic material)

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัสดุอินทรีย์และปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิด ได้แก่ กากตะกอนชีวภาพ (bio sludge: S) มูลโคนมหมัก (cattle manure: M) ทะลายปาล์มเปล่า (oil palm empty fruit bunch: B) และถ่านแกลบ (rice husk charcoal: C) แสดงในตารางที่ 16 จากผลการศึกษา แสดงว่า กากตะกอนชีวภาพ (bio sludge) จากสิ่งปฏิกูลในฟาร์มโคนมมีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ มีสภาพการนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแมงกานีสสูงกว่า มูลโคนมรวมทั้งวัสดุอินทรีย์ชนิดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wong (1990); Guster *et al.* (2005); Bougnom *et al.* (2012) ดังนั้นการนำกากตะกอนชีวภาพไปใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงในระยะยาวอย่างต่อเนื่อง อาจมีผลให้การนำไฟฟ้าของดินสูงขึ้น หรือเกิดการสะสมฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในรูปไนเตรทในดิน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินได้ จึงควรนำกากตะกอนชีวภาพมาใช้เป็นปุ๋ยในปริมาณที่เหมาะสม (ปิยะ, 2553; Guster *et al.*, 2005; Hanackova *et al.*, 2006) หรือนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักร่วมกับวัสดุอินทรีย์ที่มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงเพื่อช่วยยับยั้งการเปลี่ยนแปลงโมเนียมเป็นไนเตรท ซึ่งจะทำให้การปลดปล่อยไนโตรเจนช้าลงและลดการสูญเสียไนโตรเจนไปจากดินได้มากขึ้น (Singh *et al.*, 2007)

2.1.1 มูลโคนมหมักและกากตะกอนชีวภาพ จากผลวิเคราะห์ในตารางที่ 16 พบว่า มูลโคนมหมัก มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสต่ำกว่ากากตะกอนชีวภาพ อาจเนื่องมาจากในมูลโคนมหมักมีสารประกอบอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์อยู่มากกว่ากากตะกอนชีวภาพ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่สูงกว่าจึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่จะเกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มีน้อยกว่ากากตะกอนชีวภาพ สอดคล้องกับ Kariki *et al.* (2005) ซึ่งรายงานว่า ปุ๋ยคอกและกากตะกอนชีวภาพ มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 30 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งปุ๋ยคอกมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน (Total N) ฟอสฟอรัส (Total P₂O₅) และโพแทสเซียม (Total K₂O) โดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 82.5, 1.6, 4.2 และ 2.24 ตามลำดับ ส่วนกากตะกอนชีวภาพมีปริมาณ โดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 41.5, 2.9, 1.2 และ 1.2 ตามลำดับ

แม้ว่ามูลโคนมจะมีธาตุอาหารโดยรวมไม่สูงไปกว่าวัสดุอินทรีย์อื่นแต่จากรายงานของ จรรย์ และ ผกาพรรณ (2542) พบว่า ดินบริเวณลานตากมูลโคนมในอำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี มีปริมาณไนเตรท ฟอสฟอรัส และ โปแทสเซียมสูง แสดงให้เห็นว่าหากใส่มูลโคนมในดินต่อเนื่อง เป็นเวลานานอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินได้เช่นกัน แต่สำหรับการนำมาเป็นส่วนประกอบของปุ๋ยหมักนั้นจะทำให้กองปุ๋ยหมักย่อยสลายเร็วขึ้นเนื่องจากสารประกอบและแร่ธาตุต่างๆ ในมูลสัตว์เป็นแหล่งอาหารที่ดีของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายเศษพืชได้ และยังเป็น การเพิ่มจุลธาตุแก่ปุ๋ยหมักอีกด้วย (ธงชัย, 2550) ซึ่งการนำมาหมักยังช่วยแปรสภาพอินทรีย์สารให้เป็น สารชีวมีกมากขึ้น และลดความร้อนจากการสลายตัวของอินทรีย์สารที่จะเป็นอันตรายต่อพืชลง (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

2.1.2 ทะลายปาล์มเปล่า จากผลวิเคราะห์ในตารางที่ 16 พบว่า ทะลายปาล์มเปล่าที่นำมาใช้ ทดลองเป็นส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มและนำมาเพาะเห็ดต่อนั้น มีค่าพี-เอช เป็น กลาง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง มีปริมาณ โปแทสเซียมทั้งหมด กำมะถันทั้งหมด และแคลเซียมทั้งหมด สูงกว่าวัสดุอินทรีย์อื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานค่าวิเคราะห์ทะลายปาล์มเปล่าในประเทศมาเลเซีย และอินโดนีเซียของ Heriansyah (2000); Zaharah and Lim (2000) และ Tabi *et al.* (2008)

2.1.3 ถ่านแกลบ จากผลวิเคราะห์ในตารางที่ 16 พบว่า ถ่านแกลบที่นำมาใช้ทดลองมีค่า พี-เอช เป็นด่าง สภาพการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ ทองแดงทั้งหมดต่ำกว่าวัสดุอินทรีย์อื่นๆ แต่มีปริมาณแมกนีเซียม และสังกะสีสูงกว่าวัสดุอินทรีย์ อื่นๆ โดยค่าวิเคราะห์ค่อนข้างสอดคล้องกับรายงานค่าวิเคราะห์ถ่านแกลบของ ทศนีย์ (2551); Islam (2008); Masulili *et al.* (2010) และ Wang *et al.* (2011)

ตารางที่ 16 สมบัติทางเคมีของวัสดุอินทรีย์ และปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดก่อนการหมักรวม

Properties analyzed	Single organic material			
	Bio sludge (S)	Cattle manure (M)	Oil palm empty fruit bunch (B)	Rice husk charcoal (C)
pH ^{1/}	6.3	7.6	7.3	8.2
EC (dSm ⁻¹)	3.89	3.75	1.05	0.42
C:N	6.26	11.40	17.9	29.9
OM (g 100 g ⁻¹)	50.3	23.4	39.4	13.9
Total N (g 100 g ⁻¹)	4.66	1.19	1.28	0.27
Total P (g 100 g ⁻¹)	2.17	0.85	0.22	0.19
Total K (g 100 g ⁻¹)	0.66	1.05	2.13	1.48
Total S (g 100 g ⁻¹)	0.07	0.01	0.25	0.17
Total Ca (g 100 g ⁻¹)	0.03	0.01	2.01	0.48
Total Mg (g 100 g ⁻¹)	0.01	0.07	0.21	0.29
Total Fe (mg kg ⁻¹)	239	464	89.8	95.1
Total Mn (mg kg ⁻¹)	24.1	21.2	<0.0	15.3
Total Zn (mg kg ⁻¹)	16.0	16.2	15.4	17.3
Total Cu (mg kg ⁻¹)	47.60	59.1	50.8	36.5

2.2 สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์หมักรวม (multi-mixed organic fertilizer) 2 สูตร คือ ปุ๋ยสูตร SMB และ SMC และปุ๋ยอินทรีย์ท้องถิ่น คือ มูลสุกรอัดเม็ด หรือปุ๋ยสูตร W (swine manure pellets) แสดงในตารางที่ 17 พบว่า ปุ๋ยสูตร SMB และ SMC มีค่าพี-เอช เท่ากับ 6.9 และ 6.6 มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 9.15 และ 7.76 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ากากตะกอนชีวภาพแต่ต่ำกว่าวัสดุอินทรีย์ชนิดอื่นก่อนการหมัก โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ เท่ากับ 50 และ 28.2 กรัมต่อกิโลกรัม ไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 3.17 และ 2.11 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่ากากตะกอนชีวภาพแต่สูงกว่าวัสดุอินทรีย์ชนิดอื่นก่อนการหมัก และมีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 1.31 และ 1.62 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่ากากตะกอนชีวภาพและมูลโคหมักแต่สูงกว่าทะเลสาบปาล์ม เปล่าและถ่านแกลบก่อนการหมัก

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 สูตร พบว่ามีค่าพี-เอช ใกล้เคียงกัน โดยปุ๋ยสูตร W มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด รองลงมาเป็นปุ๋ยสูตร SMC และ SMB ตามลำดับ และพบว่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และปริมาณอินทรีย์วัตถุของปุ๋ยสูตร SMB สูงสุด รองลงมาเป็นปุ๋ยสูตร SMC และ W ตามลำดับ ซึ่งค่าวิเคราะห์ทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 สูตร ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548 (ราชกิจจานุเบกษา, 2548) และฉบับเพิ่มเติม พ.ศ. 2555 (ราชกิจจานุเบกษา, 2555)

จากผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยทั้ง 3 สูตร พบว่า ปุ๋ยสูตร W มีปริมาณธาตุอาหารทั้งหมดสูงที่สุด ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม กำมะถัน แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ส่วนปุ๋ยสูตร SMB มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 สูตร มีปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตร พ.ศ.2548 และฉบับเพิ่มเติม พ.ศ. 2555

จากผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุโลหะหนักในปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 สูตร พบว่าปุ๋ยสูตร W มีปริมาณทองแดงเท่ากับ 684 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเกินค่ามาตรฐานสูงสุดที่ยอมรับได้ในปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนปริมาณแคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว และสารหนู ในปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 สูตร มีค่าไม่เกินมาตรฐานสูงสุดที่ยอมรับได้ในปุ๋ยอินทรีย์ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548

จากผลขององค์ประกอบทางเคมีของวัสดุอินทรีย์และปุ๋ยอินทรีย์ รวมทั้งกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการหมักอาจทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีสมบัติทางเคมีและธาตุอาหารเปลี่ยนแปลงไป โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุ และสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เปลี่ยนไปอาจเป็นผลจากส่วนผสมที่มีไนโตรเจนสูง คือ กากตะกอนชีวภาพซึ่งทำให้จุลินทรีย์ได้รับไนโตรเจนมากพอและสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนได้อย่างทั่วถึงและรวดเร็ว ขณะที่ความเข้มข้นของไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์กลับสูงขึ้นจึงทำให้สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักลดลงต่ำกว่าวัสดุอินทรีย์ก่อนการหมัก และจากการหมักวัสดุอินทรีย์ที่มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงร่วมกับกากตะกอนชีวภาพที่มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแคบเกินไปอาจช่วยลดการระเหยและสูญหายของแอมโมเนียและไนเตรทลงได้ (ขงยุทธ และคณะ, 2551)

ตารางที่ 17 สมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ

Properties analyzed	Organic fertilizer			Thai national standards for ^{1/} organic fertilizer
	SMB	SMC	W	
pH	6.9	6.6	6.9	5.5-8.5
EC (dSm ⁻¹)	1.31	1.62	2.16	≤10
C:N	9.15	7.76	7.38	≤20
OM (g 100 g ⁻¹)	50.0	28.2	21.9	>20
Total N (g 100 g ⁻¹)	3.17	2.11	1.72	>1
Total P (g 100 g ⁻¹)	2.25	1.48	5.60	>0.5
Total K (g 100 g ⁻¹)	0.63	0.76	1.02	>0.5
Total S (g 100 g ⁻¹)	0.35	0.25	0.35	-
Total Ca (g 100 g ⁻¹)	2.14	1.55	2.88	-
Total Mg (g 100 g ⁻¹)	0.52	0.43	0.65	-
Total Fe (mg kg ⁻¹)	848	985	1,308	-
Total Mn (mg kg ⁻¹)	608	576	729	-
Total Zn (mg kg ⁻¹)	187	169	753	-
Total Cu (mg kg ⁻¹)	52.7	35.1	684	≤500
Total Cd (mg kg ⁻¹)	0.26	0.27	0.96	≤5
Total Cr (mg kg ⁻¹)	195	29.5	31.9	≤300
Total Pb (mg kg ⁻¹)	13.8	14.2	21.3	≤500
Total As (mg kg ⁻¹)	1.9	5.3	9.5	≤50

หมายเหตุ ^{1/} มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548 (ราชกิจจานุเบกษา, 2548) และฉบับเพิ่มเติม พ.ศ. 2555 (ราชกิจจานุเบกษา, 2555)

3. อัตราการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จากปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในชุดดินกำแพงแสน ที่ระยะเวลาการบ่มดินต่าง ๆ

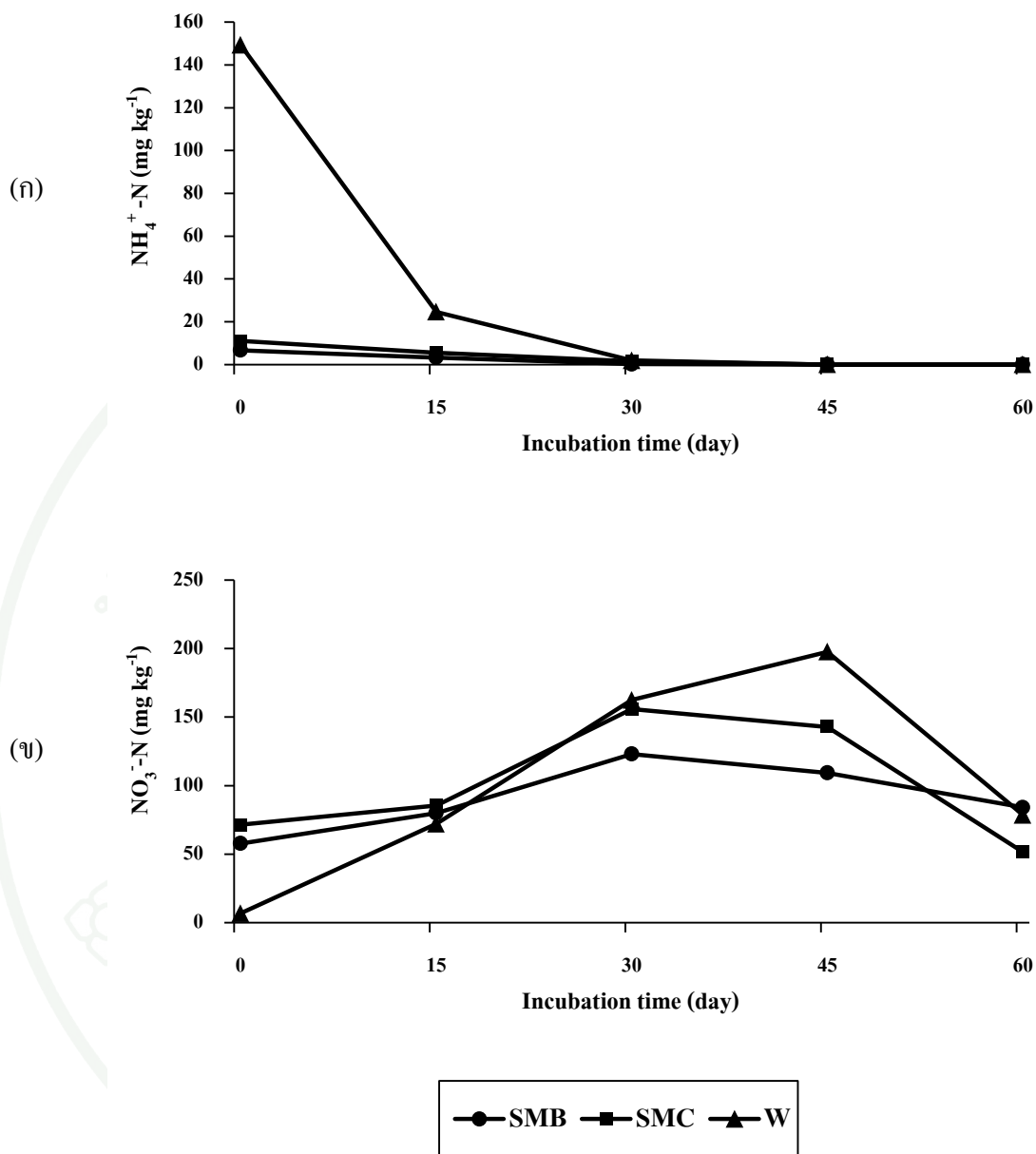
ผลการศึกษา พบว่า ลักษณะการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 สูตร เป็นไปในลักษณะเดียวกัน คือ ปริมาณการปลดปล่อยแอมโมเนียมในวันแรกของการบ่มดินสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด เกิดกระบวนการย่อยสลายเปลี่ยนสารอินทรีย์ในโตรเจนให้เป็นแอมโมเนียมในช่วงแรกของการบ่มดิน จากนั้นพบว่าปริมาณแอมโมเนียมมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มดินนานขึ้น ขณะที่ปริมาณการปลดปล่อยไนเตรทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 15 ของการบ่มดินแล้วค่อยๆ ลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มดินนานขึ้น (ตารางผนวกที่ 1 และ ภาพที่ 10)

การที่ปริมาณแอมโมเนียมลดลงและไนเตรทเพิ่มขึ้นแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน (nitrification) เนื่องจากการบ่มดินอยู่ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศ (ยงยุทธ และคณะ, 2551) ซึ่งลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของเฉลิมชาติ (2547) ซึ่งทดสอบการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ของน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรในชุดดินสะท้อนเป็นเวลา 21 วัน พบว่า ปริมาณของแอมโมเนียมมีแนวโน้มลดลงส่วนปริมาณของไนเตรทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มดินนานขึ้น นอกจากนี้ผลการศึกษายังสอดคล้องกับ Al-Madhoum *et al.* (2005) ซึ่งทดสอบการปลดปล่อยไนเตรทของปุ๋ยหมักทะเลสาบปาล์มเปล่าผสมกากตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นเวลา 7 สัปดาห์ พบว่าปริมาณไนเตรทในปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแล้วลดลงอย่างรวดเร็วใน 2 สัปดาห์แรก และปริมาณจะคงที่ไปจนถึงสัปดาห์ที่ 7 ซึ่งการลดลงของไนเตรทเป็นผลจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ที่เกิดการเปลี่ยนรูปไนเตรทไปเป็นก๊าซไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ดิน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยแอมโมเนียมและไนเตรทจากปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 สูตร พบว่า ที่วันแรกของการบ่มดิน ปุ๋ยสูตร W มีปริมาณการปลดปล่อยแอมโมเนียมและไนเตรทสูงกว่าปุ๋ยสูตรอื่นๆ นอกจากนี้ปริมาณการปลดปล่อยไนเตรทของปุ๋ยสูตร W ยังลดลงช้ากว่าปุ๋ยสูตร SMB และ SMC อีกด้วย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 สูตร ที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 17) โดยปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำจึงเกิดการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ทันที และปุ๋ยสูตร W มีค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำที่สุดจึงมีปริมาณการปลดปล่อยสูงที่สุด (กณจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; มุกดา, 2547)

อย่างไรก็ตามในช่วงสุดท้ายของการบ่มดิน พบว่า ค่ารับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร SMB กลับมีปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนในโตรเจนสูงที่สุด รองลงมาเป็นปุ๋ยสูตร W และ SMC ตามลำดับ อาจเป็นผลจากส่วนผสมของปุ๋ยสูตร SMB ซึ่งมีทะเลยาปาล์มเป็นส่วนผสม โดยมีรายงานว่าทะเลยาปาล์มมีปริมาณลิกนินและโพลีฟีนอลประมาณร้อยละ 28-29 และ 2.2-2.5 ตามลำดับ (Zaharah and Lim, 2000) ซึ่งจะมีการสลายตัวและปลดปล่อยไนโตรเจนอย่างช้าๆ (Vityakon *et al.*, 2000; Khalil *et al.*, 2005)

จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยสูตร W จะปลดปล่อยไนโตรเจนทันทีในปริมาณมาก ควบคู่กับการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันในอัตราสูงกว่าปุ๋ยสูตร SMB และ SMC อาจทำให้เกิดการสะสมไนโตรเจนในดินหรือเกิดการชะล้าง (leaching) สูญหายได้ง่าย สอดคล้องกับ Bernal and Kirchmann (1992) ซึ่งศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนจากมูลสุกรโดยวิธีการบ่มในดิน พบว่า ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนรวมของมูลสุกรจะสูงขึ้นตามระยะเวลาที่บ่มดิน และยังคงสอดคล้องกับ Flavel *et al.* (2006) ซึ่งพบว่า มูลไก่ป้อนเม็ดมีปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนรวมสูงกว่าปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายสมบูรณ์และปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายไม่สมบูรณ์ ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร SMB ซึ่งมีทะเลยาปาล์มเป็นส่วนผสมนั้นนอกจากการปลดปล่อยไนโตรเจนจากกากตะกอนชีวภาพและมูลโคนมหมักแล้วอาจจะมีอินทรีย์สารส่วนหนึ่งจากทะเลยาปาล์มที่ปลดปล่อยไนโตรเจนอย่างช้าๆ ทำให้มีปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรตต่ำในช่วงแรกแต่จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับการศึกษาของ Singh *et al.* (2007) และ Al-Madhoun *et al.* (2005) ส่วนปุ๋ยสูตร SMC ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนจะลดลงก่อนสูตรอื่นๆ เนื่องจากส่วนผสมซึ่งเป็นถ่านแกลบนั้นเป็นไบโอชาร์ชนิดหนึ่ง จึงอยู่ในรูปที่เสถียรจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายคาร์บอนหรือไนโตรเจนมาใช้ได้อีก (ยงยุทธ, 2554) จึงมีเพียงการปลดปล่อยไนโตรเจนจากกากตะกอนชีวภาพและมูลโคนมหมักเท่านั้น



ภาพที่ 10 ปริมาณแอมโมเนียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ก) และปริมาณไนเตรท (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) (ข) ในชุดดินกำแพงแสนที่ได้รับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพดินที่มีออกซิเจน ในช่วงระยะเวลาการบ่มดินต่าง ๆ

4. ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตและคุณภาพหน่อไม้ฝรั่ง

4.1 ปริมาณผลผลิตหน่อไม้ฝรั่ง

ผลการศึกษา พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีมีผลให้ปริมาณน้ำหนักรวมของหน่อไม้ฝรั่งรวม 3 รอบการผลิต แตกต่างกัน โดยเรียงลำดับจากดำรับการทดลองที่ให้ผลผลิตสูงสุดถึงต่ำสุด ดังนี้ $SMB_{high} > SMB_{low} > SMC_{high} > SMC_{low} > W_{low} > W_{high} > CF > CONTROL$ โดยปริมาณสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 1,370 และ 966 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (ตารางผนวกที่ 2 และภาพที่ 11 ก)

การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร SMB อัตราสูงจะให้ปริมาณผลผลิตสูงสุด ซึ่งปริมาณผลผลิตดังกล่าวไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยสูตร SMB อัตราต่ำ และ SMC อัตราสูง ส่วนการใส่ปุ๋ยสูตร W ทั้งสองอัตราจะให้ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว และการไม่ใส่ปุ๋ยซึ่งเป็นดำรับการทดลองที่ให้ปริมาณผลผลิตต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

เมื่อพิจารณาผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในอัตราเดียวกัน พบว่า เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูงการใส่ปุ๋ยสูตร SMB จะให้ผลผลิตสูงสุด และเมื่อพิจารณาผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรเดียวกันในอัตราต่างกัน พบว่า ปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกัน

ผลการศึกษาแสดงว่า ชนิดของปุ๋ยอินทรีย์จะมีผลต่อปริมาณผลผลิตหน่อไม้ฝรั่งเมื่อใส่ในอัตราสูง โดยการใส่ปุ๋ยสูตร SMB จะให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ส่วนการใส่ปุ๋ยสูตร SMC และ W ให้ผลผลิตไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยอินทรีย์ SMB, SMC และ W พบว่ามีค่าเท่ากับร้อยละ 3.17, 2.11 และ 1.72 (ตารางที่ 17) จึงอาจเป็นไปได้ว่าปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยสูตร SMC และ W ที่ใส่ในอัตราสูงยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของหน่อไม้ฝรั่งในระยะยาว สอดคล้องกับรายงานของ Lorlowhakarn *et al.* (2008) ซึ่งทำการศึกษาอิทธิพลของชนิดและอัตราปุ๋ยอินทรีย์ต่อผลผลิตหน่อไม้ฝรั่ง ทดลองจากปุ๋ยอินทรีย์ 2 ชนิด ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 1.5 และ 0.8 ในอัตรา 800, 500 และ 200 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งพบว่า ปริมาณผลผลิตหน่อไม้ฝรั่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และอาจเป็นผลจากการปลดปล่อยไนโตรเจนในช่วงท้ายซึ่งปุ๋ยสูตร SMB มีแนวโน้มสูงกว่าปุ๋ยสูตร W และ SMC (ภาพที่ 10) ทำให้หน่อไม้ฝรั่งได้รับไนโตรเจนต่อไปอีกในระยะยาวจึงมีผลผลิตสูงกว่าดำรับการทดลองอื่น

4.2 คุณภาพผลผลิตหน่อไม้ฝรั่ง

ผลการศึกษา พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีมีผลให้ปริมาณร้อยละ
 ชั้นคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่งรวม 3 รอบการผลิต แตกต่างกัน โดยปริมาณร้อยละของผลผลิตเกรด
 เอ-ตุ้ม-เขียว (ALG) ที่มีมูลค่าทางการตลาดสูงสุดเรียงลำดับจากสูงสุดถึงต่ำสุด ดังนี้ $SMB_{high} >$
 $SMC_{high} > SMC_{low} > SMB_{low} > W_{high} > W_{low} > CONTROL > CF$ และปริมาณร้อยละของผลผลิต
 เกรดซี-ตุ้ม (CL) ที่มีมูลค่าทางการตลาดต่ำสุด เรียงลำดับจากสูงสุดถึงต่ำสุด ดังนี้ $CF > W_{low} > SMB_{low} >$
 $SMC_{high} > SMC_{low} > CONTROL > W_{high} > SMB_{high}$ (ตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 11 ข)

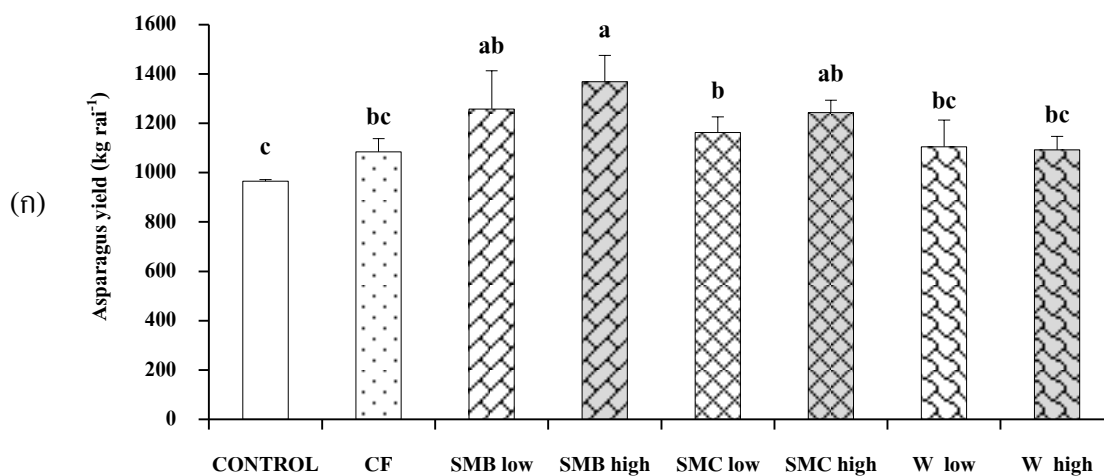
การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า คำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร SMB อัตราสูงจะให้
 ผลผลิตเกรด เอ-ตุ้ม-เขียว สูงสุด แต่ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยสูตร SMC อัตราสูง ส่วนคำรับ
 การทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W ทั้ง 2 อัตรา จะให้ผลผลิตเกรด เอ-ตุ้ม-เขียว ไม่แตกต่างกับการไม่ใส่ปุ๋ย
 เลย และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวซึ่งมีปริมาณผลผลิตเกรด เอ-ตุ้ม-เขียว ต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทาง
 สถิติ ส่วนปริมาณผลผลิตเกรดซี-ตุ้ม พบว่า คำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวมีค่าสูงสุด และ
 การใส่ปุ๋ยสูตร SMB อัตราสูง ให้ค่าต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในอัตราเดียวกัน พบว่า เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์
 ในอัตราสูง คำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร SMB จะให้ปริมาณผลผลิตเกรด เอ-ตุ้ม-เขียว สูงสุด แต่
 การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่ำจะทำให้ปริมาณผลผลิตทั้ง 2 เกรด ไม่แตกต่างกัน ส่วนการใส่ปุ๋ย
 อินทรีย์สูตรเดียวกันในอัตราต่างกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร SMB ในอัตราสูงจะให้ผลผลิตเกรด
 เอ-ตุ้ม-เขียว สูงกว่าการใส่ในอัตราต่ำ และการใส่ในอัตราต่ำจะให้ผลผลิตเกรดซี-ตุ้ม สูงกว่าการใส่
 ในอัตราสูง ส่วนปุ๋ยอินทรีย์สูตรอื่นๆ จะให้ปริมาณผลผลิตจากการใส่ปุ๋ยทั้ง 2 อัตรา ไม่แตกต่างกัน

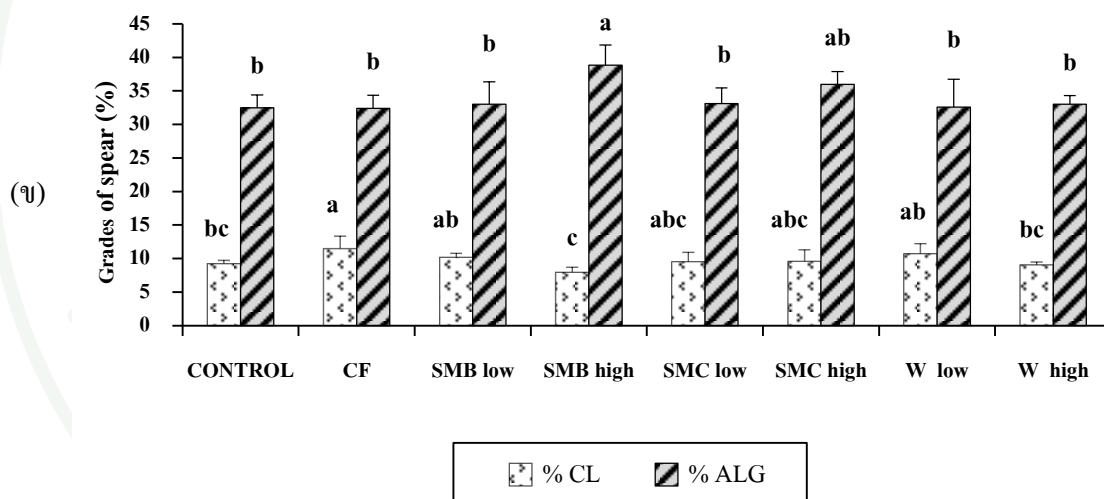
ผลการศึกษาแสดงว่า ชนิดและอัตราของปุ๋ยอินทรีย์ มีผลต่อคุณภาพผลผลิตหน่อไม้ฝรั่ง
 โดยปุ๋ยสูตร SMB อัตราสูงจะมีผลในการเพิ่มคุณภาพหน่อไม้ฝรั่งได้สูงสุด และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่าง
 เดียวทำให้หน่อไม้ฝรั่งมีคุณภาพต่ำสุด แสดงให้เห็นว่าปริมาณธาตุอาหารในดินอาจไม่เพียงพอต่อ
 การเจริญเติบโตของหน่อไม้ฝรั่ง ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ในดินพบว่า ค่าความจุ
 แลกเปลี่ยนแคตไอออน และปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ มีปริมาณเหล็ก สังกะสี แมงกานีส
 และทองแดงอยู่ในระดับไม่เพียงพอสำหรับพืชทั่วไปจึงอาจเป็นข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตและ
 ส่งผลให้หน่อไม้ฝรั่งมีคุณภาพผลผลิตต่ำได้ และการที่หน่อไม้ฝรั่งตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยทั้งในเชิง
 ปริมาณและคุณภาพ และยังคงแสดงว่าการได้รับเพียงธาตุอาหารหลักจากปุ๋ยเคมีไม่เพียงพอต่อ

หน่อไม้ฝรั่งในการสร้างหน่อที่มีคุณภาพ ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าหน่อไม้ฝรั่งยังต้องการธาตุอาหารรองและจุลธาตุจากปุ๋ยอินทรีย์ร่วมด้วยเพื่อการเพิ่มคุณภาพผลผลิต

สำหรับอิทธิพลของชนิดปุ๋ยอินทรีย์นั้น พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของปราโมทย์ (2546) ซึ่งศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ได้แก่ ปุ๋ยหมัก มูลสุกร มูลเป็ด มูลวัว และมูลไก่ ต่อผลผลิตและคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่ง โดยใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 3 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่า น้ำหนักหน่อรวม และน้ำหนักรวมของหน่อไม้ฝรั่งเกรด เอ-ตุ้ม ในทุกตำรับการทดลอง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ



The different letter in graph are significantly different at $P < 0.01$ each according to DMRT



The different letter in graph are significantly different at $P < 0.05$ each according to DMRT

ภาพที่ 11 ปริมาณผลผลิตหน่อไม้ฝรั่ง (ก) และปริมาณร้อยละชั้นคุณภาพ เอ-ตุ่ม-เขียว (ALG) และ ซี-ตุ่ม (CL) (ข) รวม 3 รอบการผลิต

5. ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของหน่อไม้ฝรั่ง

การศึกษาปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของหน่อไม้ฝรั่งในส่วนหน่อ พบว่า หน่อไม้ฝรั่งที่ได้รับการใส่ปุ๋ยในแต่ละตำรับการทดลอง มีปริมาณการดูดใช้ธาตุต่างๆ แตกต่างกัน ดังนี้

5.1 ในโตรเจน

การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร SMB และ SMC อัตราสูง มีปริมาณการดูดใช้ในโตรเจนสูงสุด และการไม่ใส่ปุ๋ยเลยมีปริมาณการดูดใช้ในโตรเจนต่ำสุด เมื่อพิจารณาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในอัตราเดียวกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูงมีปริมาณการดูดใช้ในโตรเจนจากตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร SMB และ SMC สูงกว่าการใส่ปุ๋ยสูตร W ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรเดียวกันในอัตราต่างกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร SMC ในอัตราสูงจะมีการดูดใช้ในโตรเจนสูงกว่าการใส่ในอัตราต่ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 4 และภาพที่ 12ก)

ผลการศึกษาแสดงว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อปริมาณการดูดใช้ในโตรเจนและสอดคล้องกับผลผลิต โดยหน่อไม้ฝรั่งที่ใส่ปุ๋ยสูตร SMB และ SMC อัตราสูง มีการดูดใช้ในโตรเจนและให้ผลผลิตสูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 2 และภาพที่ 11ก) ซึ่งจากผลวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์พบว่า ปุ๋ยสูตร SMB มีปริมาณไนโตรเจนและอินทรีย์วัตถุสูงที่สุด จึงเป็นแหล่งสำรองไนโตรเจนแก่พืชมากกว่าปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น ทั้งนี้เพราะไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการสร้างผลผลิตหน่อไม้ฝรั่งอย่างยิ่ง โดย ยงยุทธ (2552) และ Barker and Pilbeam (2007) กล่าวว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืช กล่าวคือ พืชที่ได้รับไนโตรเจนเพียงพอจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดิน เพิ่มปริมาณโปรตีน และคาร์บอนที่ใบซึ่งจะสอดคล้องกับปริมาณการสังเคราะห์แสงสุทธิ แต่หากได้รับมากเกินไปจะยับยั้งการเจริญเติบโตของรากและคุณภาพผลผลิตต่ำลงเนื่องจากเกิดไนเตรทสะสมในพืชได้ อย่างไรก็ตาม Santamaria (2006) รายงานว่า หน่อไม้ฝรั่งเป็นพืชที่มีการสะสมไนเตรทในเนื้อเยื่อต่ำกว่า 200 มิลลิกรัม NO_3 ต่อกิโลกรัม น้ำหนักสด ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มพืชที่มีการสะสมไนเตรทต่ำที่สุดใน 5 กลุ่ม หน่อไม้ฝรั่งจึงมีความเสี่ยงต่ำมากต่อการสะสมไนเตรทในเนื้อเยื่อ ส่วนปุ๋ยสูตร SMC มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนจึงน่าจะช่วยลดการสูญเสียแอมโมเนียมที่เกิดจากกระบวนการ N mineralization

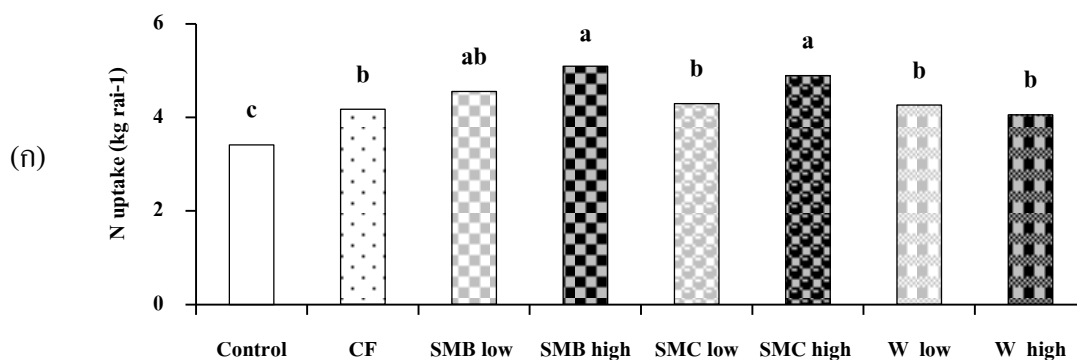
5.2 ฟอสฟอรัส

การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร SMB อัตราต่ำ มีปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงสุด และการใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราต่ำ มีปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสต่ำสุด เมื่อพิจารณาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในอัตราเดียวกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่ำจะทำให้การใส่ปุ๋ยสูตร SMB มีปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงสุด รองลงมาเป็นการใส่ปุ๋ยสูตร SMC และ W ตามลำดับ ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรเดียวกันในอัตราต่างกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร W ในอัตราสูงจะมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงกว่าการใส่ในอัตราต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 4 และภาพที่ 12ข)

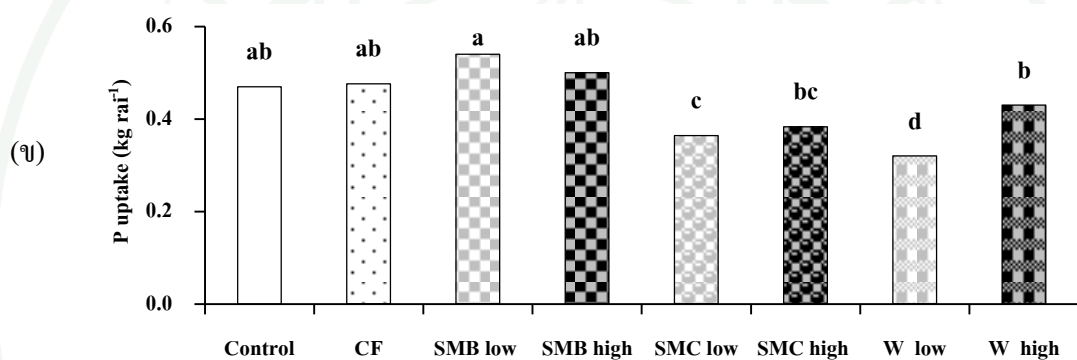
ผลการศึกษาแสดงว่า ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสของหน่อไม้ฝรั่งไม่สอดคล้องกับผลผลิตและผลวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ อาจเป็นผลจากค่าพี-เอช ของดินหลังปลูกที่มีค่าระหว่าง 7.5 - 8.3 ซึ่งเป็นค่าอ่อนถึงค่าปานกลาง (ตารางผนวกที่ 8) ที่เป็นอุปสรรคต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัส หรืออาจเป็นผลจากปริมาณของฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยอินทรีย์แต่ละสูตรที่อาจมีแนวโน้มแตกต่างกันกับปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ (ตารางที่ 17)

5.3 โปแทสเซียม

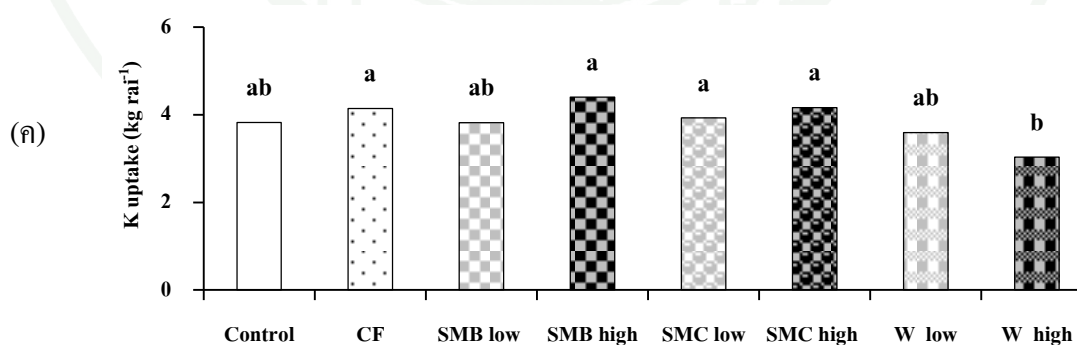
การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร SMB อัตราสูง มีปริมาณการดูดใช้โปแทสเซียมสูงสุด และการใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูง มีปริมาณการดูดใช้โปแทสเซียมต่ำสุด เมื่อพิจารณาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในอัตราเดียวกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูงจะทำให้การใส่ปุ๋ยสูตร SMB และ SMC มีปริมาณการดูดใช้โปแทสเซียมสูงกว่าการใส่ปุ๋ยสูตร W อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรเดียวกันในอัตราต่างกันไม่ทำให้ปริมาณการดูดใช้โปแทสเซียมแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 4 และภาพที่ 12ค)



The different letter in graph are significantly different at $P < 0.01$ each according to DMRT



The different letter in graph are significantly different at $P < 0.05$ each according to DMRT



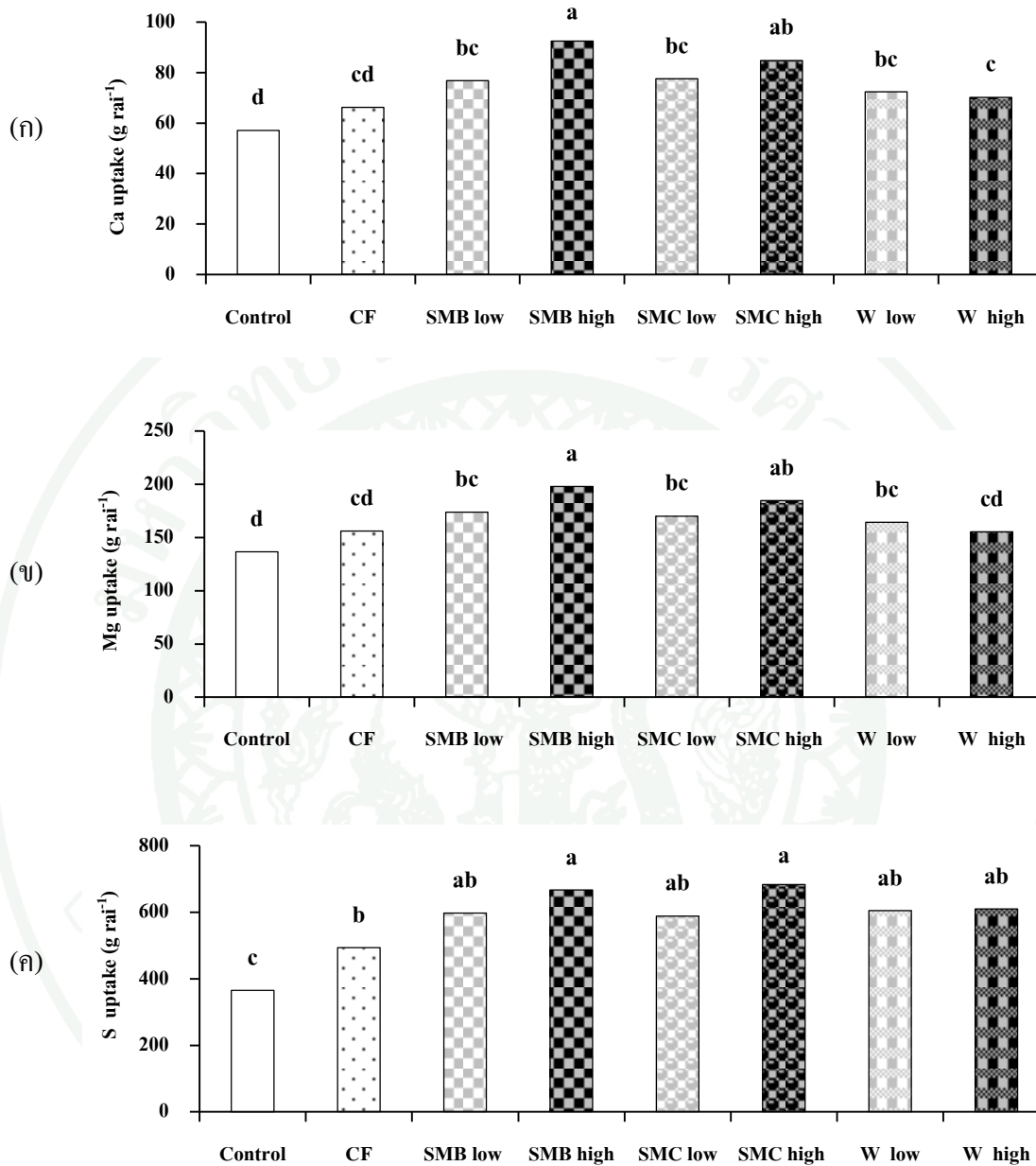
The different letter in graph are significantly different at $P < 0.05$ each according to DMRT

ภาพที่ 12 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณของไนโตรเจน (ก) ฟอสฟอรัส (ข) และโพแทสเซียม (ค) ที่หน่อไม้ฝรั่งดูดใช้

5.4 แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน

การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร SMB อัตราสูง มีปริมาณการดูดใช้แคลเซียมและแมกนีเซียมสูงสุด ส่วนการดูดใช้กำมะถันมีปริมาณสูงสุดในการใส่ปุ๋ยสูตร SMC อัตราสูง ในขณะที่ได้รับการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยเลยจะมีปริมาณการดูดใช้แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันต่ำสุด เมื่อพิจารณาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในอัตราเดียวกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูงจะทำให้การใส่ปุ๋ยสูตร SMB และ SMC มีปริมาณการดูดใช้แคลเซียมและแมกนีเซียมสูงกว่าการใส่ปุ๋ยสูตร W ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรเดียวกันในอัตราต่างกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร SMB ในอัตราสูงมีผลให้ปริมาณการดูดใช้แคลเซียมและแมกนีเซียมสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 5 และภาพที่ 13)

ผลการศึกษาแสดงว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อปริมาณการดูดใช้แคลเซียมและแมกนีเซียม และกำมะถัน สอดคล้องกับปริมาณผลผลิต โดยหน่อไม้ฝรั่งที่ใส่ปุ๋ยสูตร SMB และ SMC อัตราสูง จะมีปริมาณการดูดใช้แคลเซียม แมกนีเซียมและกำมะถันสูงสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นเดียวกับการให้ผลผลิต (ตารางผนวกที่ 2 และภาพที่ 11ก) แต่จากผลวิเคราะห์สมบัติของปุ๋ยอินทรีย์กลับพบว่าปุ๋ยสูตร W มีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมสูงสุดรองลงมาเป็นปุ๋ยสูตร SMB และ SMC ตามลำดับ ส่วนปริมาณกำมะถันมีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 17) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการดูดใช้ในโตรเจนในรูปไนเตรทช่วยส่งเสริมการสะสมแคลเซียมและแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อพืช ซึ่งหน่อไม้ฝรั่งที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์ SMB มีการดูดใช้ในโตรเจนสูงจึงมีการสะสมแคลเซียมและแมกนีเซียมสูงไปด้วย ประกอบกับดินที่ทำการศึกษามีค่าพี-เอช เป็นด่าง และผลจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ทำให้ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินสูงขึ้น (ตารางผนวกที่ 8) ทำให้แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันที่เพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์สูง ดังนั้นหน่อไม้ฝรั่งจึงดูดใช้ธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันได้สูงขึ้น (ขงยุทธ, 2552; Barker and Pilbeam, 2007; Landon, 1991) อย่างไรก็ตาม พบว่า ชนิดและอัตราของปุ๋ยอินทรีย์ไม่มีผลต่อการดูดใช้กำมะถันซึ่งอาจเป็นผลมาจากหน่อไม้ฝรั่งยังได้รับกำมะถันไม่เพียงพอเนื่องจากเป็นธาตุที่สำคัญต่อหน่อไม้ฝรั่ง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โดยกำมะถันเป็นองค์ประกอบของโปรตีนและมีความสัมพันธ์กับไนโตรเจน หากหน่อไม้ฝรั่งได้รับไนโตรเจนสูงเกินไปจะทำให้เสียสมดุลและขาดกำมะถันทำให้พืชสังเคราะห์โปรตีนและคลอโรฟิลล์ได้น้อยลง ทั้งนี้ยังพบอาการขาดกำมะถันของหน่อไม้ฝรั่งในได้รับการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยอีกด้วย (เชน, 2537; ขงยุทธ, 2552; Barker and Pilbeam, 2007; Landon, 1991)



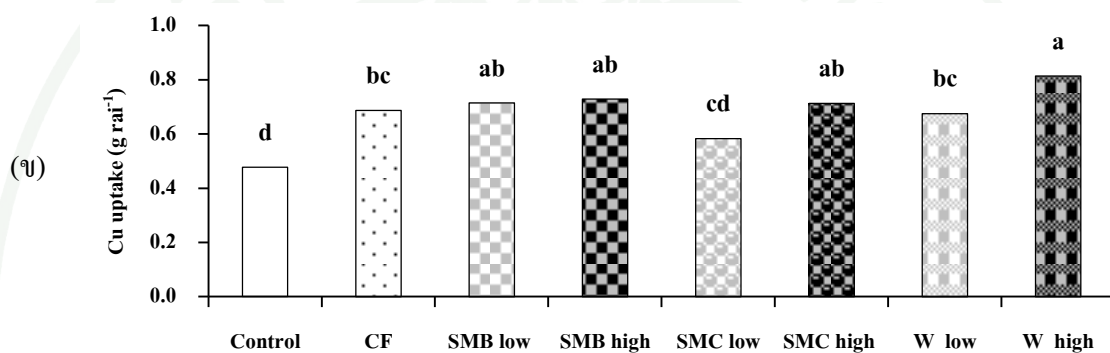
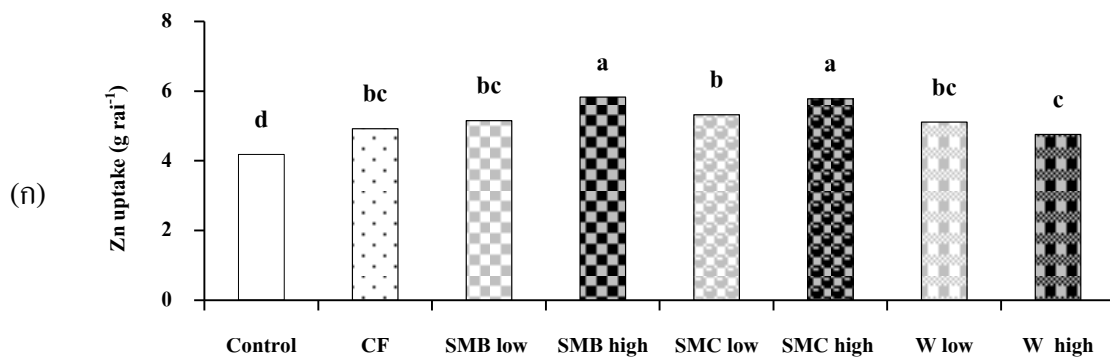
The different letter in graph are significantly different at $P < 0.01$ each according to DMRT

ภาพที่ 13 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณของแคลเซียม (ก) แมกนีเซียม (ข) และกำมะถัน (ค) ที่หน่อไม้ฝรั่งดูดใช้

5.5 เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดง

การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร SMB อัตราสูง มีปริมาณการดูดใช้สังกะสีสูงสุด การใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูง มีปริมาณการดูดใช้ทองแดงสูงสุด และการไม่ใส่ปุ๋ยมีปริมาณการดูดใช้สังกะสี และทองแดงต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนปริมาณการดูดใช้เหล็ก และแมงกานีสในตำรับการทดลองต่างๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อพิจารณาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในอัตราเดียวกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูงจะทำให้การใส่ปุ๋ยสูตร SMB และ SMC มีปริมาณการดูดใช้สังกะสีสูงกว่าการใส่ปุ๋ยสูตร W อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่ำจะทำให้การใส่ปุ๋ยสูตร SMC มีปริมาณการดูดใช้ทองแดงต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรเดียวกันในอัตราต่างกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร SMB และ SMC ในอัตราสูง มีผลให้ปริมาณการดูดใช้สังกะสีสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการใส่ปุ๋ยสูตร W และ SMC ในอัตราสูงมีผลให้ปริมาณการดูดใช้ทองแดงสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 5 และภาพที่ 14)

ผลการศึกษาแสดงว่า หน่อไม้ฝรั่งมีปริมาณการดูดใช้สังกะสีสอดคล้องกับผลผลิต (ตารางผนวกที่ 2 และภาพที่ 11ก) อาจเป็นเพราะสังกะสีเป็นธาตุหนึ่งที่มีบทบาทเกี่ยวข้องกับเอนไซม์และโปรตีน ส่วนการที่หน่อไม้ฝรั่งในตำรับการทดลองที่ได้รับปุ๋ยสูตร W มีการดูดใช้สังกะสีต่ำอาจเป็นเพราะมีสภาวะเป็นปฏิปักษ์กับทองแดง (ยงยุทธ, 2552; Barker and Pilbeam, 2007; Landon, 1991) เนื่องจากปุ๋ยสูตร W มีปริมาณทองแดงสูงมากจนเกินมาตรฐานที่กำหนด (ตารางที่ 17) จึงมีการดูดใช้ทองแดงมากที่สุดด้วย ซึ่งปริมาณการดูดใช้ทองแดงค่อนข้างสอดคล้องกับผลผลิตเช่นกัน เนื่องจากทองแดงก็เป็นธาตุหนึ่งที่มีบทบาทด้านการสังเคราะห์แสงและเป็นองค์ประกอบโปรตีน สอดคล้องกับการศึกษาของเฉลิมชาติ (2547) ซึ่งรายงานว่า การใส่น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรในอัตราสูงมีผลต่อปริมาณการดูดใช้ทองแดงทั้งหมดของข้าวโพดสูงสุดในฤดูปลูกที่ 2 แต่ความเป็นต่างของดินอาจทำให้ความเป็นประโยชน์ของทองแดงลดลง หน่อไม้ฝรั่งจึงดูดใช้ทองแดงได้อย่างจำกัด (ยงยุทธ, 2552; Barker and Pilbeam, 2007; Landon, 1991) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูงจึงมีปริมาณการดูดใช้ทองแดงที่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยสูตร SMB ทั้งสองอัตรา และ SMC อัตราสูง



The different letter in graph are significantly different at $P < 0.01$ each according to DMRT

ภาพที่ 14 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณของสังกะสี (ก) และทองแดง (ข) ที่หน่อไม้ฝรั่งฤดูใช้

6. ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดใช้ธาตุอาหารและผลผลิตของหน่อไม้ฝรั่ง

จากข้อมูลผลผลิตและปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของหน่อไม้ฝรั่ง พบว่า มีความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างน้ำหนักผลผลิตหน่อสดรวมและปริมาณการดูดใช้ธาตุไนโตรเจน แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก สังกะสี และแมงกานีส (ตารางที่ 18) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการได้รับเพียงธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมจากปุ๋ยเคมีไม่เพียงพอสำหรับการปลูกหน่อไม้ฝรั่งเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงขึ้นในชุดดินกำแพงแสนซึ่งเป็นดินที่มีปริมาณธาตุอาหารต่ำ หน่อไม้ฝรั่งจึงตอบสนองต่อไนโตรเจน ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุที่ได้รับจากปุ๋ยอินทรีย์ อีกทั้งการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมียังช่วยให้หน่อไม้ฝรั่งดึงดูดธาตุอาหารต่างๆ มาใช้ได้มากขึ้น โดยธาตุไนโตรเจน และกำมะถันเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน และโปรตีน ส่วนธาตุไนโตรเจน แมกนีเซียม เหล็ก และแมงกานีสเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ และการสังเคราะห์แสง ธาตุแคลเซียมเป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ อีกทั้งธาตุสังกะสีก็มีบทบาทต่อการสังเคราะห์ฮอร์โมนออกซิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ดังนั้นธาตุอาหารเหล่านี้จึงอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของยอดอ่อน และส่งเสริมคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่งจึงทำให้ผลผลิตสูงขึ้นได้

ตารางที่ 18 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ระหว่างปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารพืช กับปริมาณผลผลิตหน่อไม้ฝรั่งรวม 3 รอบการผลิต

Nutrition uptake	<i>r</i>
N	0.960**
P	0.243 ^{ns}
K	0.514 ^{ns}
Ca	0.960**
Mg	0.974**
S	0.812*
Fe	0.889**
Zn	0.904**
Mn	0.738*
Cu	0.514 ^{ns}

หมายเหตุ เครื่องหมาย ns หมายถึงไม่มีสหสัมพันธ์กันทางสถิติ ส่วน * และ ** หมายถึงมีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ 99 ตามลำดับ

7. ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อสมบัติทางเคมีของชุดดินกำแพงแสนหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

ผลการศึกษากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีในการปลูกหน่อไม้ฝรั่งเป็นเวลา 1 ปี มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อค่าพี-เอช การนำไฟฟ้า (EC) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียม แคลเซียม และ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ กำมะถันที่สกัดได้ และจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ของชุดดินกำแพงแสนที่ 2 ระดับความลึก คือ 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร จากผลการศึกษา พบว่า ทุกคำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยมีค่า EC และไนเตรตสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเลย ส่วนคำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ร่วมกับปุ๋ยเคมี จะมีค่า CEC ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี อย่างเดียว โดยการใส่ปุ๋ยสูตร W จะมีการสะสม ฟอสฟอรัส เหล็ก สังกะสี และทองแดงอย่างเด่นชัด ทั้งนี้ยังพบว่าทุกคำรับการทดลองมีปริมาณแคลเซียมและกำมะถันต่ำกว่าดินก่อนปลูก (ตารางผนวกที่ 7)

รายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินที่สำคัญ กล่าวโดยละเอียดดังนี้

7.1 การเปลี่ยนแปลงค่าพี-เอช ดิน

การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า คำรับการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยเลยมีค่าพี-เอช สูงสุด และการใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูง มีค่าพี-เอช ต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้ง 2 ระดับความลึก แสดงว่าการปลูกหน่อไม้ฝรั่งมีผลให้ดินมีค่าพี-เอช สูงขึ้น แต่การใส่ปุ๋ยจะทำให้ค่าพี-เอช ต่ำกว่าดินที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยเลย เมื่อพิจารณาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในอัตราเดียวกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้งใน อัตราสูงและอัตราต่ำจะทำให้คำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร SMB มีค่าพี-เอช สูงสุด ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรเดียวกันในอัตราต่างกัน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 8 และภาพที่ 15ก)

การเปลี่ยนแปลงค่าพี-เอช ของดินหลังได้รับปุ๋ยอินทรีย์อาจเป็นผลจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) ที่เปลี่ยนแปลงแอมโมเนียมไปเป็นไนเตรต ทำให้เกิดประจุโปรตอนในสารละลายดินจึงมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (acidifying) หรือ กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพมีออกซิเจน (aerobic decomposition) ที่จะทำให้สารละลายดินมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้น (alkaline effect) ซึ่งพบในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ (Bernal and Kirchmann, 1992)

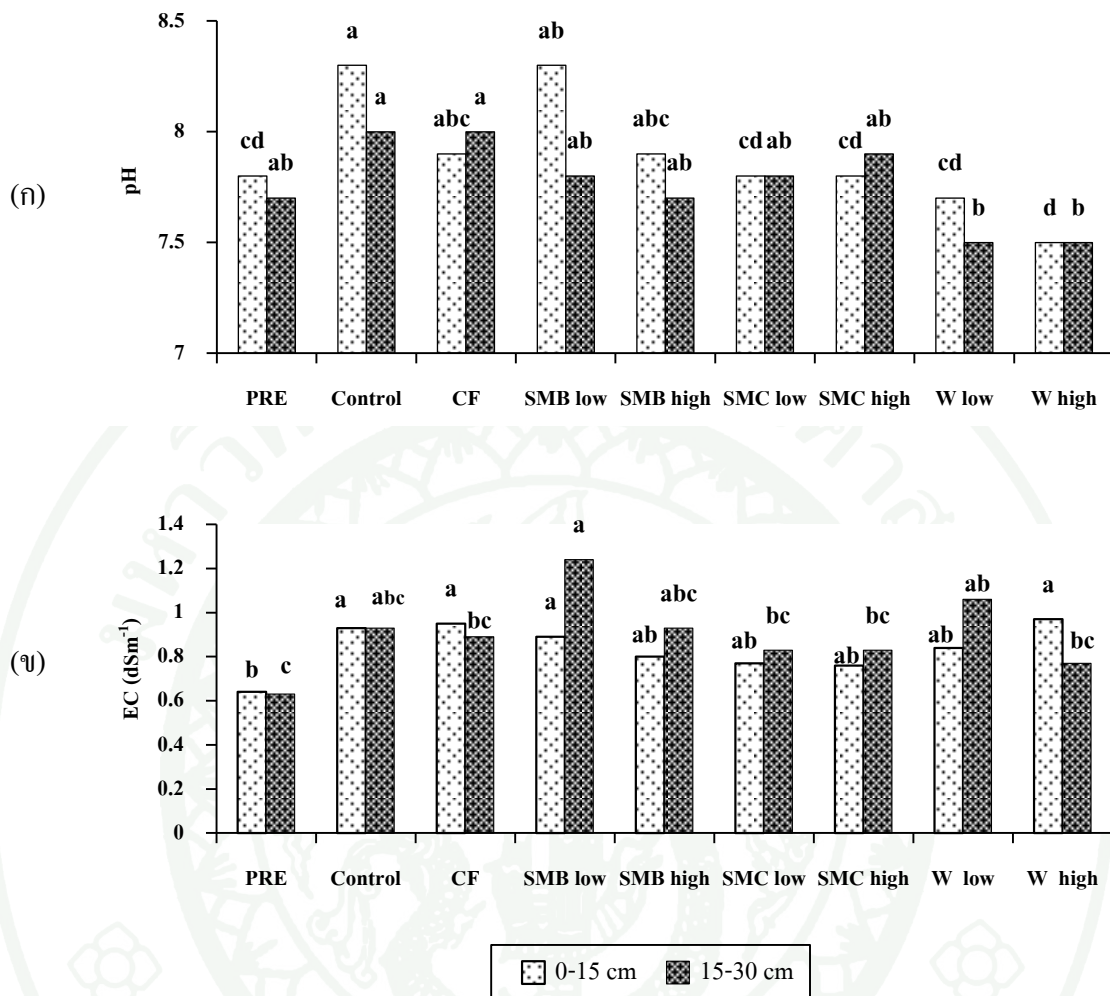
สอดคล้องกับการศึกษาของมานัส และ คณะ (2535); Bougnom *et al.*(2012) ซึ่งรายงานว่าค่าพี-เอชของดินมีแนวโน้มลดลงหลังใส่ปุ๋ยอินทรีย์

อย่างไรก็ตามค่าพี-เอช ของดินก่อนการทดลองและหลังการทดลองอยู่ในระดับค่าอ่อนถึงค่าปานกลางซึ่งไม่ใช่ช่วงพี-เอช ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกหน่อไม้ฝรั่งและจะมีผลให้จุลชีวชนิดูรูปที่เป็นประโยชน์และปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงได้ (Crockett, 1977; Biggs *et al.*, 2006)

7.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพการนำไฟฟ้าของดิน

การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า การปลูกหน่อไม้ฝรั่งมีผลให้ดินมีค่า EC สูงขึ้นทั้ง 2 ระดับความลึก โดยดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูง และ SMB อัตราต่ำ มีค่า EC สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร ตามลำดับ และดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร SMC และ W อัตราสูง มีค่า EC ต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยชนิดและอัตราของปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ไม่มีผลที่ชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงค่า EC ของดิน (ตารางผนวกที่ 8 และภาพที่ 15ข)

การเปลี่ยนแปลงค่า EC ของดินหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่งทุกดำรับการทดลองมีค่าสูงกว่าดินก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Bougnom *et al.* (2012) แต่แตกต่างกับการศึกษาของ Lorlowhakam *et al.* (2008) ซึ่งทดลองการปลูกหน่อไม้ฝรั่งในระบบเกษตรอินทรีย์พบว่า ค่า EC ของดินหลังการเก็บเกี่ยวลดลงจากก่อนการทดลอง 0.26-0.32 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าค่า EC ที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่อาจเป็นผลจากการใส่ปุ๋ยเคมี



The different letters in graph are significantly different according to DMRT

ภาพที่ 15 ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อค่าพี-เอช (pH) (ก) และสภาพการนำไฟฟ้า (EC) (ข) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

7.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุของดิน

การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า การปลูกหน่อไม้ฝรั่งมีผลให้ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นทั้ง 2 ระดับความลึก โดยที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูง มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงสุด ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวและการไม่ใส่ปุ๋ยเลยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร ดำรับการทดลองต่างๆ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในอัตราเดียวกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูงจะทำให้ดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงสุด ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรเดียวกันในอัตราต่างกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร SMC และ W ในอัตราสูงจะทำให้ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่ำ (ตารางผนวกที่ 9 และภาพที่ 16ก)

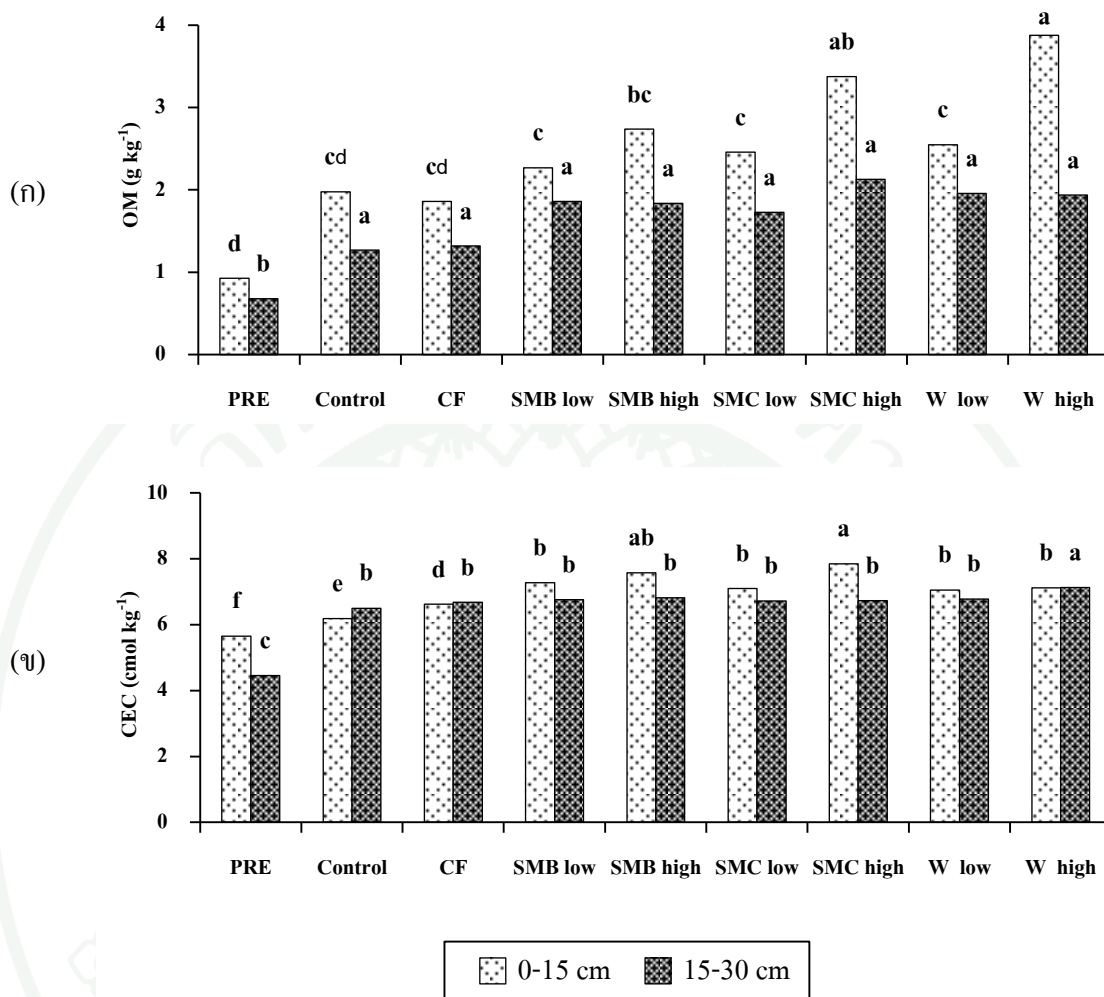
ผลการศึกษาแสดงว่า ดำรับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดำรับการทดลองที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุไม่แตกต่างกับการไม่ใส่ปุ๋ยเลย ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอินทรีย์คาร์บอนในดินจากการปรับปรุงดินด้วยวัสดุอินทรีย์ต่างๆ สอดคล้องกับการศึกษาของ มานัส และ คณะ (2535); Zaharah and Lim (2000); Masulili (2010)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเป็นผลจากชนิดและปริมาณปุ๋ยอินทรีย์โดยดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร SMC และ W มีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราที่ใส่ในปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด ซึ่งอาจเป็นเพราะสมบัติของปุ๋ยสูตร W หรือ มูลสุกรอัดเม็ดซึ่งมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ยังย่อยสลายไม่สมบูรณ์ในปริมาณสูง (Wong, 1990) จึงมีอินทรีย์คาร์บอนสะสมในดินสูง ส่วนสมบัติของปุ๋ยสูตร SMC ซึ่งมีถ่านแกลบเป็นส่วนผสมจึงมีอินทรีย์คาร์บอนที่มีเสถียรภาพอยู่ในดินสูง

7.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน

การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า การปลูกหน่อไม้ฝรั่งมีผลให้ดินมีค่า CEC เพิ่มขึ้น ทั้ง 2 ระดับความลึก โดยได้รับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร SMC อัตราสูง และ W อัตราสูง มีค่า CEC สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร ตามลำดับ และได้รับการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยเลยมีค่า CEC ต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติทั้ง 2 ระดับความลึก เมื่อพิจารณาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในอัตราเดียวกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูงจะทำให้ได้รับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร SMC มีค่า CEC สูงสุด ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรเดียวกันในอัตราต่างกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร SMC ในอัตราสูงจะทำให้ดินมีค่า CEC สูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่ำ (ตารางผนวกที่ 9 และภาพที่ 16ข)

ผลการศึกษาแสดงว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์จะมีการเปลี่ยนแปลงค่า CEC สูงกว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่า CEC อาจเป็นผลจากฟงชันนอลของอินทรีย์วัตถุที่ได้จากเศษซากพืชที่ย่อยสลายอยู่ในดินและการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Karki *et al.* (2005); Barkar *et al.* (2011)



The different letters in graph are significantly different according to DMRT

ภาพที่ 16 ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) (ก) ปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) (ข) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

7.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน

7.5.1 ปริมาณแอมโมเนียม

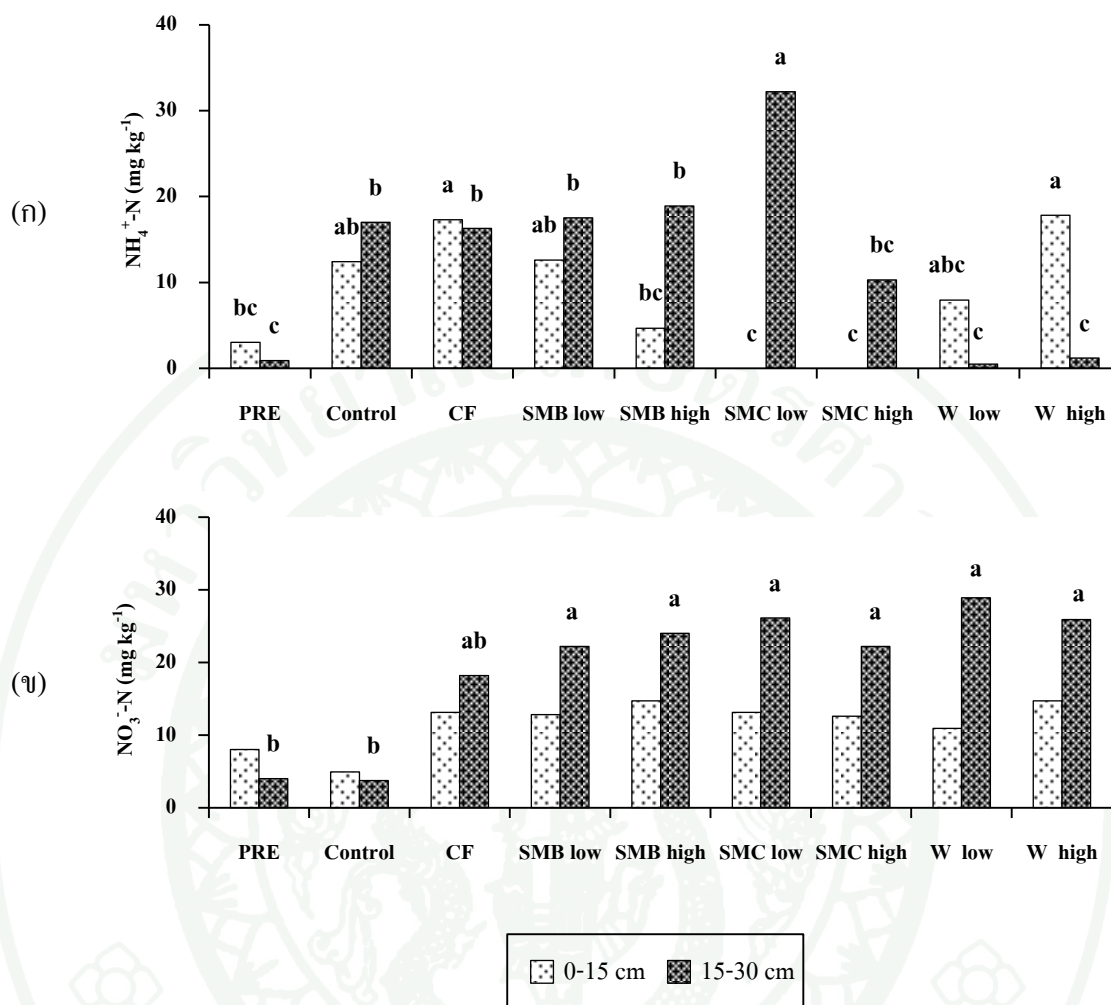
การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า คำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูง และ SMC อัตราต่ำ มีปริมาณแอมโมเนียมสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร ตามลำดับ และคำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร SMC และ W อัตราต่ำ มีปริมาณแอมโมเนียมต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในอัตราเดียวกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูงจะทำให้คำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W มีปริมาณแอมโมเนียมสูงสุดที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่ำจะทำให้คำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร SMC มีปริมาณแอมโมเนียมสูงสุดที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรเดียวกันในอัตราต่างกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร SMC ในอัตราสูงจะทำให้ดินมีปริมาณแอมโมเนียมสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่ำที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร (ตารางผนวกที่ 10 และ ภาพที่ 17ก)

ผลการศึกษาแสดงว่า ชนิดและอัตราของปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อปริมาณแอมโมเนียม โดยคำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูงมีการปริมาณแอมโมเนียมสูงสุดที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาการปลดปล่อยแอมโมเนียมของปุ๋ยสูตร W ที่มีปริมาณการปลดปล่อยสูงสุด (ภาพที่ 11) อย่างไรก็ตามพบว่าในคำรับการทดลองอื่นมีปริมาณแอมโมเนียมที่แสดงทิศทางไม่ชัดเจน อาจเป็นเพราะกระบวนการแปรสภาพของปุ๋ยหมักที่ไนโตรเจนส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ในช่วงแรกจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียมเป็นส่วนใหญ่ แต่ในสภาพที่ดินมีอากาศถ่ายเทดีแอมโมเนียมจะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรทอย่างรวดเร็วโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ชงยุทธ และคณะ, 2551) ขณะเดียวกันที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร คำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตราสูง ซึ่งมีถ่านแกลบเป็นส่วนผสมมีปริมาณแอมโมเนียมสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Guster *et al.*(2005); Ogawa and Okimori (2010)

7.5.2 ปริมาณไนเตรท

การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า การปลูกหน่อไม้ฝรั่งมีผลให้ดินมีปริมาณไนเตรทสูงขึ้นทั้ง 2 ระดับความลึก โดยได้รับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูง และ W อัตราต่ำ มีปริมาณไนเตรทสูงสุดที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และ 15-30 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนได้รับการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยเลยมีปริมาณไนเตรทต่ำสุดทั้ง 2 ระดับความลึก ซึ่งผลของชนิดและอัตราของปุ๋ยอินทรีย์ต่อปริมาณไนเตรทไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 10 และภาพที่ 17ข)

ผลการศึกษแสดงว่า ที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตรทุกได้รับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยมีการสะสมไนเตรทสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเลย โดยการใส่ปุ๋ยสำหรับหน่อไม้ฝรั่งเพื่อให้มีปริมาณไนโตรเจนเพียงพอ นั้นยังคงมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม เนื่องจากทุกได้รับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี และแม้แต่การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวในอัตราต่ำเพียง 8-12 กิโลกรัม N ต่อไร่ต่อรอบการผลิต (ตารางที่ 13) มีปริมาณไนเตรทในดินไม่แตกต่างกัน ซึ่งการสะสมไนเตรทในดินล่างนี้อาจเป็นผลจากการสะสมของไนเตรทจากระบวนการไนตริฟิเคชันร่วมกับการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในสภาพที่ดินมีอินทรีย์วัตถุสูง (อำนาจ, 2548; ยงยุทธ, 2551) โดยพบว่า ในได้รับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W ซึ่งมีไนเตรทสะสมสูงสุดนั้น มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงสุดเช่นกัน (ตารางผนวกที่ 9) รวมทั้งการที่ดินมีค่าพี-เอชเป็นด่าง ซึ่งจะเกิดการสะสมอินทรีย์ไนโตรเจนและค่อยๆ ปลดปล่อยออกมา (อำนาจ, 2548) สอดคล้องกับรายงานของ Bernal and Kirchmann (1992); Guster *et al.* (2005); Khalil *et al.* (2005) โดยปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรทในได้รับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมี พบว่า ปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจน (แอมโมเนียม+ไนเตรท) สูงกว่า 23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางผนวกที่ 10) อาจมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสู่น้ำใต้ดินได้ (Official Gazette of Baden-Wurtemberg, 1987) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Tirado (2007) และ Phupaibul (2004) ซึ่งรายงานว่า ในพื้นที่แปลงปลูกหน่อไม้ฝรั่งทั้งในจังหวัดกาญจนบุรี และนครปฐมพบปัญหาไนเตรทสะสมในดินและเคลื่อนย้ายลงสู่แหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องและเด็กอ่อนที่บริโภคน้ำที่ปนเปื้อนไนเตรท แต่การศึกษาของสุกัญญาและคณะ (2554) พบว่า การใส่ปุ๋ยในอัตรา 22.5 กิโลกรัม N ต่อไร่ ร่วมกับมูลโค 1.5 ตันต่อไร่ สามารถให้ผลผลิตหน่อไม้ฝรั่งได้อย่างมีคุณภาพและควบคุมการสะสมไนเตรทในดินให้อยู่ในระดับปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นการวางแผนการใส่ปุ๋ยสำหรับหน่อไม้ฝรั่งที่จะทำให้เกิดความสมดุลระหว่างผลผลิตที่ได้คุณภาพและการควบคุมปัญหาไนเตรทปนเปื้อนในดินนั้น อาจต้องมีแนวทางเฉพาะในแต่ละพื้นที่ ซึ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยที่แตกต่างกัน เช่น สมบัติของดิน ระบบชลประทาน สภาพภูมิอากาศ ปริมาณไนโตรเจนที่สูญเสียไป เป็นต้น



The different letters in graph are significantly different according to DMRT

ภาพที่ 17 ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณแอมโมเนียม ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) (ก) และปริมาณไนเตรท ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) (ข) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

7.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดิน

การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า ค่ารับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูง มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุดทั้ง 2 ระดับความลึก ส่วนค่ารับการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยเลย และการใส่ปุ๋ยสูตร SMC อัตราต่ำ มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำสุดที่ ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตรตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อพิจารณาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในอัตราเดียวกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูงจะทำให้ค่ารับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุดทั้ง 2 ระดับความลึก ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรเดียวกันในอัตราต่างกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร W ในอัตราสูงจะทำให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่ำทั้ง 2 ระดับความลึก (ตารางผนวกที่ 11 และภาพที่ 18ก)

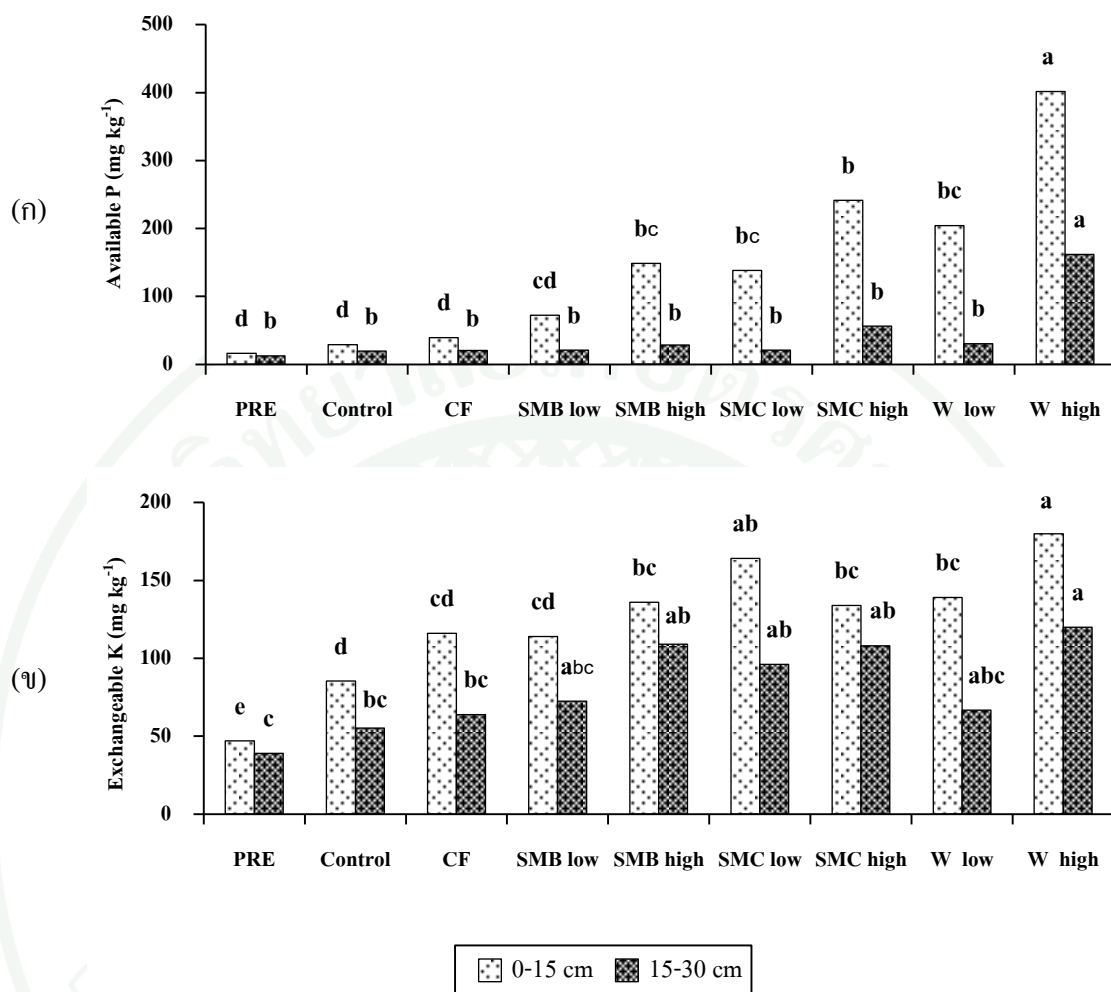
ผลการศึกษาแสดงว่า ชนิดและปริมาณของปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสในดิน โดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตร W อัตราสูง มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสสะสมในดินสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรอื่นๆ ทั้งนี้อาจเป็นผลจากปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยสูตร W มีค่าสูงกว่า ปุ๋ยสูตร SMB และ SMC แต่มีการดูดใช้โดยพืชน้อยกว่า ดังนั้นการใส่ปุ๋ยสูตร W จึงมีปริมาณฟอสฟอรัสตกค้างในดินสูงกว่าค่ารับการทดลองอื่นๆ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB และ SMC น่าจะเป็นผลจากกากตะกอนชีวภาพทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสสะสมสูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ มานัส และ คณะ (2535) และ Hanackava *et al.* (2006)

ผลการทดลองนี้ยังสอดคล้องกับรายงานของ Phupaibul และคณะ (2004) ซึ่งพบการสะสมฟอสเฟตในดินที่ระดับความลึก 0-20 ซม. ของพื้นที่ปลูกหน่อไม้ฝรั่งในจังหวัดนครปฐม ซึ่งอาจเป็นผลจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์โดยคำนึงถึงปริมาณไนโตรเจนอย่างเดียวกันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดฟอสฟอรัสสะสมในดินบนขึ้น เนื่องจากปุ๋ยสูตร W ที่มีฟอสฟอรัสสูงสุดแต่ปริมาณไนโตรเจนต่ำสุด เมื่อคำนวณปริมาณที่ต้องใส่ตามอัตราไนโตรเจนเป็นหลัก จึงเป็นการเพิ่มฟอสฟอรัสให้สูงขึ้นเป็นทวีคูณ ซึ่งปุ๋ยสูตร W นี้ นอกจากทำให้ดินมีการสะสมฟอสฟอรัสสูงขึ้นแล้วยังมีผลในลักษณะเดียวกันนี้กับอีกหลายธาตุด้วยกัน โดยฟอสฟอรัสนั้นเป็นธาตุปุ๋ยที่อาจมีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้ หากเกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำเนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นปัจจัยสำคัญของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และพืชน้ำซึ่งทำให้เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วมีการใช้ออกซิเจนมากจนเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำต่างๆ และเกิดกลิ่นเหม็นขึ้น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

7.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน

การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า การปลูกหน่อไม้ฝรั่งมีผลให้ดินมีปริมาณ โพแทสเซียมสูงขึ้นทั้ง 2 ระดับความลึก โดยได้รับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูง มีปริมาณ โพแทสเซียมสูงสุดทั้ง 2 ระดับความลึก ส่วนได้รับการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยเลย และการใส่ปุ๋ยสูตร SMC อัตราต่ำ มีปริมาณโพแทสเซียมต่ำสุดที่ ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ในอัตราเดียวกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูงจะทำให้ได้รับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W มีปริมาณโพแทสเซียมสูงสุดทั้ง 2 ระดับความลึก ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรเดียวกันในอัตราต่างกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร W ในอัตราสูงจะทำให้ดินมีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่ำที่ ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร (ตารางผนวกที่ 11 และภาพที่ 18ข)

ผลการศึกษาแสดงว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีผลให้มีปริมาณ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ สะสมในดินสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเลยหรือการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Bougnom *et al.* (2012) โดยชนิดและอัตราของปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมในดินที่ปลูกหน่อไม้ฝรั่ง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการดูค่าใช้โพแทสเซียมของหน่อไม้ฝรั่ง พบว่า ได้รับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูง มีการดูค่าใช้โพแทสเซียมต่ำสุดเช่นกัน (ตารางผนวกที่ 4) จึงอาจเป็นผลให้ได้รับการทดลองนี้มีการสะสมโพแทสเซียมในดินสูงสุด



The different letters in graph are significantly different according to DMRT

ภาพที่ 18 ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) (ก) และปริมาณ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) (ข) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

7.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณ กำมะถันที่สกัดได้ของดิน

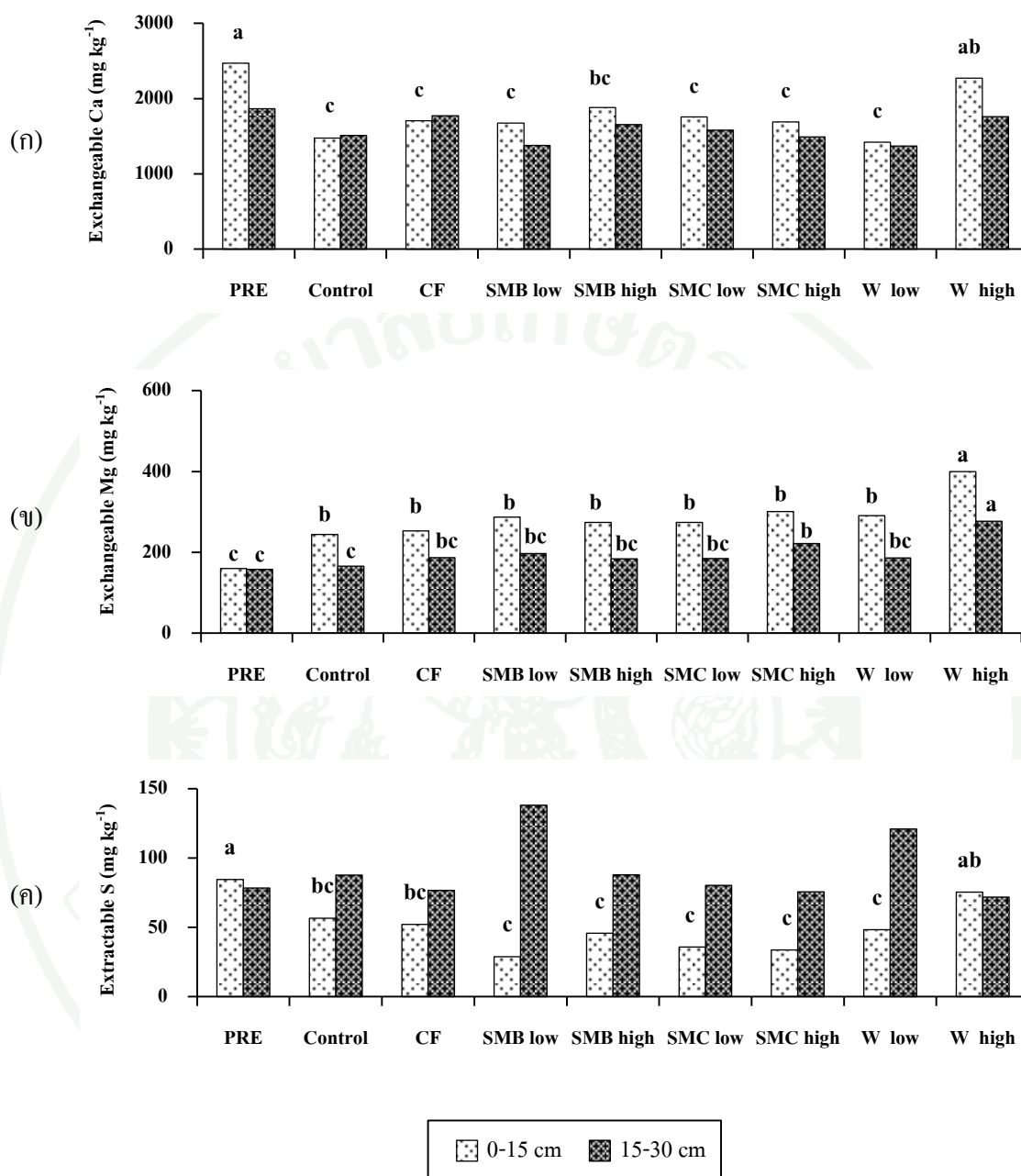
การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติ พบว่า การปลูกหน่อไม้ฝรั่งมีผลให้ดินมีปริมาณแมกนีเซียมสูงขึ้นทั้ง 2 ระดับความลึก แต่กลับมีผลให้ปริมาณแคลเซียมและกำมะถันลดลงโดยที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูง มีปริมาณแคลเซียมแมกนีเซียม และกำมะถันสูงสุด และดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราต่ำ การไม่ใส่ปุ๋ยเลย และการใส่ปุ๋ยสูตร SMB อัตราต่ำ มีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความลึก 15-30 เซนติเมตร ดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว การใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูง และการใส่ปุ๋ยสูตร SMB อัตราต่ำ มีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันสูงสุด ตามลำดับ และดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราต่ำ การไม่ใส่ปุ๋ยเลย และการใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูง มีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันต่ำสุด ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาการใส่ปุ๋ยสูตรต่างๆ ในอัตราเดียวกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราสูงจะทำให้ดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W มีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันสูงสุดที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ส่วนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรเดียวกันในอัตราต่างกัน พบว่า การใส่ปุ๋ยสูตร W ในอัตราสูงจะทำให้ดินมีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันสูงกว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราต่ำที่ ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร (ตารางผนวกที่ 12 และภาพที่ 19)

ผลการศึกษาแสดงว่า การใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูง มีผลต่อการสะสมแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันในดินอย่างชัดเจน สอดคล้องกับการศึกษาของ Lorlowhakarn *et al.* (2008) ซึ่งพบการเพิ่มขึ้นของแคลเซียมในดินหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่งในระบบเกษตรอินทรีย์ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณแคลเซียมและกำมะถันของดินในดำรับการทดลองต่างๆ ต่ำกว่าดินก่อนปลูก แสดงว่า หน่อไม้ฝรั่งมีความต้องการแคลเซียมและกำมะถันสูง ซึ่งการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดำรับต่างๆ อาจยังให้ธาตุอาหารเหล่านี้ไม่เพียงพอเนื่องจากการปลดปล่อยธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ออกมาช้าทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินต่ำเกินไป (ยงยุทธ และคณะ, 2551) เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า แม้ว่าปุ๋ยสูตร W จะมีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมดสูงสุด ส่วนปริมาณกำมะถันมีค่าใกล้เคียงกันในปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 สูตร (ตารางที่ 17) แต่การดูใช้แคลเซียมและแมกนีเซียมในดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูง กลับมีค่าน้อยกว่าดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์อื่นๆ ขณะที่การดูใช้กำมะถันมีค่าไม่แตกต่างกัน (ตารางผนวกที่ 5 และภาพที่ 13) จึงอาจเป็นสาเหตุให้การใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูงมีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และ

กัมมะถันสะสมในดินสูงสุด จากการศึกษาของ Shalaby (2004) รายงานว่า การผลิตโปรตีนของ หนอนไม้ฝรั่งที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างปริมาณกัมมะถันและปริมาณไนเตรทในเนื้อเยื่อ โดยหาก มีปริมาณกัมมะถันมากจะส่งผลให้ปริมาณไนเตรทต่ำลงและหากเกิดการสะสมไนเตรทขึ้นจะทำให้ ปริมาณกัมมะถันไม่เพียงพอ จากผลการศึกษาแสดงว่าทุกตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยมีการสะสม ไนเตรทในดินขึ้นจึงอาจเป็นผลให้หนอนไม้ฝรั่งมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนกัมมะถันได้ ดังนั้นจึงควร ใส่ปุ๋ยกัมมะถันและแคลเซียมเพิ่มเติมให้แก่หนอนไม้ฝรั่งก่อนดินจะเสียนคุณค่าธาตุอาหาร





The different letters in graph are significantly different according to DMRT

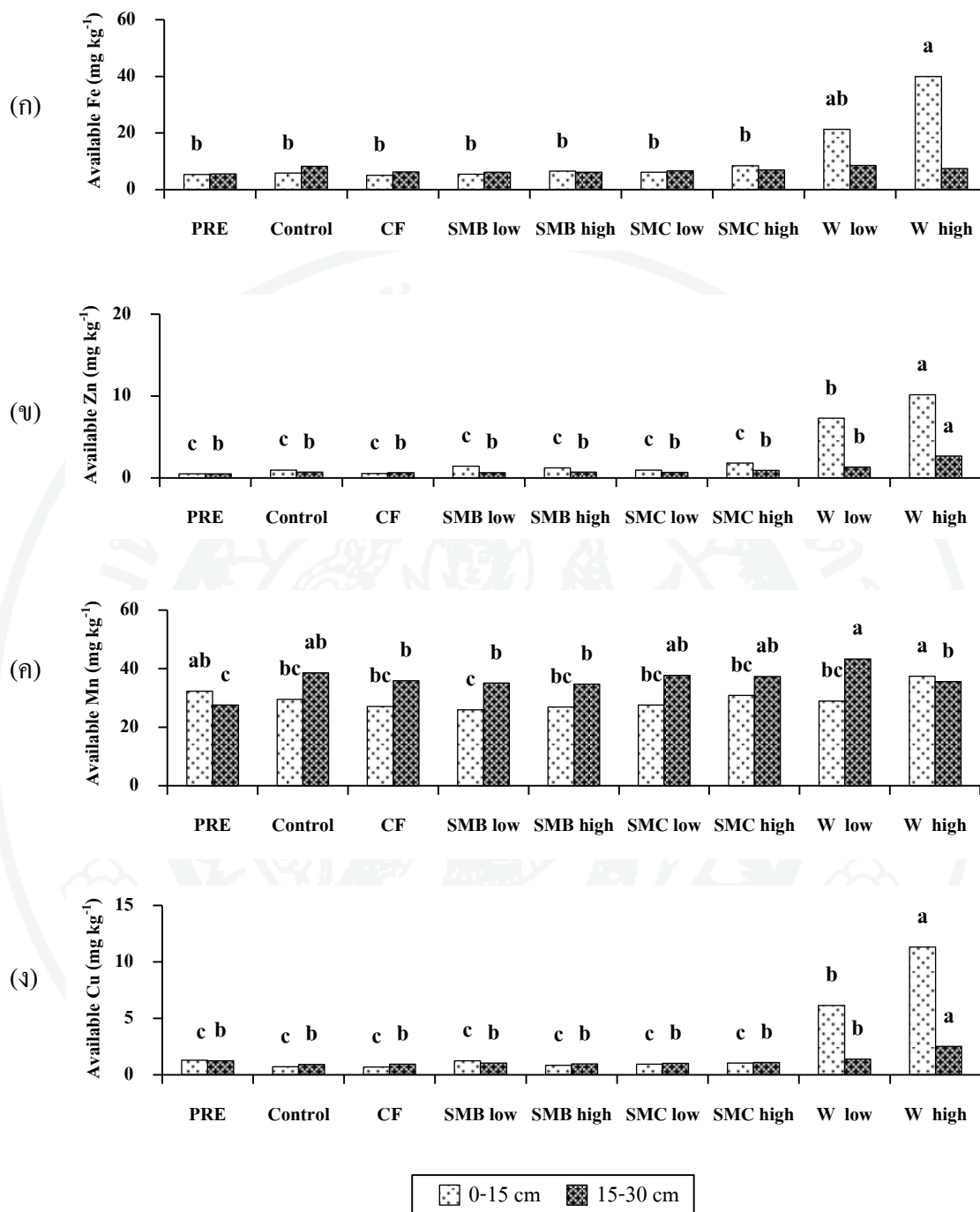
ภาพที่ 19 ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) (ก) ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) (ข) และปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ (ค) (Extractable S) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

7.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลธาตุที่เป็นประโยชน์ของดิน

การเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติของจุลธาตุในดิน พบว่า การสะสมปริมาณเหล็ก สังกะสี และทองแดงในรูปที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มเดียวกัน คือ ดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W อัตราสูงมีค่าสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 13-14 และภาพที่ 20)

เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ปุ๋ยสูตร W มีปริมาณจุลธาตุสูงกว่าปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น โดยเฉพาะทองแดง (ตารางที่ 17) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Nichoson *et al.* (1999) ซึ่งรายงานว่าอาหารสุกรและมูลสุกรมีความเข้มข้นของทองแดงและสังกะสีสูงสุด ขณะเดียวกัน พบว่าการดูใช้จุลธาตุของหน่อไม้ฝรั่งในดำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีค่าไม่แตกต่างกัน (ตารางผนวกที่ 6) จึงอาจเป็นผลให้การใส่ปุ๋ยสูตร W มีการสะสมของเหล็ก สังกะสี และทองแดง ในดินสูงที่สุด

ปริมาณการสะสมแมงกานีสในดำรับการทดลองต่างๆ พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อพิจารณาการดูใช้แมงกานีส พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน (ตารางผนวกที่ 6) แสดงว่าหน่อไม้ฝรั่งอาจเป็นพืชที่ต้องการแมงกานีสในปริมาณน้อย สอดคล้องกับรายงานของ Shalaby (2004) ซึ่งกล่าวว่าปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อส่วนหน่อของหน่อไม้ฝรั่งนั้น ธาตุแมงกานีสมีค่าต่ำที่สุด



The different letters in graph are significantly different according to DMRT

ภาพที่ 20 ผลของการใส่ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ (Available Fe) (ก) สังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Available Zn) (ข) แมงกานีสที่เป็นประโยชน์ (Available Mn) (ค) และปริมาณทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Available Cu) (ง) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. ชุดดินกำแพงแสนที่ใช้ศึกษามีเนื้อดินเป็นดินร่วนถึงดินร่วนเหนียวมีค่าพี-เอช เป็นค่าเล็กน้อย มีค่าการนำไฟฟ้า ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน และปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และปริมาณโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ในระดับปานกลาง ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับที่เพียงพอสำหรับพืชทั่วไป ส่วนปริมาณ เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดงอยู่ในระดับไม่เพียงพอสำหรับพืชทั่วไป
2. สมบัติทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 สูตร ผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ กรมวิชาการ เกษตร พ.ศ.2548 และฉบับเพิ่มเติม พ.ศ. 2555 โดยมีค่าพี-เอชใกล้เคียงกัน ซึ่งปุ๋ยสูตร SMB มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงสุด ส่วนปุ๋ยสูตร W มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำสุด มีค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม กำมะถัน แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และทองแดงสูงสุด ซึ่งปริมาณทองแดงดังกล่าวเกินค่ามาตรฐานสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในปุ๋ยอินทรีย์
3. การหมักวัสดุอินทรีย์ที่มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงร่วมกับกากตะกอนชีวภาพที่มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแคบเกินไปช่วยลดการระเหยและสูญหายของแอมโมเนียมและไนเตรทลงได้ ซึ่งผลของกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการหมักทำให้ปุ๋ยหมักที่ได้มีอินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนสูงขึ้น แต่สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าวัสดุอินทรีย์ก่อนการหมัก เนื่องจากกากตะกอนชีวภาพซึ่งมีไนโตรเจนสูงทำให้จุลินทรีย์ได้รับไนโตรเจนมากพอและสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนได้อย่างทั่วถึงและรวดเร็ว
4. การปลดปล่อยแอมโมเนียมและไนเตรทจากปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 สูตร เป็นไปในลักษณะเดียวกันโดยปริมาณแอมโมเนียมมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มดินนานขึ้นขณะที่ปริมาณไนเตรทมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 15 ของการบ่มดินแล้วค่อยๆ ลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มดินนานขึ้นเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน
5. ปริมาณและคุณภาพผลผลิตของตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร SMB อัตราสูงมีการเพิ่มผลผลิตและให้หน่อที่มีมูลค่าทางการตลาดสูงสุด ขณะที่การไม่ใส่ปุ๋ยเลยมีปริมาณน้ำหนักรากหน่อสดต่ำสุด และการใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวมีปริมาณหน่อที่มีมูลค่าทางการตลาดต่ำสุด

6. ปริมาณผลผลิตหน่อสดมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการดูแลใช้ธาตุไนโตรเจน แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก และสังกะสี แสดงให้เห็นว่าการได้รับเพียงธาตุหลักจากปุ๋ยเคมีไม่เพียงพอสำหรับการปลูกหน่อไม้ฝรั่งในชุดดินกำแพงแสนซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารต่ำ หน่อไม้ฝรั่งจึงตอบสนองต่อไนโตรเจน ธาตุรองและจุลธาตุที่ได้รับจากปุ๋ยอินทรีย์

7. การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทุกคำรับการทดลองเพิ่มค่าอินทรีย์วัตถุและความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน โดยสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของผลผลิต แต่ทุกคำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์พบการสะสมไนเตรทในดินเพิ่มขึ้น และพบการสะสมของฟอสเฟต เหล็ก สังกะสี และทองแดงเด่นชัดในคำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยสูตร W

8. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ผลผลิต คุณภาพหน่อไม้ฝรั่ง และสมบัติทางเคมีบางประการของดินที่ปลูกดีขึ้น แต่การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งคำนวณจากปริมาณไนโตรเจนโดยน้ำหนักเพียงอย่างเดียวมีข้อพึงระวังเรื่องการสะสมไนเตรท ฟอสฟอรัสและทองแดงในดิน ดังนั้นในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จึงควรพิจารณาสมบัติของดินก่อนปลูก และปุ๋ยอินทรีย์ก่อน เพื่อเลือกชนิด อัตราเวลา และวิธีในการใส่ปุ๋ยให้เหมาะสม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมการข้าว. 2553. แผนที่เขตศักยภาพการผลิตข้าว.

แหล่งที่มา: <http://www.brrd.in.th/ricemap/data/Kanchanaburi/image001.png>, 10 ตุลาคม 2555.

กรมควบคุมมลพิษ. 2555. การจัดการมูลสุกรและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร.

แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/water_swine.html, 8 ตุลาคม 2555.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. ชุดดินกำแพงแสน.

แหล่งที่มา: http://www.ldd.go.th/thaisoils_museum/pf_desc/central/Ks.htm,
8 ธันวาคม 2555.

_____. 2550. คู่มือการจัดการดินจังหวัดกาญจนบุรี. สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน
กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2553. คู่มือการปฏิบัติงาน การผลิต และการใช้ก๊าซ
ชีวภาพอย่างปลอดภัยสำหรับฟาร์มปศุสัตว์. สำนักวิจัยและค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนา
พลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพมหานคร.

_____. 2554. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานจากชีวมวล. สำนักพิมพ์เอเบิล คอนซัล
แตนท์ จำกัด, กรุงเทพมหานคร.

กรมวิชาการเกษตร. 2551. คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. บริษัทคิวปรีนซ์ ออฟเซ็ท, กรุงเทพมหานคร.

_____. 2553ก. คู่มือวิเคราะห์ดินทางเคมีและฟิสิกส์. บริษัทคิวปรีนซ์ ออฟเซ็ท,
กรุงเทพมหานคร.

_____. 2553ข. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทาง
การเกษตร กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร.

กรมศุลกากร. 2555. สถิติการส่งออกและนำเข้าสินค้า.

แหล่งที่มา: <http://www.customs.go.th/Customs-Eng/Statistic/Startistic.jsp?menuNme=Startistic>,
26 ธันวาคม 2555.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2544. หน่อไม้ฝรั่ง. กองส่งเสริมพืชสวน กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวง
เกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร.

_____. 2551. คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตรหน่อไม้ฝรั่ง.

แหล่งที่มา: <http://ag-ebook.lib.ku.ac.th/index.php/component/content/article/798>,
27 สิงหาคม 2555.

_____. 2553. รายงานสถานการณ์หน่อไม้ฝรั่ง.

แหล่งที่มา: [http://www.agriman.doae.go.th/home/news/newsyear%202009/028 Asparagus.pdf](http://www.agriman.doae.go.th/home/news/newsyear%202009/028%20Asparagus.pdf),
27 สิงหาคม 2555.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2547. วิศวกรรมการจัดน้ำเสีย. บริษัทเอส. อาร์. ปรีนติ้ง แมสโปรดักส์
จำกัด, นนทบุรี.

_____. 2552. การบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 3 ดร.เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, นนทบุรี.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพมหานคร.

จรัญชัย จันทร์เจริญสุข. 2544. การวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

จรัญชัย จันทร์เกษม และ ผกาพรรณ สุกมั่น. 2542. ฟาร์มโคนมกับสิ่งแวดล้อม. ศูนย์วิจัยและ
พัฒนาการผลิตกระบือและโค มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

จิตชนก สารรักรักษ์. 2549. การหาปริมาณการใช้น้ำและธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมที่เพียงพอต่อการให้ผลผลิตของหน่อไม้ฝรั่งพันธุ์ Brock's Improve. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เฉลิมชาติ วงศ์ดีเจริญ. 2547. ประสิทธิภาพของการใช้น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรเป็นปุ๋ยสำหรับ ข้าวโพดที่ปลูกบนดินร่วนปนทราย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไฉน ยอดเพชร. 2542. พืชผักอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล บางพระ, ชลบุรี.

เจน รอดศิริ. 2537. การศึกษาลักษณะอาการขาดธาตุอาหารในหน่อไม้ฝรั่ง. ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไชยา บุญเลิศ, ศุภชัย อ่ำคา และ ธงชัย มาลา. 2554. ผลของปุ๋ยละลายช้าต่อการเจริญเติบโตของ หน่อไม้ฝรั่ง (*Asparagus officinalis* L.). วิทยาสารกำแพงแสน 9 (2): 37-52.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์. 2551. ใช้ถ่านแกลบปรับปรุงดินในยุคน้ำพุแพงช่วยโลกร้อน เทคโนโลยีจากญี่ปุ่น. เกษตรเกษตร 32 (4): 222-225.

_____ และ จงรักรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2551. คู่มือการปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชา ปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ธงชัย มาลา. 2550. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ชนพันธุ์ จอมพิทักษ์. 2545. หน่อไม้ฝรั่ง. สำนักพิมพ์น้ำฝน, กรุงเทพมหานคร.

ธีระพงศ์ จันทรมนิม. 2551. กระบวนการไร้ของเสียในอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม. วารสาร หาดใหญ่วิชาการ 6 (2): 159-164.

- นิตยา อุปัชฌาย์. 2550. การวิเคราะห์ทางการเงินของการลงทุนปลูกหน่อไม้ฝรั่งในอำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประทีป วีระพัฒนนิรันดร์. 2551. เตาเผาถ่านแกลบหมัศจรรย์สำหรับใช้ผลิต “กุนตัง” (Kuntan) ในระดับครัวเรือน. *เคหการเกษตร* 32 (5): 219-223.
- ปราโมทย์ สฤณีนิรันดร์. 2546. ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อผลผลิตและคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่ง. แหล่งที่มา: <http://www.nstda.or.th/nstda-knowledge/4966-organicasparagus?tmpl=com>, 21 เมษายน 2555.
- ปิยะ ดวงพักตรา. 2553. **สารปรับปรุงดิน**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- ปรีดา พากเพียรรม, สุรัตน์ ศรีวรวิทย์, พิชิต พงษ์สกุล, วิศิษฐ์ โชติตกุล และ สัมฤทธิ์ ชัยวรรณคุปต์. 2534. **บทบาทของธาตุอาหารรองในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของพืชสวน**. กองปลูพืชวิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพมหานคร.
- พรพรรณ มั่นทน. 2553. **การใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรและผลของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารต่อผลผลิตและคุณภาพหน่อไม้ฝรั่งหน่อเขียว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พงษ์สันต์ ดีจันทร์. 2522. **การศึกษาพื้นฐานวิทยาและการกำเนิดของชุดดินกำแพงแสนและชุดดินคล้ายคลึง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มานัส แสนมณีชัย, ทรงเชาวน์ อินสมพันธ์, บุญลือ เพื่อก่อง, อรรณพ คณาเจริญพงษ์ และ ปรีชานี กรอิสรากุล. 2535. การใช้กากจากบ่อล้นเป็นปุ๋ยสำหรับพืช, น. 2-1-2-31. ใน **รายงานการประชุมวิชาการเรื่อง “ก๊าซชีวภาพไทย : สถานภาพปัจจุบันและศักยภาพในอนาคต”**. โครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน, เชียงใหม่.
- มุกดา สุขสวัสดิ์. 2547. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร.

ขงยุทธ โอสดสภา. 2552. **ธาตุอาหารพืช**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

_____. 2554. ไบโอชาร์ (Biochar) กับการบรรเทาปัญหาโลกร้อน: น่าสนใจแต่ใช้เวลานาน. **ดิน และปุ๋ย** 33 (2): 144-164.

_____, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต สงประยูร. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ราชกิจจานุเบกษา. 2548. เล่ม 122 ตอนพิเศษ 109 ง.

_____. 2555. เล่ม 129 ตอนพิเศษ 59 ง.

วาสนา มานิช, นิพนธ์ จันทขำ, เสรี มุ่งเมือง และ พรรณปพร กองแก้ว. 2551. เทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยหมักที่เหมาะสมกับชุมชนหุบมะกล่ำ อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี. **วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร** 28: 32-43.

วีระ ตั้งชวล. 2545. **เคมีของน้ำและการบำบัดน้ำเสีย**. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร.

ศูนย์พัฒนาและส่งเสริมก๊าซชีวภาพภาคเหนือ. 2535. **โครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน**. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, เชียงใหม่.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน. 2553. **เทคโนโลยีการผลิตหน่อไม้ฝรั่ง**.
แหล่งที่มา: <http://ag-ebook.lib.ku.ac.th/index.php/component/content/article/798>,
21 พฤศจิกายน 2555

สถานีอุทกนิคมวิทยากาญจนบุรี. 2554. **สถิติภูมิอากาศ**.
แหล่งที่มา: <http://www.tmd.go.th/aboutus/sitemap.php>, 28 พฤษภาคม 2554

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน. 2555. **เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ-ระบบก๊าซชีวภาพแบบ Fixed dome**.
แหล่งที่มา: http://biogas.erdia.or.th/biogasTech_sub_fix.php, 17 กรกฎาคม 2555

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2552. ระบบบำบัดน้ำเสีย. สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, กรุงเทพมหานคร.

สุกัญญา เข้มประชา, นุจรี บุญเปล่ง และ นารี พันธุ์จินดาวรรณ. 2554. อิทธิพลของอัตราปุ๋ยไนโตรเจนต่อผลผลิตหน่อไม้ฝรั่งและการสะสมของไนเตรทในชั้นหน้าตัดดิน, น. 693. ในรายงานการประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 2. สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย, เชียงใหม่.

สุกัญญา จัตตพรพงษ์, ปฎิมา อู๋สูงเนิน และ อุทัย คัน โธ. 2552. การใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์และน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์เป็นปุ๋ยอินทรีย์แบบต่างๆ สำหรับพืชเศรษฐกิจ. สถาบันสุวรรณวาลกกลกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2547. **Thai Agricultural Standard Asparagus.** แหล่งที่มา: http://www.acfs.go.th/standard/download/eng/GAP_asparagus.pdf, 26 สิงหาคม 2555.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2554. **ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร.** แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/download/prcai/vegetable/asparagus51-53.pdf>, 16 พฤศจิกายน 2554.

_____. 2555. ระบบแสดงข้อมูลด้านสถิติการนำเข้า-ส่งออก สินค้าเกษตรที่สำคัญ. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_resultphp, 7 กรกฎาคม 2555.

อรพิน ไปกุล. 2551. **ปุ๋ยอินทรีย์.** สำนักพิมพ์วุฒิสาสัน, นครศรีธรรมราช.

อดิनुช แซ่จิ๋ว. 2537. การกระจายของรากและผลผลิตหน่อไม้ฝรั่ง (หน่อเขียว) ในชุดดินกำแพงแสนภายใต้การเตรียมดินและการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่างๆ กัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัญชลี โมฆิตขจรเดช. 2550. ศึกษาการเปรียบเทียบเส้นใยปาล์มน้ำมันหมักเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับแกะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2548. **ปัญกับการเกษตรและสิ่งแวดล้อม**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

_____. 2554. **ความจริงเกี่ยวกับปุ๋ยในการเกษตรและสิ่งแวดล้อม**. มูลนิธิข้าวไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพมหานคร.

Al-Madhoun, W.A., S.A. Jabien, M.H. Isa, F.A.H. Asaari, H.A. Aziz and I.H. Farooqi. 2005. Co-composting of palm oil wastewater sludge and biosolids. **UTP Institution Repository**. Available Source: <http://eprints.utp.edu.my/1895/>, November 2, 2012.

Amaro-Lopez, M.A., G. Zurera-Gosano and R. Moreno-Rojas. 1999. Nutrition evaluation of mineral content change in fresh green asparagus as function of the spear portions. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 79: 900-906.

Bakar, R.A., S.Z. Darus, S. Kulaseharan and N. Jamaluddin. 2011. Effects of ten year application of empty fruit bunches in an oil palm plantation on soil chemical properties. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 89: 341-349.

Barker, A.V. and D.J. Pilbeam. 2007. **Handbook of Plant Nutrition**. CRC Press, Florida.

Benson, B.L. 2009. **2009 Update of the World's Asparagus Production Areas, Spear Utilization and Production Periods**. Available Source: <http://ebookbrowse.com/2009-world-asparagus-production-pdf-d16413951>, July 7, 2011.

Bernal, M.P. and H. Kirchmann. 1992. Carbon and nitrogen mineralization and ammonia volatilization from fresh, aerobically and anaerobically treated pig manure during incubation with soil. **Biology and Fertility of Soil** 13 (3): 135-141.

Biggs, M., J. McVicar and B. Flowerdew. 2006. **Vegetables, Herb and Fruit: an Illustrated Encyclopedia**. A Firefly Books, Singapore.

- Bougnom, B.P., C. Niederkofler, B.A. Knapp, E. Stimpfl and H. Insam. 2012. Residues from renewable energy production: Their value for fertilizing pastures. **Biomass and Bioenergy** 39: 290-295.
- Crockett, J.U. 1977. **Vegetable and Fruits**. Tim-Life Books Inc, U.S.A.
- Day, D.R. 1965. Particle fraction and particle size analysis, pp. 456-566. In C.A. Black (ed.). **Method of Soil Analysis. Part II. Agronomy No. 9**. American Society of Agron. Inc., Madison, Wisconsin.
- Drost, D.T. 1997. Asparagus pp.621-649. In Wien, H.C. (ed.). **The Physiology of Vegetable Crops**. CAB International, Wallingford, UK.
- _____. 2005. High phosphorus application at planting improves asparagus root growth and yield. **Acta Horticulturae**, Available Source: http://www.actahort.org/books/776/776_6.htm, July 6, 2011.
- Feller, C., E. Richter, T. Smolders and A. Wichura. 2012. Phenological growth stages of edible asparagus (*Asparagus officinalis*): condensation and description according to the BBCH scale. **Annals of Applied Biology** 160: 174-180.
- Flavel, C.T. and D.V. Murphy. 2006. Carbon and nitrogen mineralization rate after application of organic amendments to soil. **Journal of Environmental Quality** 35 (1): 83-93.
- Gutser, R., T. Ebertseder, A. Weber, M. Schraml and U. Schmidhalter. 2005. Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**. 168: 439-446.

- Hanackova, E., P. Slamka, O. Loek and W. Sadej. 2006. Effect of biosludge application on the content of inorganic nitrogen in soil and quality of sugar beet (*Beta vulgaris*, supsp. *Altissima* L.) roots. **Zeszyty Problemowe Postepow Nauk Rolniczych** 513: 107-119.
- Heriansyah. 2000. **Optimizing the Use of Oil Palm by Product (EFB) as Fertiliser Supplement for Oil Palm**. Available Source: [http://www.bwplantation.com/document/Optimizing%20The%20Use%20of%20Empty%20Fruit%20Bunch%20\(EFB\).pdf](http://www.bwplantation.com/document/Optimizing%20The%20Use%20of%20Empty%20Fruit%20Bunch%20(EFB).pdf), August 30, 2012.
- Islam S. 2008. Evaluating performance of ecologically sound organic substrates under different temperature regimes. **International Journal of Agriculture and Biology** 10: 279-300.
- Karki, A.B., J.N. Shrestha, S. Bajgain. 2005. **Biogas: As Renewable Source of Energy in Nepal Theory and Development**. BSP-Nepal, Kathmandu.
- Khalil, M.I., M.B. Hossain and U. Schmidhalter. 2005. Carbon and nitrogen mineralization in different upland soils of the subtropics treated with organic materials. **Soil Biology and Biochemistry** 37: 1507-1518.
- Kilmer, V.J. and L.T. Alexander. 1949. Method of making mechanical analysis of soils. **Soil Science** 68: 15-14.
- Land Classification Division 0 and FAO Project Staff. 1973. **Soil Interpretation Handbook for Thailand**. Dept. of Land Development, Min. of Agri. Coop., Bangkok.
- Landon, J.R. 1991. **Book Tropical Soil Manual : A Hand Book for Soil and Agricultural Land Evaluation in the Tropics and Subtropic**. Longman scientific & Technical, New York.
- Lorlowhakarn, S., S. Piyatiratitivorakul and W. Cherdshewasart. 2008. Organic asparagus production as a case study for implementation of the national strategies for organic asparagus in Thailand. **Thai Journal of Agricultural Science** 41 (1-2): 63-47.

- Li, H., D. Yu, T. Zhang and Y. Yu. 2012a. **An Improved Biomass Waste Anaerobic Degradation Technology for Producing Bio-gas Energy and Bio-fertilizers**. Available Source: <http://www.aceee.org/files/proceedings/2012/data/papers/0193-00342.pdf>, August 27, 2012.
- Li, Y., J. Qin, Z. Gou, T. Wang and Y. Ao. 2012b. Spatial variability of soil quality and asparagus spear yield in an area of plastic-greenhouse cultivation on Chongming Island, China. **African Journal of Agricultural Research** 7 (15): 2262-2272.
- Lim, K.C. and A.R. Zaharah. 2000. Decomposition and N & K release by oil palm empty fruit bunches applied under mature palm. **Journal of Oil Palm Research** 12 (2): 55-62.
- Lyle, S. 2009. **Discovering Vegetables Herbs and Spices**. CSIRO Publishing, Australia.
- Makus, D.J. 1994. Mineral nutrient composition of green and white asparagus spears. **Hort Science** 29 (12): 1468-1469.
- Manna, M.C., A. Swarup, R.H. Wanjari, H.N. Ravankar, B. Mishra, M.N. Saha, Y.V. Singh, D.K. Sahi and P.A. Sarap. 2005. Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical India. **Field Crop Research** 93: 264-280.
- Martens, D.C. and W.L. Lindsay. 1990. Testing soils for copper, iron, manganese and zinc. pp. 229. *In* R.L. Westerman, ed. **Soil Testing and Plant Analysis**, 3rd ed. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, WI, USA.
- Masulili, A., W.H. Utomo and M.S. Syechfani. 2010. Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil. **Journal of Agriculture Science** 2 (1): 39-47.
- Neeson, R. 2004. **Organic Asparagus Production**. Available Source: http://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0017/113417/organicasparagus-production.pdf, July 5, 2011.

Nicholson, F.A., B.J. Chambers, J.R. Williams, R.J. Unwin. 1999. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. **Bioresource Technology** 70: 23-31.

Official Gazette of Baden-Württemberg. 1987. Ordinance by the ministry of environment of november 27, 1987, on protective measures in water and source protection area, and on the granting of compensation payments. **Official Gazette of Baden-Württemberg of December 30 (22): 742-775.**

Ogawa, M. and Y. Okimori. 2010. Pioneering work in biochar research, Japan. **Australian Journal of Soil Research** 48: 489-500.

Peech, M. 1965. Hydrogen-iron activity. pp. 914-926. In C.A. Black, D.D. Evans, L.E. Ensminger, J.L. White and F.E. Clark, eds. **Method of Soil Analysis Part 2.** America Society of Agronomy, Inc. Publisher Madison, Wisconsin, USA.

Phupaibul, P., C. Chitbuntanorn, N. Chinoim, P. Kangyawongha and T. Ma. 2004. Phosphorus accumulation in soils and nitrate contamination in underground water under export-oriented asparagus farming in Nong Ngu Lauem village, Nakhon Pathom province, Thailand. **Soil Science and Plant Nutrition** 50 (3): 385-393.

Quattrocchi, U. 1947. **CRC World Dictionary of Plant Names: Common Names, Scientific Names, Eponyms and Etymology: Volume I A-C.** CRC Press LLC, U.S.A.

Rhoades, J.S. 1982. Soluble salts, pp. 167-178. In A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney, eds. **Method of Soil Analysis Part 2.** America Society of Agronomy, Inc. Publisher Madison, Wisconsin, USA.

RJ Hill Laboratories Limited. n.d. **Crop Guides Asparagus.** Available Source: <http://www.hill-laboratories.com/file/fileid/21650>, April 16, 2012.

Santamaria, P. 2006. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. **Journal of the Science of Food and Agriculture** 86: 10-17.

Shalaby, T. 2004. **Genetical and Nutritional Influences on the Spear Quality of White Asparagus (*Asparagus officinalis* L.)**.

Available Source: <http://catalog.hathitrust.org/Record/009157361>, July 10, 2011.

Singh, S., N. Ghoshal and K.P. Singh. 2007. Synchronizing nitrogen availability through application of organic inputs of varying resource quality in a tropical dryland agroecosystem. **Applied Soil Ecology** 36: 164-175.

Soil Survey Division Staff. 1993. **Soil Survey Manual**. Handbook No. 18. United States Dept. of Agr. United States Government Printing Office, Washington, DC.

Soil Survey Staff. 1999. **Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Mapping and Interpreting Soil Surveys. USDA-SCS Argi. Handbook**. 436. United States Government Printing Office, Washington, DC.

Stübers, K. 2007. **Flora von Deutschland Österreich und der Schweiz (1885)**. Available Source: http://caliban.mpiz-koeln.mpg.de/thome/band1/tafel_115.html, December 17, 2012.

Thomus, G.W. 1982. Exchangeable cation, pp. 159-166. In A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney, eds. **Method of Soil Analysis Part 2**. America Society of Agronomy, Inc. Publisher Madison, Wisconsin, USA.

Tirado, R. 2007. **Nitrates in Drinking Water in the Philippines and Thailand**.

Available Source: <http://www.greenpeace.to/publications/NitratesPhilippinesThailand.pdf>, July 5, 2011.

- Tabi A.N.M., F.A. Zakil, W.N.F.M. Fauzai, N. Ali and O. Hassan. 2008. The usage of empty fruit bunch (EFB) and palm pressed iberf (PPF) as substrates for the cultivation of pleurotus ostreatus. **Journal Teknologi** 49 (F): 189–196
- Tulayakul, P., A. Boonsoongnern, S. Kasemsuwan, S. Wiriarampa, J. Pankumnoed, S. Tippayaluck, H. Hananantachai, R. Mingkhwan, R. Netvichian and S. Khaodhiar. 2011. Comparative study of heavy metal and pathogenic bacterial contamination in sludge and manure in biogas and non-biogas swine farms. **Journal of Environmental Sciences** 23 (6): 991–997.
- Viets J.R., F.B. and W.L. Lindsay. 1973. Testing Soils for Zinc, Copper, Manganese and Iron, pp. 153-172. In L.H. Walsh and J.S. Beaton, eds. **Soil Testing and Plant Analysis**. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Vityakon, P., S. Meepech, G. Cadish and B. Toomsan. 2000. Soil organic matter and nitrogen transformation mediated by plant residues of different quality in sandy and upland and paddy soil. **Netherlands Journal in Agricultural Science** 48: 75-90.
- 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 Science** 37: 29-38.
- Wang, J., M. Zhang, Z. Xiong, P. Liu, G. Pan. 2011. Effects of biochar addition on N₂O and CO₂ emissions from two paddy soils. **Biology and Fertility of Soils** 47: 887–896.
- Wilson, D.R., C.G. Cloughley, P.D. Jamieson and S.M. Sinton. 2002. A model of asparagus growth physiology. **Acta Horticulturae** 589: 297-310.

_____, S.M. Sinton, R.C. Butler, D.T. Drost, P.J. Paschold, G. van Kruistum, J.T.K. Poll, C. Garcin, R. Pertierra, I. Vidal, K.R. Green. 2005. Carbohydrates and yield physiology of asparagus—a global overview. **Acta Horticulturae**, Available Source : http://www.actahort.org/books/776/776_54.htm, July 6, 2011

Wong, M.H. 1990. Anaerobic digestion of pig manure mixed with sewage sludge. **Biological Wastes** 31: 223-230.

Zaharah, A.R. and K.C. Lim. 2000. Oil palm empty fruit bunch as a source of nutrients and soil ameliorant in oil palm plantation. **Malaysian Journal** 4: 51-66.

Zwieten, L.Van, S.Kimber, S.Morris, K.Y.Chan, A.Downie, J.Rust, S.Joseph, A.Cowie. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. **Plant and Soil** 327: 235-246.



ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ ในรูปแอมโมเนียมและไนเตรท (มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม) ในชุดดินกำแพงแสนที่ได้รับการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพดินที่มีออกซิเจน ในช่วงระยะเวลาการบ่มดินต่าง ๆ กัน

Treatment	Duration (day)									
	0		15		30		45		60	
	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N
SMB	6.7	57.8	3.3	79.9	0.2	123.0	0.0	109.2	0.0	84.1
SMC	11.0	71.4	5.5	85.4	1.5	156.0	0.0	142.9	0.0	51.6
W	149.3	6.8	24.6	72.1	1.9	162.5	0.0	197.7	0.0	78.5

หมายเหตุ SMB คือ ปุ๋ยอินทรีย์หมักร่วมระหว่าง กากตะกอนชีภาพ มูลโคหมัก และทะเลสาบปาล์ม
 SMC คือ ปุ๋ยอินทรีย์หมักร่วมระหว่าง กากตะกอนชีภาพ มูลโคหมัก และถ่านแกลบ
 W คือ ปุ๋ยอินทรีย์ท้องถิ่น (มูลสุกรอัดเม็ด)

ตารางผนวกที่ 2 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณผลผลิตของ
หน่อไม้ฝรั่ง (ผลรวม 3 รอบการผลิต)

Treatment	Total yield (kg rai ⁻¹)	
	Fresh weight	Dry weight
Control	965.72 c	78.57 d
CF	1,085.05 bc	88.18 cd
SMB _{low}	1,258.53 ab	102.69 ab
SMB _{high}	1,369.50 a	111.26 a
SMC _{low}	1,163.46 b	94.64 bc
SMC _{high}	1,244.18 ab	100.93 abc
W _{low}	1,105.43 bc	89.97 bcd
W _{high}	1,092.99 bc	89.04 bcd
CV. (%)	7.71	7.66
F-test	**	**

หมายเหตุ ค่า F-test ที่มีเครื่องหมาย ns กำกับไว้แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; **มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี
CF	คือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 30 กก. N ต่อไร่
SMB _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMB _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)

ตารางผนวกที่ 3 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณร้อยละชั้นคุณภาพของหน่อไม้ฝรั่ง (ผลรวม 3 รอบการผลิต)

Treatment	Grades of spear (%)					
	ALG	AG	AL	BL	CL	SL
Control	32.48 b	8.55	19.26	24.34	9.24 bc	8.55
CF	32.38 b	7.63	19.15	23.35	11.51 a	7.63
SMB _{low}	33.04 b	10.49	18.16	24.57	10.20 ab	10.49
SMB _{high}	38.85 a	8.05	17.71	22.93	7.96 c	8.05
SMC _{low}	33.11 b	8.32	18.51	24.27	9.55 abc	8.32
SMC _{high}	35.96 ab	7.17	19.25	22.08	9.60 abc	7.17
W _{low}	32.57 b	9.07	19.19	23.62	10.72 ab	9.07
W _{high}	33.00 b	9.48	18.69	24.53	9.07 bc	9.48
CV. (%)	7.74	21.55	6.18	12.70	11.63	21.55
F-test	*	ns	ns	ns	*	ns

หมายเหตุ ค่า F-test ที่มีเครื่องหมาย ns กำกับไว้แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; **มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี
CF	คือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 30 กก. N ต่อไร่
SMB _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMB _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)

ตารางผนวกที่ 4 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมที่หน่อไม้ฝรั่งดูดใช้

Treatment	Nutrition uptake by spear asparagus (kg rai ⁻¹ 3 crop ⁻¹)		
	N	P	K
Control	3.41 c	0.47 ab	3.83 ab
CF	4.17 b	0.48 ab	4.14 a
SMB _{low}	4.55 ab	0.54 a	3.82 ab
SMB _{high}	5.09 a	0.50 ab	4.40 a
SMC _{low}	4.29 b	0.36 c	3.93 a
SMC _{high}	4.89 a	0.38 bc	4.16 a
W _{low}	4.26 b	0.32 d	3.59 ab
W _{high}	4.05 b	0.43 b	3.03 b
CV. (%)	7.03	16.19	11.07
F-test	**	*	*

หมายเหตุ ค่า F-test ที่มีเครื่องหมาย ns กำกับไว้แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; **มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี
CF	คือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 30 กก. N ต่อไร่
SMB _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMB _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)

ตารางผนวกที่ 5 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณของแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันที่หน่อไม้ฝรั่งดูดใช้

Treatment	Nutrition uptake by spear asparagus (g ra ⁻¹ 3 crop ⁻¹)		
	Ca	Mg	S
Control	57.07 d	136.65 d	365.33 c
CF	66.20 cd	155.91 cd	493.04 b
SMB _{low}	76.79 bc	173.65 bc	596.91 ab
SMB _{high}	92.47 a	197.78 a	666.44 a
SMC _{low}	77.54 bc	169.83 bc	587.72 ab
SMC _{high}	84.77 ab	184.55 ab	682.72 a
W _{low}	72.37 bc	164.14 bc	604.29 ab
W _{high}	70.15 c	155.22 cd	609.38 ab
CV. (%)	9.38	7.26	11.78
F-test	**	**	**

หมายเหตุ ค่า F-test ที่มีเครื่องหมาย ns กำกับไว้แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; **มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี
CF	คือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 30 กก. N ต่อไร่
SMB _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMB _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)

ตารางผนวกที่ 6 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณของเหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดงที่หน่อไม้ฝรั่งฤดูใช้

Treatment	Nutrition uptake by spear asparagus (g rai ⁻¹ 3 crop ⁻¹)			
	Fe	Zn	Mn	Cu
Control	5.26	4.18 d	1.32	0.48 d
CF	6.08	4.93 bc	1.43	0.69 bc
SMB _{low}	6.54	5.16 bc	1.49	0.71 ab
SMB _{high}	6.93	5.84 a	1.51	0.73 ab
SMC _{low}	6.37	5.33 b	1.41	0.58 cd
SMC _{high}	6.46	5.79 a	1.63	0.71 ab
W _{low}	5.69	5.12 bc	1.33	0.68 bc
W _{high}	5.17	4.76 c	1.28	0.81 a
CV. (%)	14.55	4.88	12.17	9.38
F-test	ns	**	ns	**

หมายเหตุ ค่า F-test ที่มีเครื่องหมาย ns กำกับไว้แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; **มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี
CF	คือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 30 กก. N ต่อไร่
SMB _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMB _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)

ตารางผนวกที่ 7 สรุปผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินหลังทำการทดลองปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

Chemical properties	0-15 cm					15-30 cm				
	Before - After planting			Treatment		Before - After planting			Treatment	
	down	up	non	max	min	down	up	non	max	min
pH	✓	✓	✓	Control	W _{high}	✓	✓	✓	Control	W _{high}
EC	-	✓	-	W _{high}	SMC _{high}	-	✓	-	SMB _{low}	W _{high}
OM	-	✓	-	W _{high}	CF	-	✓	-	SMC _{high}	CF
CEC	-	✓	-	SMC _{high}	Control	-	✓	-	W _{high}	Control
NH ₄ ⁺	✓	✓	✓	W _{high}	SMC	✓	✓	✓	SMC _{low}	W _{low}
NO ₃ ⁻	-	✓	-	W _{high}	Control	-	✓	-	W _{low}	Control
Avai. P	-	✓	✓	W _{high}	Control	-	✓	✓	W _{high}	SMC _{low}
Exch. K	-	✓	-	W _{high}	Control	-	✓	-	W _{high}	SMC _{low}
Exch. Ca	✓	-	-	W _{high}	W _{low}	✓	-	-	Control	W _{low}
Exch. Mg	-	✓	-	W _{high}	Control	-	✓	-	W _{high}	Control
Extrac. S	✓	-	-	W _{high}	SMB _{low}	✓	✓	-	SMB _{low}	W _{high}
Avai. Fe	-	✓	✓	W _{high}	CF	-	-	✓	W _{low}	SMB _{low}
Avai. Mn	✓	✓	✓	W _{high}	SMB _{low}	-	✓	✓	W _{low}	SMB _{high}
Avai. Zn	-	✓	✓	W _{high}	CF	-	✓	✓	W _{high}	CF
Avai. Cu	-	✓	✓	W _{high}	CF	-	✓	✓	W _{high}	Control

หมายเหตุ	PRE	คือ ก่อนการทดลอง
	Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี
	CF	คือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 30 กก. N ต่อไร่
	SMB _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
	SMB _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
	SMC _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
	SMC _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
	W _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
	W _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)

ตารางผนวกที่ 8 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อค่าพี-เอช (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

Treatment	pH		EC (dSm ⁻¹)	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
PRE	7.8 cd	7.7 ab	0.64 b	0.63 c
Control	8.3 a	8.0 a	0.93 a	0.93 abc
CF	7.9 abc	8.0 a	0.95 a	0.89 bc
SMB _{low}	8.3 ab	7.8 ab	0.89 a	1.24 a
SMB _{high}	7.9 abc	7.7 ab	0.80 ab	0.93 abc
SMC _{low}	7.8 cd	7.8 ab	0.77 ab	0.83 bc
SMC _{high}	7.8 cd	7.9 ab	0.76 ab	0.83 bc
W _{low}	7.7 cd	7.5 b	0.84 ab	1.06 ab
W _{high}	7.5 d	7.5 b	0.97 a	0.77 bc
CV (%)	2.68	2.51	13.08	18.26
F-test	**	*	*	*

หมายเหตุ ค่า F ที่มีเครื่องหมาย ns กำกับไว้แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; **มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

- PRE คือ ก่อนการทดลอง
- Control คือ ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี
- CF คือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 30 กก. N ต่อไร่
- SMB_{low} คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
- SMB_{high} คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
- SMC_{low} คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
- SMC_{high} คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
- W_{low} คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
- W_{high} คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)

ตารางผนวกที่ 9 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) และปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

Treatment	OM (g 100 g ⁻¹)		CEC (cmol kg ⁻¹)	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
PRE	0.93 d	0.68 b	5.65 f	4.45 c
Control	1.98 cd	1.27 a	6.18 e	6.50 b
CF	1.86 cd	1.32 a	6.62 d	6.68 b
SMB _{low}	2.27 c	1.86 a	7.27 b	6.76 b
SMB _{high}	2.74 bc	1.84 a	7.57 ab	6.82 b
SMC _{low}	2.46 c	1.73 a	7.10 b	6.72 b
SMC _{high}	3.38 ab	2.13 a	7.85 a	6.73 b
W _{low}	2.55 c	1.96 a	7.05 b	6.78 b
W _{high}	3.88 a	1.94 a	7.12 b	7.13 a
CV (%)	18.57	13.05	2.85	2.57
F-test	**	**	**	**

หมายเหตุ ค่า F ที่มีเครื่องหมาย ns กำกับไว้แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; **มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

PRE	คือ ก่อนการทดลอง
Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี
CF	คือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 30 กก. N ต่อไร่
SMB _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMB _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)

ตารางผนวกที่ 10 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) และปริมาณไนเตรทไนโตรเจน ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

Treatment	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mg kg ⁻¹)		$\text{NO}_3^-\text{-N}$ (mg kg ⁻¹)	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
PRE	3.0 bc	0.9 c	8.0	4.0 b
Control	12.4 ab	17.0 b	4.9	3.7 b
CF	17.3 a	16.3 b	13.1	18.2 ab
SMB _{low}	12.6 ab	17.5 b	12.8	22.2 a
SMB _{high}	4.7 bc	18.9 b	14.7	24.0 a
SMC _{low}	0.0 c	32.2 a	13.1	26.1 a
SMC _{high}	0.0 c	10.3 bc	12.6	22.2 a
W _{low}	7.9 abc	0.5 c	10.9	28.9 a
W _{high}	17.8 a	1.2 c	14.7	25.9 a
CV (%)	67.38	43.45	35.49	47.62
F-test	*	**	ns	*

หมายเหตุ ค่า F ที่มีเครื่องหมาย ns กำกับไว้แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; **มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

PRE	คือ ก่อนการทดลอง
Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี
CF	คือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 30 กก. N ต่อไร่
SMB _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMB _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)

ตารางผนวกที่ 11 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

Treatment	Available P (mg kg ⁻¹)		Exchangeable K (mg kg ⁻¹)	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
PRE	16 d	12 b	47 e	39 c
Control	29 d	19 b	85 d	55 bc
CF	39 d	20 b	116 cd	64 bc
SMB _{low}	72 cd	21 b	114 cd	73 abc
SMB _{high}	148 bc	28 b	136 bc	109 ab
SMC _{low}	138 bc	21 b	164 ab	96 ab
SMC _{high}	241 b	56 b	134 bc	108 ab
W _{low}	204 bc	30 b	139 bc	67 abc
W _{high}	401 a	162 a	180 a	120 a
CV (%)	53.55	84.07	17.65	35.09
F-test	**	**	**	*

หมายเหตุ ค่า F ที่มีเครื่องหมาย ns กำกับไว้แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; **มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

PRE	คือ ก่อนการทดลอง
Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี
CF	คือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 30 กก. N ต่อไร่
SMB _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMB _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)

ตารางผนวกที่ 12 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Ca) แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) และปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ (Extractable S) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

Treatment	Exchangeable Ca (mg kg ⁻¹)		Exchangeable Mg (mg kg ⁻¹)		Extractable S (mg kg ⁻¹)	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
	PRE	2,471 a	1,867	160 c	158 c	84.5 a
Control	1,477 c	1,510	244 b	166 c	56.5 bc	87.6
CF	1,707 c	1,772	253 b	187 bc	52.1 bc	76.6
SMB _{low}	1,676 c	1,378	287 b	197 bc	28.9 c	138
SMB _{high}	1,883 bc	1,655	274 b	184 bc	45.7 c	87.8
SMC _{low}	1,755 c	1,580	274 b	185 bc	35.9 c	80.2
SMC _{high}	1,691 c	1,492	301 b	222 b	33.7 c	75.6
W _{low}	1,421 c	1,369	291 b	186 bc	48.3 c	121
W _{high}	2,273 ab	1,761	400 a	277 a	75.3 ab	71.7
CV (%)	14.58	20.17	14.91	14.03	27.81	1.1
F-test	**	ns	**	**	**	ns

หมายเหตุ ค่า F ที่มีเครื่องหมาย ns กำกับไว้แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; **มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

PRE	คือ ก่อนการทดลอง
Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี
CF	คือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 30 กก. N ต่อไร่
SMB _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMB _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)

ตารางผนวกที่ 13 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณเหล็กที่เป็นประโยชน์ (Available Fe) และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Available Zn) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

Treatment	Available Fe (mg kg ⁻¹)		Available Zn (mg kg ⁻¹)	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
PRE	5.31 b	5.47	0.50 c	0.48 b
Control	5.82 b	8.17	0.95 c	0.71 b
CF	4.97 b	6.19	0.54 c	0.62 b
SMB _{low}	5.39 b	6.05	1.44 c	0.64 b
SMB _{high}	6.47 b	6.09	1.21 c	0.69 b
SMC _{low}	6.09 b	6.57	0.95 c	0.68 b
SMC _{high}	8.40 b	6.84	1.79 c	0.89 b
W _{low}	21.20 ab	8.51	7.27 b	1.31 b
W _{high}	39.86 a	7.36	10.16 a	2.65 a
CV (%)	48.00	22.98	54.30	46.50
F-test	*	ns	**	**

หมายเหตุ ค่า F ที่มีเครื่องหมาย ns กำกับไว้แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; **มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

PRE	คือ ก่อนการทดลอง
Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี
CF	คือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 30 กก. N ต่อไร่
SMB _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMB _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)

ตารางผนวกที่ 14 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อปริมาณ แมงกานีสที่เป็นประโยชน์ (Available Mn) และทองแดงที่เป็นประโยชน์ (Available Cu) ของชุดดินกำแพงแสนก่อนและหลังปลูกหน่อไม้ฝรั่ง

Treatment	Available Mn (mg kg ⁻¹)		Available Cu (mg kg ⁻¹)	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
PRE	32.3 ab	27.6 c	1.29 c	1.24 b
Control	29.5 bc	38.6 ab	0.70 c	0.91 b
CF	27.1 bc	35.9 b	0.68 c	0.92 b
SMB _{low}	25.9 c	35.1 b	1.24 c	1.04 b
SMB _{high}	26.9 bc	34.7 b	0.83 c	0.96 b
SMC _{low}	27.6 bc	37.7 ab	0.92 c	1.01 b
SMC _{high}	30.9 bc	37.3 ab	1.02 c	1.09 b
W _{low}	28.9 bc	43.3 a	6.14 b	1.37 b
W _{high}	37.4 a	35.6 b	11.30 a	2.50 a
CV (%)	10.70	8.99	43.20	25.50
F-test	*	**	**	**

หมายเหตุ ค่า F ที่มีเครื่องหมาย ns กำกับไว้แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

*มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; **มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

PRE	คือ ก่อนการทดลอง
Control	คือ ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี
CF	คือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 30 กก. N ต่อไร่
SMB _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMB _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
SMC _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
W _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)

ตารางผนวกที่ 15 ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของธาตุอาหาร
ในหน่อไม้ฝรั่ง

Treatment	Nutrient Concentration in asparagus spear									
	g 100 g ⁻¹					mg kg ⁻¹				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Mn	Cu
Control	4.35	0.60	4.87	0.07	0.17	0.46	67.01	53.23	16.75	6.08
CF	4.73	0.54	4.70	0.08	0.18	0.56	68.96	55.98	16.25	7.80
SMB _{low}	4.45	0.53	3.74	0.08	0.17	0.58	63.80	50.43	14.63	6.98
SMB _{high}	4.59	0.44	4.01	0.08	0.18	0.60	62.49	52.65	13.63	6.61
SMC _{low}	4.54	0.39	4.15	0.08	0.18	0.62	66.96	56.28	14.85	6.15
SMC _{high}	4.85	0.38	4.13	0.08	0.18	0.68	63.97	57.45	16.25	7.08
W _{low}	4.73	0.36	4.02	0.08	0.18	0.67	62.79	56.93	14.73	7.45
W _{high}	4.55	0.49	3.41	0.08	0.17	0.68	58.11	53.51	14.33	9.15

หมายเหตุ	PRE	คือ ก่อนการทดลอง
	Control	คือ ไม้ใส่ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี
	CF	คือ ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 อัตรา 30 กก. N ต่อไร่
	SMB _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
	SMB _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMB อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
	SMC _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
	SMC _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ SMC อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
	W _{low}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 56.8 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)
	W _{high}	คือ ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ W อัตรา 170.4 กก. N ต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี (CF)

ตารางผนวกที่ 16 เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินระดับสมบัติทางเคมีของดิน (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973)

Soil properties	Range	Rate
Soils reaction, pH (soil:water = 1:1)		
	< 4.5	Extremely acid
	4.5-5.0	Very strongly acid
	5.1-5.5	Strongly acid
	5.6-6.0	Moderately acid
	6.1-6.5	Slightly acid
	6.6-7.3	Neutral
	7.4-7.8	Mildly alkaline
	7.9-8.4	Moderately alkaline
	8.5-9.0	Strongly alkaline
	> 9.0	Extremely alkaline
Organic matter (g 100 g ⁻¹) (% organic carbon x 1.724)		
	< 5	Very low
	5-10	Low
	10-15	Moderately low
	15-25	Moderate
	25-35	Moderately high
	35-45	High
	> 45	Very high
Total nitrogen (g 100 g ⁻¹)		
	< 0.25	Very low
	0.50-0.75	Low
	0.75-1.25	Moderate
	1.25-1.75	High
	> 2.25	Very high

ตารางผนวกที่ 16 (ต่อ)

Soil properties	Range	Rate
Available P (Bray II) (g 100 g ⁻¹)		
	< 3	Very low
	3-6	Low
	6-10	Moderately low
	10-15	Moderate
	15-25	Moderately high
	25-45	High
	> 45	Very high
Available K (NH ₄ OAc) (g 100 g ⁻¹)		
	< 30	Very low
	30-60	Low
	60-90	Moderate
	90-120	High
	> 120	Very high
Cation exchange capacity (cmol kg ⁻¹)		
	< 3	Very low
	3-5	Low
	5-10	Moderately low
	10-15	Moderate
	15-20	Moderately high
	20-30	High
	> 45	Very high

ตารางผนวกที่ 17 ระดับปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน
ค่าความจุแลกเปลี่ยนประจุบวก และปริมาณรื้อยละประจุบวกที่เป็นค่า
(Soil Survey Division Staff, 1993)

Rate	CEC	BS	Ca	Mg	Na
	($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	(%)		mg kg^{-1}	
Low	3-10	< 35	400-1000	36-120	23-69
Medium	10-15	35-75	1000-2000	120-360	69-161
High	> 15	> 75	> 2000	> 360	> 161

ตารางผนวกที่ 18 ระดับปริมาณธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน โดยน้ำยาสกัด DTPA
(Martens and Lindsay, 1990)

Micronutrient	DTPA (mg kg^{-1})		
	Deficient	Sufficient	Excessive
Fe	< 4.5		> 4.5
Mn	< 1.0	1.0-2.0	> 2.0
Zn	< 0.5	0.5-1.0	> 1.0
Cu	< 0.2	0.2-0.5	> 0.2

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางรัตนภรณ์ คชวงศ์
เกิดวันที่	25 ธันวาคม พ.ศ. 2521
สถานที่เกิด	อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ชีววิทยาประยุกต์) มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ตำแหน่งปัจจุบัน	นักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-