



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)

ปริญญา

เทคโนโลยีการบรรจุ

เทคโนโลยีการบรรจุ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจาก
บ่อนำบดน้ำเสียสำหรับกล้าไม้

Development of Molded-Pulp Pot Packaging from Palm Oil Sludge and Activated Sludge
Cake for Plant Seedlings

นามผู้วิจัย นางสาวพรฤดี สงวนสุข

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์เลอพงศ์ จารุพันธ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยสิทธิ์ ทองจู, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธัญญรัตน์ จิฎกานนท์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธัญญรัตน์ จิฎกานนท์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกูล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อ
บำบัดน้ำเสียสำหรับกล้าไม้

Development of Molded-Pulp Pot Packaging from Palm Oil Sludge and Activated
Sludge Cake for Plant Seedlings

โดย

นางสาวพรฤดี สกวนสุข

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการบรรจุ)
พ.ศ. 2552

พรฤดี สงวนสุข 2552: การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกาก
ตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียสำหรับกล้าไม้ ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
(เทคโนโลยีการบรรจุ) สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์เลอพงศ์ จารุพันธ์, Ph.D. 143 หน้า

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มและเชื้อกระดาษเพื่อพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์รูปแบบกระถางสำหรับกล้าไม้ การดำเนินการวิจัยครอบคลุมตั้งแต่การหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปของกระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย การปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของกระถางโดยใช้สารเติมแต่ง การศึกษาผลที่ได้รับจากกระบวนการย่อยสลายของกระถางที่ส่งผลต่อสมบัติทางเคมีของดินบางประการ ตลอดจนการเจริญเติบโตในระยะแรกของกล้าไม้ที่ผลิตในบรรจุภัณฑ์กระถาง จากผลการวิจัยพบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนน้ำมันปาล์มต่อกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่สามารถขึ้นรูปเป็นกระถางได้ด้วยวิธีการกดอัดคือ 100:0 และ 75:25 % (w/w) โดยมีสารละลายแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นเท่ากับ 25% (w/v) เป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มสมบัติด้านความแข็งแรงและการยึดเกาะของกระถาง เมื่อทดสอบความต้านทานแรงกดและการตกกระแทก พบว่า กระถางขึ้นรูปสามารถต้านทานแรงกดสูงสุดเท่ากับ 2,544 N และมีความต้านทานการตกกระแทกที่ความสูงเท่ากับ 65.20 cm เมื่อทดสอบการย่อยสลายของกระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียในดินที่มีสภาพน้ำท่วมขัง พบว่า กระถางสามารถย่อยสลายได้ 48.05-54.05% ซึ่งสูงกว่าการย่อยสลายในดินที่มีสภาพร่น้ำทุก 7 วัน (38.98-41.95 %) และสภาพแห้ง (7.06 -7.71 %) ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของดินภายหลังจากการย่อยสลายในสภาพน้ำท่วมขัง พบว่า กระถางที่มีการเพิ่มปริมาณปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในส่วนผสมของกระถางมีผลให้ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงขึ้น (เท่ากับ 0.365-0.482 dS/m, 1.71-1.76 %, 0.069-0.075 % และ 23.17-28.58 mgP/kg ตามลำดับ) และมากกว่าในสภาพร่น้ำทุก 7 วัน และสภาพแห้ง ตามลำดับ ($p \leq 0.01$) นอกจากนี้ จากการสังเกตการเจริญเติบโตของกล้าไม้ 3 ชนิดในระยะ 3 เดือนแรก ได้แก่ ต้นนนทรีบ้าน ดันแดง และต้นประดู่ป่า พบว่า กระถางที่มีการเพิ่มปริมาณปุ๋ยเคมีในส่วนผสมของกระถางมีผลให้กล้าไม้ทั้งสามชนิดมีการเจริญเติบโตในด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนและค่าความเขียวของใบ ตลอดจนมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินสูงกว่ากระถางที่ไม่มีการเพิ่มปริมาณปุ๋ยเคมีในส่วนผสมของกระถาง จากผลการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่าบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียสามารถประยุกต์กับกิจกรรมการเพาะกล้าไม้และสามารถย่อยสลายในดิน เพื่อให้คุณสมบัติที่สำคัญของดินบางประการซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ได้

Pornrudee Sanguansook 2009: Development of Molded-Pulp Pot Packaging from Palm Oil Sludge and Activated Sludge Cake for Plant Seedlings. Master of Science (Packaging Technology), Major Field: Packaging Technology, Department of Packaging Technology. Thesis Advisor: Mr.Lerpong Jarupan, Ph.D. 143 pages.

The study aims to utilize industrial wastes from an extraction operation of palm oil and pulping process for making pot packaging for plant seedlings. The experimental plan spans determining an appropriate proportion for making plant pots from palm oil sludge (POS) and activated sludge cake, improving strength by an additive, and investigating effects during the decomposition of pot package on chemical properties of soil as well as the growth of plant seedlings at the first stage. The study results showed that the appropriate proportion between POS and activated sludge cake to facilitate the fabrication of plant pots by a hydraulic compression method with cassava starch solution at concentration of 25% (w/v) were 100:0, 75:25 % (w/w). It was found that the obtained pot packaging withstood a maximum compression load at 2,544 N and drop height at 65.20 cm. After examining the decomposition of pot packaging under various soil conditions: submerged, saturated, and dry, the results showed that pot packaging under submerged soil gave the highest decomposition rate (48.05-54.05 % in submerged soil, 38.98-41.95 % in saturated soil and 7.06 -7.71% in dry soil) ($p \leq 0.01$). In addition, chemical properties of soil under the submerged condition, the decomposed pot packaging which had the fertilizer as a mixture showed the highest levels in electrical conductivity (0.365-0.482 dS/m), organic matters (1.71-1.76%), total nitrogen (0.069-0.075%) and total phosphorus (23.17-28.58 mgP/kg). Finally, the investigation upon the growth at the first stage of three plant seedlings, viz, *Peltophorum pterocarpum*, *Xylia xylocarpa*, and *Pterocarpus macrocarpus*, which grew in the pots that had mixed with the fertilizer as a mixture showed the highest higher levels in the height, trunk diameter, the amount and the SPAD reading of leaf including to dried biomass on surface of soil than the pots with no fertilizer mixture. To this end, it can concluded that pot packaging made from POS and activated sludge cake can be used with plant for cultivating seedlings and substitutes plastic bags in plantation activities in order to reduce impact toward the environment.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณดร. เลอพงศ์ จารุพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้ความกรุณาเป็นที่ปรึกษางานวิจัย วางแผนงาน ตลอดจนให้คำแนะนำ ปรึกษาและพิจารณาแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยสิทธิ์ ทองจู และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธัญญารัตน์ จิฎกานัญญ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำที่ดีในทุก ๆ เรื่อง ขอขอบพระคุณ ดร. สีนาท ประสงค์สุข ผู้ทรงวุฒิกภายนอก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภิญญา ศิลาชัยย สำหรับคำแนะนำที่ทำงานวิจัยนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ และคณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยาทุกท่านที่ให้ความเมตตากรุณาอบรมสั่งสอน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและภาควิชาปฐพีวิทยาทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาคำแนะนำตลอดจนคอยช่วยเหลือจนการปฏิบัติงานสามารถผ่านไปได้อย่างดี

ขอขอบพระคุณบริษัทยูนิปาล์ม อินดัสทรี จำกัด โดยคุณธวัช บุญกานนท์ ที่เอื้อเฟื้อภาคตะกอนน้ำมันปาล์ม บริษัท เอสซีจี เปเปอร์ จำกัด (มหาชน) ที่เอื้อเฟื้อภาคตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย และกรมป่าไม้ที่เอื้อเฟื้อเมล็ดพันธุ์ประดู่ป่า แดง และนนทรีบ้าน เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณผู้ที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จครั้งนี้ อันได้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่สาว ซึ่งเป็นผู้ที่ให้โอกาส ทุนทรัพย์และกำลังใจแก่ข้าพเจ้าจนมีทุกวันนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อนๆ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและภาควิชาปฐพีวิทยาทุกท่านที่คอยช่วยเหลือตลอดมา รวมถึงผู้มีพระคุณท่านอื่น ๆ ที่มีได้เอื้อนาม ณ ที่นี้ ผู้ซึ่งให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ เรื่องจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จ

พรฤดี สงวนสุข

กันยายน 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	32
อุปกรณ์	32
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	49
สรุปและข้อเสนอแนะ	92
สรุป	92
ข้อเสนอแนะ	94
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	96
ภาคผนวก	110
ภาคผนวก ก วิธีการทดสอบและการคำนวณค่าการทดสอบ	111
ภาคผนวก ข ค่าการทดสอบสมบัติเชิงกลของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากวัสดุเหลือทิ้ง	118
ภาคผนวก ค ค่าการทดสอบต่างๆ ของการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากวัสดุเหลือทิ้ง	121
ภาคผนวก ง ค่าการทดสอบสมบัติทางเคมีของดิน ภายหลังการย่อยสลายของกระดาษจากวัสดุเหลือทิ้ง	127
ภาคผนวก จ ค่าการเจริญเติบโตและมวลชีวภาพแ่งส่วนเหนือดินของกล้าไม้ป่า	134
ภาคผนวก ฉ ลักษณะของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	138
ภาคผนวก ช การทดสอบบรรจุภัณฑ์กระดาษจากวัสดุเหลือทิ้ง	140
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	143

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ส่วนประกอบทางเคมีของกากปาล์มน้ำมันที่ได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม โดยแยกตามชนิดของกาก (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง)	8
2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	9
3 ปริมาณกากตะกอนจากโรงงานผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ	10
4 ปริมาณธาตุอาหารหลักของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียเปรียบเทียบกับดิน	12
5 เปรียบเทียบผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีในแง่ต่างๆ	17
6 ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่ติดไปกับผลผลิตพืช (กก.ธาตุ/ตัน ของผลผลิต)	19
7 ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่ติดไปกับผลผลิตผักในส่วนเหนือ ดินบางชนิด (กก.ธาตุ/ไร่)	20
8 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน	22
9 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ	23
10 อัตราส่วนผสมของบรรจุภัณฑ์กระถางจากวัสดุเหลือทิ้ง	42
11 ค่าเฉลี่ยของสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม กับกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	50
12 องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง	51
13 สมบัติทางเคมีของกระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อ กระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียก่อนการทดลอง	55
14 สมบัติทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกาก ตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	56
15 สมบัติเชิงกลของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกาก ตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	58
 ตารางผนวกที่	
ข1 ปริมาณการดูดซึมน้ำของกระถางจากวัสดุเหลือทิ้ง	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ค1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มกับกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นดินที่ต่างกัน	122
ค2 การย่อยสลายของกระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มกับกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นดินที่ต่างกัน	126
ง1 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของดินภายหลังการย่อยสลายของกระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มกับกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นดินที่ต่างกัน	128
ง2 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินภายหลังการย่อยสลายของกระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มกับกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นดินที่ต่างกัน	129
ง3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินภายหลังการย่อยสลายของกระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มกับกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นดินที่ต่างกัน	130
ง4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินภายหลังการย่อยสลายของกระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มกับกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นดินที่ต่างกัน	131
ง5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินภายหลังการย่อยสลายของกระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มกับกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นดินที่ต่างกัน	132
ง6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินภายหลังการย่อยสลายของกระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มกับกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นดินที่ต่างกัน	133
จ1 การเจริญเติบโตและมวลชีวภาพแ่งส่วนเหนือดินของต้นนพทรพีบ้านที่ระยะต่างๆ	135
จ2 การเจริญเติบโตและมวลชีวภาพแ่งส่วนเหนือดินของต้นแดงที่ระยะต่างๆ	136
จ3 การเจริญเติบโตและมวลชีวภาพแ่งส่วนเหนือดินของต้นประดู่ป่าที่ระยะต่างๆ	137

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 สัดส่วนของน้ำมันปาล์มที่สกัดได้ (โดยเปรียบเทียบจากทะเลาะปาล์มสด 1 ทะละ)	7
2 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดิน	18
3 โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน	21
4 บรรจุภัณฑ์กระถางขึ้นรูปจากวัสดุเหลือทิ้งด้วยเครื่องกระบบไฮโดรลิก (ก) กาก ตะกอนน้ำมันปาล์ม (ข) กากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจาก บ่อบำบัดน้ำเสีย	52
5 ปริมาณการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกาก ตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	58
6 ลักษณะทางกายวิภาคของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกาก ตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่กำลังขยาย 500 เท่า (ก) สูตรที่ 1 (ข) สูตร ที่ 2 (ค) สูตรที่ 3 (ง) สูตรที่ 4 (จ) สูตรที่ 5 (ฉ) สูตรที่ 6	60
7 ลักษณะทางกายวิภาคของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกาก ตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (ก) สูตรที่ 1 (ข) สูตรที่ 2 (ค) สูตรที่ 3 (ง) สูตรที่ 4 (จ) สูตรที่ 5 (ฉ) สูตรที่ 6	61
8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอน น้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	62
9 การย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอน เยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกัน (ก) ระยะ 1 เดือน (ข) ระยะ 2 เดือน (ค) ระยะ 3 เดือน	64
10 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของดินภายหลังการย่อยสลายของ บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจาก บ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกัน (ก) ระยะ 1 เดือน (ข) ระยะ 2 เดือน (ค) ระยะ 3 เดือน	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
11 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินภายหลังการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกัน (ก) ระยะ 1 เดือน (ข) ระยะ 2 เดือน (ค) ระยะ 3 เดือน	69
12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ในดินภายหลังการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกัน (ก) ระยะ 1 เดือน (ข) ระยะ 2 เดือน (ค) ระยะ 3 เดือน	70
13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ภายหลังการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกัน (ก) ระยะ 1 เดือน (ข) ระยะ 2 เดือน (ค) ระยะ 3 เดือน	71
14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินภายหลังการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกัน (ก) ระยะ 1 เดือน (ข) ระยะ 2 เดือน (ค) ระยะ 3 เดือน	72
15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินภายหลังการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกัน (ก) ระยะ 1 เดือน (ข) ระยะ 2 เดือน (ค) ระยะ 3 เดือน	74
16 ความสูงของต้นนนทรีบ้านที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน	77
17 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นนนทรีบ้านที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน	78
18 จำนวนใบของต้นนนทรีบ้านที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน	78
19 ค่าความเขียว (SPAD reading) ของใบนนทรีบ้านที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน	79
20 มวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินของต้นนนทรีบ้านที่ระยะ 3 เดือน	79
21 ความสูงของต้นแดงที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางลำต้นของต้นแดงที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน	82
23	จำนวนใบของต้นแดงที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน	83
24	ค่าความเขียว (SPAD reading) ของใบแดงที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน	84
25	มวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินของต้นแดงที่ระยะ 3 เดือน	85
26	ความสูงของต้นประดู่ป่าที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน	89
27	เส้นผ่านศูนย์กลางกลางลำต้นของต้นประดู่ป่าที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน	89
28	จำนวนใบของต้นประดู่ป่าที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน	90
29	ค่าความเขียว (SPAD reading) ของใบประดู่ป่าที่ระยะ 1, 2 และ 3	90
30	มวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินของต้นแดงที่ระยะ 3 เดือน	91
ภาพผนวกที่		
ฉ1	กากตะกอนน้ำมันปาล์ม (ก) ตอนเปียก (ข) ตอนแห้ง	137
ฉ2	กากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย (ก) ตอนเปียก (ข) ตอนแห้ง	139
ช1	บรรจุภัณฑ์กระดาษขึ้นรูปจากวัสดุเหลือทิ้งต่อการเจริญของกล้าไม้บนที่รกร้าง	141
ช2	บรรจุภัณฑ์กระดาษขึ้นรูปจากวัสดุเหลือทิ้งต่อการเจริญของกล้าไม้แดง	141
ช3	บรรจุภัณฑ์กระดาษขึ้นรูปจากวัสดุเหลือทิ้งต่อการเจริญของกล้าไม้ประดู่ป่า	141
ช4	การย่อยสลายบรรจุภัณฑ์กระดาษในสภาพความชื้นแบบแห้ง	142
ช5	การย่อยสลายบรรจุภัณฑ์กระดาษในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน	142
ช6	การย่อยสลายบรรจุภัณฑ์กระดาษในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขัง	142

การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษ จากบ่อบำบัดน้ำเสียสำหรับกล้าไม้

Development of Molded-Pulp Pot Packaging from Palm Oil Sludge and Activated Sludge Cake for Plant Seedlings

คำนำ

อินทรีวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆในประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมและการเกษตรอาจส่งผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ แนวทางหนึ่งที่สามารถจัดการวัสดุเหลือทิ้งชนิดอินทรีสารเหล่านี้สามารถทำได้โดยการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกครั้ง เช่น การนำมาใช้ในการเกษตรโดยผลิตเป็นปุ๋ยอัดเม็ด (ชัยสิทธิ์และรุ่งโรจน์, 2544; พรฤดี, 2549) วัสดุปลูก (ชัยสิทธิ์และคณะ, 2541) วัสดุเพาะกล้า (ชัยสิทธิ์และคณะ, 2544) หรือวัสดุปรับปรุงดิน เป็นต้น ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดผลดีในแง่ของการทำให้ต้นทุนด้านการเกษตรต่ำลง อีกทั้งสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับโรงงานอุตสาหกรรม และยังช่วยรักษาสภาพแวดล้อมอย่างยั่งยืนอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม อินทรีวัสดุเหล่านี้ยังสามารถนำมาใช้ดัดแปลงเพื่อให้เกิดประโยชน์ด้านบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพได้เช่นกัน ซึ่งแนวคิดดังกล่าวเกิดจากกระแสการตื่นตัวต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความพยายามที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องให้มีการใช้บรรจุภัณฑ์จากวัสดุที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมเพื่อทดแทนพลาสติกในปัจจุบัน โดยการใช้วัสดุธรรมชาติ มีราคาถูกและหาได้ง่ายในท้องถิ่น ซึ่งผลดีที่เกิดขึ้นหลังจากการใช้วัสดุเหล่านี้คือที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมาในภายหลัง เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อศึกษาและหาแนวทางการจัดการอินทรีวัสดุเหลือทิ้งในการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์กระถางต้นไม้ โดยวัสดุที่เลือกใช้คือกากตะกอนน้ำมันปาล์ม (palm oil sludge) ซึ่งได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และนำมาผสมกับวัสดุเหลือทิ้งชนิดอื่น ๆ คือกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย (activated sludge cake) ซึ่งแผนงานวิจัยนี้ได้ครอบคลุมตั้งแต่การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมทั้งสองชนิด การปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งแรง

ตลอดจนศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์ที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางเคมีของดินบางประการ ทั้งนี้ ผลที่คาดว่าจะได้รับในงานวิจัยนี้คือ การสร้างองค์ความรู้ที่สำคัญสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทกระดาษที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันในที่สุด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียสำหรับการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์กระดาษ
2. เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารเติมแต่งซึ่งได้แก่สารละลายแป้งมันสำปะหลังเพื่อปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงของกระดาษ
3. เพื่อศึกษาผลกระทบจากการย่อยสลายของกระดาษที่มีต่อสมบัติทางเคมีของดินบางประการ
4. เพื่อศึกษาผลต่อการเจริญเติบโตในระยะแรกของกล้าไม้ที่ปลูกในกระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

การตรวจเอกสาร

1. วัสดุเหลือทิ้งจากปาล์มน้ำมัน (Oil palm wastes)

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) จัดเป็นพืชเศรษฐกิจทางภาคใต้ของประเทศไทย จัดอยู่ในวงศ์ Palmae พันธุ์ปาล์มน้ำมันที่เกษตรกรนิยมปลูกในประเทศไทยได้แก่ พันธุ์คูรา (Dura) พันธุ์ฟิลิเฟอรา (Pisifera) พันธุ์เทนเอร่า (Tenera) เป็นต้น โดยพันธุ์เทนเอร่าเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อการค้าและเป็นพันธุ์ผสมระหว่างพันธุ์คูราและพันธุ์ฟิลิเฟอรา ปัจจุบันพบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันที่เก็บเกี่ยวได้ทั้งหมดประมาณ 2.74 ล้านไร่ มีผลผลิตโดยรวมประมาณ 7.27 ล้านตัน และได้มีแผนการขยายพื้นที่เพาะปลูกจาก 300,000 ไร่ เป็น 550,000 ไร่ในปีพ.ศ. 2550 ที่ผ่านมา เพื่อรองรับการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมและไบโอดีเซลเป็นสำคัญ (ฐานเศรษฐกิจ, 2550)

ผลผลิตโดยตรงจากปาล์มน้ำมันคือ น้ำมันปาล์มที่สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆ อีกหลายชนิด เช่น นมข้นหวานและนมจืด บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ครีมเทียม สบู่ เนยขาวและเนยเทียม เครื่องสำอาง น้ำมันหล่อลื่น และยางรถยนต์ เป็นต้น (กิจจารักษ์ และคณะ, 2541)

จากกิจกรรมการปลูกปาล์มก่อให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งภายในสวนปาล์มหลายประเภท เช่น ทางใบปาล์มที่ถูกตัดทิ้งทุกครั้งเมื่อมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์ม และลำต้นเมื่อมีการปรับเปลี่ยนพื้นที่ปลูกใหม่ ทั้งนี้พบว่ามีกาน้ำใบ ลำต้น และทะลายปาล์มน้ำมันมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการคลุมดินและเป็นปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้กับต้นปาล์ม น้ำมัน ส่วนวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ ทะลายปาล์ม กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม กากตะกอนปาล์ม เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม โดยกากเนื้อในเมล็ดปาล์มสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ และทะลายปาล์มสามารถนำมาใช้สำหรับการเพาะเห็ดฟาง เป็นต้น (ศิริพร, 2545)

2. ผลผลิตจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มเริ่มจากการนำเอาทะลายผลปาล์มสดผ่านหม้อนึ่งที่มีความดันไอน้ำประมาณ 3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร นาน 1 ชั่วโมง เพื่อทำลายเอนไซม์ที่มีอยู่ในผลปาล์มที่เป็นสาเหตุให้เกิดกรดไขมันอิสระ และสามารถให้การตีทะลายและผลิตผลสามารถกระทำได้ง่ายขึ้น ซึ่งโรงงานหีบน้ำมันปาล์มจะให้ผลผลิต 2 ชนิด คือ

2.1 ผลผลิตโดยตรง หมายถึง น้ำมันปาล์มที่ได้จาก

2.1.1 เปลือกผลปาล์มเรียกว่า palm oil โดยน้ำมันปาล์มที่ได้จะมีสีเข้ม และมีความเหนียวในระดับปานกลางถึงมาก

2.1.2 เนื้อในเมล็ดปาล์มเรียกว่า palm kernel oil ซึ่งจะให้น้ำมันปาล์มที่มีสีอ่อนกว่าชนิดแรก คือมีสีเหลืองถึงเหลืองน้ำตาล และมีความเหนียวปานกลาง

2.2 ผลผลิตโดยอ้อม ซึ่งมีได้หลายชนิดคือ ทะลายปาล์ม (bunch trash) กากเยื่อใยปาล์ม (palm press fiber, PPF) กากเมล็ดปาล์มน้ำมัน (oil palm seed meal, PSM) เนื้อในเมล็ดปาล์ม (palm kernel) กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (palm kernel cake, PKC) กากผลปาล์ม (oil palm meal, OPM) กะลา (nut shell) และกากตะกอนน้ำมันปาล์ม (palm oil sludge, POS) (ศยามล และคณะ, 2549)

2.2.1 ทะลายปาล์ม (bunch trash) จะถูกแยกออกมาหลังจากถูกรอบนึ่งแล้ว มีประมาณ 55-58 % ของปาล์มทั้งทะลาย และจะถูกนำไปเข้าเตาเผาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง ออกมาเป็นขี้เถ้าเพื่อใช้เป็นปุ๋ย

2.2.2 กากเยื่อใยปาล์ม (palm press fiber, PPF) เป็นส่วนเปลือกของผลปาล์มที่หีบน้ำมันออกแล้วมีประมาณ 12 % ของปาล์มทั้งทะลาย ส่วนใหญ่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงของโรงงาน

2.2.3 กากเมล็ดปาล์มน้ำมัน (oil palm seed meal, PSM) ซึ่งได้จากการสกัดน้ำมันของเมล็ดปาล์ม ประกอบด้วยทั้งที่เป็นส่วนของกะลาและเนื้อปาล์ม

2.2.4 เนื้อในเมล็ดปาล์ม (palm kernel) เป็นส่วนที่แยกเอาเปลือกและกะลาออกแล้ว มีประมาณ 4-5 % ซึ่งจะมีวิธีการสกัดน้ำมันออก 2 วิธี คือ

2.2.4.1 การหีบน้ำมัน (expeller pressed type) โดยการใช้สกรูเป็นเกลียวบีบให้น้ำมันออก วิธีนี้จะมีน้ำมันเหลืออยู่มากประมาณ 5-10 %

2.2.4.2 การใช้สารเคมีสกัดน้ำมัน (solvent extracted type) โดยการใช้สารเฮกเซน (hexane) วิธีนี้จะทำให้กากที่ได้มีน้ำมันเหลืออยู่น้อยประมาณ 1-3 % และจะมีคุณภาพดีกว่าวิธีแรก

อย่างไรก็ตาม กากที่ได้จากการสกัดน้ำมันทั้ง 2 วิธี เรียกว่ากากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (palm kernel cake, PKC)

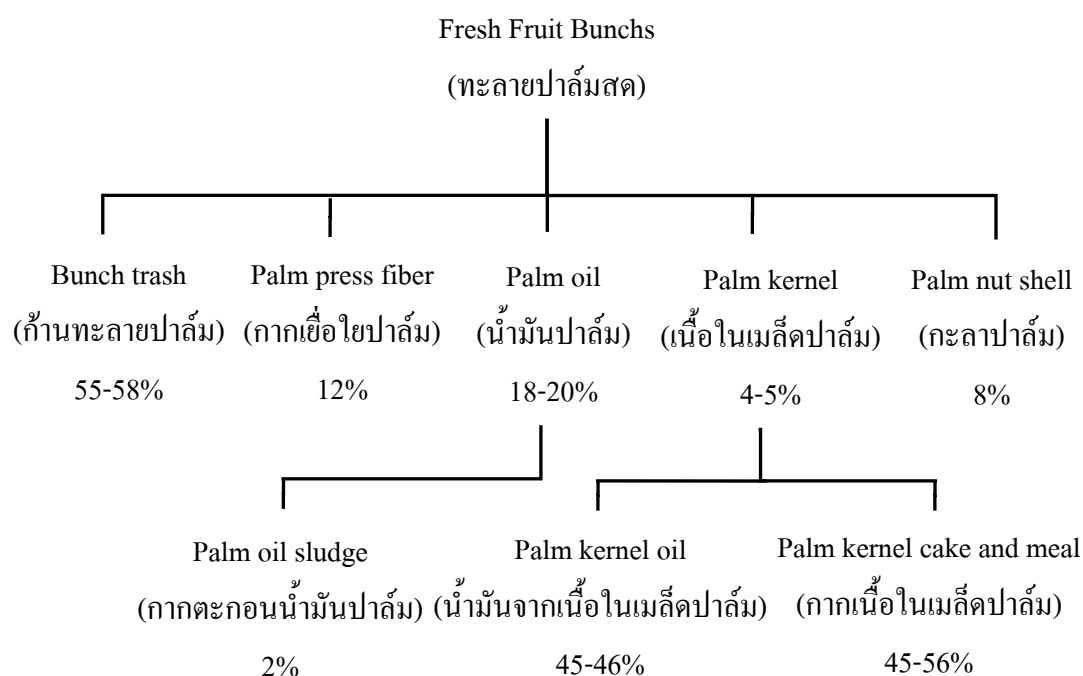
กากเนื้อในเมล็ดปาล์มถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย Nwokolo *et al.* (1977) รายงานว่า กากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มประกอบด้วยโปรตีนประมาณร้อยละ 14.6 – 15.2 การย่อยได้ของพลังงานทั้งหมด (total digestible nutrient, TDN) ประมาณร้อยละ 70 – 72 แต่เนื่องจากมีปริมาณเชื้อไขสูงถึงร้อยละ 41.8 – 46.0 จึงทำให้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มเหมาะที่จะใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ส่วนกากเนื้อในเมล็ดปาล์มน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยสารเคมี พบว่ามีปริมาณไขมันเหลืออยู่เพียงร้อยละ 1.80 ขณะที่กากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่ได้จากกระบวนการเชิงกลโดยวิธีหีบน้ำมันจะมีปริมาณไขมันอยู่ร้อยละ 9.09 ทั้งนี้ ปริมาณโปรตีนที่พบในกากเชื้อไขปาล์มจะมีค่าต่ำกว่า แต่มีปริมาณของเชื้อไขสูงกว่าในกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ส่วนกากปาล์มน้ำมันชนิดไม่กะเทาะเปลือก จะพบฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมในกากเนื้อในเมล็ดปาล์มอยู่ 8.0, 3.6 และ 6.4 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยปริมาณแร่ธาตุปลีกย่อยที่มีอยู่มากที่สุดคือ เหล็ก ซึ่งมีอยู่ 356 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือแมงกานีส สังกะสี และทองแดงซึ่งมีอยู่ 135, 41 และ 27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

พานิช (2535) รายงานเพิ่มเติมว่า กากเนื้อในเมล็ดปาล์มที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มที่ใช้สารเฮกเซนเป็นสารสกัดนั้น มีวัตถุแห้งอยู่ร้อยละ 90 ในขณะที่สัดส่วนของโปรตีน เชื้อไข ไขมัน เถ้า และไนโตรเจนฟรีเอ็กแทรกจะมีอยู่ร้อยละ 19.0, 16.0, 2.0, 4.0 และ 59.0 ตามลำดับ ทั้งนี้ยังพบแร่ธาตุชนิดแคลเซียมและฟอสฟอรัสอยู่ร้อยละ 0.34 และ 0.69 ตามลำดับอีกด้วย

2.2.5 กากผลปาล์ม (oil palm meal, OPM) ประกอบด้วยเปลือกนอก (husk) กะลา (nut shell) และเนื้อในของเมล็ดปาล์ม (palm kernel)

2.2.6 กะลา (nut shell) ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานมีประมาณ 8 % ของผลปาล์มทั้งหมด

2.2.7 กากตะกอนน้ำมันปาล์ม (palm oil sludge, POS) มีประมาณ 2 % ลักษณะเป็นของเหลวที่เหลืออกจากโรงงานปาล์มน้ำมัน



ภาพที่ 1 สัดส่วนของน้ำมันปาล์มที่สกัดได้ (โดยเปรียบเทียบจากทะลายปาล์มสด 1 ทะลาย) จากส่วนต่างๆของปาล์มน้ำมัน

ที่มา: FAO (1988)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของกากปาล์มน้ำมันที่ได้จากระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม โดยแยกตามชนิดของกาก (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ตัวตู่แห้ง)

ส่วนประกอบ	กากตะกอนปาล์ม ^{1/} (POS)	กากผลปาล์ม ^{2/} (OPM)	กากเยื่อใยปาล์ม ^{1/} (PPF)	กากเมล็ดปาล์ม ^{1/} (PSM)	กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (PKC)	
					สกัดด้วยสารเคมี ^{3/}	หีบน้ำมัน ^{4/}
โปรตีน	12.40	8.05	4.00	9.60	16.15	14.46
เยื่อใย	15.20	35.15	36.40	11.50	16.03	26.29
ไขมัน	24.10	7.86	21.00	21.30	0.72	9.21
เถ้า	11.20	5.17	9.00	11.10	7.91	4.53
ไนโตรเจนฟรีเอ็กแทรก	37.10	43.77	29.60	46.50	59.19	45.51
แคลเซียม	0.28	-	0.31	0.28	0.46	0.28
ฟอสฟอรัส	0.18	-	0.13	0.26	0.68	0.53

หมายเหตุ ^{1/}Devendra และ Hutagalung (1978)

^{2/} สมพงษ์ (2526)

^{3/} จินดาและคณะ (2543)

^{4/} สมบัติ (2544)

ที่มา: จินดา (2548)

3. กากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำเสีย

การขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปทางการเกษตรส่งผลกระทบต่อปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานที่เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นอินทรีย์วัสดุ Pintukanok (1988) รายงานว่า ปริมาณอินทรีย์วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันตามชนิดของโรงงานอุตสาหกรรม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณอินทรีย์วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ชนิดโรงงานอุตสาหกรรม	จำนวนโรงงาน	อินทรีย์วัสดุเหลือทิ้ง	
		ประเภท	ปริมาณ (ตันต่อปี)
สุรา	34	Activated sludge	1,300
เบียร์	2	Activated sludge	10,800
น้ำอัดลม	8	Activated sludge	782
ผงชูรส	3	Glutamic mother liquid	35,000
		Humus	13,000
		Activated sludge	1,000
น้ำตาลทราย	47	Bagasse	6,505,866
		Filter cake	604,658
เยื่อกระดาษ	44	Activated sludge	16,200
น้ำมันละหุ่ง	1	กากเมล็ดละหุ่ง	197,100
น้ำมันมะพร้าว	76	กากมะพร้าว	9,855

ที่มา: คัดแปลงจากสุริยา (2531)

ในส่วนของอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทยนั้นมี โรงงานผลิตกระดาษและโรงงานที่ผลิตทั้งเยื่อกระดาษและกระดาษทั้งที่มีขนาดเล็กและขนาดใหญ่รวมกันประมาณ 100 โรงงาน (TPPIA, 1997) นอกจากนี้ยังมีโรงงานขนาดเล็กที่เป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนด้วย พบว่าปริมาณกากตะกอนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตนั้นขึ้นอยู่กับกำลังการผลิต ดังแสดงในตารางที่

ตารางที่ 3 ปริมาณกากตะกอนจากโรงงาน ผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษ

ชนิดโรงงาน	กำลังการผลิต (ตัน)	ปริมาณกากตะกอน (ตัน)
โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ 5 โรง	5,000 - 29,730	29,850
โรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ 3 โรง	3,000 - 170,000	46,150
	19,500 - 240,000	
โรงงานผลิตกระดาษ 30 โรง	20 - 500,000	128,176
โรงงานกระดาษสาและไหวเจ้า 5 โรง	60 - 1,000	1.5 - 3.6
รวม	3,800,960	204,182

ที่มา: สุนทร และคณะ (ม.ป.ป.)

สุภาวณี (2550) รายงานว่า ปริมาณกากตะกอนจากการผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษที่ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจังคิดเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 44 ส่วนอีกร้อยละ 20 สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในโรงงาน นอกนั้นอีกร้อยละ 20 สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน ส่วนที่เหลือมีการนำไปถมที่และอาจมีผู้ซื้อไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

Solid Waste Management Center เสริมว่า วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ มีความหลากหลาย ได้แก่ ไม้ ยูคาลิปตัส กากขานอ้อย กระดาษที่ใช้แล้ว เป็นต้น ซึ่งระหว่างกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจะพบเชื้อที่หลุดออกมาจากกระบวนการต่างๆมากมาย ได้แก่

1. Primary sludge เป็นส่วนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียจากโรงงาน ซึ่งมีประมาณร้อยละ 20 - 45 ของน้ำหนักรวม ส่วนประกอบพวกอินทรีย์สารส่วนใหญ่ คือ เยื่อไม้ นอกจากนี้อาจพบโคลนปูนขาว (calcium carbonate, CaCO_3) และ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) อีกด้วย
2. Secondary sludge เป็นส่วนที่ได้จากการขจัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ ได้แก่ ชีวน้ำของแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังอาจพบไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นส่วนที่เพิ่มเข้าไปในส่วนของผู้ตรอาหารในระบบชีวภาพ
3. Combined sludge เป็นส่วนผสมของ primary sludge และ secondary sludge หรือเป็นส่วนที่พบก่อนที่จะนำน้ำเสียไปสกัดของเสียออก

4. อื่นๆ ได้แก่ ของเสียจากเปลือกไม้หรือไม้ที่มีคุณภาพต่ำ

การจัดการกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย (activated sludge cake) เป็นภาระสำคัญต่อโรงงานผลิตกระดาษในการกำจัดเพื่อไม่ให้เกิดมลภาวะกับสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปการกำจัดกากตะกอนดังกล่าวสามารถกำจัดได้หลายวิธี เช่น การนำไปทิ้งทะเล (ocean disposal) การถมที่ (landfill) การทิ้งในแอ่งดิน (lagoon) การเกลี่ยผสมหน้าดินเพื่อเป็นสารปรับปรุงดิน และการเผาทิ้ง (incineration) เป็นต้น ซึ่งการกำจัดกากตะกอนแต่ละวิธีนั้นจะมีทั้งผลดีและผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมแตกต่างกันไป เช่น การนำกากตะกอนไปทิ้งทะเล เป็นวิธีที่นิยมปฏิบัติมากในกลุ่มประเทศยุโรป โดยเฉพาะประเทศอังกฤษได้นำกากตะกอนในรูปน้ำหนักเปียกไปทิ้งทะเลเหนือจำนวน 5 ล้านตันต่อปี แต่ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ มากจนเกิดการต่อต้านการกำจัดกากตะกอนด้วยวิธีนี้ (Manson, 1988) ส่วนการกำจัดกากตะกอนด้วยการเผาทิ้งอาจเป็นวิธีที่สะดวก แต่เป็นการสูญเสียงบประมาณในการกำจัดค่อนข้างสูงกว่าวิธีอื่นๆ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางอากาศ ตัวอย่างเช่น การเผาตะกอนด้วยเตาเผาแบบ Fluidized bed จะมีโลหะหนักและสารพิษต่างๆ เจือปนในก๊าซที่ได้จากการเผาในปริมาณที่สูง (Luetzke and Klee, 1990) ส่วนการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เช่น เป็นปุ๋ย วัสดุปลูก วัสดุปรับปรุงดิน ล้วนแต่เป็นวิธีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยแต่มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์มากกว่าการจัดการตะกอนด้วยวิธีอื่น (Webber *et al.*, 1984; Manson, 1988) อีกทั้งยังเป็นการช่วยฟื้นฟูสภาพดินในระยะยาวได้อีกด้วย

การนำกากตะกอนน้ำเสียที่เป็นอินทรีย์สารมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรจึงมีความน่าสนใจ เนื่องจากสามารถช่วยปรับปรุงลักษณะทางฟิสิกส์ เคมีและชีวภาพของดิน ซึ่งสัมพันธ์กับการปรับปรุงโครงสร้างของดิน น้ำในดินและส่งผลต่อผลผลิตของพืชได้ (Hasit, 1986) สุนทร และคณะ (2541) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเศษวัสดุที่นำมาใช้ในงานทดลองและการผลิตแท่งเพาะชำ พบว่ากากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษสามารถใช้ในการผลิตแท่งเพาะชำได้ดี โดยผสมกับขุยมะพร้าว, แกลบ, จีเลื้อย, จีบกบและจีเถา แกลบในอัตราส่วนต่างๆ กันด้วยเครื่องอัดแท่งเพาะชำต้นแบบดัดแปลงมาจากเครื่องอัดจีเลื้อยสำหรับเพาะเห็ด มีอัตราการผลิตแท่งเพาะชำสูงสุด 13 แท่งต่อนาที ผลการศึกษาการเพาะชำกล้าไม้พบว่าแท่งเพาะชำที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ในการเพาะชำกล้าไม้ที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยในหัวข้อต่างๆ ได้ดี โดยใช้วิธีการเพาะชำและดูแลกล้าไม้แบบทั่วไป

กากตะกอนน้ำเสียสามารถปรับปรุงโครงสร้างของดิน ในแง่การลดความหนาแน่นรวมของดิน เพิ่มความพรุน ความเสถียรของการเกิดเม็ดดิน ความอุ้มน้ำของดิน เป็นต้น (Guidi and Hall, 1984) ในส่วนของการปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดินนั้น กากตะกอนน้ำเสียสามารถเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity, CEC) ในดินให้สูงขึ้น ซึ่งมีผลให้สามารถดูดซับปุ๋ยต่างๆ ที่เป็นธาตุอาหารของพืชได้ดี ทำให้ลดการสูญเสียธาตุอาหารของพืชจากกระบวนการชะล้าง (leaching) ของน้ำได้ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดินคือ ทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ต่างๆ ในดิน เช่น การแปรสภาพธาตุอาหารพืชในดิน การตรึงไนโตรเจนดีขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

อย่างไรก็ตาม วัสดุเหลือทิ้งแต่ละชนิดมีสมบัติและองค์ประกอบที่แตกต่างกันตามประเภท และขั้นตอนการผลิตแต่ละโรงงาน ดังนั้น สิ่งสำคัญในการพิจารณานำเอาวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในทางการเกษตรจึงต้องพิจารณาถึงสมบัติทางเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของคุณค่าทางธาตุอาหารพืช (fertilizer value) และปริมาณโลหะหนัก (heavy metals) ที่หลงเหลืออยู่ในวัสดุเหลือทิ้งชนิดนั้นๆ

สಾಯันต์ และปริยานันท์ (ม.ป.ป.) รายงานว่ากากตะกอนเยื่อกระดาษมีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าดินมาก มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 6.8-7.0 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชทุกๆ ชนิด เพราะพืชส่วนมากมักเจริญได้ดีที่ความเป็นกรดเป็นด่าง 6.0-7.0 และมีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารอื่นๆ อีกทั้งมีผลให้ธาตุพิษบางชนิดละลายออกมาได้น้อย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณธาตุอาหารหลักของกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียเปรียบเทียบกับดิน

ธาตุอาหาร	กากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสีย	พิสัยในดิน ^{1/}
ไนโตรเจน (%)	2.01 - 3.22	0.02 - 0.5
ฟอสฟอรัส (%)	0.31 - 1.15	0.01 - 0.2
โพแทสเซียม (%)	0.10 - 0.18	0.17 - 3.3

หมายเหตุ ^{1/} สุกมาศ (2540)

ที่มา: สಾಯันต์ และปริยานันท์ (ม.ป.ป.)

แม้ว่ากากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อกิจกรรมทางการเกษตรเช่นนำมาใช้เป็นปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดินที่สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืช หรือนำมาใช้เป็นปุ๋ยแทนปุ๋ยเคมีได้ แต่ก็อาจมีข้อจำกัดอยู่บ้าง ดังนี้

Yoshida (1981) และ สุริยา (2531) รายงานว่า การเกิดสารพิษบางชนิดที่อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชหยุดชะงัก โดยเฉพาะการสลายตัวของกากตะกอนในสภาพน้ำขังที่ทำให้เกิดกรดอินทรีย์ เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก และ กรดบิวทีริก เป็นต้น ซึ่งกรดเหล่านี้ทำให้รากพืชชะงักการเจริญเติบโต

การเกิดภาวะมลพิษ วัสดุเหลือทิ้งหลายชนิดนอกจากจะมีธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์แล้วยังมีบางชนิดที่มีธาตุโลหะหนัก (heavy metals) เป็นองค์ประกอบอยู่สูง ทำให้เกิดภาวะมลพิษในดินขึ้น โดยเฉพาะในดินเหนียวจะเกิดมลพิษในดินได้ง่ายกว่า เช่น พบว่า การใส่กากตะกอนน้ำเสียลงไปในดินทรายและดินร่วนปนทรายจะมีการเคลื่อนย้ายของฟลูออรีน (F) โบรอน (B) และเทลลูเรียม (Te) ในดินทั้งสองชนิดได้เร็วมาก ขณะที่แมงกานีส (Mn) สตรอนเทียม (Sr) และพลวง (Sb) จะเคลื่อนที่ได้เร็วเฉพาะในสภาพดินทราย และ โมลิบดีนัม (Mo) เคลื่อนที่ได้ดีในสภาพดินร่วนปนทราย ส่วนในสภาพดินร่วนปนทราย (Gerritse *et al.*, 1982)

Kirkham (1975) พบการสะสมของโลหะหนักในดินที่ได้รับกากตะกอนน้ำเสียนานถึง 35 ปี คือ อะลูมิเนียม (Al) แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) ตะกั่ว (Pb) และสังกะสี (Zn) ในปริมาณ 1.1, 35, 16.5, 1.1, 16.5 และ 13 เท่าของสภาพดินปกติ ตามลำดับ ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร และพบว่าข้าวโพดที่ปลูกในดินมีปริมาณของทองแดงและแคดเมียมในใบสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และมีธาตุอีกหลายชนิดสะสมอยู่ที่รากข้าวโพดเป็นปริมาณสูง

บุปผา (2527) พบการสะสมของแคดเมียมในผัก 3 ชนิดได้แก่ผักคะน้า ผักกาดขาว และผักกวางตุ้ง เนื่องจากการใส่กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานน้ำอัดลม ในขณะที่ Wong (1985) แนะนำว่าการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกับพืชตระกูลหัว ควรได้รับการระมัดระวังเป็นอย่างมาก เนื่องจากพบแคดเมียม (Cd) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) และอะลูมิเนียม (Al) สะสมอยู่ในหัวไซเท้าจำนวนมาก

4. ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลาย

4.1 สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของวัตถุดิบ

หาก C/N ratio ของวัตถุดิบมีค่าอยู่ในช่วง 25:1-35:1 การหมักจะมีประสิทธิภาพที่สุด แต่ถ้า C/N ratio มีค่าสูงกว่า 35:1 กระบวนการหมักจะช้าลง ขณะที่ C/N ratio มีค่าต่ำกว่า 20:1 จะมีการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย (Mertins and Dewes, 1992) ดังนั้น ถ้าวัสดุมีค่า C/N ratio สูงมากๆ อัตราการย่อยสลายจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ (De Bertoldi *et al.*, 1983; Thongjoo *et al.*, 2005) อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่วัตถุดิบมีค่า C/N ratio สูงมากๆ อาจมีการเติมสารประกอบไนโตรเจนในรูปของปุ๋ยเคมี หรืออินทรีย์สารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูง เช่น มูลสัตว์ วัสดุเหลือทิ้งบางชนิดจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น กากตะกอนน้ำเสีย เป็นต้น (Goluek, 1977) ทั้งนี้เพื่อยกระดับปริมาณไนโตรเจนให้สูงขึ้น หรือทำให้ค่า C/N ratio ของวัสดุที่ทำการหมักลดต่ำลง นั่นหมายถึงกระบวนการย่อยสลายภายในกองจะเกิดได้รวดเร็วขึ้นนั่นเอง (Gaur, 1980)

4.2 การระบายอากาศ (aeration)

การระบายอากาศเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้เพียงพอต่อการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งปริมาณอากาศที่ต้องการในการหมักแบบใช้ออกซิเจนนั้น จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่นำมาหมัก แต่ปริมาณออกซิเจนจะต้องไม่ต่ำกว่า 18 % การเพิ่มปริมาณออกซิเจนอาจทำได้โดยการกลับกอง ซึ่งนอกจากจะเกิดผลดีในแง่การระบายอากาศแล้ว ยังเป็นการช่วยคลุกเคล้าเศษวัสดุต่างๆ ให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมออีกด้วย

4.3 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ในกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน pH ของกองปุ๋ยหมักจะใกล้เคียงความเป็นกลางและไม่บ่อยนักที่จะพบว่า pH ลดลงหรือเพิ่มขึ้นอย่างรุนแรง โดยปกติเมื่อเริ่มทำการหมักค่า pH มักลดลงเล็กน้อยในช่วง 1-2 วันแรก เนื่องจากเกิดกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งจะเกิดกรดไขมัน (fatty acid) ออกมา หลังจากนั้นคือ pH จะเพิ่มขึ้นกลับมาเป็นกลางอีกครั้งเมื่อกรดไขมันที่ผลิตขึ้นได้เปลี่ยนรูปเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์โดยปฏิกิริยา methane-forming bacteria (Polprasert, 1996)

De Bertoldi *et al.* (1983) พบว่าวัสดุเหลือทิ้งที่มีค่า pH อยู่ในช่วง 3-11 สามารถนำมาใช้ทำปุ๋ยหมักได้โดยทั่วไป แต่ค่า pH ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 5.5-8.0 ซึ่งการใช้วัสดุเหลือทิ้งที่มีค่า pH สูง อาจทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซแอมโมเนียในช่วงแรกของการหมักเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากการเกิดกระบวนการ ammonia volatilization นั้นเอง

4.4 ความชื้น (moisture)

ความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก เนื่องจากเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหารและออกซิเจนจากวัสดุที่ใช้หมักและอากาศสู่จุลินทรีย์ ตลอดจนเป็นตัวกลางในการส่งผ่านเอนไซม์เข้าไปย่อยสลายวัสดุที่ใช้หมัก (Tengerdy, 1985)

Haug (1980) พบว่า ปริมาณน้ำในวัสดุหมักมีผลต่อช่องว่างของอากาศโดยตรง ถ้าความชื้นมากเกินไปจะทำให้สัดส่วนของช่องอากาศต่อปริมาตรทั้งหมดของวัสดุหมักลดลง ซึ่งมีผลทำให้การไหลผ่านของอากาศเป็นไปได้ยาก และเมื่อเติมอากาศจะทำให้อากาศส่วนหนึ่งถูกใช้ในการระเหยน้ำแทนการใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี แต่ถ้าความชื้นต่ำเกินไปก็ไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยา โดยความชื้นที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักจะเปลี่ยนแปลงได้ ทั้งนี้ขึ้นกับสมบัติทางกายภาพของขนาดวัสดุหมักและระบบที่ใช้ในการหมัก ในทางปฏิบัติช่วงความชื้นเริ่มต้นที่เหมาะสม คือ 50-70 % โดยมวล (Rabbani *et al.*, 1983)

4.5 ขนาดวัสดุ (size)

ขนาดของวัสดุที่ใช้หมักเริ่มต้นนั้นมีความสำคัญมาก โดยทั่วไปแล้ววัสดุที่มีขนาดเล็กจะย่อยสลายได้เร็วกว่าวัสดุที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวให้กับจุลินทรีย์ได้สัมผัสมากขึ้น แต่ถ้าวัสดุมีขนาดละเอียดมากเกินไป ก็จะไปขัดขวางการแพร่ของออกซิเจนที่จะเข้าไปในกองปุ๋ยหมักในช่วง thermophilic เพราะว่าเป็นช่วงที่มีความต้องการออกซิเจนมากที่สุด และถ้าขนาดวัสดุเริ่มต้นมีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้กองปุ๋ยหมักแห้งได้ง่าย และส่งผลให้ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการหมักในระยะต่อมา (อนุภาพ, 2541; Gray *et al.*, 1971) ส่วนวัสดุที่มีขนาดเล็กมากเกินไปอาจทำให้เพิ่มความพรุนของวัสดุก่อนทำการหมักโดยการผสมกับวัสดุที่มีความโปร่ง เช่น ใบไม้แห้ง ชังข้าวโพด ชังไม้สับ และกากชานอ้อย เป็นต้น

US.EPA (1995) แนะนำว่าขนาดของวัสดุที่เหมาะสมควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 1.3-7.6 เซนติเมตร ในขณะที่ JICA (1982) กล่าวว่าขนาดของวัสดุหมักที่เหมาะสม คือ 1.27-3.81 เซนติเมตร ส่วนพัชรี (2529) พบว่า ขนาดของวัสดุหมักที่เหมาะสมควรมีขนาด 2.5-7.5 เซนติเมตร

4.6 อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิเป็นตัวกำหนดชนิดของจุลินทรีย์และอัตราการย่อยสลายที่เกิดขึ้น (Miller, 1993; Polprasert, 1996) โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในกองหมักเกิดจากกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารของจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจน โดยผลของการย่อยสลายจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และพลังงานขึ้น ซึ่งพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์ภายในเซลล์ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของความร้อน ซึ่งอุณหภูมิที่สูงกว่า 55 °C สามารถทำลายเชื้อโรคได้ ส่วนอุณหภูมิระหว่าง 45-55 °C มีผลให้อัตราการย่อยสลายของอินทรีย์สารสูงที่สุด ขณะที่อุณหภูมิระหว่าง 35-45 °C มีผลให้จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักมีความหลากหลายมากที่สุด (Stentiford, 1996) โดย Haug (1980) อธิบายว่า การย่อยสลายของอินทรีย์สารเกิดขึ้นภายในช่วงอุณหภูมิ thermophilic มากที่สุด หลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลง และในตอนท้ายของกระบวนการหมักจะเหลืออินทรีย์สารที่ย่อยสลายได้ยาก สามารถเก็บไว้ได้นาน และใช้ปรับปรุงสมบัติของดินได้

5. การเพิ่มปริมาณธาตุอาหารโดยการเติมปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมี หมายถึงปุ๋ยที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่มีอนินทรีย์สารสังเคราะห์และตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แบ่งเป็นปุ๋ยเชิงเดี่ยว (straight fertilizer) ซึ่งเป็นปุ๋ยเคมีที่มีธาตุปุ๋ยเพียงธาตุเดียวได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ปุ๋ยเชิงผสม (mixed fertilizer) ซึ่งเป็นปุ๋ยเคมีที่ได้จากการผสมปุ๋ยเคมีชนิดหรือประเภทต่างๆ เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ธาตุอาหารตามต้องการ และปุ๋ยเชิงประกอบ (compound fertilizer) เป็นปุ๋ยเคมีที่ทำขึ้นจากกระบวนการทางเคมี เพื่อให้มีธาตุปุ๋ยตั้งแต่สองธาตุขึ้นไปและอยู่เป็นสารประกอบเคมีชนิดเดียวกัน นอกจากนี้ยังรวมถึงปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปุ๋ยเคมีผสมอยู่ด้วย แต่ไม่รวมปุ๋ยขาว ดินมาร์ล ปุ๋ยพลาสติกหรือยิปซัม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 จัดว่าเป็นปุ๋ยเคมีที่มีแนวโน้มการใช้เพิ่มขึ้นทุกปี ปุ๋ยสูตรดังกล่าวถือว่าเป็นปุ๋ยธาตุอาหารครบ (complete fertilizer) เหมาะสำหรับใช้ในกรณีที่ดินให้ธาตุอาหารบางธาตุไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืช อย่างไรก็ตาม หากพืชได้รับทุกธาตุเพียงพอและสมดุลกันตามความต้องการแล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มอีก สำหรับปุ๋ยเคมีที่ใช้กันทั่วไปมักจะมีเฉพาะธาตุอาหารหลักตามปริมาณที่ระบุไว้ หรือมีธาตุอาหารอื่นๆ ร่วมด้วยตามองค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ย

ปุ๋ยเคมีที่ใช้ทางดินสูตรต่างๆ มักไม่มีธาตุอาหารเสริม เว้นแต่มีการผลิตขึ้นเป็นพิเศษ ซึ่งจะระบุชนิดของธาตุอาหารเสริมไว้ นอกจากปุ๋ยเคมีประเภทธาตุอาหารหลักแล้ว ยังมีปุ๋ยธาตุอาหารรองและปุ๋ยจุลธาตุหรือธาตุอาหารเสริมอีกด้วย

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีในแง่ต่างๆ

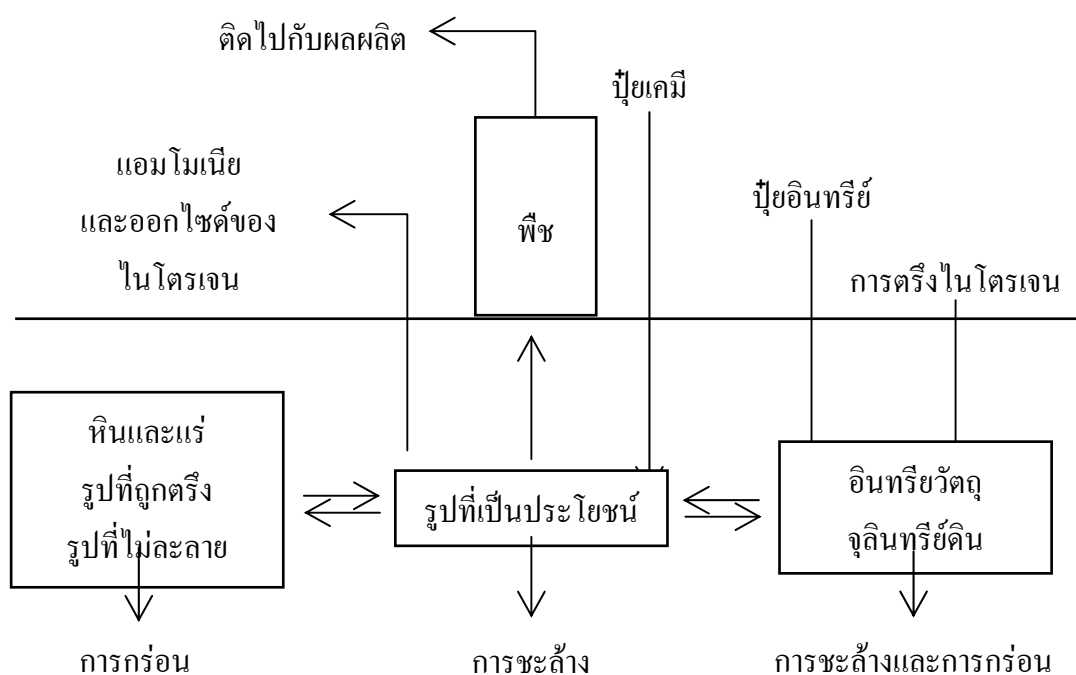
การเปรียบเทียบ	ปุ๋ยอินทรีย์	ปุ๋ยเคมี
1. ธาตุอาหารพืชที่ดินได้รับ		
จำนวนธาตุ	มาก	น้อย
ปริมาณแต่ละธาตุ	น้อย	มาก
อัตราการใช้	สูง	ต่ำ
การปลดปล่อยให้พืช	ช้า	เร็ว
2. ผลต่อสมบัติทางเคมีของดิน		
ความจุในการแลกเปลี่ยนไอออน	เพิ่ม	-
ความจุบัฟเฟอร์	เพิ่ม	-
ผลตกค้างในแง่กรด-ด่าง	-	กรด ด่างหรือไม่มีผล
3. ผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน		
ความหนาแน่นรวม	ลด	-
การเกิดเม็ดดิน	เพิ่ม	-
ความชื้นที่เป็นประโยชน์	เพิ่ม	-
การถ่ายเทอากาศ	เพิ่ม	-
แหล่งธาตุอาหาร	หลายธาตุ	บางธาตุ

ตารางที่ 5 (ต่อ)

การเปรียบเทียบ	ปุ๋ยอินทรีย์	ปุ๋ยเคมี
4. <u>ผลต่อจุลินทรีย์ดิน</u>		
แหล่งพลังงาน	ให้พลังงาน	บางธาตุ
สารอาหาร	กรดอะมิโน วิตามินและอื่นๆ	-
สมดุลของจุลินทรีย์ดิน	ดีขึ้น	-

ที่มา: อำนาจ (2546)

การปลูกพืชแต่ละฤดูปลูกจะมีการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดิน (ดังแสดงในภาพที่ 2) โดยธาตุอาหารในดินมาจาก 3 ส่วนที่แตกต่างกันดังนี้ ส่วนที่ 1 เป็นไอออนในสารละลายดินและที่ดูดซับตามผิวของอนุภาคแร่ดินเหนียวและฮิวมัสซึ่งพืชสามารถใช้ได้ทันที ส่วนที่ 2 เป็นไอออนซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อแร่ต่างๆ ในดินสลายตัวในช่วงเวลาที่พืชเจริญเติบโตอยู่ในดิน และส่วนสุดท้ายเป็นไอออนซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาเมื่ออินทรีย์วัตถุในดินมีการสลายตัว



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดิน

ที่มา: อำนาจ (2546)

ส่วนอินทรีย์วัตถุในดินสามารถมาจาก 3 ส่วนเช่นกัน คือ (1) อินทรีย์วัตถุเดิมที่มีในดินก่อนปลูกพืช (2) อินทรีย์วัตถุที่ได้มาจากการสลายของซากพืช ซึ่งได้แก่ ส่วนเหนือดินรวมทั้งรากพืช สำหรับซากพืชตระกูลถั่วจะมีไนโตรเจนสูง เนื่องจากไรโซเบียมในปมรากได้ตรึงไว้แล้ว เคลื่อนย้ายมาสะสมในรากและส่วนเหนือดินของถั่ว และ (3) ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ในการปลูกพืช

อย่างไรก็ตามในระหว่างที่พืชเจริญเติบโตอยู่ ธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ในดินจะลดลง เนื่องจากพืชดูดไปใช้ จุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ และสูญหายไปจากดินโดยการชะล้าง การกร่อน หรือกลายเป็นแก๊ส (ในกรณีของไนโตรเจน) ในส่วนของธาตุอาหารที่ถูกดูดไปใช้ที่สูญหายไปจากดินจะติดไปกับผลผลิตซึ่งนำออกจากพื้นที่ (ดังตารางที่ 6 และ 7) หากคงเหลือส่วนเหนือดิน และรากไว้ในพื้นที่แล้วทำการไถกลบ ธาตุอาหารที่อยู่ในเนื้อเยื่อพืชจะกลับคืนสู่ดิน

ตารางที่ 6 ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่ติดไปกับผลผลิตพืช (กก.ธาตุ/ตันของผลผลิต)

พืช	ส่วนของพืช	N	P	K	Ca	Mg	S
ข้าวโพด	เมล็ด	15.60	2.90	3.80	0.40	0.90	1.30
ข้าว	เมล็ด	15.00	2.80	3.80	0.30	1.00	0.80
มันสำปะหลัง	หัว	1.70	0.50	2.50	0.40	0.20	0.20
มันฝรั่ง	หัว	2.70	0.30	3.60	0.30	0.30	0.30
ถั่วลิสง	เมล็ด	32.00*	3.20	4.80	1.60	1.60	1.20
ถั่วเหลือง	เมล็ด	50.00*	4.00	15.30	2.70	2.70	2.00
มะม่วง	ผล	3.00	0.40	3.30	0.70	0.40	0.20
สับปะรด	ผล	0.80	0.10	1.80	0.20	0.10	0.04
มะพร้าว	ผล	7.00	1.70	9.10	1.40	1.80	1.20
ปาล์มน้ำมัน	ทะลาย	2.80	0.50	3.70	0.50	0.80	0.60
ยาง	น้ำยาง	20.00	5.00	25.00	4.00	5.00	2.00
อ้อย	ลำต้น	1.10	0.20	1.10	0.20	0.30	0.20

หมายเหตุ * พืชได้รับจากกระบวนการตรึงไนโตรเจนของไรโซเบียมในปมราก

ที่มา: Canpotex (2004)

ตารางที่ 7 ปริมาณธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองที่ติดไปกับผลผลิตผักในส่วนเหนือดินบางชนิด (กก.ธาตุ/ไร่)

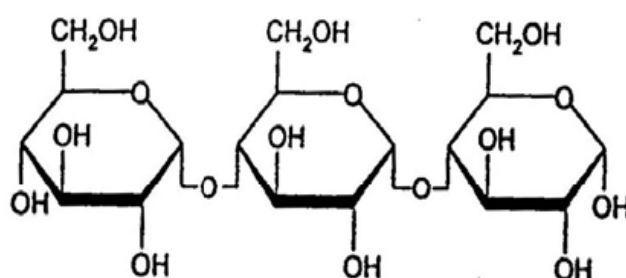
พืช	N	P	K	Ca	Mg	S
กะหล่ำปลี	11.27	2.00	27.40	5.98	1.31	2.13
คะน้า	8.81	1.04	12.36	1.98	0.98	1.73
ผักกาดขาวปลี	7.24	1.21	12.55	2.40	1.08	1.16
ผักกาดหอม	2.86	0.49	4.97	0.90	0.40	0.29
ผักกาดขาว	8.17	1.60	15.50	3.17	0.65	1.20

ที่มา: จิตรารัตน์ (2516)

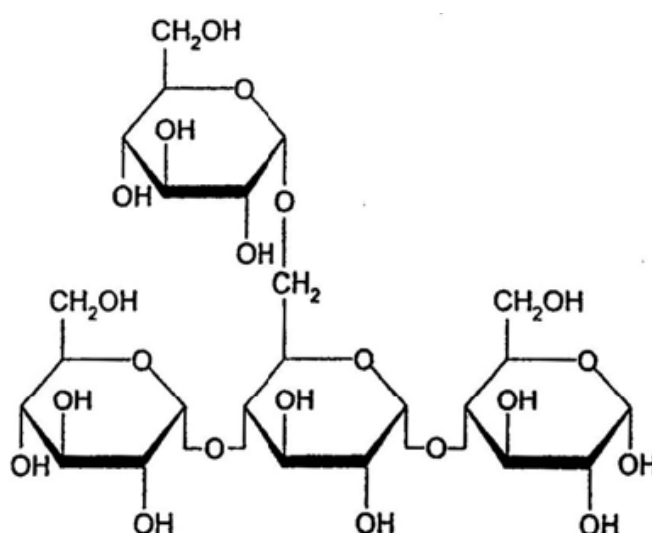
6. สตาร์ชและสตาร์ชดัดแปร

สตาร์ช (starch) หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ โดยแยกเฉพาะส่วนที่เป็นสารอาหารคาร์โบไฮเดรตและสกัดสิ่งเจือปนคือ โปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นๆ ออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์สูง แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะไมโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพกทิน) วางตัวในแนวระนาบ

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4 กลูโคซิดิก (α -1,4-glucosidic linkage) ส่วนอะไมโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4 กลูโคซิดิก (α -1,4-glucosidic linkage) และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มี degree of polymerization (DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,6 กลูโคซิดิก (α -1,6-glucosidic linkage) ดังแสดงในภาพที่ 3



อะไมโลส



อะไมโลเพคติน

ภาพที่ 3 โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกุล (2546)

ตารางที่ 8 แสดงสมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน โดยอะไมโลสจะให้ลักษณะเฉพาะที่สามารถบ่งบอกว่าแป้งชนิดนั้นมีองค์ประกอบของอะไมโลสอยู่ เมื่อรวมตัวกับไอโอดีนแล้วให้สีน้ำเงิน ส่วนอะไมโลเพคตินจะให้สีน้ำตาลแดงเมื่อเชื่อมด้วยไอโอดีน (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546) แหล่งที่อยู่ของอะไมโลสในแป้งนั้นยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่มีสมมติฐานว่าอะไมโลสอาจกระจายอยู่ระหว่างอะไมโลเพคติน โดยอะไมโลสโมเลกุลใหญ่จะจับกับอะไมโลเพคตินเป็นเกลียวคู่ (double helices) ส่วนอะไมโลสโมเลกุลเล็กจะอยู่บริเวณรอบนอกของเม็ดแป้ง (Kasemsuwan *et al.*, 1999) ตำแหน่งของอะไมโลสภายในเม็ดแป้งยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้ง

อะไมโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะไมโลเพคติน บางส่วนจะกระจายอยู่ทั้งในส่วน อัมมอร์ฟัส (amorphous) และส่วนผลึก (crystalline) (กล้านรงค์ และเกื้อกูล, 2546)

ตารางที่ 8 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

คุณสมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพคติน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาล กลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาล กลูโคส เกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α -1,4	α -1,4 และ α -1,6
ขนาด	200-2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้ดีกว่า	ละลายน้ำได้น้อยกว่า
ลักษณะเมื่อต้มในน้ำ	มีความข้นหนืดน้อยและขุ่น	ข้นหนืดมากและใส
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วงหรือสีน้ำตาลแดง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะ จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

ที่มา: คัดแปลงจาก Beynum and Roels (1985); Kerr (1950)

แป้งจากแหล่งต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินแตกต่างกัน ส่งผลให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน (กล้านรงค์ และเกื้อกูล, 2546) แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง จะมีปริมาณอะไมโลสสูงอยู่ที่ร้อยละ 22 ถึง 30 ส่วนแป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาเกจะมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าคืออยู่ในช่วงร้อยละ 18-24

ตารางที่ 9 ปริมาณของอะไมโลสในแป้งชนิดต่างๆ

แป้ง	ปริมาณอะไมโลส (% น้ำหนักแห้ง) Apparent	ปริมาณอะไมโลส (% น้ำหนักแห้ง) Absolute
ข้าวเจ้า	25.0	20.5
ข้าวบาร์เลย์	25.5	23.6
มันฝรั่ง	36.0	16.9
มันสำปะหลัง	23.5	17.8
พุทธรักษา	43.2	22.7
ถั่วเขียว	37.9	30.7

ที่มา: Kasemsuwan *et al.* (1999)

สตาร์ชหรือแป้งดิบ (native starch) มักถูกนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียวและความแข็งแรงในอุตสาหกรรมกระดาษ แต่โดยทั่วไปก็ยังพบข้อจำกัดของคุณสมบัติบางประการเช่น ช่วงความหนืดแคบ ความไม่เสถียรของสตาร์ช ลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดี และมีความคงทนต่อแรงเฉือนในกระบวนการผลิตหรือความคงทนต่อสภาวะต่างๆต่ำ เป็นต้น (ดวงทิพย์, 2550) ดังนั้นสตาร์ชที่นำมาใช้ในโรงงานผลิตกระดาษจึงต้องมีการดัดแปรให้เป็นสตาร์ชดัดแปร (modified starch) โดยวิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้เอนไซม์ การใช้อุณหภูมิสูง (Bramel, 1986) หรือการใช้สารเคมีในการแปรรูปหรือดัดแปรให้ได้สตาร์ชตามวัตถุประสงค์การนำไปใช้งาน

ในการทำกระดาษมีการเติมส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยลงไปผสมกับส่วนเส้นใย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติของกระดาษ ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยประกอบด้วยสารหลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกัน เช่น สารตัวเติม เพื่อเพิ่มสมบัติด้านขาวสว่าง ความทึบแสงและความเรียบ, สารด้านการซึมน้ำ เพื่อเพิ่มความต้านทานการซึมน้ำของกระดาษ, สารเพิ่มความเหนียว เพื่อเพิ่มสมบัติด้านเชิงกลของกระดาษให้สูงขึ้น (รุ่งอรุณ, 2545)

สตาร์ชดัดแปรที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ได้แก่ แคตไอออนิกสตาร์ช (cationic starch) ออกซิไดซ์สตาร์ช (oxidized starch) ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช (hydrophobic starch) เป็นต้น ซึ่งสามารถเติมลงในน้ำเยื่อ (pulp stock) เป็นส่วนผสมของสารเคลือบ (coating formulation)

ก. แคตไอออนิกสตาร์ช

แคตไอออนิกสตาร์ช คือ สตาร์ชที่ได้จากการดัดแปรโดยใช้สารเคมีที่มีหมู่อะมิโน (amino) แอมโมเนียม (ammonium) ซัลโฟเนต (sulfonate) หรือฟอสโฟเนียม (phosphonium) เพื่อให้ได้สตาร์ชที่มีประจุบวกและเนื่องจากมีประจุบวกในโมเลกุลทำให้สามารถเกิดพันธะไอออนิกระหว่างประจุบวกกับประจุลบของเซลลูโลสที่ใช้ทำกระดาษได้ดี สตาร์ชประเภทนี้นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษในการเพิ่มความแข็งแรง นอกจากนี้ยังใช้ในการกั้นซึมและการเคลือบเพื่อดำเนินงานการแทรกซึมของหมึกหรือของเหลว

ธีระชัย (2542) นำแคตไอออนิกสตาร์ชมาปรับปรุงสมบัติทางกายภาพกระดาษ โดยเปรียบเทียบกับแป้งดิบ พบว่า การใช้แคตไอออนิกสตาร์ชในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของเยื่อจากเศษกระดาษ ส่งผลให้สมบัติของกระดาษดีกว่าการใช้แป้งดิบเพราะแป้งสามารถตกค้างบนเส้นใยได้มากกว่า นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาผลกระทบของแคตไอออนิกสตาร์ช 3 ชนิดต่อสมบัติกระดาษ คือ สตาร์ชที่ระดับการเติมประจุบวกเท่ากับ 2 หน่วยต่อกลูโคส 100 หน่วย, 3 หน่วยต่อกลูโคส 100 หน่วยและ 4 หน่วยต่อกลูโคส 100 หน่วยตามลำดับ พบว่า สตาร์ชที่มีระดับการเติมประจุบวกแตกต่างกันทั้ง 3 ชนิดส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของเยื่อกระดาษไม่แตกต่างกันมากนัก ที่ระดับการเติมสตาร์ชลงในกระดาษในปริมาณที่เท่ากัน นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณการใช้แคตไอออนิกสตาร์ชจะลดลง 2.1 เท่าของปริมาณการใช้แป้งดิบที่ระดับความแข็งแรงของกระดาษเดียวกัน

Lim *et al.* (1992) เตรียมแคตไอออนิกสตาร์ชจากแป้งข้าวโอ๊ต ที่มีปริมาณของแข็ง (solid containing) เท่ากับร้อยละ 35 โดยใช้สารผสมระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมล แคลเซียมคลอไรด์ 0.49 โมล ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมงและใช้สารตัวกระทำปฏิกิริยา (reagent) ชนิดประจุบวก 50 มิลลิโมลต่อมิลลิโมลของหน่วยแอนไฮโดรกลูโคส พบว่าแคตไอออนิกสตาร์ชที่ได้มีค่าองศาการแทนที่ (degree of substitution) เท่ากับ 0.014 หลังจากนั้นนำสตาร์ชมาทำปฏิกิริยาในขั้นตอนสุดท้ายกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.48 โมลและโซเดียมซัลเฟต 2.43 โมล พบว่าแคตไอออนิกสตาร์ชที่ได้มีค่าองศาการแทนที่เท่ากับ 0.042 จากนั้นนำสตาร์ชที่

ได้มาปรับปรุงสมบัติของกระดาษกราฟท์ โดยเติมในปริมาณ 4.5 9.1 และ 18.2 กิโลกรัมต่อเมตริกซ์ตันของเยื่อแห้ง พบว่า สมบัติเชิงกลของกระดาษ ได้แก่ ค่าความแข็งแรง ณ จุดขาด (strength at break) ค่าความต้านทานแรงดันทะลุ (bursting strength) และค่า Scott bond ของกระดาษกราฟท์ที่เติมแคตไอออนิกสตาร์ชมีค่ามากกว่ากระดาษกราฟท์ที่ไม่ได้เติมแคตไอออนิกสตาร์ชนอกจากนี้ การเติมแคตไอออนิกสตาร์ชในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าสมบัติเชิงกลดังกล่าวมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

ข. ออกซิไดซ์สตาร์ช (oxidized starch)

ออกซิไดซ์สตาร์ช หมายถึง สตาร์ชที่ถูกดัดแปรด้วยวิธีออกซิเดชัน โดยการทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรด์ แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ แอมโมเนียมซัลเฟต เป็นต้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลให้เป็นหมู่แอลดีไฮด์ คีโตนหรือหมู่คาร์บอกซิล คุณสมบัติที่สำคัญของออกซิไดซ์สตาร์ชคือ เป็นสตาร์ชที่มีประจุลบ เนื่องจากมีหมู่คาร์บอกซิลเข้าไปอยู่ในโมเลกุลอะมิโนส มีความสามารถในการละลายน้ำได้มากเนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลมีคุณสมบัติชอบน้ำ ในอุตสาหกรรมกระดาษนิยมนำออกซิไดซ์สตาร์ชไปใช้เป็นสารยึดเกาะสำหรับการเคลือบกระดาษเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดาษ เคลือบผิวหน้ากระดาษให้เรียบและฉาบผิวกระดาษเพื่อด้านทานการซึมของของเหลว

ค. ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช(hydrophobic starch)

ไฮโดรโฟบิกสตาร์ช หมายถึง สตาร์ชที่ถูกดัดแปรทางเคมีเพื่อให้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ ตัวอย่างของไฮโดรโฟบิกสตาร์ช คือ สตาร์ชผลิตได้จากกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน (esterification) ด้วยสารออกตินิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์ (octenyl succinic anhydride, OSA) เป็นต้น การแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ จะเกิดขึ้นคาร์บอนตำแหน่งที่ 2,3 และ 6 ภายในโมเลกุลของกลูโคสและเกิดขึ้นในบริเวณออสันฐานของแป้ง การดัดแปรสตาร์ชด้วยการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยโมเลกุลของ OSA นั้นทำให้ได้สตาร์ชที่เรียกว่า ออกตินิลซัคซินิกแอนไฮไดรด์สตาร์ช (octenyl succinate anhydride starch, OSA starch) ข้อดีของการมีหมู่ ออกตินิลซัคซินิก คือ ช่วยรักษาสมบัติชอบน้ำของแป้งในขณะที่สามารถเพิ่มคุณสมบัติไม่ชอบน้ำให้กับแป้งทำให้ OSA starch มีคุณสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ที่ดีและยังมีความสามารถในการเป็นฟิล์มที่ดีด้วย

ง. สตาร์ชดัดแปรชนิดอื่น ๆ

ไฮดรอกซีเอทิลสตาร์ช (hydroxyethyl starch) เป็นฟิล์มแป้งที่มีความเรียบ ไส และยืดหยุ่นดี นิยมนำมาเคลือบกระดาษเพื่อเพิ่มความมันเงาและความต้านทานน้ำมัน

สตาร์ชแอซิเตต (starch acetate) นิยมใช้ผลิตกระดาษกาวที่มีความยืดหยุ่น เป็นมันเงา และใช้เคลือบกระดาษเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพิมพ์

คาร์บอกซีเมทิลสตาร์ช (carboxymethyl starch) สามารถละลายในน้ำเย็นได้มีความใส และเหนียว มีความหนืดสูง ละลายง่ายและไวต่อความชื้น นิยมใช้สำหรับฟอกเยื่อหรือเป็นสารเคลือบกระดาษเพื่อการพิมพ์

7. บรรจุภัณฑ์ขึ้นรูปและการปรับปรุงสมบัติเชิงกล

Lacourse *et al.* (1991a; 1991b) ทำการศึกษาวัตถุดิบที่ใช้ทำภาชนะบรรจุที่ย่อยสลายได้ทางธรรมชาติโดยใช้แป้งที่มีอะไมโลสร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก พบว่า เมื่อนำวัตถุดิบที่มีความชื้นร้อยละ 21 หรือน้อยกว่านี้มาทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดรีด (extrusion) ที่อุณหภูมิ 150-250 °C ชิ้นงานที่ได้จะมีความหนาแน่นต่ำ สามารถขึ้นรูปได้ดี อีกทั้งยังทนทานต่อแรงกดอัดได้สูง โดยความหนาแน่นที่ได้เท่ากับ 2.0 ปอนด์ต่อ 1,000 ตารางฟุต สามารถขึ้นรูปได้ร้อยละ 50 และรับแรงอัดได้ถึง 100-800 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ

Altieri (1992) ศึกษาลักษณะรูปร่างและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งที่มีอะไมโลสอยู่ร้อยละ 40 และมีเกลือของสารประกอบอนินทรีย์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 พบว่า ผลิตภัณฑ์ให้คุณสมบัติการขึ้นรูปและทนต่อแรงอัดได้ดี โดยมีความหนาแน่น 2.0 ปอนด์ต่อ 1,000 ตารางฟุต สามารถขึ้นรูปได้ร้อยละ 50 และทนต่อแรงอัดได้ถึง 100-800 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

Jeffs (1993) ทำการศึกษาโดยการนำแป้งดัดแปร (modified starch) โดยใช้กรดอ่อนเช่น malic acid, tartaric acid, citric acid และ succinic acid จากนั้นทำการเติมสารประกอบจำพวกคาร์บอนेटลงไปเพื่อให้เกิดพอลิเมอร์แบบเชื่อมโยงข้าม (cross linked polymerisation) ซึ่งเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของแป้งทำให้ได้โครงสร้างที่มีความหนาแน่น 0.032 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่งผลให้มีสมบัติการขึ้นรูปและการรับแรงที่ดี

อรรถพงศ์ และคณะ (2538) นำแป้งมันสำปะหลังมาทำการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวิธีเชื่อมข้าม (crosslink) โดยใช้สารฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์ (POCl_3) พบว่า ความหนืดของสารละลายแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงจะมีความหนืดลดลง ลักษณะ และรูปร่างไม่กลมเรียบเหมือนแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติและหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง จากนั้นได้ นำแป้งมันสำปะหลังทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงคุณสมบัติไปผสมกับพลาสติก LDPE และนำไปเป่าฟิล์มพลาสติก ตัดชิ้นงาน เป็นรูปดัมป์เบล แล้วนำชิ้นงานรูปดัมป์เบลใส่ในตู้ควบคุมสถานะความชื้นและความเข้มแสง เพื่อศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพโดยการนำไปฝังดินในสภาวะดินธรรมชาติ และสภาวะดินจำลองที่มีความชื้น 90 % จากนั้นทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานทุกสภาวะดังกล่าว ทุก 1 เดือน เป็นระยะเวลานาน 6 เดือน ผลการศึกษาพบว่า ที่สภาวะฝังดินจำลองความชื้น 90 % และที่อัตราส่วนผสมแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติ 20 % จะเกิดการย่อยสลายได้ดีที่สุด แต่มีสมบัติเชิงกลไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ส่วนที่อัตราส่วนผสม 10 % จะเกิดการย่อยสลายได้ดีพอควร และมีสมบัติเชิงกลเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

Frank (1996) พบว่า วัตถุดิบที่เติมลงไปแล้วทำให้ภาชนะที่ได้สามารถขึ้นรูปได้ดี โดยการขึ้นรูปด้วยวิธี Twin – screw extrusion ต้องมีส่วนผสมของน้ำมันจากผัก, polyvinyl alcohol, glycerine, โพรตีนจากแป้ง, glycerol monostearate, แป้งที่ไม่ผ่านการคัดแปร และน้ำ

งามทิพย์และสายสนม (2540) จัดทำเครื่องขึ้นรูปต้นแบบพร้อมแม่พิมพ์ สำหรับการขึ้นรูปภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง เพื่อพัฒนาสูตรแป้งที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปโดยวิธีอัดร้อน เครื่องขึ้นรูปต้นแบบทำงานโดยระบบไฮดรอลิก มีแม่พิมพ์พร้อมแผ่นความร้อนฝังในแม่พิมพ์ ปรับอุณหภูมิได้สูงถึง 300 °C ปรับตั้งเวลาได้ หน่วยวินาที แม่พิมพ์ทรงถ้วยกลม ขนาดมิติภายนอก เส้นผ่าศูนย์กลางด้านบน 11.5 เซนติเมตร ด้านล่าง 6.5 เซนติเมตร ความสูง 5 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างแม่พิมพ์ตัวผู้และตัวเมีย 3 มิลลิเมตร มีช่องทางระบายอากาศขนาด 3 มิลลิเมตร ทั้งหมด 8 ช่องทาง จากการศึกษาแป้งผสมสูตรต่างๆ ทั้งหมด 18 สูตร พบว่ามี 3 สูตรที่เหมาะสม โดยสามารถขึ้นรูปได้โดยใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ตัวผู้ 180 °C แม่พิมพ์ตัวเมีย 200 °C เวลา 2 นาที สมบัติของภาชนะบรรจุจากแป้งทั้ง 3 สูตรมีดังนี้ ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.150-0.176 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่า tensile impact energy อยู่ในช่วง 0.01-0.03 จูล ความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำมีค่ามากกว่า 1800 วินาที สำหรับความทนทานต่อน้ำยังมีความแปรปรวนสูง เนื่องจากภาชนะตัวอย่างมีความบกพร่องจากการขึ้นรูป ซึ่งต้องปรับเปลี่ยนแม่พิมพ์ต่อไป

ปนัดดา (2540) ศึกษาการเตรียมฟิล์มบริโกลได้จากแป้งมันสำปะหลังและพบว่า ฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ควรเตรียมจากน้ำแป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 และเติมสารซอร์บิทอลเป็นพลาสติกไซเซอรในปริมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนักแป้ง แผ่นฟิล์มที่ได้จะมีลักษณะใส ผิวเรียบ มีสมบัติเชิงกลที่ดีคือสามารถต้านทานน้ำได้นานถึง 120 วัน และย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ

ปาริชาติ และวงศ์ผกา (2542) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปในรูปแบบของถาดผลไม้จากผักตบชวา โดยศึกษาถึงอิทธิพลและอัตราส่วนของสารเพิ่มความแข็งแรงประเภทแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสม รวมทั้งศึกษาชนิดของแม่พิมพ์ที่เหมาะสมต่อการผลิตบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากผักตบชวา โดยพบว่า ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสม ได้แก่ ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง โดยการเติมแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงช่วยลดการหดตัวของเยื่อได้ และเมื่อศึกษาชนิดของแม่พิมพ์ ได้แก่ แม่พิมพ์มั่งลวด แม่พิมพ์ปูน แม่พิมพ์พลาสติกชนิดอะครีโลไนไตรล์บิวตาไดอีนสไตรีน (acrylonitrile butadiene styrene) พบว่า บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากแม่พิมพ์มั่งลวดมีการหดตัวมากที่สุด เนื่องจากไม่มีแม่พิมพ์ตัวผู้มากดทับด้านบน ในส่วนของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากแม่พิมพ์ปูนและแม่พิมพ์พลาสติกชนิดอะครีโลไนไตรล์บิวตาไดอีนสไตรีน พบว่าบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่ผลิตได้มีผิวที่ขรุขระรวมถึงมีการหดตัวเหมือนกัน และพบว่าการผสมแป้งมันสำปะหลัง ช่วยลดการหดตัวของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปนอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มแรงกดรวมถึงการใช้ความร้อนขณะกดอัดจะช่วยลดการหดตัวรวมถึงการบิดเบี้ยวของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปได้อีกด้วยและเมื่อทดสอบสมบัติเชิงกลของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากผักตบชวาเปรียบเทียบกับถาดผลไม้ในท้องตลาด ถาดโฟม และกระดาษลูกฟูกพบว่าบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปจากผักตบชวามีค่าความต้านทานแรงที่มทะลุ (puncture test) และค่าแรงดัด (3-point bending) ต่ำที่สุด

สินชัย (2543) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตต้นแบบภาชนะบรรจุอาหารจากเยื่อตะไคร้หอม โดยการเตรียมเยื่อใช้วิธีทางเคมี ในอัตราส่วนของตะไคร้หอม 5.8 กรัมต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัมต่อน้ำ 400 มิลลิลิตร โดยใช้เวลาดำเนินการ 1.5 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังศึกษาถึงผลของสารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแป้งมันสำปะหลัง และพลาสติกไซเซอร ในขั้นตอนการขึ้นรูปใช้เครื่องอัดแบบนิวเมติก (pneumatic machine) ความดัน 2 บาร์ และใช้ความร้อนระดับ 3 และแม่พิมพ์อลูมิเนียม จากการทดลองการขึ้นรูปภาชนะบรรจุพบว่า การเติมพลาสติกไซเซอรช่วยให้ผิวของบรรจุภัณฑ์ค่อนข้างเรียบ เนื่องจากพลาสติกไซเซอรช่วยให้แป้งมันสำปะหลังและเส้นใยเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น ในกระบวนการสกัดเยื่อ นำเยื่อที่ได้ไปผสมกับแป้งเปียกซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลัง

ต่อน้ำเท่ากับ 1 : 1 ที่อุณหภูมิ 58 °C โดยอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังและพลาสติกไซเซอรที่ เหมาะสมที่สุด ได้แก่ ร้อยละ 30 และร้อยละ 5 ของน้ำหนักเชื้อแห้ง ตามลำดับ และเมื่อทดสอบ ค่าแรงคัด ค่าความต้านทานแรงดันทะลุและค่าความเค้นสูงสุดพบว่า ค่าดังกล่าวของบรรจุภัณฑ์เยื่อ กระดาษขึ้นรูปตะไคร้หอมมีค่ามากกว่าถาดโฟม เนื่องจากบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปเยื่อตะไคร้ หอมมีลักษณะแข็งกว่าถาดโฟม จึงสามารถรับแรงอัดได้มากกว่าและเมื่อทดสอบการซึมผ่านของน้ำ และน้ำมันเปรียบเทียบกัน พบว่า น้ำมันพืชสามารถซึมผ่านบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปตะไคร้ หอมได้มากกว่าน้ำ

บรรยงค์ และอุราวรรณ (2544) ศึกษาการผลิตกระถางหญ้าแฝก โดยใช้หญ้าแฝกแห้งที่ บดละเอียดผ่านตะแกรง 10 เมช ผสมกับดินที่มีขนาดอนุภาค 500 ไมโครเมตร ในอัตราส่วนดิน: หญ้าแฝก 1:10 จากนั้นเติมน้ำครึ่งหนึ่งของน้ำหนักดิน ผสมวัตถุดิบให้เข้ากันแล้วนำเข้าเครื่องรีดดิน จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยจิกเกอร์ไฟฟ้าจะได้กระถางหญ้าแฝกที่มีความแข็งแรง และทนทานต่อการ ใช้งานนาน 3 เดือน แต่ถ้าต้องการให้กระถางหญ้าแฝกที่มีความแข็งแรงและทนทานต่อการใช้งาน นานกว่า 6 เดือน ควรใช้กาว Poval (polyvinyl alcohol) ที่มีความเข้มข้น 10 % เติมนลงไป ใน ส่วนผสมดังกล่าวเพื่อใช้เป็นสารยึดเหนี่ยวระหว่างเนื้อดินกับหญ้าแฝก ให้มีความทนทานสูงขึ้น อีก ทั้งกระถางหญ้าแฝกยังย่อยสลายได้อีกด้วย และต่อมาโครงการสวนพระองค์สวนจิตรลดา ได้ทำ การผลิตกระถางผักตบชวาขึ้น โดยใช้ผักตบชวาที่บดละเอียดผสมกับดินเหนียว ในอัตราส่วน 1:5 ซึ่งในการผลิตนี้ได้มีการใส่สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ลงไปเพื่อป้องกันเชื้อรา จากนั้นผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน หมักทิ้งไว้ 1 คืน แล้วนำดินที่ผสมผักตบชวาเข้าเครื่องรีดดิน 5-6 ครั้ง แล้วนำไปขึ้นรูป โดยใช้แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ หลังจากขึ้นรูปกระถางแล้วให้นำกระถางไป วางในที่ร่ม เพื่อให้แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ดูดน้ำออกจากเนื้อดิน และเพื่อให้สะดวกในการถอดแบบ จะเห็นว่ากระถางผักตบชวามีอายุการใช้งานประมาณ 3-6 เดือน และความพิเศษของกระถางอยู่ที่ สามารถขุดหลุมปลูกได้เลย โดยไม่ต้องทุบกระถางหรือแกะถุงพลาสติกออกทิ้งให้เป็นมลพิษ เพราะกระถางผักตบชวาสามารถย่อยสลายได้ และยังเป็นปุ๋ยให้กับพืชและดินอีกด้วย (ไทยรัฐ, 2545)

วิวัฒน์ (2546) ศึกษาถึงกระบวนการและอัตราส่วนที่ดีที่สุดเพื่อใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์ จากขานอ้อย โดยในกระบวนการและสัดส่วนที่ดีที่สุดที่ใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์จากขานอ้อย ได้แก่ น้ำ 60 กรัมผสมโพลิไวนิลอะซิเตด (polyvinyl acetate) 10 กรัม ภายใต้อุณหภูมิ 100 °C ระยะเวลา 10 นาที จากนั้นผสมกับเชื้อขานอ้อยและนำไปขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ จากนั้นนำไปอบที่ อุณหภูมิ 130 °C ระยะเวลา 150 นาที นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้มาเคลือบด้วยโพลิไวนิลอะ

ซีเตด แล้วนำไปอบอีกครั้ง และเมื่อทำการทดลองการบรรจุมัจจุคในบรรจุภัณฑ์ชานอ้อยพร้อมสารดูดซับออกซิเจน เพื่อยืดอายุมัจจุค พบว่าสามารถยืดอายุมัจจุคได้เป็นระยะเวลา 8 วันเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างมัจจุคที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมปกติ

ธนธร และคณะ (2547) ได้ศึกษาสมบัติของบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปที่เตรียมได้จากใบธูปฤาษี โดยเตรียมเยื่อจากใบธูปฤาษีโดยวิธีโซดา ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมล ปริมาตรร้อยละ 8, 10 และ 12 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง นอกจากนี้ยังมีการเติมสารตัวเติมชนิดแคลเซียมคาร์บอเนต สารเพิ่มความแข็งแรงชนิดแคลไออนิกสตาร์ชและสารด้านการซึมน้ำชนิดแอลคิลคิทีนไดเมอรั โดยพบว่าเยื่อที่ได้มีผลผลิตเยื่อสูงสุดเท่ากับร้อยละ 55 มีค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด 60 กิโลนิวตันเมตรต่อกิโลกรัม ความต้านทานแรงฉีกขาด 15.98 นิวตันตารางเมตรต่อกิโลกรัม และความต้านทานแรงดันทะลุ 3.32 กิโลปาสกาลตารางเมตรต่อกรัม จากนั้นนำมาขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูป โดยมีการผสมกับเยื่อกระดาษนำกลับมาใช้ใหม่ที่เตรียมด้วยวิธีคราฟท์ ที่อัตราส่วนเยื่อธูปฤาษีต่อเยื่อนำกลับมาใช้ใหม่ 1:0 1:1 และ 0:1 พบว่ามีค่าความต้านทานแรงกดเท่ากับ 127, 294 และ 523 กิโลกรัมแรง ตามลำดับ

นลินี (2550) ศึกษาผลกระทบของตะกั่ว นิกเกิล และทองแดงจากกระถางที่ผลิตจากกากตะกอนเยื่อกระดาษ 2 ชนิด คือ กระถางชนิดที่ไม่ได้เคลือบพาราฟิน และเคลือบด้วยพาราฟิน โดยศึกษาปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะออกมา เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดคละน้ำ และปริมาณโลหะหนักที่สะสมในคละน้ำที่ทำการปลูกในกระถางทดลองโดยมีส่วนผสมของวัสดุปลูกเป็นกระถางที่บดแล้ว พบว่า ปริมาณตะกั่ว และทองแดงที่ถูกชะออกมาจากกระถางชนิดที่ไม่ได้เคลือบด้วยพาราฟินจะมีค่าสูงกว่าชนิดที่เคลือบด้วยพาราฟิน ส่วนปริมาณนิกเกิลที่ถูกชะออกมามีปริมาณน้อยมาก แต่ทั้งนี้ปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะออกมา เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานโลหะหนักและสารพิษจากการทดสอบการชะแล้ว พบว่า ไม่เกินค่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ส่วนผลกระทบต่อการงอกของเมล็ดคละน้ำ พบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดสูงสุด คือ 89.3 % ในวัสดุปลูกกระถางชนิดที่ไม่ได้เคลือบด้วยพาราฟิน 100 % และในการศึกษาปริมาณตะกั่ว นิกเกิล และทองแดงที่สะสมในคละน้ำ พบว่า ลำต้นมีปริมาณตะกั่วที่สูงกว่าค่ามาตรฐานในพืชกินใบ ในขณะที่ปริมาณของนิกเกิล และทองแดงไม่เกินค่ามาตรฐาน ดังนั้นกระถางที่ผลิตจากกากตะกอนเยื่อกระดาษจึงไม่ควรนำมาใช้ปลูกพืชที่รับประทานได้ ในปี 2551 ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตกระถางจากแกลบ จี๊เจ้าแกลบ ขุยมะพร้าว เศษใบไม้ และวัชพืชต่าง ๆ พบว่า กระถางที่ทำจากขุยมะพร้าวมีความแข็งแรงและทนทานที่สุด รากพืชสามารถงอกขึ้นได้ดี และยังสามารถอุ้มน้ำและการระบายความร้อนได้ดี ซึ่งส่วนผสมประกอบด้วย ขุยมะพร้าว 100 กรัม โยมะพร้าว 150 กรัม และแกลบเปลือก 50 กรัม ผสมคลุกเคล้า

ให้เข้ากัน จากนั้นทำการกดอัดด้วยเครื่องกดอัดแบบไฮโดรลิก ที่แรงอัด 10 ตัน จากนั้นนำไปตากแดดไว้ประมาณ 10 นาที จนแห้งสนิทก็สามารถนำไปใช้งานได้ทันที (เกลินวิส, 2551)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1.1 กากตะกอนน้ำมันปาล์ม (palm oil sludge) จากบริษัทยูนิปาล์ม อินดัสทรี จำกัด
จ.สุราษฎร์ธานี

1.2 กากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย (activated sludge cake) จากบริษัท เอสซี
จี เปเปอร์ จำกัด (มหาชน) จ.กาญจนบุรี

1.3 แป้งมันสำปะหลัง ประเภท native flour ตราปลามังกร

1.4 ปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ปุ๋ยสูตร 15-15-15

1.5 วัสดุสำหรับการเพาะกล้า

1.5.1 ถาดเพาะชำ (ขนาด 49 หลุม)

1.5.2 ขุยมะพร้าว (coir dust) จากร้านเพื่อนโคบาล อำเภอกำแพงแสน จังหวัด

นครปฐม

1.5.3 ทราย (sand)

1.5.4 ดินชุดกำแพงแสน (Kamphaeng Saen Soil Series : Ks) ในบริเวณแปลง
ทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

1.6 เมล็ดพันธุ์กล้าไม้

1.6.1 เมล็ดพันธุ์แดง (*Xylia xylocarpa*)

1.6.2 เมล็ดพันธุ์นทรี่ป้าน (*Peltophorum pterocarpum*)

1.6.3 เมล็ดพันธุ์ประคูป่า (*Pterocarpus macrocarpus*)

1.7 วัสดุสำหรับการย่อยสลาย

1.7.1 กระจกพลาสติกที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 นิ้ว สูง 7 นิ้ว

1.7.2 ถุงผ้าขาวบางขนาด 20 x 30 ตารางเซนติเมตร สำหรับใส่บรรจุภัณฑ์กระจกจากวัสดุเหลือทิ้ง (mesh bag) และฝังลงในดินเพื่อศึกษาการย่อยสลาย

1.7.3 บรรจุภัณฑ์กระจกจากวัสดุเหลือทิ้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 3.5 นิ้ว

1.7.4 ดินชุดกำแพงแสน (Kamphaeng Saen Soil Series : Ks) ในบริเวณแปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

1.8 สารเคมีที่ใช้เตรียมสารละลาย

1.8.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) (Merck, ประเทศเยอรมนี)

1.8.2 โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate, Na₂CO₃) (Merck, ประเทศเยอรมนี)

1.8.3 โซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรอส (sodium sulphate anhydrous, Na₂SO₄) (AJAX Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)

1.8.4 กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 98 % (sulfuric acid, H₂SO₄) (Merck, ประเทศเยอรมนี)

1.8.5 แบเรียมคลอไรด์ (barium chloride, BaCl₂) (Merck, ประเทศเยอรมนี)

1.8.6 แอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulphate, (NH₄)₂SO₄) (AJAX Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)

1.8.7 แอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate, (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O) (AJAX Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)

1.8.8 แอมโมเนียมเมทาวานาเดต (ammonium metavanadate, NH₄VO₃) (AJAX Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)

1.8.9 แอมโมเนียมอะซิเตต (ammonium acetate, CH₃COONH₄) (AJAX Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)

- 1.8.10 แอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟต (ammonium ferrous sulphate, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (AJAX Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)
- 1.8.11 โพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) (Merck, ประเทศเยอรมนี)
- 1.8.12 โพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulphate, K_2SO_4) (AJAX Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)
- 1.8.13 คอปเปอร์ซัลเฟต (copper (II) sulphate, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (AJAX Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)
- 1.8.14 เฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulphate, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (AJAX Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)
- 1.8.15 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) (Merck, ประเทศเยอรมนี)
- 1.8.16 กรดบอริก (boric acid, H_3BO_3) (AJAX Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)
- 1.8.17 กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) (AJAX Finechem, ประเทศออสเตรเลีย)
- 1.8.18 ออร์โทฟีแนนโทรีน (o-phenanthroline ferrous sulfate indicator)
- 1.8.19 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (petroleum ether) (Lab-scan, ประเทศไทย)
- 1.8.20 แอลกอฮอล์
- 1.8.21 น้ำกลั่น

2. อุปกรณ์และเครื่องมือ

2.1 เครื่องมือสำหรับขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กระดาษจากวัสดุเหลือทิ้ง

- 2.1.1 เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก (hydrau press machine รุ่น PML-10) (Pamalyne, ประเทศไทย)
- 2.1.2 เครื่องบดย่อย (hammer mill) (TUC ,ประเทศไทย)
- 2.1.3 เครื่องให้ความร้อน (hot plate รุ่น SP46910-26) (Branstead Thermolyne Corporation, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 2.1.4 เครื่องผสมสาร (dynamic paper chemistry jar รุ่น E284) (Electro-Craft Servo Product, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.1.5 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (รุ่น AT400) (Mettler Toledo, ประเทศไทย)

2.1.6 เครื่องชั่งทศนิยม 1 ตำแหน่ง (รุ่น AT400) (Sartorius, ประเทศเยอรมนี)

2.1.7 เตาอบ (stabil-term gravity) (Blue M Electric Company, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.1.8 ตะแกรงร่อน ขนาด 0.5 มิลลิเมตร (sieve) (Retsch, ประเทศเยอรมนี)

2.1.9 ตะแกรงร่อน ขนาด 2 มิลลิเมตร (sieve) (Retsch, ประเทศเยอรมนี)

2.1.10 แม่พิมพ์เหล็กขึ้นรูป (steel mold)

2.1.11 อุโมงค์ลมร้อน (heat tunnel)

2.2 เครื่องทดสอบบรรจุภัณฑ์กระดาษ

2.2.1 เครื่องวัดความชื้น (moisture analyzer รุ่น HR 73) (Mettler Toledo, ประเทศไทย)

2.2.2 เครื่องทดสอบความหนา (thickness tester รุ่น ID-C 112BS) (Mitutoyo, ประเทศญี่ปุ่น)

2.2.3 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกดทับ (compression test machine รุ่น 350) (Rochdale, ประเทศอังกฤษ)

2.2.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope รุ่น JSM-5600LV) (JEOL, ประเทศญี่ปุ่น)

2.2.5 เครื่องทดสอบความต้านทานการตกกระแทก (drop resistance)

2.2.6 กล้องถ่ายรูป (รุ่น EXILIM) (Casio, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.3 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินและกระดาษ

2.3.1 เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH meter รุ่น 420) (Oakton, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.3.2 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer รุ่น Spectronic 21) (Milton roy company, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.3.3 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity meter รุ่น 4010) (Jenway, ประเทศอังกฤษ)

2.3.4 เครื่องวัดปริมาณโลหะโดยการดูดซับ (atomic absorption spectrophotometer รุ่น SpectrAA 229 FS) (Varian, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.3.5 เครื่องกลั่นวิเคราะห์ไนโตรเจน (micro-kjeldahl distillation apparatus รุ่น VAP20) (Gerhardt, ประเทศเยอรมนี)

2.3.6 เครื่องย่อย (digestion apparatus รุ่น Ger 704000) (Gerhardt, ประเทศเยอรมนี)

2.3.7 เครื่องผสมสาร (vortex mixer รุ่น 1) (Genie, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.3.8 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง (analytical balance รุ่น CP 323S) (Sartorius, ประเทศเยอรมนี)

2.3.9 เตาเผา (muffle furnace รุ่น CWF1200) (Carbolite, ประเทศอังกฤษ)

2.3.10 เตาอบ (hot air oven รุ่น UM500) (Mettler, ประเทศเยอรมนี)

2.3.11 ตู้ดูดควัน (fume hood) (Genconlab, ประเทศไทย)

2.3.12 เครื่องเขย่า (shaker)

2.3.13 เครื่องกระจายสารละลาย (dispenser)

2.3.14 ถ้วยวัดความชื้น (moisture can)

2.4 เครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง

2.4.1 เครื่องย่อยโปรตีน (kjeltec system digester รุ่น 2006) (Tacator, ประเทศสวีเดน)

2.4.2 เครื่องกลั่นวิเคราะห์โปรตีน (kjeltec-distilling unit รุ่น 1002) (Tacator, ประเทศสวีเดน)

2.4.3 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (soxtec system รุ่น HT1043-001) (Tacator, ประเทศสวีเดน)

2.4.4 เครื่องสกัดไขมัน (soxhlet apparatus รุ่น B- 428)

2.4.5 เครื่องเหวี่ยง (centrifugal separator) (Neng Shin Machinery Works, ประเทศไทย)

2.4.6 เตาอบ (stabil-term gravity) (Blue M Electric Company, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.4.7 โถแก้วสูญญากาศ (dessicator)

2.4.8 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (crucible)

2.5 เครื่องมือสำหรับการเก็บตัวอย่างพืช

2.5.1 เครื่องวัดค่าความเขียวของใบ (chlorophyll meter รุ่น SPAD-502) (Minolta, ประเทศญี่ปุ่น)

2.5.2 มีดหรือกรรไกรสำหรับเก็บตัวอย่างพืช

2.5.3 ถังสีน้ำตาล

2.5.4 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์

2.5.5 ไม้บรรทัดสำหรับวัดความสูง

วิธีการ

1. ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม กากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย และแป้งมันสำปะหลัง ดังต่อไปนี้คือ

1.1 กากตะกอนน้ำมันปาล์ม

นำตัวอย่างกากตะกอนน้ำมันปาล์ม จากบริษัทยูนิปาล์ม อินดัสทรี จำกัด มาผึ่งให้แห้ง (air dry) จากนั้นนำมาบดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างกากตะกอนน้ำมันปาล์มไว้ในถุงเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

1.1.1 หาค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของกากตะกอนน้ำมันปาล์มโดยใช้อัตราส่วนของตัวอย่างกากตะกอนน้ำมันปาล์มต่อน้ำ 3:50 ใช้แท่งแก้วคนให้ตัวอย่างกากตะกอนน้ำมันปาล์มและน้ำให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีให้ตกตะกอน และวัดค่าความเป็นกรดเป็นค่าบริเวณสารละลายโดยใช้เครื่อง pH meter (AOAC, 2000)

1.1.2 หาค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) ของกากตะกอนน้ำมันปาล์มโดยใช้อัตราส่วนตัวอย่างกากตะกอนน้ำมันปาล์มต่อน้ำเท่ากับ 1:10 คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 12 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง electrical conductivity meter (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548)

1.1.3 หาค่าประกอบอินทรีย์วัตถุ (organic matter, OM) โดยวิธี gravimetric loss on ignition นำตัวอย่างกากตะกอนน้ำมันปาล์มมาอบใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง จากนั้นเผากากตะกอนน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (AOAC, 2000)

1.1.4 หาสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) โดยนำอินทรีย์สารชนิดคาร์บอนและไนโตรเจนที่หาได้จากข้อ 1.1.3 มาใช้ในการคำนวณ

1.1.5 หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม โดยทำการย่อยตัวอย่างกากตะกอนน้ำมันปาล์มด้วยสารละลาย digestion mixture ซึ่งประกอบด้วย

$\text{H}_2\text{SO}_4:\text{Na}_2\text{SO}_4:\text{Se}$ ในอัตราส่วน 100:10:1 จากนั้น นำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธีการกลั่น (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

1.1.6 หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม โดยทำการย่อยตัวอย่างกากตะกอนน้ำมันปาล์มด้วย digestion mixture ซึ่งประกอบด้วย $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{Na}_2\text{SO}_4:\text{Se}$ ในอัตราส่วน 100:10:1 นำสารละลายตัวอย่างไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย แอมโมเนียมโมลิบเดต $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ และแอมโมเนียมเมทวานาเตท (NH_4VO_3) จะได้สารประกอบเชิงซ้อนสีเหลืองใส จากนั้นวัดความเข้มสีของสารละลายด้วยเครื่อง Spectronic 21 ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

1.1.7 หาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) ของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม โดยทำการย่อยตัวอย่างกากตะกอนน้ำมันปาล์มด้วย digestion mixture ซึ่งประกอบด้วย $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{Na}_2\text{SO}_4:\text{Se}$ ในอัตราส่วน 100:10:1 นำสารละลายตัวอย่างที่ได้ไปวัดความเข้มข้นของโพแทสเซียมด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

1.1.8 หาปริมาณกำมะถันทั้งหมด (total sulfur) ของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม โดยทำการย่อยตัวอย่างกากตะกอนน้ำมันปาล์มด้วย acid mixture ซึ่งประกอบด้วย $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ ในอัตราส่วน 2:1 นำสารละลายตัวอย่างไปเติมสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (NH_4OAc) ผงแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) และน้ำยา gum acacia เพื่อให้ทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารละลายสีขาวขุ่น แล้ววัดความขุ่นของสารละลายด้วยเครื่อง Spectronic 21 ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร (อรพินท์, 2544)

1.1.9 หาปริมาณของแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีทั้งหมดของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม โดยทำการย่อยตัวอย่างกากตะกอนน้ำมันปาล์มด้วย acid mixture ซึ่งประกอบด้วย $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HClO}_4$ ในอัตราส่วน 5:1:2 นำสารละลายตัวอย่างไปวัดความเข้มข้นของธาตุชนิดต่างๆ ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

1.1.10 หาปริมาณไขมันของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม โดยการสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ 150 มิลลิลิตร นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นทำการระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ให้หมด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C แล้วนำมาชั่ง จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม (AOAC, 1998)

1.1.11 หาปริมาณเส้นใยของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม โดยทำการย่อยตัวอย่างด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 0.225 นอร์มอล และต้มให้เดือดนาน 30 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.313 นอร์มอล และต้มให้เดือดนาน 30 นาที แล้วล้างออกด้วยแอลกอฮอล์ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเทตัวอย่างกากตะกอนน้ำมันปาล์มลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ (crucible) นำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C แล้วนำมาชั่ง จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม (AOAC, 1998)

1.2 กากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

นำตัวอย่างกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย มาผึ่งให้แห้ง (air dry) จากนั้นนำมาบดด้วยเครื่องบดตัวอย่าง แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียไว้ในถุงเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

1.2.1 หาค่าความเป็นกรดค่า (pH) ใช้วิธีการเดียวกับข้อ 1.1.1

1.2.2 หาค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) โดยใช้วิธีการเดียวกับข้อ 1.1.2

1.2.3 หาปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter, OM) โดยใช้วิธีการเดียวกับข้อ 1.1.3

1.2.4 หาสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ใช้วิธีการเดียวกับข้อ 1.1.4

1.2.5 หาไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ใช้วิธีการเดียวกับข้อ 1.1.5

1.2.6 หาฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ใช้วิธีการเดียวกับข้อ 1.1.6

1.2.7 หาโพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) ใช้วิธีการเดียวกับข้อ 1.1.7

1.2.8 หากำมะถันทั้งหมด (total sulfur) ใช้วิธีการเดียวกับข้อ 1.1.8

1.2.9 หาแคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีทั้งหมด ใช้วิธีการเดียวกับข้อ 1.1.9

1.2.10 หาปริมาณเส้นใยของกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดน้ำเสีย ใช้วิธีการเดียวกับข้อ 1.1.11

1.3 แป้งมันสำปะหลัง

นำตัวอย่างแป้งมันสำปะหลัง (ตราปลามังกร) มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธี proximate analysis (AOAC, 1998) ได้แก่ ความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, ปริมาณอะมิโลส และเถ้า

2. ศึกษาการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม กากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดน้ำเสีย และสารเติมแต่ง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ คือ

นำกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดน้ำเสียมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์กระถาง ร่วมกับสารละลายแป้งเปียกเพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะ รวมทั้งปุ๋ยเคมี เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหาร โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลองจำนวน 6 สูตร (formulas) ดังตารางที่ 10

2.2 นำส่วนผสมในแต่ละสูตร มาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นนำส่วนผสมดังกล่าวใส่ลงในแม่พิมพ์ตัวเมีย และกดทับด้วยแม่พิมพ์ตัวผู้ จากนั้นทำการกดอัดขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์กระถางด้วยเครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก ด้วยความดัน 12 บาร์ เป็นเวลา 1 นาที ณ อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำบรรจุภัณฑ์กระถางที่ได้ภายหลังจากการกดอัดมาผึ่งแห้งในที่ร่ม เพื่อป้องกันการหดตัว ทำให้เกิดการแตกและเสียรูปทรงได้ (สุนทรและคณะ, 2541)

ตารางที่ 10 อัตราส่วนผสมของบรรจุภัณฑ์กระถางจากวัสดุเหลือทิ้ง

สูตร (formulas)	กากตะกอน น้ำมันปาล์ม (POS) (g)	กากตะกอนเชื้อ กระดาษจากบ่อบำบัด น้ำเสีย (AS) (g)	ปุ๋ยสูตร15-15-15 (F) (g)	สารละลาย แป้งเปียก (g)
T1 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	100	0	0	35
T2 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	75	25	0	35
T3 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	100	0	1	35
T4 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	75	25	1	35
T5 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	100	0	2	35
T6 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂	75	25	2	35

หมายเหตุ อัตราส่วนของส่วนผสมต่อหนึ่งกระถาง

2.3 นำบรรจุภัณฑ์กระถางที่ได้ภายหลังจากการฝังแห้งไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นเก็บตัวอย่างบรรจุภัณฑ์กระถางไว้ในถุง เพื่อนำไปวิเคราะห์และทดสอบต่อไป โดยมีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

2.3.1 หาค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ใช้วิธีการเดียวกับข้อ 1.1.1

2.3.2 หาค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) โดยใช้วิธีการเดียวกับข้อ 1.1.2

2.3.3 หาปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter, OM) โดยใช้วิธีการเดียวกับข้อ 1.1.3

2.3.4 หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) โดยใช้วิธีการเดียวกับ 1.1.5

2.3.5 หาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) โดยใช้วิธีการเดียวกับ 1.1.6

2.3.6 หาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) โดยใช้วิธีการเดียวกับ 1.1.7

2.3.7 หาปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด (total calcium and magnesium) โดยใช้วิธีการทดลองเดียวกับ 1.1.9

2.3.8 หาความหนา (thickness) คัดแปลงจากมาตรฐาน TAPPI T 411 om-89 (ดังภาคผนวก ก)

2.3.9 หาความชื้น (moisture) คัดแปลงจากมาตรฐาน TAPPI T 412 om-88 (ดังภาคผนวก ก)

2.3.10 หาความต้านทานแรงกด (compression resistance test) ของบรรจุภัณฑ์กระดาษ คัดแปลงจากมาตรฐาน ASTM D 642 ทดสอบที่ความเร็ว 30 มิลลิเมตรต่อนาที และวัดแรงกดที่การเสียรูป 15 มิลลิเมตร (ดังภาคผนวก ก)

2.3.11 ศึกษาความต้านทานการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของบรรจุภัณฑ์กระดาษ คัดแปลงจากมาตรฐาน TAPPI T441 om-90 โดยการนำวัสดุ (โอะเอซิส) มาตัดให้มีขนาดเท่ากับมิติภายในของบรรจุภัณฑ์กระดาษ จากนั้นนำวัสดุดังกล่าวไปแช่น้ำให้วัสดุอิ่มตัว จากนั้นนำวัสดุดังกล่าววางลงด้านในของบรรจุภัณฑ์กระดาษ แล้วทิ้งไว้ที่ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140 และ 150 นาที ซึ่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้ (ดังภาคผนวก ก)

2.3.12 ศึกษาสมบัติทางกายวิภาคของบรรจุภัณฑ์กระดาษโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดย scanning electron microscopy (SEM)

2.3.13 ศึกษาความต้านทานการตกกระแทก (drop resistance) ของบรรจุภัณฑ์กระดาษ คัดแปลงจากมาตรฐาน ASTM D 5276 ที่มีการปล่อยให้ตกกระแทก ณ ความสูงคงที่ โดยกำหนดความสูงของการตกกระแทกที่ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 เซนติเมตร ทำการตกกระแทกจนกระทั่งบรรจุภัณฑ์กระดาษไม่สามารถใช้งานได้

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 17

3. ศึกษาอิทธิพลของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากวัสดุเหลือทิ้งที่มีต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ป่าในระยะแรก

ในการศึกษาการเจริญเติบโตของกล้าไม้ป่าทั้ง 3 ชนิด คือ นนทรีบ้าน แดง และประดู่ป่า เป็นเวลา 3 เดือน โดยใช้ขุยมะพร้าว และทรายละเอียดเป็นวัสดุในการเพาะกล้า ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร (จรวยพร, 2547) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

3.1 ย้ายต้นกล้าไม้ป่าทั้ง 3 ชนิด (นนทรีบ้าน แดง และประดู่ป่า) เมื่ออายุครบ 1 เดือน ที่มีความแข็งแรงสมบูรณ์จำนวน 72 ต้นต่อพืชลงในบรรจุภัณฑ์กระดาษทั้ง 6 สูตร (ดังตารางที่ 10) โดยใช้ดิน ทราย และขุยมะพร้าวเป็นวัสดุปลูก ในอัตราส่วน 1:1:1 โดยปริมาตร (จันรรจ์ และคณะ, 2532)

3.2 วางบรรจุภัณฑ์กระดาษต้นกล้าไม้ป่าให้มีระยะห่าง 15 เซนติเมตร บนตะแกรงพลาสติก สีเขียว เพื่อช่วยในการระบายน้ำ และป้องกันก้นของบรรจุภัณฑ์กระดาษบวม (สุนทรและคณะ, 2541)

3.3 ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากวัสดุเหลือทิ้งต่อการเจริญเติบโต และมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินที่ระยะเวลา 1, 2 และ 3 เดือน โดยจำแนกทรายละเอียดได้ดังนี้

3.3.1 ข้อมูลของดินนนทรีบ้าน ได้แก่ ความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ ค่าความเขียวของใบ (SPAD reading) และมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดิน (เหนือดิน 0.5 เซนติเมตร)

3.3.2 ข้อมูลของดินแดง ได้แก่ ความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ ค่าความเขียวของใบ (SPAD reading) และมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดิน (เหนือดิน 0.5 เซนติเมตร)

3.3.3 ข้อมูลของดินประดู่ป่า ได้แก่ ความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ ค่าความเขียวของใบ (SPAD reading) และมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดิน (เหนือดิน 0.5 เซนติเมตร)

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 17

4. ศึกษาสภาวะการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 และ 15-30 เซนติเมตรจากผิวดิน จากแปลงทดลองของภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบรบกวนโครงสร้างนำดินมาผึ่งแห้งในที่ร่ม จากนั้นบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร นำตัวอย่างดินไปใช้เป็นวัสดุในการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 6 สูตร โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1 นำบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 6 สูตร (ดังตารางที่ 10) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 3.5 นิ้ว มาศึกษาการย่อยสลายโดยการฝัง (burial test) ภายใต้งไร่นาระบบเปิดโดยวิธีของ *Thongjoo et al.* (2005) ซึ่งดัดแปลงจาก *Moritrulka et al.* (2000)

4.2 ชั่งบรรจุภัณฑ์กระถางทั้ง 6 สูตร (ดังตารางที่ 10) โดยบรรจุกระถางในถุงผ้า (mesh bag) ขนาด 20 x 30 ตารางเซนติเมตร จากนั้นชั่งและบันทึกน้ำหนักเริ่มต้น (m_1) ไว้

4.3 นำถุงผ้าดังกล่าวไปฝังในดินที่เก็บตัวอย่างมาบรรจุในกระถางพลาสติกสีแดงอิฐ โดยในแต่ละกระถางจะประกอบด้วยถุงผ้าที่บรรจุกระถางจำนวน 1 ถุง ที่ระดับความลึก 3 เซนติเมตรจากผิวดิน โดยทำการย่อยสลายที่จำลองสภาพความชื้นดิน 3 สภาพ คือ สภาพแห้ง สภาพรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพน้ำท่วมขัง แล้วทำการเก็บข้อมูลการย่อยสลายที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน ตามลำดับ

4.4 ขุดถุงผ้าด้วยพลั่วมือในแต่ละกระถาง (ตามสูตร) เมื่อครบระยะเวลาการย่อยสลายที่ 1, 2 และ 3 เดือน ตามลำดับ

4.5 นำถุงผ้าไปทำความสะอาดด้วยน้ำ แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2 วัน ชั่งและบันทึกน้ำหนักอีกครั้ง (m_2)

4.6 จำนวนการย่อยสลาย (decomposition) ของบรรจุภัณฑ์กระถางโดย Thongjoo *et al.*, (2005)

$$\text{Decomposition (\%)} = \frac{[m_1 - m_2]}{m_1} \times 100$$

4.7 เก็บข้อมูลอุณหภูมิในระหว่างการย่อยสลาย ทำการวัดอุณหภูมิทุกวัน ตลอดระยะเวลาการย่อยสลาย โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ วัดที่ตำแหน่ง 15 เซนติเมตรตรงกลางกระถาง จากด้านบนของกระถางพลาสติกสีแดงอิฐ นานประมาณ 15 นาที จึงอ่านค่า

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 17

5. ศึกษาผลกระทบของสภาวะการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระถางต่อสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารของดินบางประการ

สุ่มเก็บตัวอย่างดินจากกระถางพลาสติกภายหลังจากการย่อยสลายบรรจุภัณฑ์กระถางในสภาพความชื้นทั้ง 3 สภาพ คือสภาพแห้ง สภาพรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพน้ำขังทั้ง 6 สูตรที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน มาประมาณ 1 กิโลกรัม (สูตรละ 3 ข้ว) นำดินมาผึ่งแห้งในที่ร่ม จากนั้นบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 และ 2 มิลลิเมตร โดยมีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

5.1 หาค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของดิน โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1 วัดค่า pH ของ suspension ด้วย pH meter (Thomas, 1996)

5.2 หาค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) ของดิน โดยใช้อัตราส่วนตัวอย่างดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 คนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 12 ชั่วโมง แล้วนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง electrical conductivity meter (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548)

5.3 หาปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter, OM) โดยใช้วิธี Walkley and Black Titration (Faithfull, 2002)

5.4 หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ของดิน โดยการย่อยตัวอย่างดินด้วยสารละลาย digestion mixture ซึ่งประกอบด้วย $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{Na}_2\text{SO}_4:\text{Se}$ ในอัตราส่วน 100:10:1 นำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธีการกลั่น (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

5.5 หาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) ของดิน โดยสกัดตัวอย่างดินด้วยสารละลาย Bray II แล้วนำสารละลายตัวอย่างไปทำปฏิกิริยากับกรดแอสคอบิก ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินใส วัดความเข้มสีของสารละลายด้วยเครื่อง Spectronic 21 ที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

5.6 หาปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) ของดิน โดยนำตัวอย่างดินไปสกัดด้วย 1 นอร์มอล แอมโมเนียมอะซิเตต (1 N NH_4OAc) (pH 7.00) แล้วนำสารละลายตัวอย่างไปวัดความเข้มข้นของธาตุชนิดต่างๆ ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และจรงค์, 2542)

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 17

6. สถานที่ทำการทดลอง

6.1 ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุและวัสดุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

6.2 ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

6.3 ห้องปฏิบัติการเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของดิน ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

6.4 โรงเรือนปลูกพืชทดลอง ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

7. ระยะเวลาทำการวิจัย

การทดลองเริ่มตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2551 และสิ้นสุดเมื่อเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552

ผลและวิจารณ์

1. สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 11) พบว่า กากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีความเป็นกรดต่ำ (pH) สูงกว่ากากตะกอนน้ำมันปาล์ม แต่มีค่าการนำไฟฟ้า (EC) และปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่า คือ 2.03 dS/m และ 65.75 % ตามลำดับ สำหรับปริมาณไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด พบว่า กากตะกอนน้ำมันปาล์มมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย คือ 1.930, 1.377, 0.997 และ 0.331 % ตามลำดับ ส่วนกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฟอสฟอรัส แมกนีเซียม ทองแดง สังกะสี โซเดียม ซัลเฟอร์ทั้งหมด และปริมาณเยื่อใยสูงกว่ากากตะกอนปาล์มน้ำมันคือ 1.888, 0.016, 0.009, 0.023, 0.097, 0.745 และ 30.480 % ตามลำดับ โดยที่กากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) และปริมาณเหล็กทั้งหมดสูง คือ 20.84 และ 0.206 % โดยมีค่าใกล้เคียงกับกากตะกอนน้ำมันปาล์ม นอกจากนี้ยังพบว่า มีปริมาณน้ำมันหลงเหลืออยู่ในกากตะกอนน้ำมันปาล์มประมาณ 17.72 %

กากตะกอนน้ำเสียเมื่อถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายแล้วจะปลดปล่อยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อย่างช้าๆ และพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Goring and Hamaker, 1972) ดังนั้น กากตะกอนน้ำเสียจึงถูกนำมาใช้ผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด นับว่าเป็นการลดต้นทุนการผลิตของโรงงานและเกษตรกรได้ทางหนึ่ง เพราะกากตะกอนน้ำเสียเป็นอินทรีย์วัตถุเหลือใช้จากโรงงาน มีลักษณะเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ดี ประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และธาตุอื่นๆ รวมทั้งมีอินทรีย์วัตถุในปริมาณสูง การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินดีขึ้น และยังช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินได้อีกด้วย (วิโรจน์, 2528) ดังนั้นการใช้อินทรีย์วัตถุเหลือใช้อย่างต่อเนื่องในระยะยาวอาจส่งผลให้ดินมีความความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น (ถนัด, 2533)

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยของสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของกากตะกอนน้ำมันปาล์มกับกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

รายการที่วิเคราะห์	กากตะกอนน้ำมันปาล์ม (POS)	กากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อ บำบัดน้ำเสีย (AS)
ความชื้น (%)	6.560	8.890
pH (3:50)	5.090	7.410
EC (1:10 dS/m)	4.990	2.030
C/N ratio	20.240	20.840
อินทรีย์วัตถุ (%)	78.120	65.750
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	1.930	1.577
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	1.414	1.888
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	1.377	0.366
แคลเซียมทั้งหมด (%)	0.997	0.946
แมกนีเซียมทั้งหมด (%)	0.331	0.211
เหล็กทั้งหมด (%)	0.201	0.206
แมงกานีสทั้งหมด (%)	0.008	0.016
ทองแดงทั้งหมด (%)	0.004	0.009
สังกะสีทั้งหมด (%)	0.005	0.023
โซเดียมทั้งหมด (%)	0.011	0.097
กำมะถันทั้งหมด (%)	0.143	0.745
น้ำมัน (%)	17.720	-
เยื่อใย (%)	10.035	30.480

กากตะกอนน้ำเสียน่าจะมีปริมาณสารพิษต่างๆ อาทิเช่น aldehydes, ketones, alcohols, unsaturated หรือ organic acid (อานวย, 2528) แต่การใช้กากตะกอนน้ำเสียติดต่อกันระยะยาวจะส่งผลให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม อินทรีย์วัตถุในดิน และค่าการนำไฟฟ้าของดินในระดับเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ชัยสิทธิ์, 2538) อย่างไรก็ตาม การใส่กากตะกอนน้ำเสียเพื่อเป็นปุ๋ยอินทรีย์อาจมีทั้งผลดีและผลเสียต่อพืช ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกากตะกอนน้ำเสียและปริมาณที่ใส่ลงในดิน การใส่กากตะกอนน้ำเสียในปริมาณที่สูงเกินไปอาจเกิดผลเสียต่อพืชได้ เช่น เกิดการ

สะสมเกลือและสารพิษจากกากตะกอนน้ำเสียหรือความไม่สมดุลของธาตุอาหารได้ (นิภา, 2524) หรืออีกนัยหนึ่งกลับเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนให้กับดินนั่นเอง (Thongjoo *et al.*, 2006)

2. องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังที่ทำการศึกษาในการวิจัยนี้สอดคล้องกับรายงานการทดลองของปริตา และคณะ (2544) เนื่องจากพบปริมาณอะมิโลสและปริมาณความชื้นที่ระดับร้อยละ 16.04 และ 10.52 ตามลำดับ และองค์ประกอบของโปรตีน ไขมัน และเถ้าน้อยกว่าร้อยละ 1.00 (ตารางที่ 12) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ปริมาณอะมิโลสมีผลต่อการเกิด paste ของแป้ง เนื่องจากปริมาณอะมิโลสที่สูงจะเกิด paste ได้ดี แต่เนื่องจากโครงสร้างของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินจะมีผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสที่แท้จริงของแป้งได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยในเรื่องโครงสร้างของสตาร์ชด้วย (รุ่งทิพา และคณะ, 2547)

ตารางที่ 12 องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง

องค์ประกอบ	แป้งมันสำปะหลัง (ร้อยละ)
โปรตีน	0.13
ไขมัน	0.21
เถ้า	0.25
อะมิโลส	16.04
ความชื้น	10.52

3. การเตรียมบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากปอ บำบัดน้ำเสีย

บรรจุภัณฑ์กระถางขึ้นรูปจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และหรือกากตะกอนเยื่อกระดาษจากปอบำบัดน้ำเสียที่เตรียมได้โดยวิธีการกดอัดด้วยเครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก แสดงไว้ดังภาพที่



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 บรรจุภัณฑ์กระถางขึ้นรูปจากวัสดุเหลือทิ้งด้วยเครื่องกดระบบไฮโดรลิก (ก) กากตะกอนน้ำมันปาล์ม (ข) กากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

4. สมบัติต่างๆ ของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียก่อนการทดลอง

จากการศึกษาสมบัติทางเคมีของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียก่อนการทดลอง พบว่า สูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้องค์ประกอบทางเคมีของบรรจุภัณฑ์กระถางมีค่าสูงกว่าสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย แต่ในกรณีของปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณแคลเซียมทั้งหมดให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 13)

4.1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของบรรจุภัณฑ์กระถางให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม กากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียและปุ๋ยเคมี คือ สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) สูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$)

และสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลทำให้ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) สูงกว่าสูตรที่มีเพียงส่วนผสมของกากตะกอนน้ำมันปาล์มและ/หรือการใส่ปุ๋ยเคมี นั่นคือ สูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) และสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$)

4.1.2 ค่าการนำไฟฟ้า (EC)

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของบรรจุภัณฑ์กระถางให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) และสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) มีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้า (EC) มากกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ซึ่งได้แก่ สูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) สูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) และสูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$)

4.1.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของบรรจุภัณฑ์กระถาง ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) สูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) และสูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) มีผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด คือ 2.112, 2.081, 2.030 และ 1.993 % ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำที่สุด คือ 1.635 และ 1.625 % ตามลำดับ

4.1.4 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของบรรจุภัณฑ์กระถาง ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) และสูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด คือ 1.222 และ 1.165 % ตามลำดับ รองลงมาคือสูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) และสูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) ส่วนสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำที่สุดคือ 0.812 %

4.1.5 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของบรรจุภัณฑ์กระถาง ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยสูตรที่ 5 ($POS_{100} + AS_0 + F_2$) มีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดสูงที่สุด คือ 1.657 % รองลงมา คือ สูตรที่ 3 ($POS_{100} + AS_0 + F_1$) ส่วนสูตรที่ 2 ($POS_{75} + AS_{25} + F_0$) มีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดต่ำที่สุด คือ 1.162 %

4.1.6 ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมด

ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดของบรรจุภัณฑ์กระถาง ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่ 3 ($POS_{100} + AS_0 + F_1$) และสูตรที่ 6 ($POS_{75} + AS_{25} + F_2$) มีผลให้ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดสูงที่สุด คือ 0.354 และ 0.351 % ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตรที่ 5 ($POS_{100} + AS_0 + F_2$) ส่วนสูตรที่ 1 ($POS_{100} + AS_0 + F_0$) มีผลให้ปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดต่ำที่สุด คือ 0.289 %

4.2 สมบัติของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาศจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

4.2.1 สมบัติทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์กระถาง

สมบัติทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์กระถางขึ้นรูปจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาศจากบ่อบำบัดน้ำเสีย แสดงไว้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 13 สมบัติทางเคมีของกระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียก่อนการทดลอง

สูตร	pH (3:50)	EC (1:10, dS/m)	Organic matter (%)	Total N (%)	Total P (%)	Total K (%)	Total Ca (%)	Total Mg (%)
T1 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	5.94 ^c	3.16 ^c	67.58	1.632 ^b	0.887 ^{bc}	1.250 ^d	0.878	0.289 ^c
T2 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	6.13 ^b	2.73 ^f	66.81	1.625 ^b	0.812 ^c	1.162 ^e	0.856	0.294 ^{bc}
T3 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	5.92 ^c	4.06 ^b	68.20	1.993 ^a	0.970 ^b	1.485 ^b	0.843	0.354 ^a
T4 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	6.17 ^a	3.38 ^d	67.40	2.030 ^a	1.014 ^b	1.271 ^d	0.850	0.307 ^{bc}
T5 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	5.93 ^c	4.80 ^a	66.84	2.112 ^a	1.222 ^a	1.657 ^a	0.841	0.334 ^{ab}
T6 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂	6.20 ^a	3.91 ^c	65.33	2.081 ^a	1.165 ^a	1.406 ^c	0.829	0.351 ^a
F-test ที่ได้จาก Anova	**	**	ns	**	**	**	ns	*
CV (%)	0.31	1.35	1.44	3.69	8.31	1.31	5.82	7.10

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยใช้ DMRT.

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

ตารางที่ 14 สมบัติทางกายภาพของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

สูตร	ความชื้น (%)	น้ำหนัก (g)	ความหนา (mm)	ความสูง (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)
T1 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	14.762 ^a ±0.691	79.443±1.068	1.804±0.018	9.029±0.037	9.437±0.022
T2 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	12.905 ^b ±0.748	79.224±0.757	1.805±0.015	8.966±0.028	9.418±0.012
T3 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	14.786 ^a ±0.898	80.982±0.688	1.809±0.019	8.998±0.019	9.309±0.120
T4 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	12.889 ^b ±0.857	79.600±0.646	1.810±0.009	9.004±0.022	9.444±0.021
T5 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	14.788 ^a ±0.692	79.600±0.646	1.824±0.018	9.031±0.014	9.404±0.014
T6 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂	12.892 ^b ±0.571	79.811±0.848	1.828±0.021	8.984±0.028	9.421±0.009
F-test ที่ได้จาก Anova	**	ns	ns	ns	ns
CV (%)	8.605	8.835	8.460	8.128	1.527

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยใช้ DMRT.

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

4.2.2 สมบัติเชิงกลของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ก. ความต้านทานแรงกด (compression strength)

ค่าความต้านทานแรงกดของบรรจุภัณฑ์ คือ แรงที่ใช้ในการกดบรรจุภัณฑ์จนเสียหาย (พรชัย, 2550) จากการทดสอบความต้านทานแรงกดของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่การเสียรูปที่ระดับ 15 มิลลิเมตร (ตารางที่ 15) ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) และสูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) ซึ่งเป็นเยื่อใยกากตะกอนน้ำมันปาล์มร้อยละ 100 มีค่าความต้านทานแรงกดต่ำที่สุด เนื่องจากบรรจุภัณฑ์กระถางที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำมันปาล์มเพียงอย่างเดียวอาจจะมีลักษณะความพรุนในโครงสร้างสูงภายใน ดังนั้น การเสียรูปจึงเกิดได้ง่ายกว่าบรรจุภัณฑ์กระถางที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงกดสูงที่สุด เนื่องจากเกิดการยึดเกาะกันของเยื่อใยจากกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียภายในช่องว่างของโครงสร้างเพิ่มขึ้น ดังนั้น ความต้านทานแรงกดจึงมีค่าสูงขึ้น

ข. ความต้านทานการดูดซึมน้ำ (water absorption)

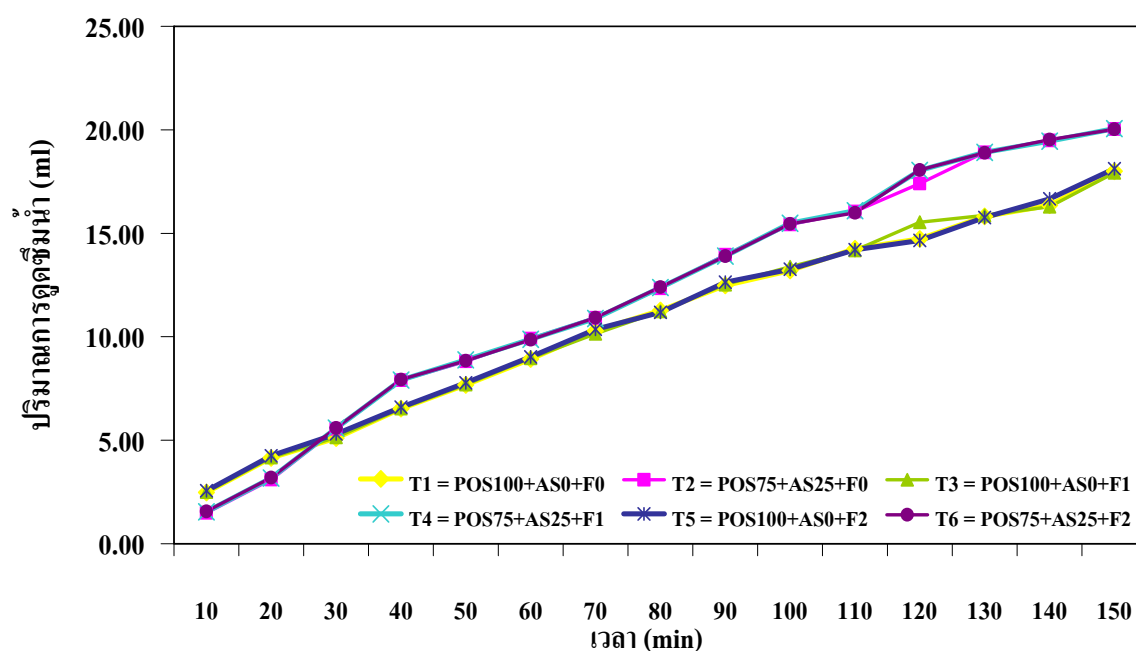
ค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำ เป็นการวัดระยะเวลาที่บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และ/หรือกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียใช้ในการดูดซึมน้ำที่ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140 และ 150 นาที ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 5 และตารางผนวกที่ ข1) กล่าวคือ ในช่วง 20 นาทีแรก สูตรที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม คือ สูตรที่ไม่มีส่วนผสมของกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ สูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) และสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) มีค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำสูงกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียร่วมด้วย อย่างไรก็ตาม เมื่อเวลาในการดูดซึมน้ำสูงกว่า 20 นาที สูตรที่มีส่วนผสมของกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียร่วมด้วย ซึ่งได้แก่ สูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) สูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) และสูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) มีค่าความต้านทานการดูดซึมน้ำสูงกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเส้นใยจากกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียเริ่มมีการดูดซึมน้ำทำให้ปริมาณการดูดซึมน้ำสูงขึ้น

ตารางที่ 15 สมบัติเชิงกลของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

สูตร	ความต้านทานแรงกด (N) ที่การเสียดรูปที่ระดับ 15 mm	ความต้านทานการแตกกระแทก (cm)	
		ก้นบรรจุภัณฑ์	ขอบก้นบรรจุภัณฑ์
T1 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	1483.212 ^b ±52.838	53.60 ^b ±0.48	62.30 ^c ±0.26
T2 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	2541.712 ^a ±30.048	56.20 ^a ±0.20	64.50 ^{ab} ±0.45
T3 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	1487.412 ^b ±59.909	53.00 ^b ±0.47	62.10 ^c ±0.23
T4 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	2543.012 ^a ±38.995	56.30 ^a ±0.21	64.20 ^b ±0.33
T5 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	1486.212 ^b ±42.760	53.30 ^b ±0.45	62.20 ^c ±0.25
T6 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂	2544.412 ^a ±25.395	56.40 ^a ±0.22	65.20 ^a ±0.25
F-test ที่ได้จาก Anova	**	**	**
CV (%)	27.259	3.42	2.47

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยใช้ DMRT.

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$)



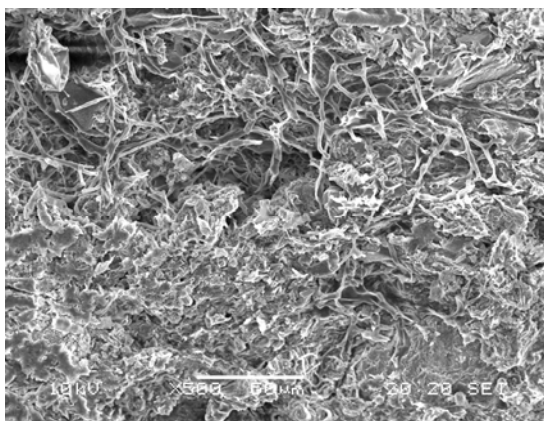
ภาพที่ 5 ปริมาณการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ค. สมบัติทางกายวิภาคของบรรจุภัณฑ์กระถางจากวัสดุเหลือทิ้งจากถลุง
จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM)

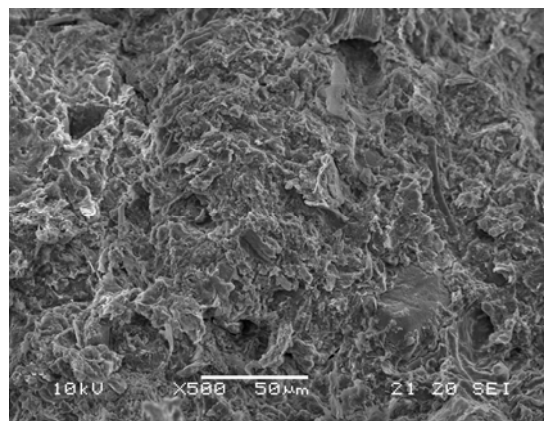
จากการศึกษาสมบัติทางกายวิภาคของบรรจุภัณฑ์กระถางจากวัสดุเหลือทิ้งที่ไม่มีส่วนผสมของกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดน้ำเสียทั้ง 3 สูตร เปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์กระถางจากวัสดุเหลือทิ้งที่มีส่วนผสมของกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดน้ำเสียทั้ง 3 สูตร โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ภาพที่ 6 – 7) พบว่า บรรจุภัณฑ์กระถางจากวัสดุเหลือทิ้งที่มีส่วนผสมของกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดน้ำเสียทั้ง 3 สูตร มีลักษณะเรียบขึ้น ช่องว่างระหว่างโครงสร้างภายในลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์กระถางจากวัสดุเหลือทิ้งที่ไม่มีส่วนผสมของกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดน้ำเสีย ทั้ง 3 สูตร เนื่องจากกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดน้ำเสียที่เติมลงไปทำหน้าที่ยึดเกาะบนพื้นผิวของโครงสร้างภายใน ส่งผลให้โครงสร้างภายในยึดเกาะกันได้ดี ช่องว่างระหว่างโครงสร้างภายในลดลง ดังนั้น การเติมกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดน้ำเสีย จึงเป็นผลทำให้ช่องว่างระหว่างโครงสร้างภายในของบรรจุภัณฑ์ลดลงและส่วนผสมของวัสดุเข้ากันได้ดี บรรจุภัณฑ์จึงมีผิวที่เรียบขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลดีกว่ากระถางที่ไม่ได้เติมกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดน้ำเสีย

ง. ความต้านทานการตกกระแทก (drop resistance)

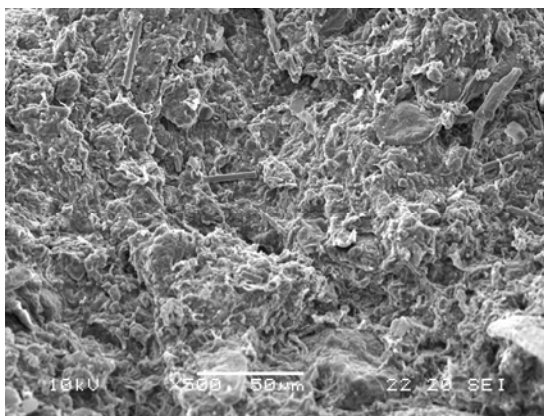
ความต้านทานการตกกระแทก หมายถึง ความสามารถของบรรจุภัณฑ์ ในการต้านแรงกระแทกกับพื้นเมื่อปล่อยให้ตกจากที่สูง เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ (พรชัย, 2550) พบว่า ความต้านทานการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดน้ำเสียทั้ง 2 บริเวณ คือ บริเวณก้น และขอบก้นของบรรจุภัณฑ์กระถาง ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ดังตารางที่ 15) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม คือ สูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) และสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) มีค่าความต้านทานการตกกระแทกต่ำกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดน้ำเสียร่วมด้วย กล่าวคือ สูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) สูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) และสูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) โดยค่าความต้านทานการตกกระแทกที่สูงแสดงให้เห็นถึงความทนทานและศักยภาพในการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ ซึ่งต้องรับแรงขณะใช้งาน (รุ่งอรุณ, 2545) ดังนั้น บรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากเชื้อไยที่มีความแข็งแรงหรือประสานตัวกันได้ดีย่อมมีความต้านทานการตกกระแทกสูง



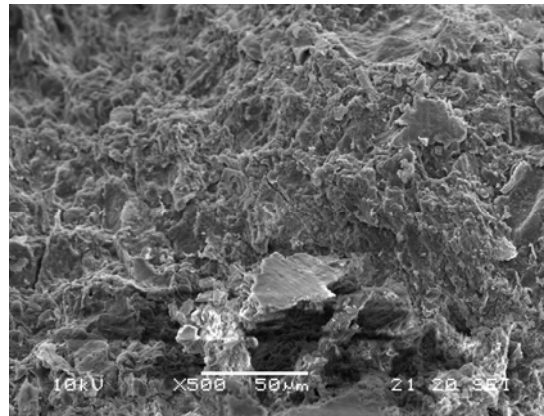
(ก)



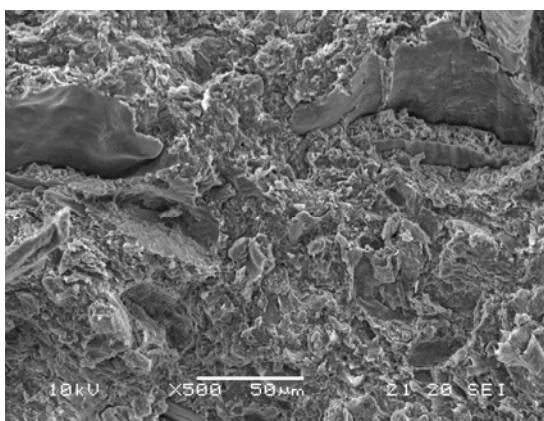
(ข)



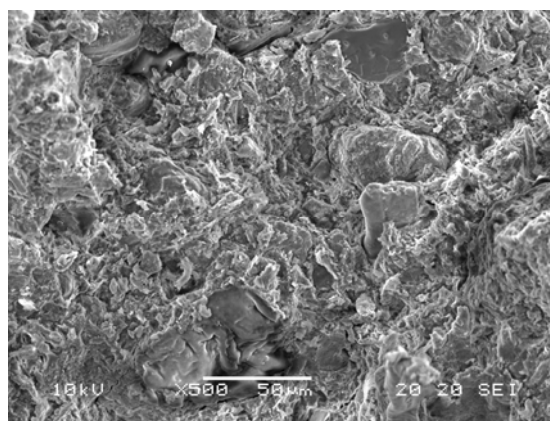
(ค)



(ง)

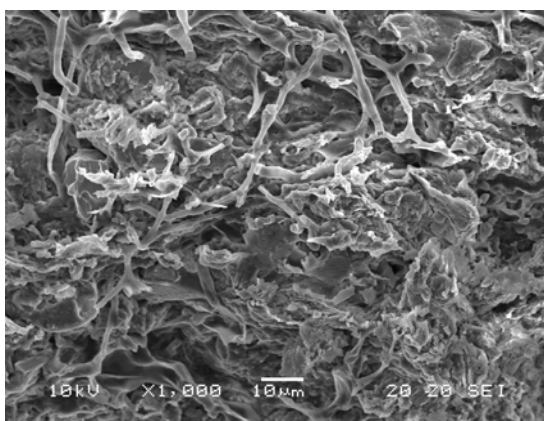


(จ)

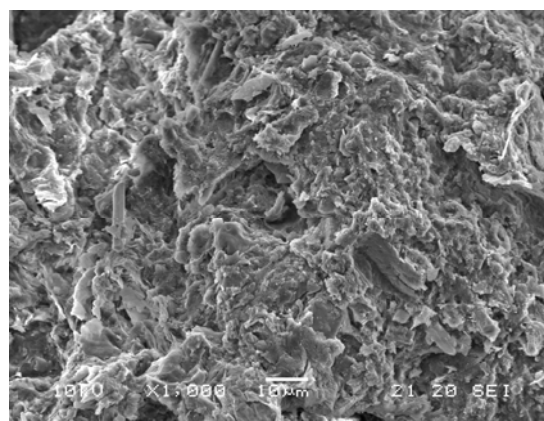


(ฉ)

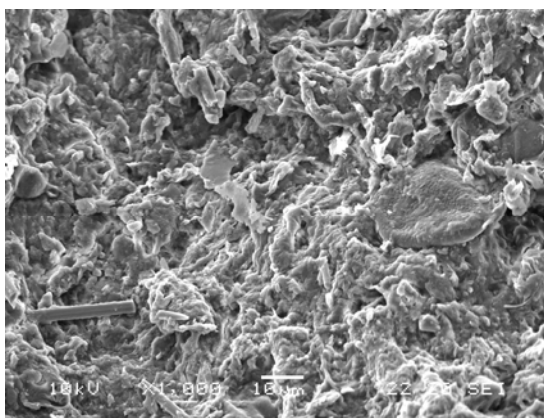
ภาพที่ 6 ลักษณะทางกายวิภาคของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอน
เยื่อกระดาษจากปอป่าบดน้ำเสียที่กำลังขยาย 500 เท่า (ก) สูตรที่ 1 (ข) สูตรที่ 2 (ค) สูตรที่ 3
(ง) สูตรที่ 4 (จ) สูตรที่ 5 (ฉ) สูตรที่ 6



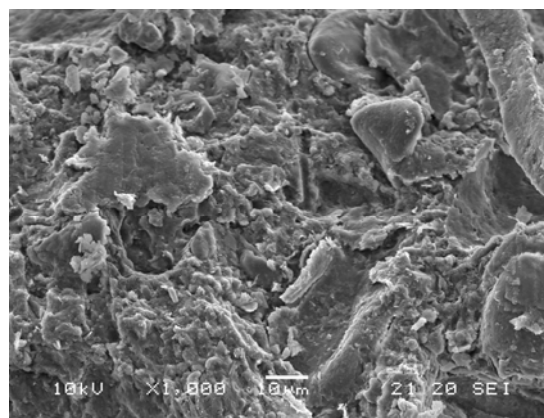
(ก)



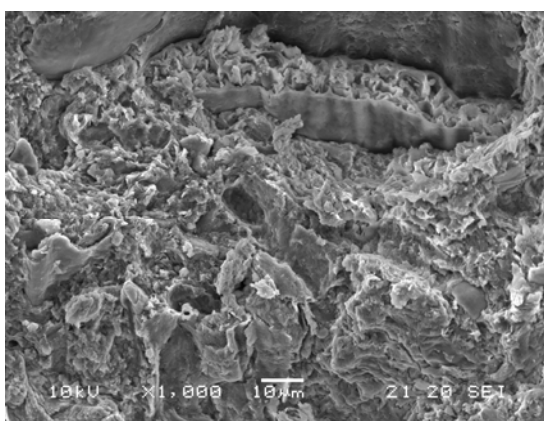
(ข)



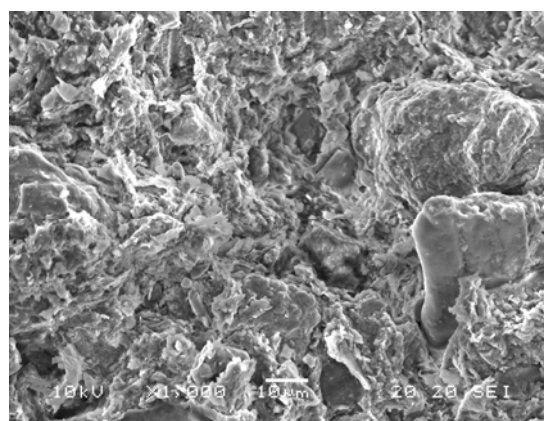
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

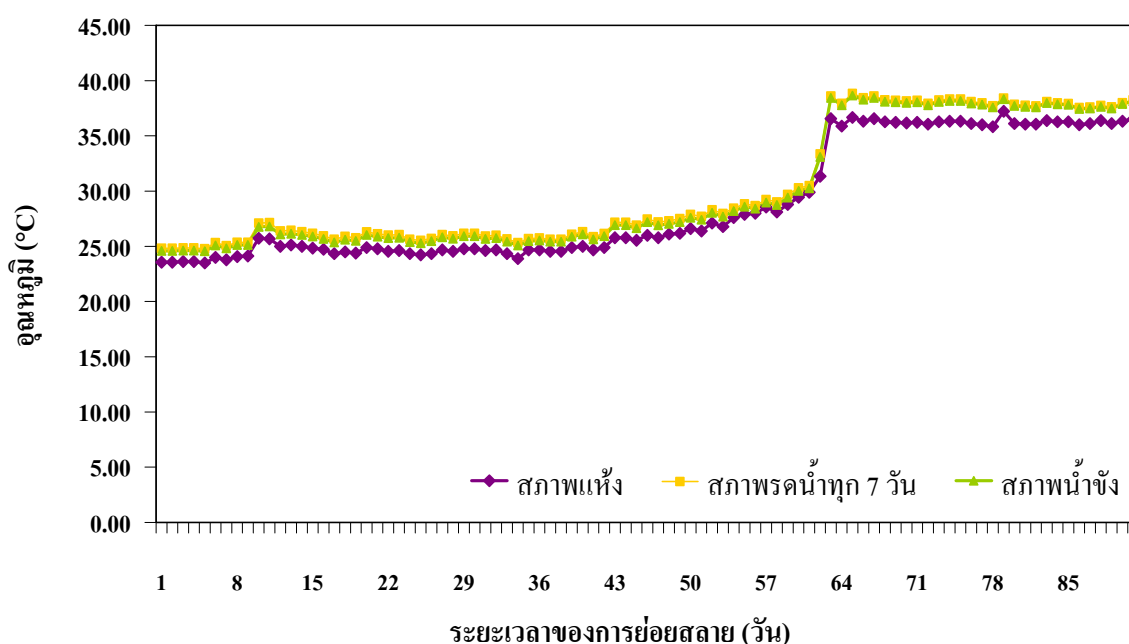
ภาพที่ 7 ลักษณะทางกายวิภาคของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอน
เยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดาลเสียที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (ก) สูตรที่ 1 (ข) สูตรที่ 2
(ค) สูตรที่ 3 (ง) สูตรที่ 4 (จ) สูตรที่ 5 (ฉ) สูตรที่ 6

5. การย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดน้ำเสีย

5.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการย่อยสลาย

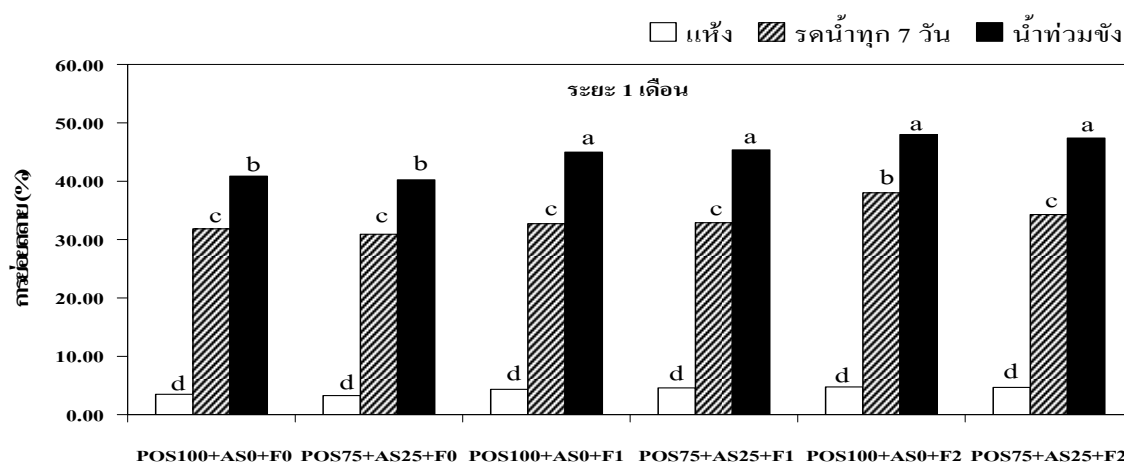
พบว่า อุณหภูมิในการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดน้ำเสียในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขัง มีค่าสูงกว่าสภาพความชื้นแบบแห้ง (ภาพที่ 8 และตารางผนวกที่ ค1) และจะเห็นว่าอุณหภูมิในการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงบรรยากาศภายหลังจากย่อยสลายไปแล้ว 63 วัน พบว่า อุณหภูมิในการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษในสภาพความชื้นแบบแห้ง สภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังจะเพิ่มขึ้นเป็น 36.56, 38.51 และ 38.44 °C ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการย่อยสลายมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันตลอดระยะเวลาการย่อยสลาย



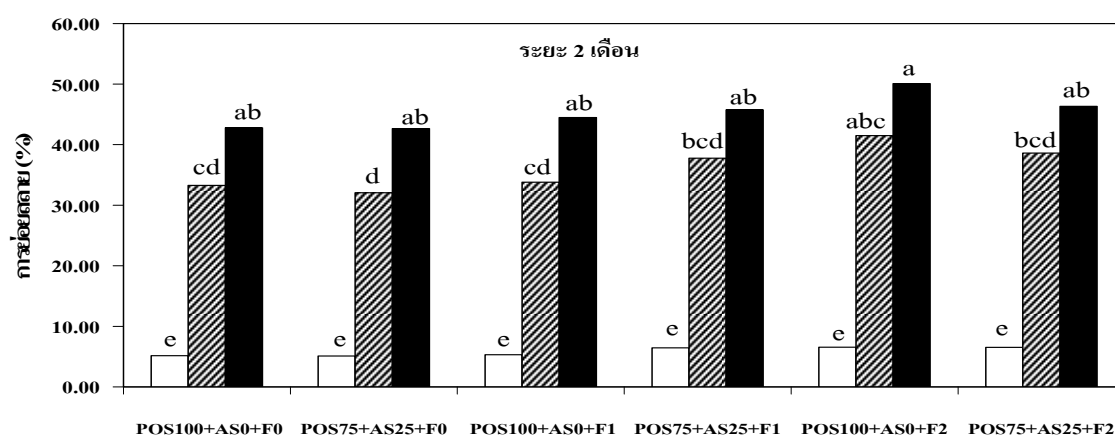
ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดน้ำเสีย

5.1.2 การย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

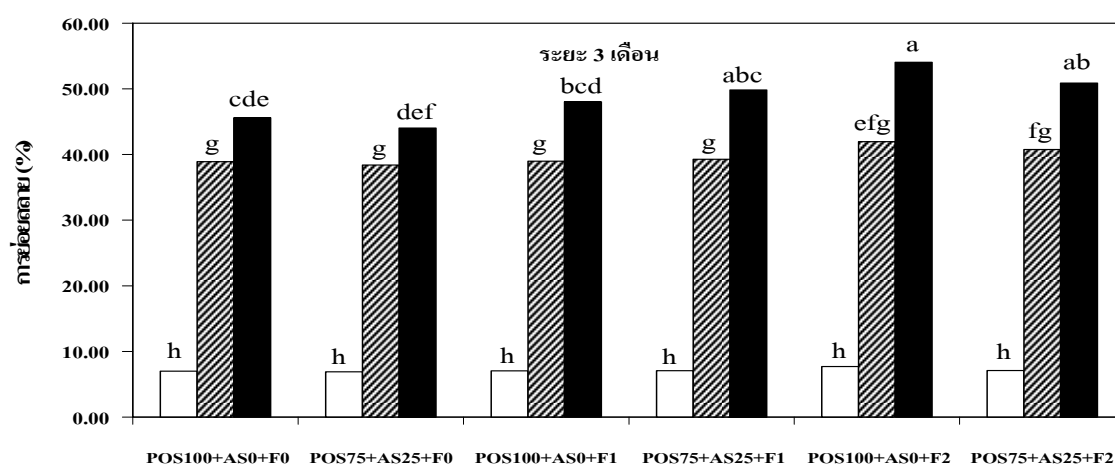
การย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน พบว่า ทุกสูตรที่มีสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังจะมีการย่อยสลายมากกว่าสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพความชื้นแบบแห้ง ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 9 และตารางผนวกที่ ค 2) เนื่องจากบรรจุภัณฑ์กระถางมีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และหรือกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งสารละลายแป้งเปียก เมื่อบรรจุภัณฑ์กระถางอยู่ในสภาพความชื้นแบบแห้ง จะมีผลทำให้ส่วนผสมทั้ง 3 ชนิดละลายออกมาได้น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วันที่มีปริมาณน้ำในการรดเป็น 400 มิลลิลิตร จะเห็นว่าบรรจุภัณฑ์กระถางยังไม่เกิดการบวม ทำให้การละลายของส่วนผสมออกมาได้น้อยกว่าในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขัง ที่เกิดการละลายออกมาได้มากที่สุด ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ พิทยากร และคณะ (2534) และ Thongjoo (2005) ที่ว่าการย่อยสลายของวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรมในสภาพไร่หรือสภาพรดน้ำทุก 7 วันจะมีการย่อยสลายมากกว่าในสภาพน้ำขัง เนื่องจากในสภาพที่มีอากาศ (aerobic condition) มีผลให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดำเนินไปได้ดีกว่าในสภาพอับอากาศ (anaerobic condition) และปริมาณปุ๋ยเคมีที่สูงขึ้นถือเป็นแหล่งอาหารที่จำเป็นสำหรับจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการย่อยสลายวัสดุที่ย่อยสลายยากให้ย่อยสลายได้เร็วขึ้น (Gaur, 1980; Jeminez and Gacia, 1989; Thongjoo, 2005; Vinneras, 2007) อย่างไรก็ตาม การย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการย่อยสลายนานขึ้น โดยเป็นที่สังเกตว่า สูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมี ในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขัง กล่าวคือ สูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) สูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลการย่อยสลายต่ำที่สุดในทุกระยะการย่อยสลาย ส่วนสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตรา 2 กรัม ในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขัง กล่าวคือ สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) และสูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) มีผลการย่อยสลายสูงที่สุดในทุกระยะเวลาการย่อยสลาย



(ก) ระยะ 1 เดือน



(ข) ระยะ 2 เดือน



(ค) ระยะ 3 เดือน

ภาพที่ 9 การย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อ
 กระจายจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกัน (ก) ระยะ 1 เดือน (ข) ระยะ
 2 เดือน (ค) ระยะ 3 เดือน

5.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีบางประการของดิน

5.2.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดิน

ภายหลังจากการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน พบว่า การย่อยสลายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดิน ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 10 และตารางผนวกที่ ง1) จะเห็นว่าการย่อยสลายส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในช่วง pH เท่ากับ 5.5 - 9.0 (Rynk, 1992; Gray, 1971) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และ/หรือการใส่ปุ๋ยเคมี กล่าวคือ สูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) และสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) มีผลให้ค่า pH ของดินลดลง แต่ในกรณีของสูตรที่มีส่วนผสมของกากตะกอน น้ำมันปาล์ม กากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย และ/หรือการใส่ปุ๋ยเคมี กล่าวคือ สูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) สูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) และสูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) มีผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินสูงขึ้น เนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งที่ย่อยสลายมีความสามารถในการจับประจุบวกเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถดูดซับเอาไฮโดรเจนไอออนไว้ได้มากขึ้น (เมธิ, 2542) แต่เมื่อระยะเวลาในการย่อยสลายนานขึ้น จะเห็นได้ว่า สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) มีผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินไม่แตกต่างกันทางสถิติ และสูตรที่มีสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังจะมีแนวโน้มให้ค่า (pH) ของดินต่ำกว่าสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพความชื้นแบบแห้ง ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าการย่อยสลายของวัสดุเหลือทิ้งจะมีการปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมา ซึ่งมีผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินลดลงได้เช่นกัน (Rao and Mikkelsen, 1976; Killham, 1994; Gudmundsson *et al.*, 2004; Meunchang *et al.*, 2005; Thongjoo *et al.*, 2006) อย่างไรก็ตาม ค่า pH ของดินมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการย่อยสลายที่นานขึ้น โดยเฉพาะสูตรที่มีสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขัง

5.2.2 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดิน

ภายหลังจากการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน พบว่า การย่อยสลายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดิน ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 11 และตารางผนวกที่ ง2) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้ค่า EC ของดินเพิ่มขึ้นมากกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่ต่ำกว่า หรือสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย และสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูงในสภาพความชื้นแบบน้ำ

ท่วมขังจะมีแนวโน้มให้ค่า EC ของดินสูงกว่าในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพความชื้นแบบแห้ง ทั้งนี้เป็นไปได้ว่า ไอออนที่ละลายออกมาจากปุ๋ยเคมี หรือการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ อาจปลดปล่อยไอออนต่างๆออกมารวมด้วย จึงอาจมีผลให้ค่า EC ของดินเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน อีกทั้งยังสอดคล้องกับค่า pH ของดินที่ลดลง เนื่องจากการปลดปล่อยกรดอินทรีย์ของวัสดุเพิ่มขึ้น และมีไอออนบางตัวหายไป (ประกาศิต, 2549; Thongjoo *et al.*, 2006) นอกจากนี้เป็นที่สังเกตว่า ค่า EC ของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการย่อยสลายที่นานขึ้นในทุกสูตร โดยเฉพาะสูตรที่มีสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขัง

5.2.3 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ในดิน

ภายหลังการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน พบว่า การย่อยสลายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 12 และตารางผนวกที่ 3) กล่าวคือที่ระยะ 1 และ 2 เดือน สูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่ต่ำกว่า หรือสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย และสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง ในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังจะมีแนวโน้มให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงกว่าในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพความชื้นแบบแห้ง นอกจากนี้เป็นที่สังเกตว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาในการย่อยสลายที่นานขึ้น ทั้งนี้อธิบายได้ว่า ส่วนที่เหลือจากการย่อยสลายจะเป็นพวกวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก อาทิเช่น เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ช้ากว่าซ่อมสูญเสียคาร์บอนในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้อยกว่าวัสดุอินทรีย์ที่ย่อยสลายเร็วกว่า ดังนั้น จึงมีผลให้ทุกสูตรที่ระยะ 3 เดือน มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเหลืออยู่ในดินค่อนข้างมาก จึงส่งผลให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมากตามไปด้วย (Crawford, 1983; Hang, 1980)

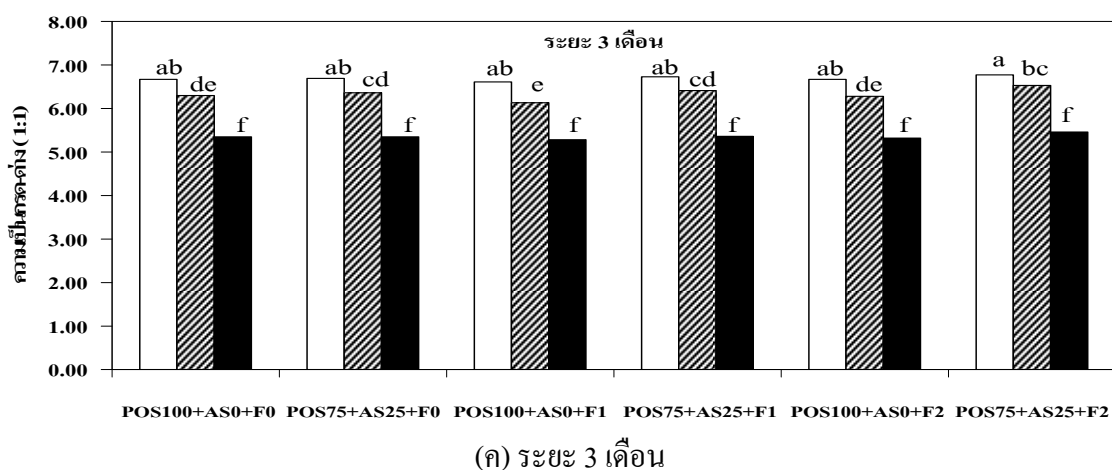
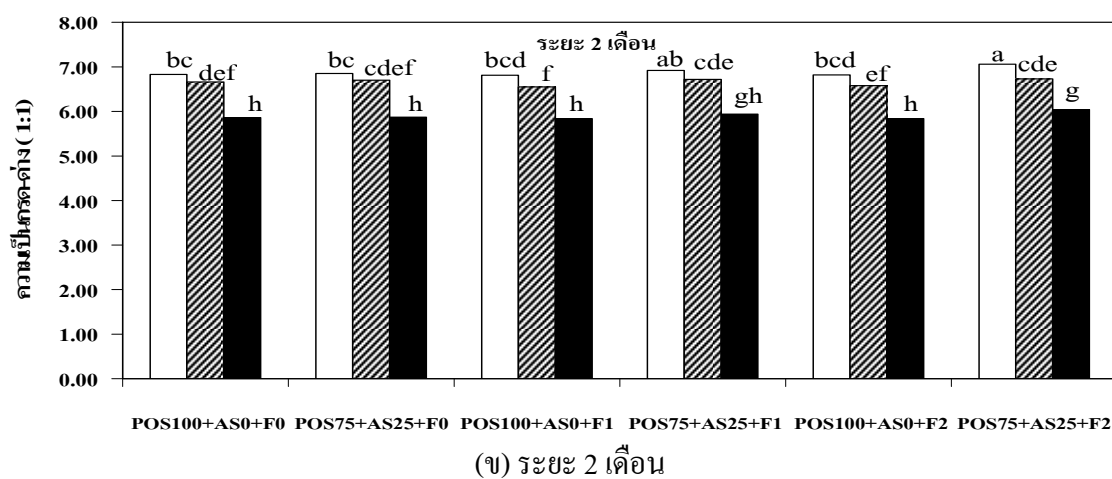
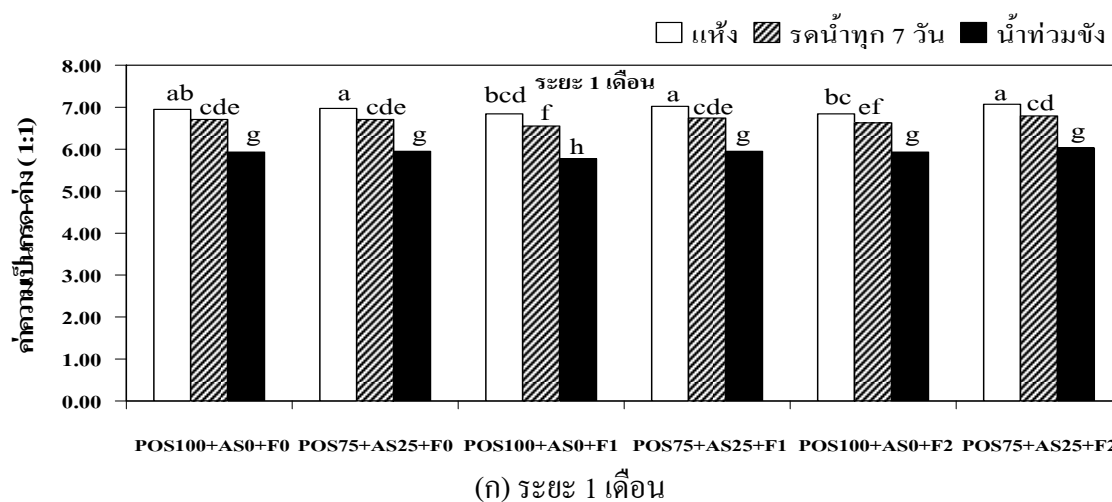
5.2.4 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

ภายหลังการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่ระยะ 3 เดือน พบว่า การย่อยสลายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 13 และตารางผนวกที่ 4) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผล

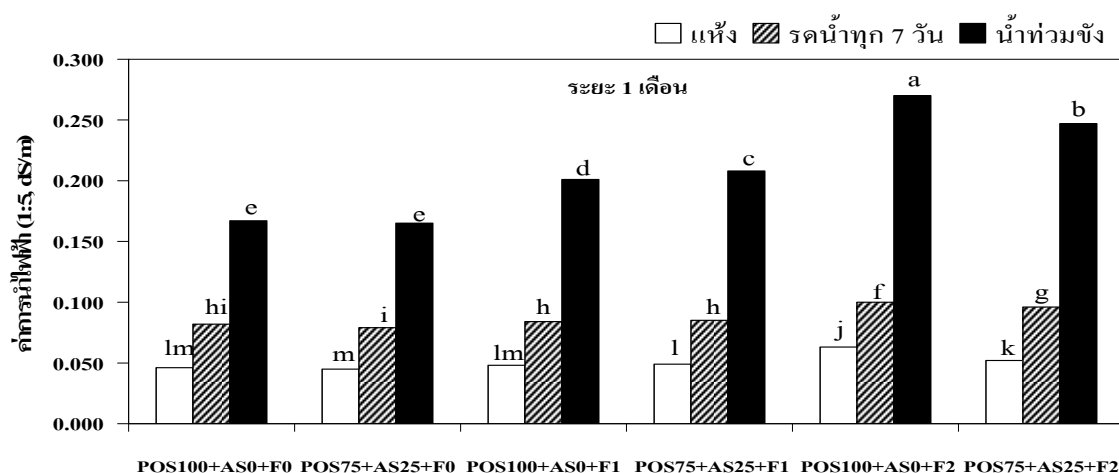
ทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นมากกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่ต่ำกว่า หรือสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย และสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูงในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินสูงกว่าในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพความชื้นแบบแห้ง ทั้งนี้เป็นไปได้ว่า ไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมี หรือการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์มีการปลดปล่อยไนโตรเจนออกมารวมด้วย จึงอาจมีผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน (Goring and Hamaker, 1972; Zorpas *et al.*, 2003; Thongjoo *et al.*, 2006; Banegas, 2007) นอกจากนี้เป็นที่สังเกตว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการย่อยสลายที่นานขึ้นในทุกสูตร

5.2.5 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

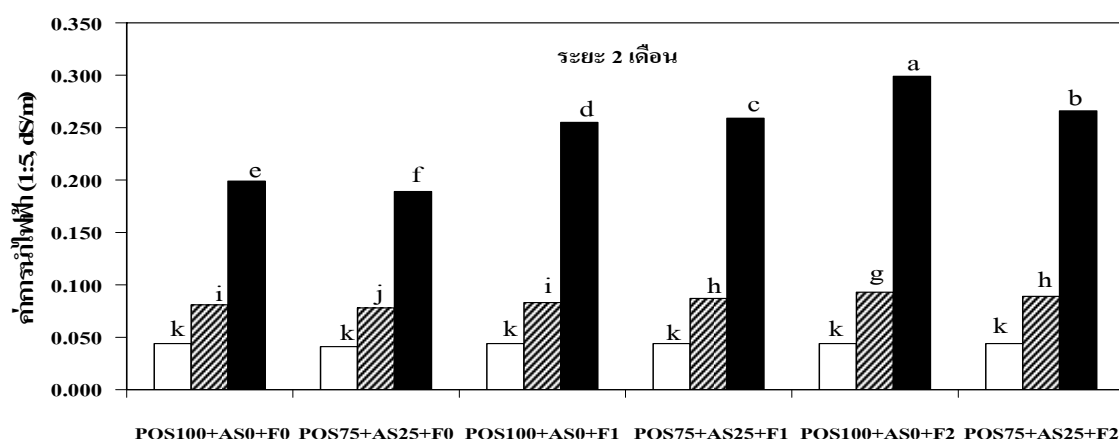
ภายหลังการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่ระยะ 2 และ 3 เดือน พบว่า การย่อยสลายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 14 และตารางผนวกที่ 5) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะผลทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นมากกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่ต่ำกว่า หรือสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย และสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูงในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังมีแนวโน้มให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงกว่าในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพความชื้นแบบแห้ง ทั้งนี้เป็นไปได้ว่า การย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์จะมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมารวมด้วย จึงอาจมีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้น (จามีกร, 2537; ยงยุทธ และคณะ, 2551; Goring and Hamaker, 1972; Thongjoo *et al.*, 2006) นอกจากนี้เป็นที่สังเกตว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการย่อยสลายที่นานขึ้น โดยเฉพาะสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูงในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขัง



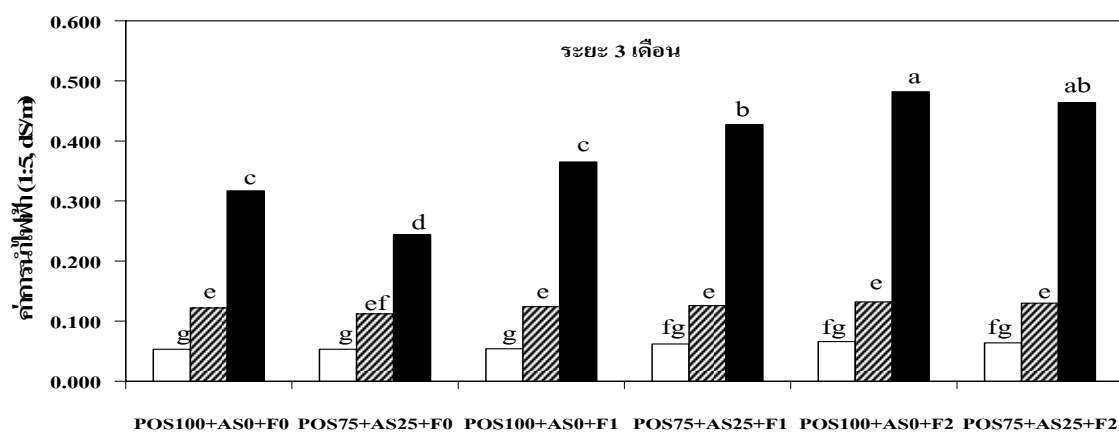
ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินภายหลังการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์ กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาศจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกัน (ก) ระยะ 1 เดือน (ข) ระยะ 2 เดือน (ค) ระยะ 3 เดือน



(ก) ระยะ 1 เดือน

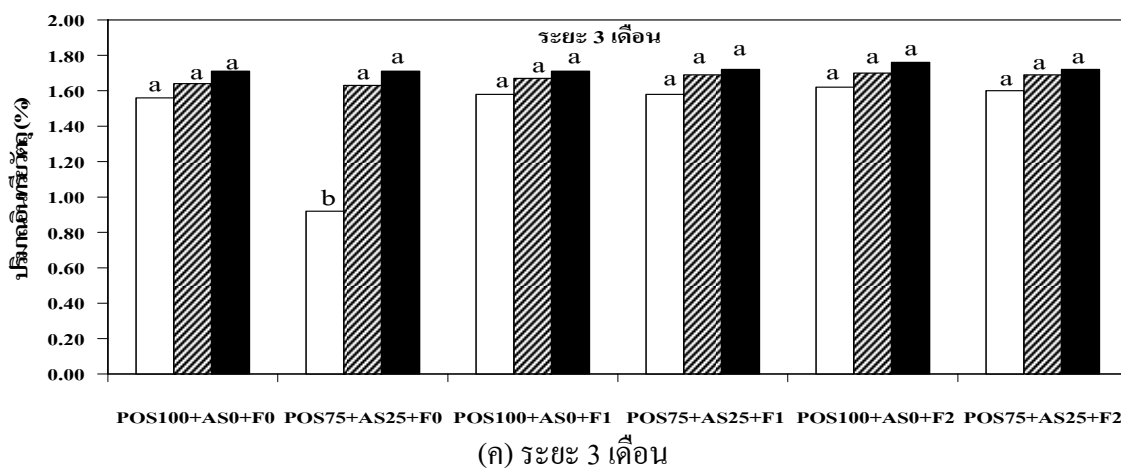
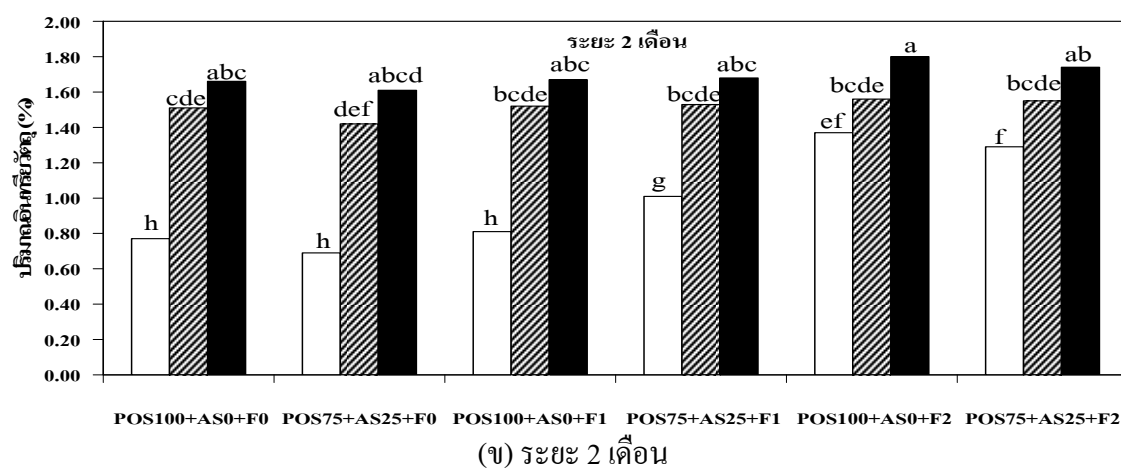
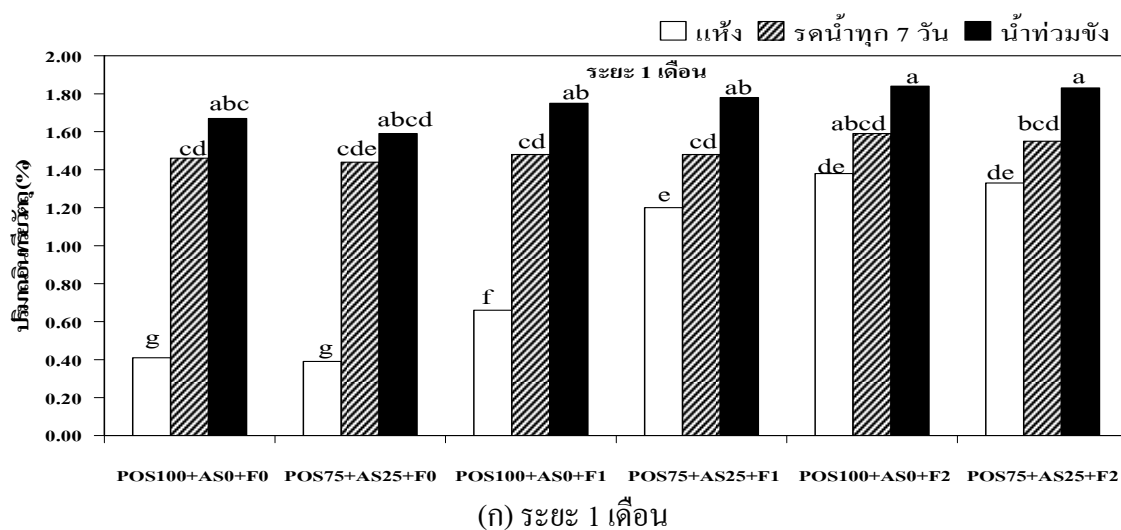


(ข) ระยะ 2 เดือน

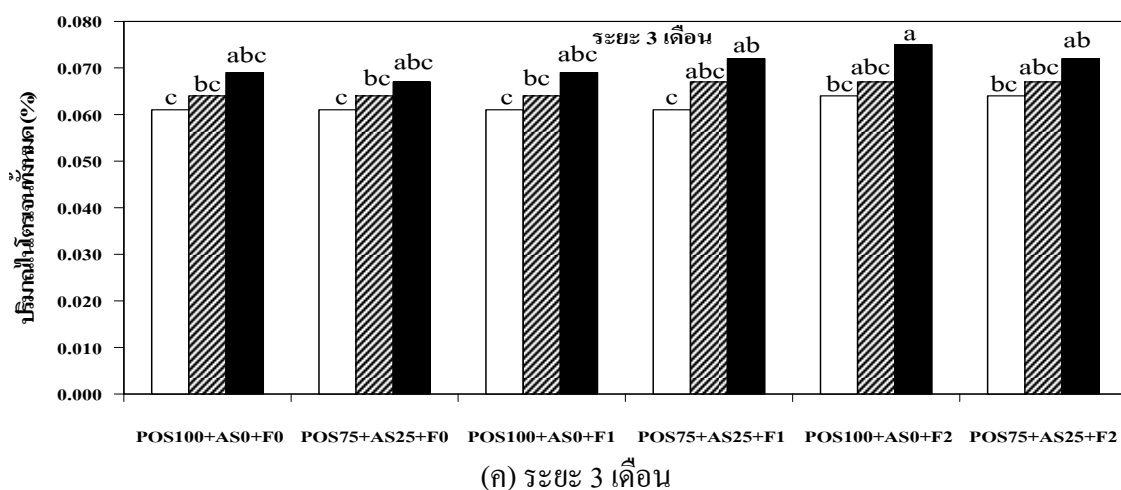
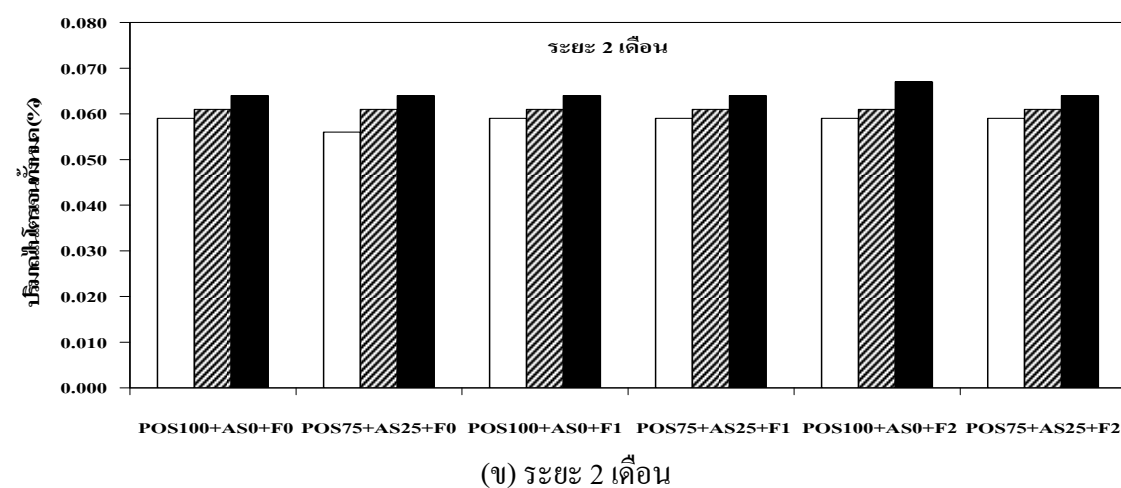
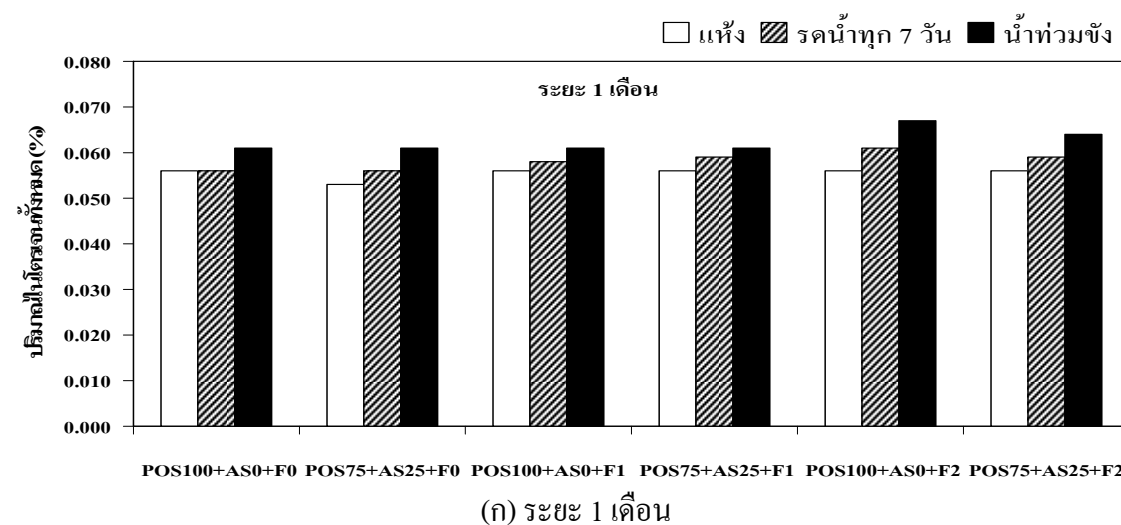


(ค) ระยะ 3 เดือน

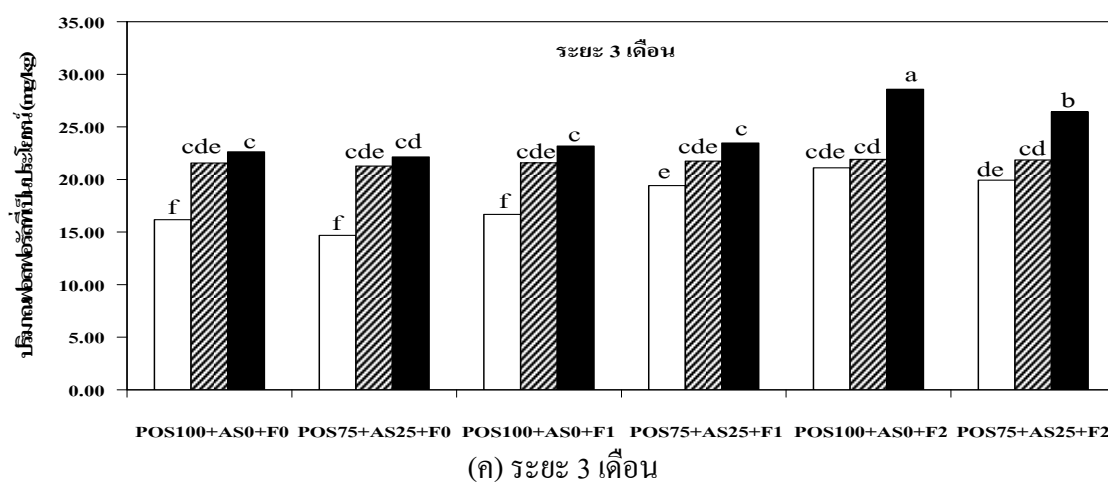
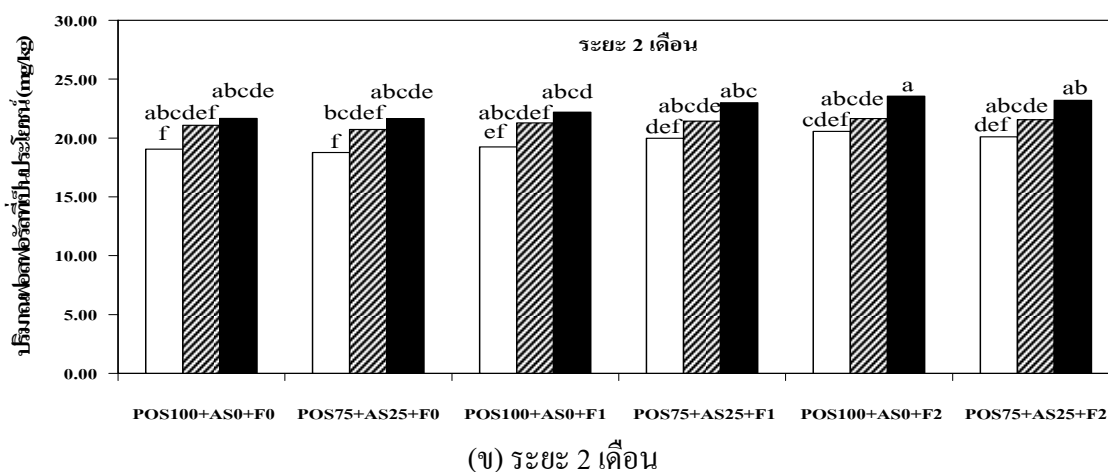
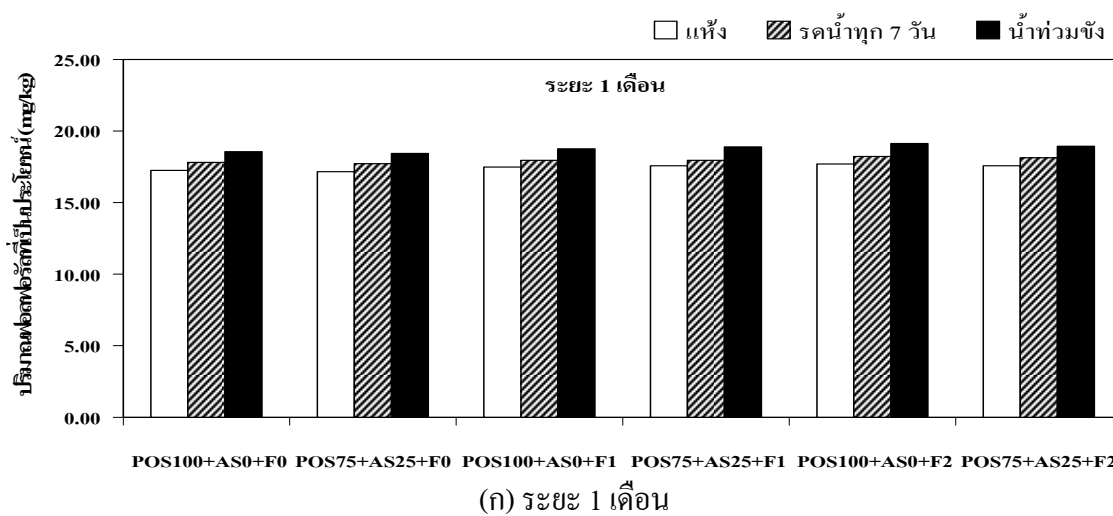
ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินภายหลังการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์
กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดากจากบ่อน้ำบาดาลเสีย ใน
สภาพความชื้นที่แตกต่างกัน (ก) ระยะ 1 เดือน (ข) ระยะ 2 เดือน (ค) ระยะ 3 เดือน



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter) ในดินภายหลังการย่อยสลายของ
 บรรจุภัณฑ์ที่กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดากจากบ่อ
 บำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกัน (ก) ระยะ 1 เดือน (ข) ระยะ 2 เดือน
 (ค) ระยะ 3 เดือน



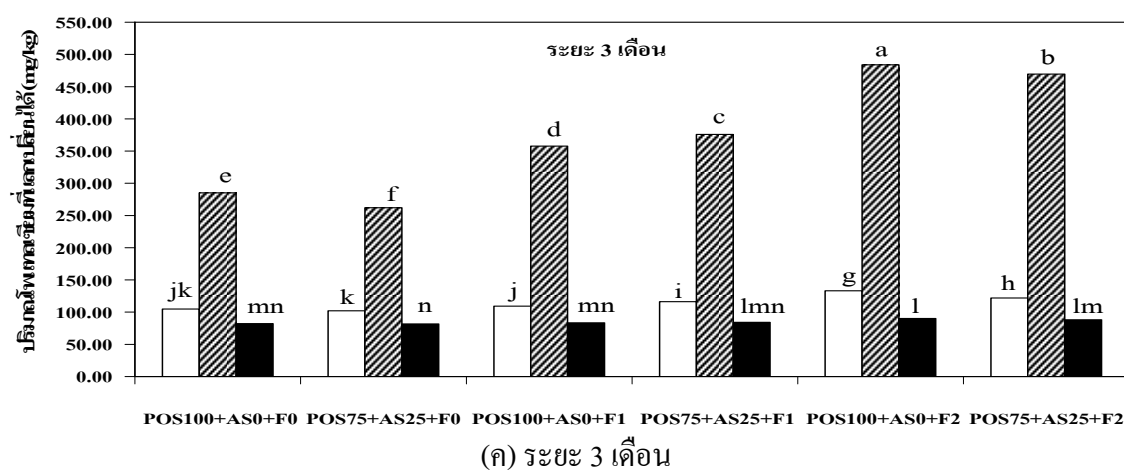
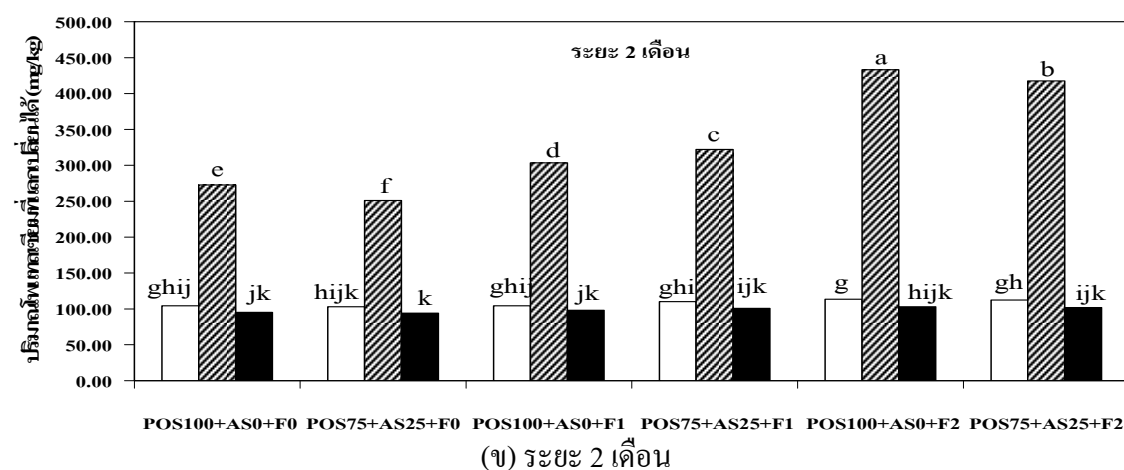
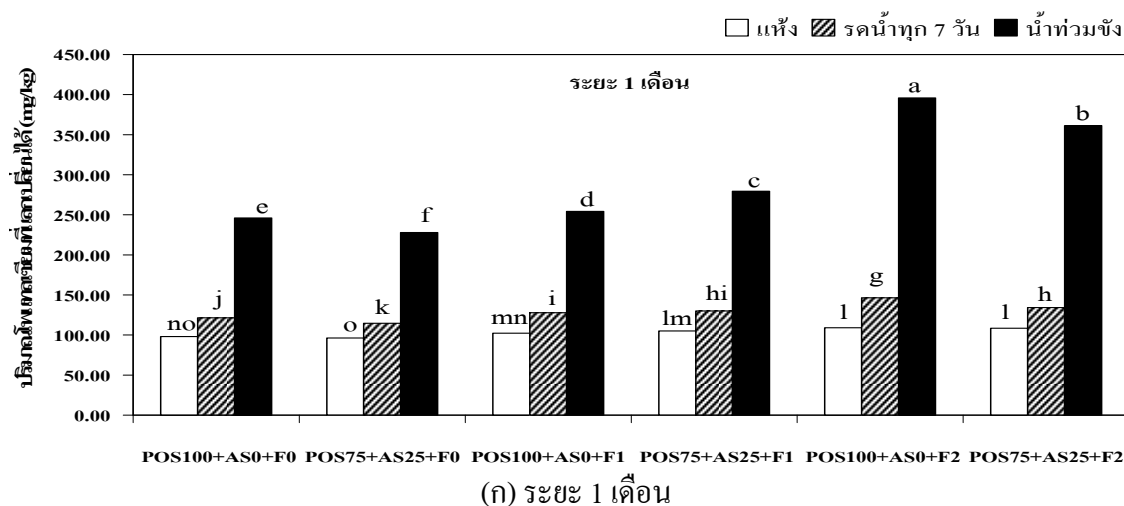
ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินภายหลังการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์
กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ใน
สภาพความชื้นที่แตกต่างกัน (ก) ระยะ 1 เดือน (ข) ระยะ 2 เดือน (ค) ระยะ 3 เดือน



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินภายหลังการย่อยสลายของ
 บรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อ
 บำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกัน (ก) ระยะ 1 เดือน (ข) ระยะ 2 เดือน
 (ค) ระยะ 3 เดือน

5.2.6 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน

ภายหลังการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน พบว่าการย่อยสลายมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 15 และตารางผนวกที่ 6) กล่าวคือ สูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้นมากกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่ต่ำกว่า หรือสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย โดยที่ระยะ 1 เดือน สูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูงในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังจะมีแนวโน้มให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงกว่าในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพความชื้นแบบแห้ง แต่ภายหลังการย่อยสลายที่ระยะ 2 และ 3 เดือน พบว่า สูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูงในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วันจะมีแนวโน้มให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงกว่าในสภาพความชื้นแบบแห้ง และสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขัง ทั้งนี้เป็นไปได้ว่า การย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมารวมด้วย จึงอาจมีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้น (Thongjoo *et al.*, 2006) นอกจากนี้เป็นที่สังเกตว่า สูตรที่มีสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพความชื้นแบบแห้ง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการย่อยสลายที่นานขึ้น สำหรับสูตรที่มีสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการย่อยสลายที่นานขึ้น ในทุกสูตร ทั้งนี้เป็นไปได้ว่า โพแทสเซียมในสารละลายดินอยู่ในรูปที่อาจถูกชะล้าง (leaching) ได้ง่าย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินภายหลังการย่อยสลายของ
 บรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อ
 บำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกัน (ก) ระยะ 1 เดือน (ข) ระยะ 2 เดือน
 (ค) ระยะ 3 เดือน

6. ผลของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียต่อการเจริญเติบโตและมวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดินของต้นนนทรีบ้าน

6.1 ความสูงของต้นนนทรีบ้าน

พบว่า บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีผลต่อความสูงของต้นนนทรีบ้านที่ระยะ 2 และ 3 เดือน ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเชิงทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 16 และตารางผนวกที่ จ1) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้ความสูงของต้นนนทรีบ้านมากกว่าสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย กล่าวคือที่ระยะ 2 เดือน สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) สูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) และสูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) มีผลต่อความสูงของต้นนนทรีบ้านมากที่สุดตามลำดับ และที่ระยะ 3 เดือน พบว่า สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) สูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) และสูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) มีผลต่อความสูงของต้นนนทรีบ้านมากที่สุดตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลต่อความสูงของต้นนนทรีบ้านน้อยที่สุด ตามลำดับที่ระยะ 2 และ 3 เดือน

6.2 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นนนทรีบ้าน

พบว่า บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นนนทรีบ้านที่ระยะ 3 เดือน ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 17 และตารางผนวกที่ จ1) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นนนทรีบ้านสูงกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่ต่ำกว่า หรือสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย กล่าวคือ สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นนนทรีบ้านสูงที่สุด คือ 0.188 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับสูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) และสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) ส่วนสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นนนทรีบ้านที่ต่ำสุด คือ 0.164 มิลลิเมตร

6.3 จำนวนใบของต้นนนทรีบ้าน

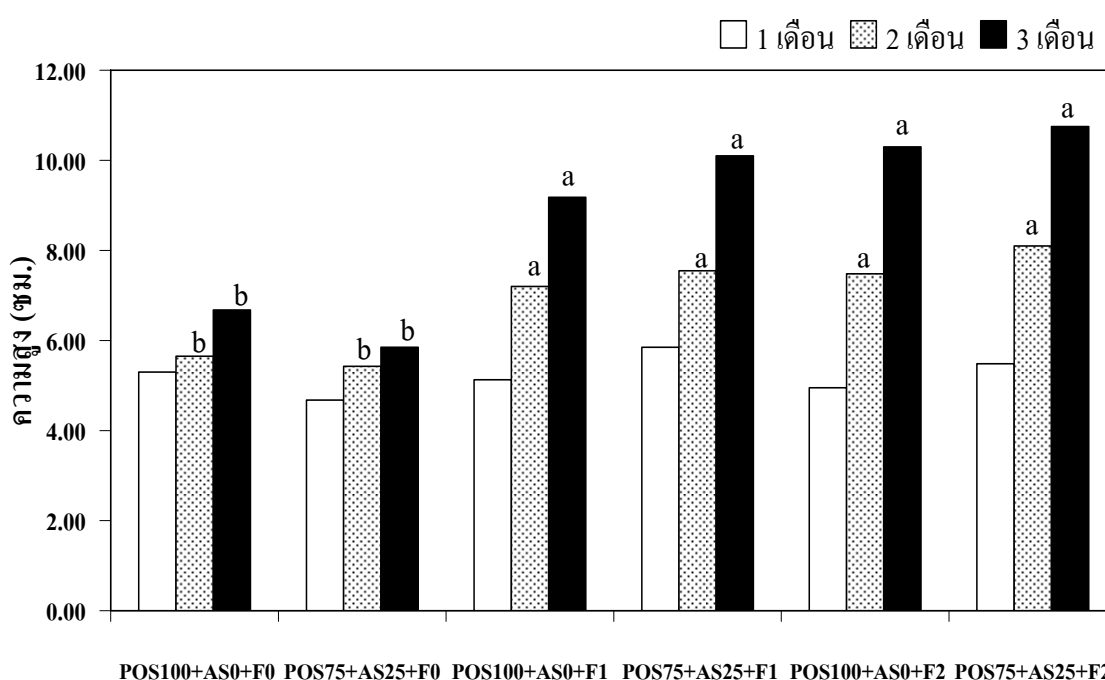
พบว่า บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดากจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีผลต่อจำนวนใบของต้นนนทรีบ้านที่ระยะ 2 และ 3 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 18 และตารางผนวกที่ จ1) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้จำนวนใบของต้นนนทรีบ้านมากกว่าสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย กล่าวคือ ที่ระยะ 2 เดือน สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) และสูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) มีผลต่อจำนวนใบของต้นนนทรีบ้านมากที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) ส่วนสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) มีผลต่อจำนวนใบของต้นนนทรีบ้านน้อยที่สุด และที่ระยะ 3 เดือน พบว่า สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) มีผลต่อจำนวนใบของต้นนนทรีบ้านมากที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) และสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) ส่วนสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลต่อจำนวนใบของต้นนนทรีบ้านน้อยที่สุด

6.4 ค่าความเขียว (SPAD reading) ของใบนนทรีบ้าน

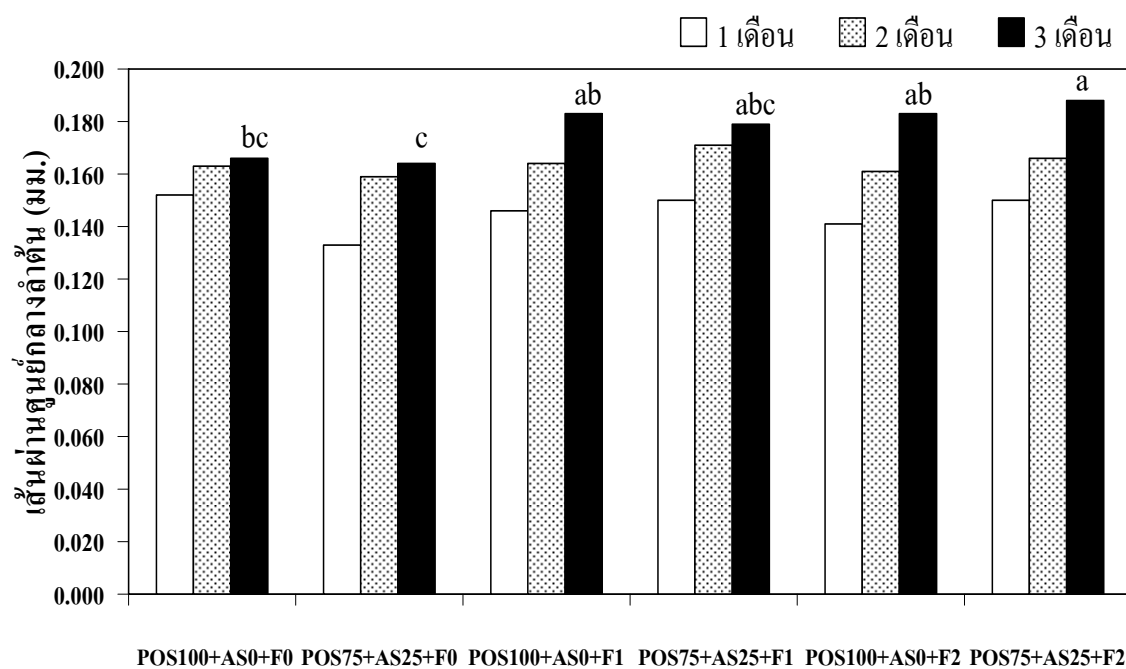
พบว่า บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดากจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีผลต่อค่าความเขียว (SPAD reading) ของใบนนทรีบ้านที่ระยะ 2 และ 3 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 19 และตารางผนวกที่ จ1) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้ค่าความเขียวของใบนนทรีบ้านสูงกว่าสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย กล่าวคือ ที่ระยะ 2 เดือน สูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) และสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) มีผลต่อค่าความเขียวของใบนนทรีบ้านสูงที่สุด ตามลำดับ และที่ระยะ 3 เดือน พบว่า สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) สูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) และสูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) มีผลต่อค่าความเขียวของใบนนทรีบ้านสูงที่สุด ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลต่อค่าความเขียวของใบนนทรีบ้านน้อยที่สุด ตามลำดับทั้งที่ระยะ 2 และ 3 เดือน

6.5 มวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดินของต้นนนทรีบ้าน

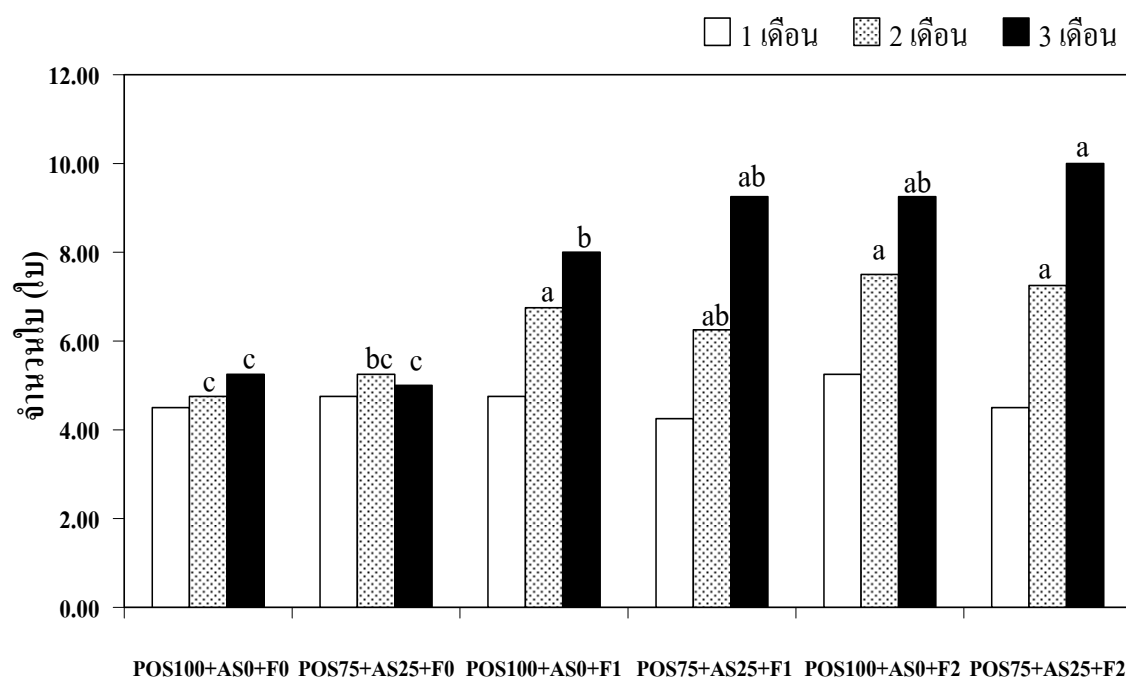
พบว่า บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีผลต่อมวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดิน (ส่วนต้น ส่วนกิ่ง และส่วนใบ) ของต้นนนทรีบ้านที่ระยะ 3 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 20 และตารางผนวกที่ 1) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้มวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดินของต้นนนทรีบ้านสูงกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่ต่ำกว่า หรือสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย กล่าวคือ สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) และสูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) มีผลต่อมวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดินของต้นนนทรีบ้านสูงที่สุด คือ 0.405 และ 0.374 กรัมต่อต้น ตามลำดับ รองลงมาคือ สูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) และสูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) ส่วนสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลต่อมวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดินของต้นนนทรีบ้านต่ำที่สุด คือ 0.103 และ 0.099 กรัมต่อต้น ตามลำดับ



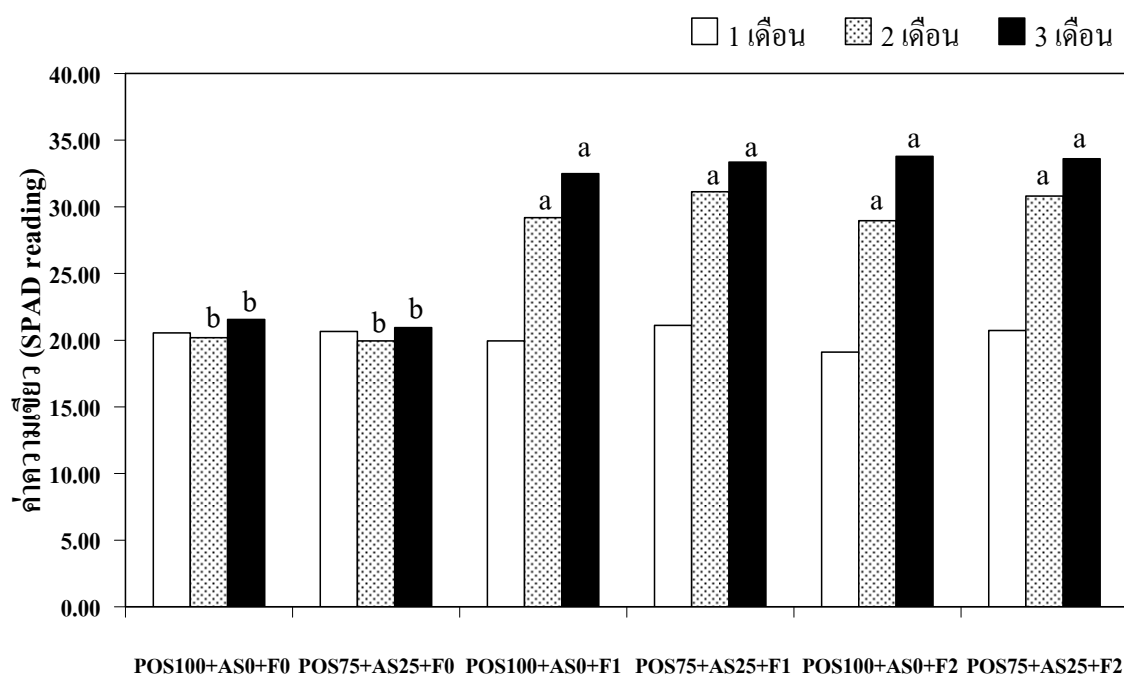
ภาพที่ 16 ความสูงของต้นนนทรีบ้านที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน



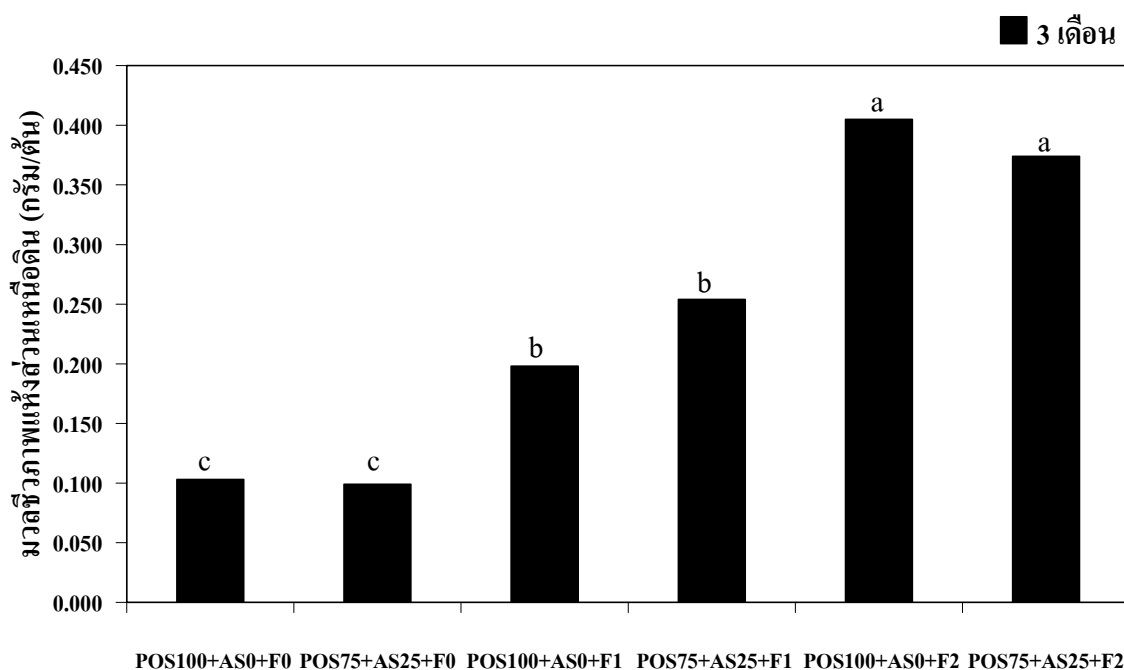
ภาพที่ 17 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นนนทรีบ้านที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน



ภาพที่ 18 จำนวนใบของต้นนนทรีบ้านที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน



ภาพที่ 19 ค่าความเขียว (SPAD reading) ของใบบนทรีบ้านที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน



ภาพที่ 20 มวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดินของต้นบนทรีบ้านที่ระยะ 3 เดือน

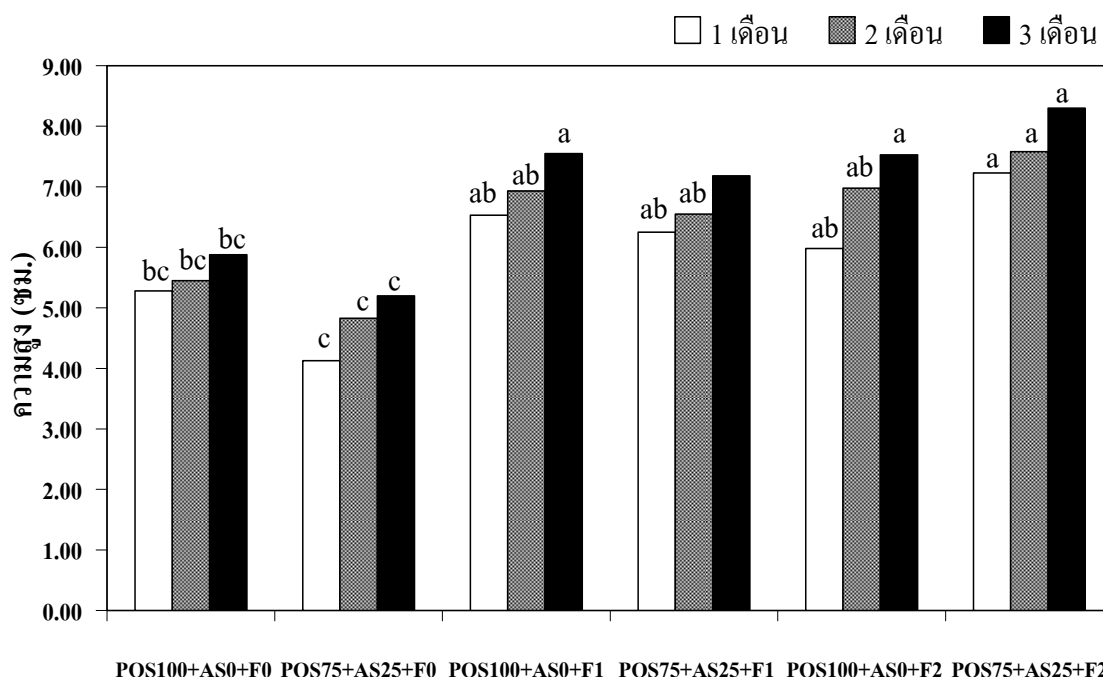
จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น มีข้อสังเกตว่าสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง คือ สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) และสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตของต้นนนทรีบ้านในด้านความสูง จำนวนใบ และค่าความเขียวของใบที่ระยะ 2 และ 3 เดือน รวมทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินที่ระยะ 3 เดือนสูงกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่ต่ำกว่า คือ สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) และสูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) หรือสูตรไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) ทั้งนี้เป็นไปได้ว่า ปุ๋ยเคมีที่เป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และ/หรือกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 4 สูตร สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับต้นนนทรีบ้านได้อย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ขณะที่กากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียจะปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้าๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของต้นนนทรีบ้านได้เช่นกัน (ชัยสิทธิ์, 2538; Panichsakpatana, 1991; Thongjoo, 2005) แต่ในทางตรงกันข้าม พบว่า สูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมี คือ สูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นนนทรีบ้านในด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ และค่าความเขียวของใบ และมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินต่ำที่สุด อาจเป็นเพราะการปลูกพืชในระยะยาว โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืช จะส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารในดินลดน้อยลง และไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มมวลชีวภาพของพืช (จามิกร, 2537)

7. ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียต่อการเจริญเติบโตและมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินของต้นแดง ปรากฏผลดังต่อไปนี้

7.1 ความสูงของต้นแดง

พบว่า บรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีผลต่อความสูงของต้นแดงที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 21 และตารางผนวกที่ จ2) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้ความสูงของต้นแดงมากกว่าสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย กล่าวคือ ที่ระยะ 1 และ 2 เดือน สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) มีผลต่อความสูงของต้นแดงมากที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) สูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) และสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) และที่ระยะ 3 เดือน พบว่า สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) สูตรที่ 5

($POS_{100}+AS_0+F_2$) และสูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) มีผลต่อความสูงของต้นแดงมากที่สุด ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับสูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) ส่วนสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลต่อความสูงของต้นแดงน้อยที่สุดในทุกระยะการเจริญเติบโต

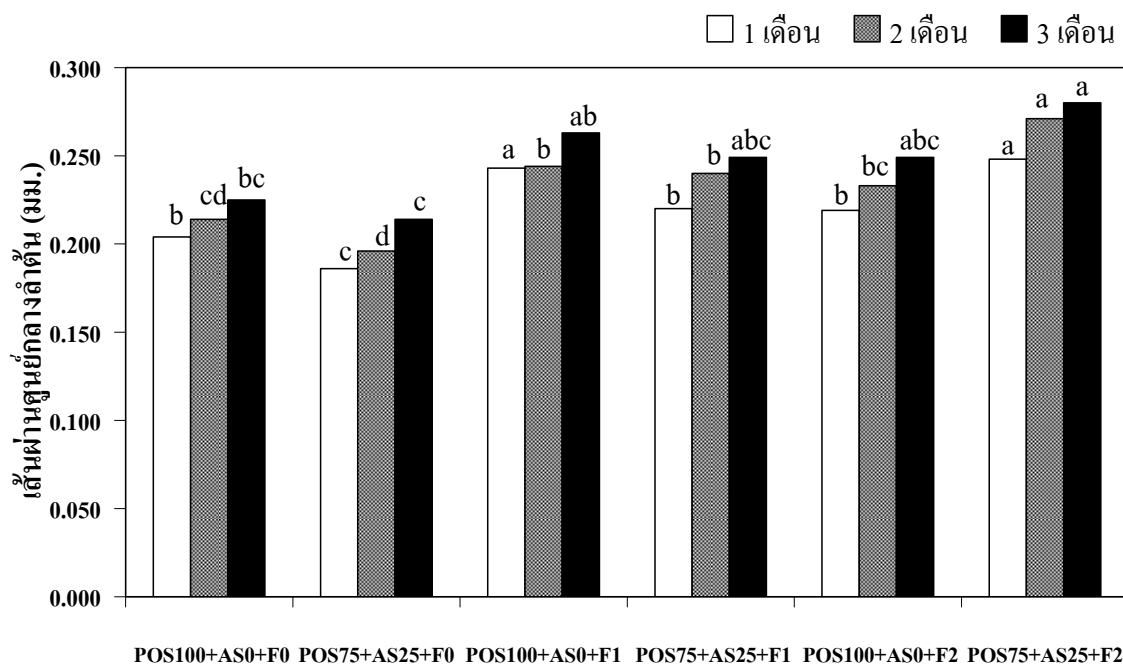


ภาพที่ 21 ความสูงของต้นแดงที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน

7.2 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นแดง

พบว่า บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อนำบำบัดน้ำเสียมีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นแดงที่ระยะ 1 และ 2 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 22 และตารางผนวกที่ จ2) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นแดงสูงกว่าสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย กล่าวคือ ที่ระยะ 1 เดือน สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) และสูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นแดงสูงที่สุด คือ 0.248 และ 0.243 มิลลิเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือ สูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) และสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และที่ระยะ 2 เดือน พบว่า สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นแดงสูงที่สุด คือ 0.271 มิลลิเมตร รองลงมาคือ สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) และสูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) ส่วนที่ระยะ 3 เดือน พบว่า ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่ 6

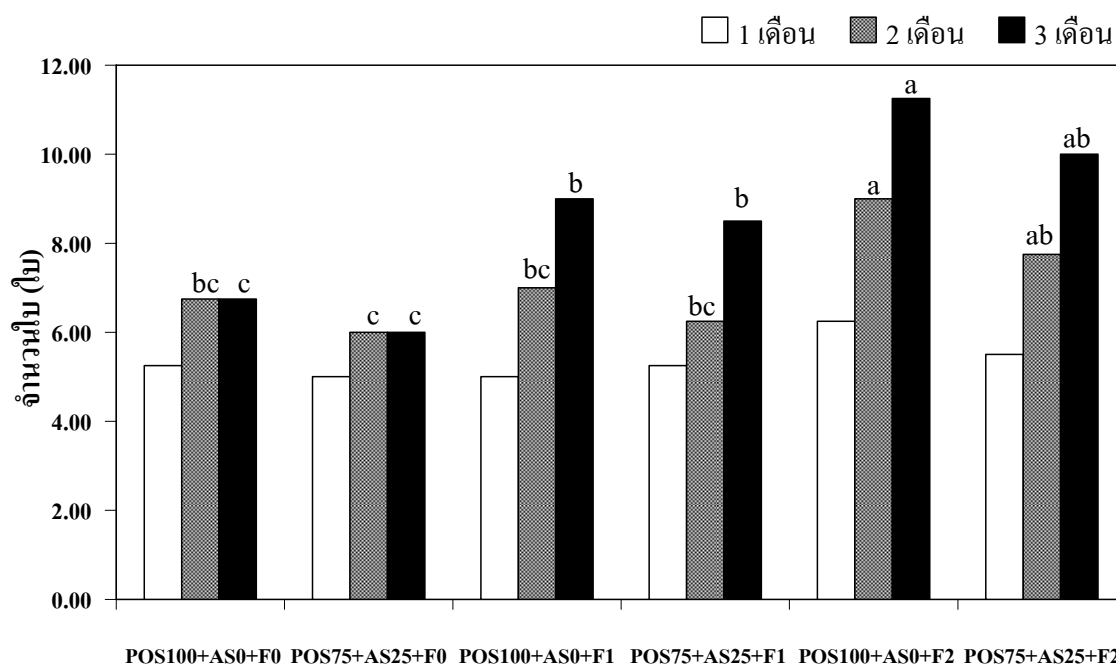
(POS₇₅+AS₂₅+F₂) มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นแดงสูงที่สุด คือ 0.280 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตรที่ 3 (POS₁₀₀+AS₀+F₁) ส่วนสูตรที่ 2 (POS₇₅+AS₂₅+F₀) มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นแดงที่ต่ำสุดในทุกๆระยะการเจริญเติบโต



ภาพที่ 22 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นแดงที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน

7.3 จำนวนใบของต้นแดง

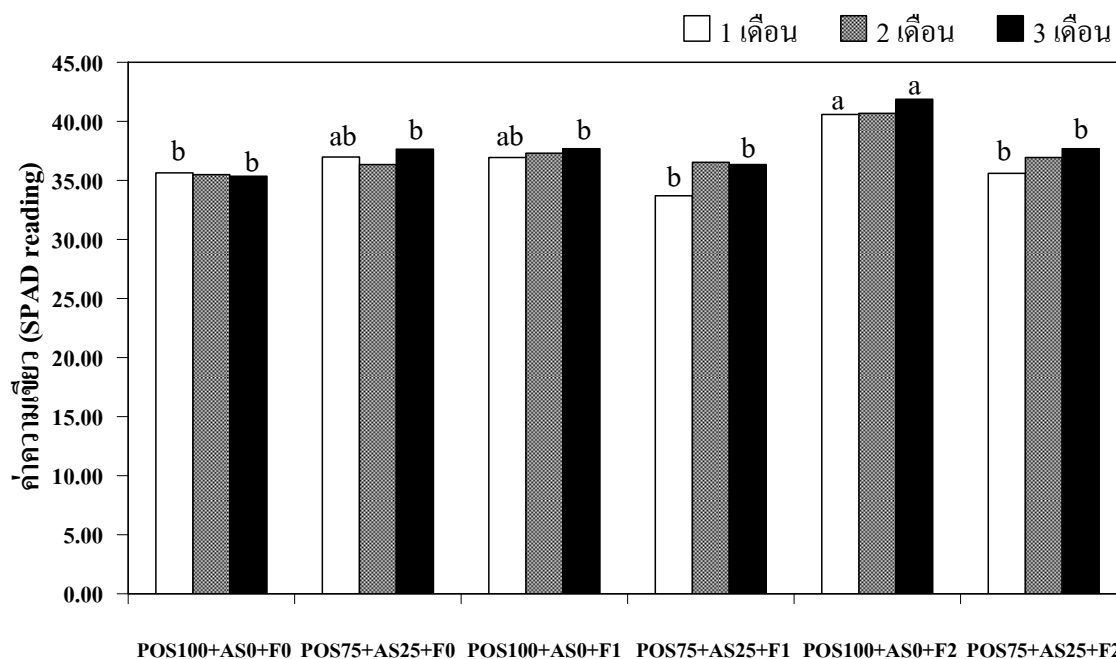
พบว่า บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีผลต่อจำนวนใบของต้นแดงที่ระยะ 2 และ 3 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 23 และตารางผนวกที่ จ2) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้จำนวนใบของต้นแดงมากกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่ต่ำกว่า หรือสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย กล่าวคือ สูตรที่ 5 (POS₁₀₀+AS₀+F₂) มีผลต่อจำนวนใบของต้นแดงมากที่สุด คือ 9.00 ใบ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตรที่ 6 (POS₇₅+AS₂₅+F₂) ส่วนสูตรที่ 2 (POS₇₅+AS₂₅+F₀) มีผลต่อจำนวนใบของต้นแดงน้อยที่สุด คือ 6.00 ใบที่ระยะ 2 เดือน และที่ระยะ 3 เดือน พบว่า สูตรที่ 1 (POS₁₀₀+AS₀+F₀) และสูตรที่ 2 (POS₇₅+AS₂₅+F₀) มีผลต่อจำนวนใบของต้นแดงน้อยที่สุด ตามลำดับ



ภาพที่ 23 จำนวนใบของต้นแดงที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน

7.4 ค่าความเขียว (SPAD reading) ของใบแดง

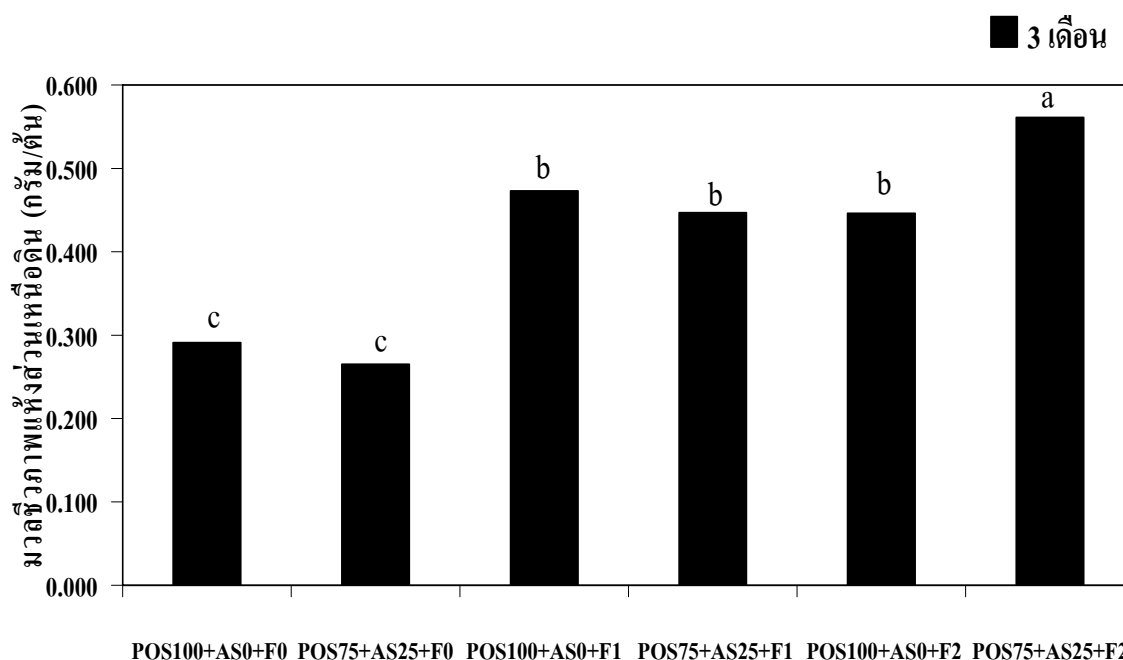
พบว่า บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อนำบน้ำเสียมีผลต่อค่าความเขียว (SPAD reading) ของใบแดงที่ระยะ 1 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 24 และตารางผนวกที่ จ2) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้ค่าความเขียวของใบแดงสูงกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่ต่ำกว่า หรือสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย กล่าวคือ ที่ระยะ 1 เดือน สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) มีผลต่อค่าความเขียวของใบแดงสูงที่สุด คือ 40.58 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) และสูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) ส่วนสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) และสูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) มีผลต่อค่าความเขียวของใบแดงน้อยที่สุด คือ 35.65, 35.60 และ 33.70 ตามลำดับ และที่ระยะ 3 เดือน ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) โดยสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) มีผลต่อค่าความเขียวของใบแดงสูงที่สุด คือ 41.88 รองลงมา คือ สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) สูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) สูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) และสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) ตามลำดับ



ภาพที่ 24 ค่าความเขียว (SPAD reading) ของใบแดงที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน

7.5 มวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดินของต้นแดง

พบว่า บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อนำบดน้ำเสียนี้อาจมีผลต่อมวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดิน (ส่วนต้น ส่วนกิ่ง และส่วนใบ) ของต้นแดงที่ระยะ 3 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 25 และตารางผนวกที่ จ2) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้มวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดินของต้นแดงสูงกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่ต่ำกว่า หรือสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย กล่าวคือ สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) มีผลต่อมวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดินของต้นแดงสูงที่สุด คือ 0.561 กรัมต่อต้น รองลงมา คือ สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) สูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) และสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลต่อมวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดินของต้นแดงต่ำที่สุด คือ 0.291 และ 0.265 กรัมต่อต้น ตามลำดับ



ภาพที่ 25 มวลชีวภาพแห้งส่วนเหนื่อดินของดินแดงที่ระยะ 3 เดือน

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น มีข้อสังเกตว่าสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง คือสูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) และสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตของดินแดงในด้านความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน จำนวนใบที่ระยะ 2 และ 3 เดือน และค่าความเขียวของใบที่ระยะ 1 และ 3 เดือน รวมทั้งมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนื่อดินที่ระยะ 3 เดือน สูงกว่าสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่ต่ำกว่า หรือสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย ทั้งนี้เป็นไปได้ว่า ปุ๋ยเคมีที่เป็นส่วนผสมหนึ่งในการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และ/หรือกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 4 สูตร สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับดินแดงได้อย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ขณะที่กากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียจะปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้าๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของดินแดงได้เช่นกัน (ชัยสิทธิ์, 2538; Panichsakpatana, 1991; Thongjoo, 2005) แต่ในทางตรงกันข้าม พบว่า สูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลต่อการเจริญเติบโตของดินแดงในด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ และค่าความเขียวของใบ และมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนื่อดินต่ำที่สุด อาจเป็นเพราะการปลูกพืชในระยะยาว โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืช จะส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารในดินลดน้อยลง และไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มมวลชีวภาพของพืช (จามิกร, 2537)

8. ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียต่อการเจริญเติบโตและมวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดินของต้นประดู่ป่า ปรากฏผลดังต่อไปนี้

8.1 ความสูงของต้นประดู่ป่า

พบว่า บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีผลต่อความสูงของต้นประดู่ป่าที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 26 และตารางผนวกที่ 3) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้ความสูงของต้นประดู่ป่ามากกว่าสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย กล่าวคือ ที่ระยะ 1 เดือน สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) ผลต่อความสูงของต้นประดู่ป่ามากที่สุด คือ 8.23 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) และที่ระยะ 2 และ 3 เดือน พบว่า สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) และสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) มีผลต่อความสูงของต้นประดู่ป่ามากที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) ส่วนสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) และสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) มีผลต่อความสูงของต้นประดู่ป่าน้อยที่สุดที่ระยะ 1 และ 2 เดือน ส่วนที่ระยะ 3 เดือน พบว่า สูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลต่อความสูงของต้นประดู่ป่าน้อยที่สุด

8.2 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นประดู่ป่า

พบว่า บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นประดู่ป่าที่ระยะ 2 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 27 และตารางผนวกที่ 3) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นประดู่ป่าสูงกว่าสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย กล่าวคือ สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) และสูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นประดู่ป่าสูงที่สุด ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นประดู่ป่าน้อยที่สุด ตามลำดับ และที่ระยะ 3 เดือน ซึ่งให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นประดู่ป่าสูงที่สุด คือ 0.253 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) ส่วนสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นประดู่ป่าน้อยที่สุด คือ 0.195 มิลลิเมตร

8.3 จำนวนใบของต้นประดู่ป่า

พบว่า บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีผลต่อจำนวนใบของต้นประดู่ป่าที่ระยะ 2 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 28 และตารางผนวกที่ จ3) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้จำนวนใบของต้นประดู่ป่ามากกว่าสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย กล่าวคือ สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) และสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) มีผลต่อจำนวนใบของต้นประดู่ป่ามากที่สุด คือ 7.75 ใบ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) ส่วนสูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) สูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลต่อจำนวนใบของต้นประดู่ป่าน้อยที่สุดที่ระยะ 2 เดือน และที่ระยะ 3 เดือน พบว่า สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) มีผลต่อจำนวนใบของต้นประดู่ป่ามากที่สุด คือ 10.25 ใบ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) ส่วนสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลต่อจำนวนใบของต้นประดู่ป่าน้อยที่สุด คือ 6.50 ใบ

8.4 ค่าความเขียว (SPAD reading) ของใบประดู่ป่า

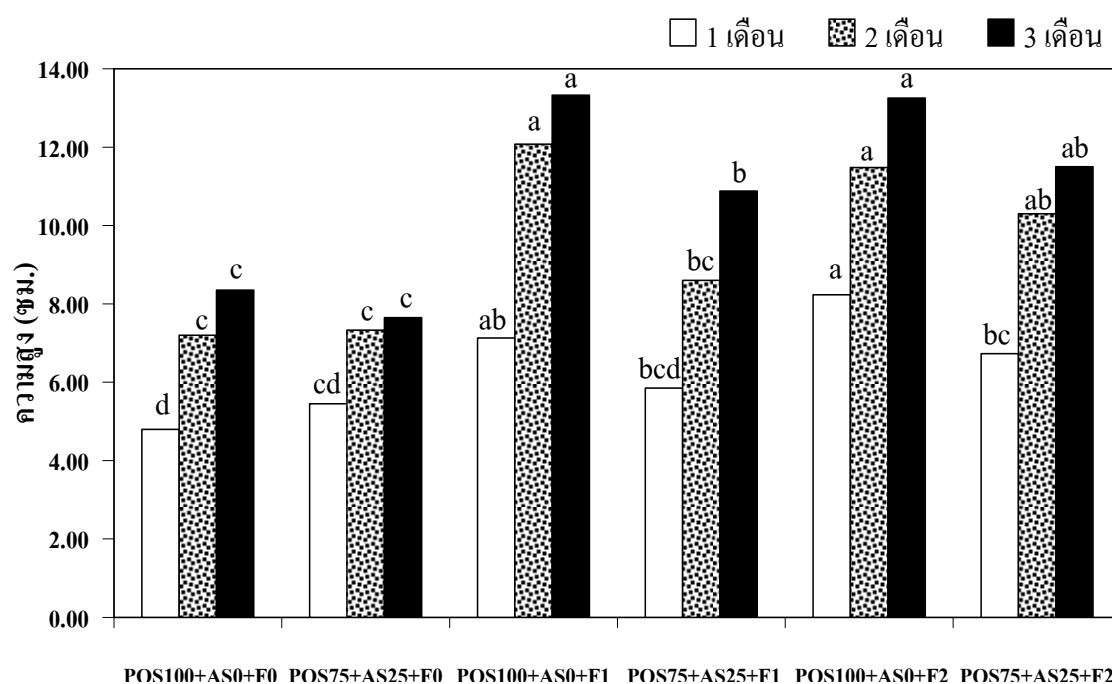
พบว่า บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีผลต่อค่าความเขียว (SPAD reading) ของใบประดู่ป่าที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 29 และตารางผนวกที่ จ3) กล่าวคือ ที่ระยะ 1 เดือน สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) และสูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) มีผลต่อค่าความเขียวของใบประดู่ป่าสูงที่สุด รองลงมา คือ สูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) สูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และสูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) ตามลำดับ และที่ระยะ 2 และ 3 เดือน พบว่า สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) มีผลต่อค่าความเขียวของใบประดู่ป่าสูงที่สุด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) ส่วนสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) มีผลต่อค่าความเขียวของใบประดู่ป่าน้อยที่สุด

8.5 มวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินของต้นประดู่ป่า

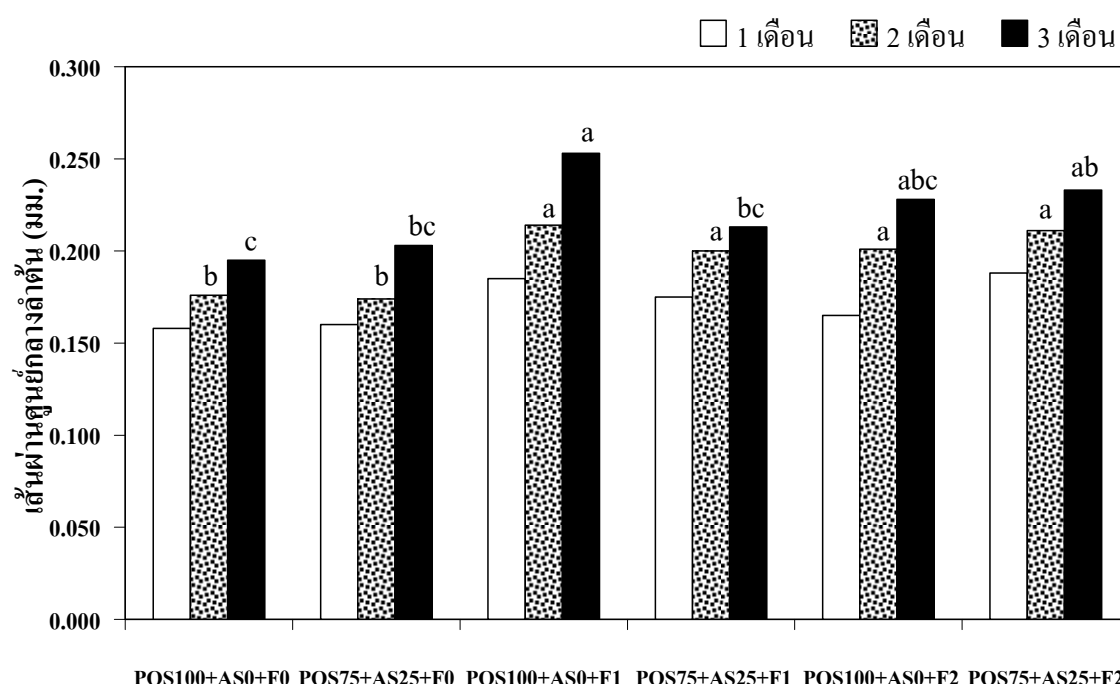
พบว่า บรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีผลต่อมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดิน (ส่วนต้น ส่วนกิ่ง และส่วนใบ) ของต้นประดู่ป่าที่ระยะ 3 เดือน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$) (ภาพที่ 30 และตารางผนวกที่ จ3) โดยสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง จะมีผลทำให้มวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินของ

ต้นประดู่ป่าสูงกว่าสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย กล่าวคือ สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) มีผลต่อมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินของต้นประดู่ป่าสูงที่สุด คือ 0.695 กรัมต่อต้น รองลงมาคือ สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) และสูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) ส่วนสูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) มีผลต่อมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินของต้นประดู่ป่าต่ำที่สุด คือ 0.293 กรัมต่อต้น

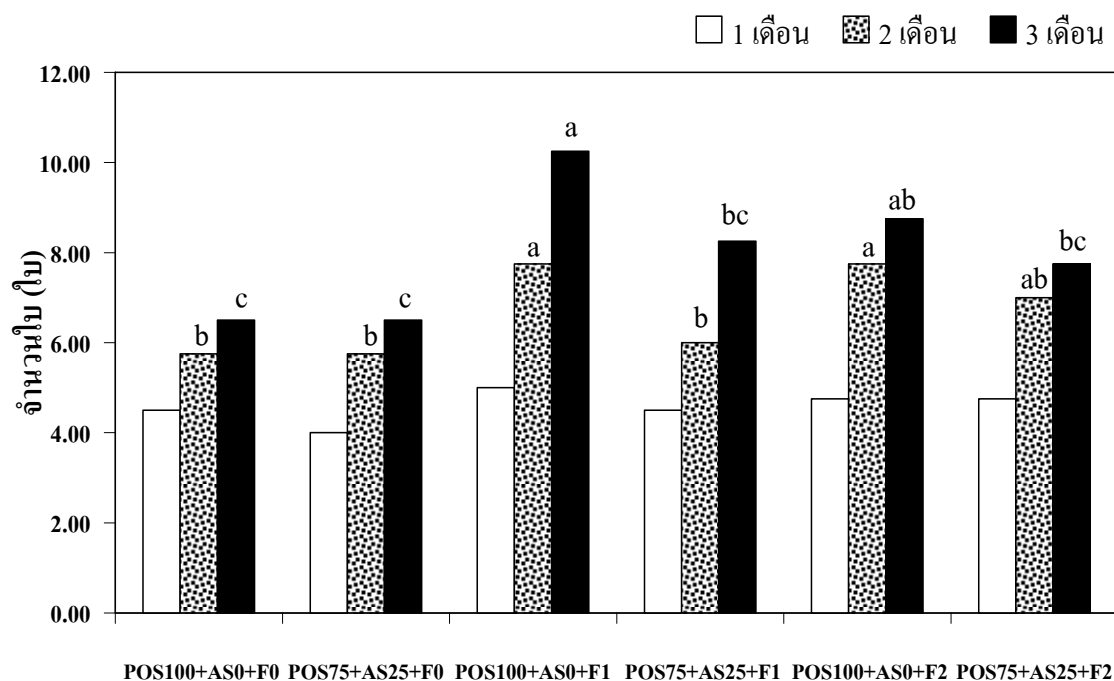
จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น มีข้อสังเกตว่าสูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง คือ สูตรที่ 5 ($POS_{100}+AS_0+F_2$) สูตรที่ 6 ($POS_{75}+AS_{25}+F_2$) สูตรที่ 3 ($POS_{100}+AS_0+F_1$) และสูตรที่ 4 ($POS_{75}+AS_{25}+F_1$) มีแนวโน้มให้การเจริญเติบโตของต้นประดู่ป่าในด้านความสูง และค่าความเขียวของใบที่ระยะ 1 และ 3 เดือน รวมทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบที่ระยะ 2 และ 3 เดือน และมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินที่ระยะ 3 เดือนสูงกว่าสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย ทั้งนี้เป็นไปได้ว่า ปุ๋ยเคมีที่เป็นส่วนผสมหนึ่งในการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และหรือกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียทั้ง 4 สูตร สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับต้นประดู่ป่าได้อย่างรวดเร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต ขณะที่กากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียจะปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้าๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของต้นประดู่ป่าได้เช่นกัน (ชัยสิทธิ์, 2538; Panichsakpatana, 1991; Thongjoo, 2005) แต่ในทางตรงกันข้าม พบว่า สูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย ได้แก่ สูตรที่ 1 ($POS_{100}+AS_0+F_0$) และสูตรที่ 2 ($POS_{75}+AS_{25}+F_0$) มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นประดู่ป่าในด้านความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ และค่าความเขียวของใบ และมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินต่ำที่สุด อาจเป็นเพราะการปลูกพืชในระยะยาว โดยไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืช จะส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารในดินลดน้อยลง และไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มมวลชีวภาพของพืช (จามีกร, 2537)



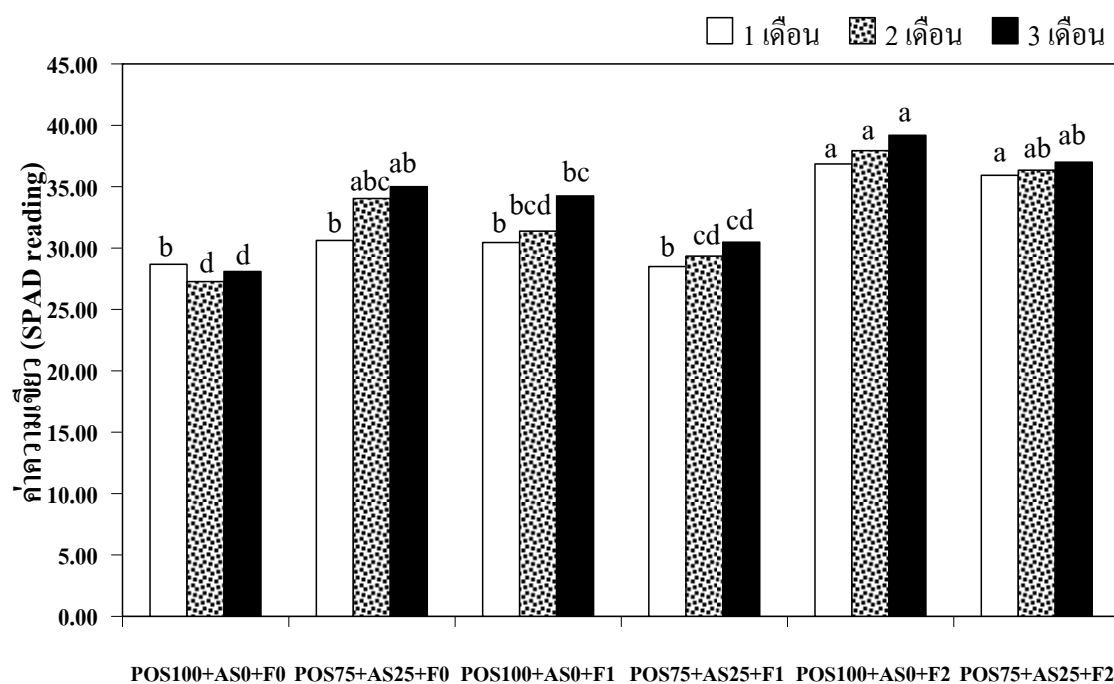
ภาพที่ 26 ความสูงของต้นประดู่ป่าที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน



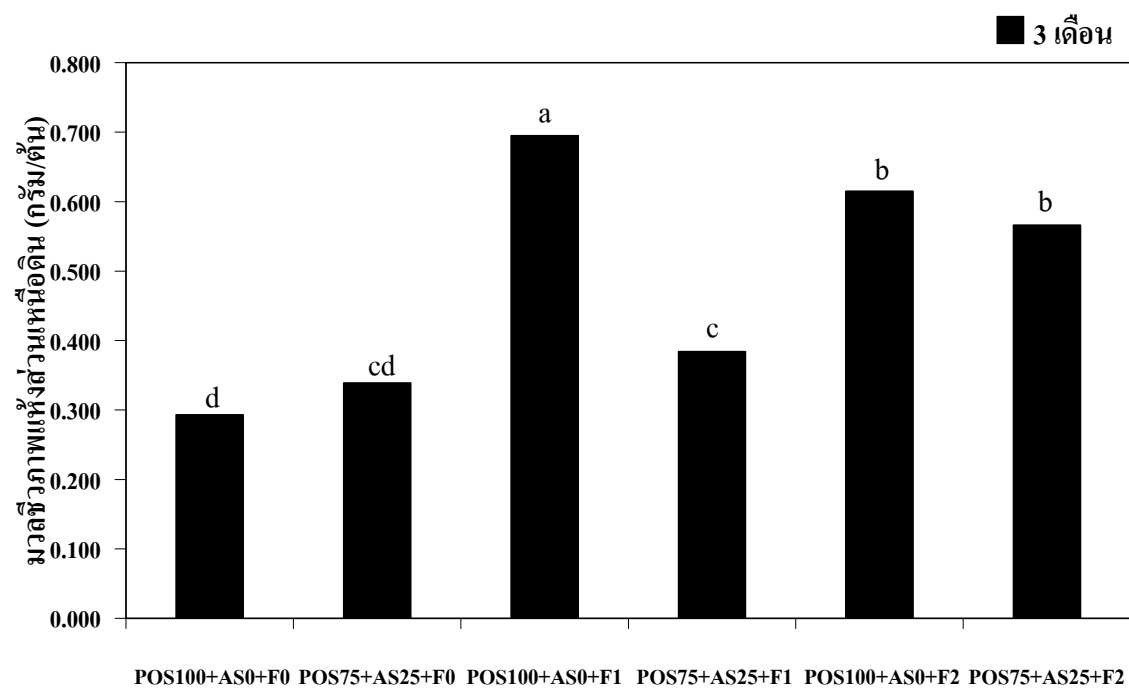
ภาพที่ 27 เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นประดู่ป่าที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน



ภาพที่ 28 จำนวนใบของต้นประดู่ป่าที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือน



ภาพที่ 29 ค่าความเขียว (SPAD reading) ของใบประดู่ป่าที่ระยะ 1, 2 และ 3



ภาพที่ 30 มวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดินของต้นประดู่ป่าที่ระยะ 3 เดือน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาสมบัติของกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุสำหรับบรรจุภัณฑ์กระดาษ พบว่า กากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบของบรรจุภัณฑ์ได้หลังการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุ รวมทั้งการเพิ่มธาตุอาหาร และตัวเชื่อมประสานในการเชื่อมเกาะกันของวัสดุ โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณอินทรีย์วัตถุ พบว่า กากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนจากบ่อบำบัดน้ำเสียเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหรือส่วนผสมในการผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์กระดาษที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และยังสามารถนำไปใช้ในการปลูกพืชได้อีกด้วย ทั้งนี้สามารถสรุปประเด็นสำคัญจากผลการทดลองได้ดังนี้

1. การขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และ/หรือกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องกดอัดแบบไฮดรอลิก นอกจากนี้ การเติมสารละลายแป้งมันสำปะหลัง ในปริมาณ 35 กรัม ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในปริมาณ 0, 1 และ 2 กรัม ตามลำดับ เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะ ความแข็งแรง และปริมาณธาตุอาหารของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และ/หรือกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย พบว่า บรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และ/หรือกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย มีความหนาและน้ำหนักใกล้เคียงกันในทุกสูตร และเมื่อทดสอบค่าความต้านทานแรงกดของบรรจุภัณฑ์กระดาษทั้ง 6 สูตร พบว่า บรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มร่วมกับกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียสามารถต้านทานแรงกดได้สูงสุด ในขณะที่บรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มต้านทานแรงกดได้น้อยที่สุด

2. ความต้านทานการดูดซึมน้ำ และความต้านทานการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มร่วมกับกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียสามารถต้านทานการดูดซึมน้ำและความต้านทานการตกกระแทกได้สูงที่สุด ในขณะที่บรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มต้านทานการดูดซึมน้ำและความต้านทานการตกกระแทกได้น้อยที่สุด

3. สูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูง มีผลต่อการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษ จากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และ/หรือกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังสูงกว่าสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพความชื้นแบบแห้ง และการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการย่อยสลาย กล่าวคือ ในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังเท่ากับ 48.05 ถึง 54.05 % ในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วันเท่ากับ 38.98 ถึง 41.95 % และในสภาพความชื้นแบบแห้งเท่ากับ 7.06 ถึง 7.71 %

4. สูตรที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และ/หรือการใส่ปุ๋ยเคมี มีผลทำให้ค่า pH ของดินลดลงในทุกสภาพความชื้น แต่ในกรณีของสูตรที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม กากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย และ/หรือการใส่ปุ๋ยเคมี จะมีผลทำให้ค่า pH ของดินสูงขึ้นในทุกสภาพความชื้น และค่า pH ของดินมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการย่อยสลาย กล่าวคือ ในสภาพความชื้นแบบแห้งเท่ากับ 6.84 ถึง 6.61 ในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วันเท่ากับ 6.55 ถึง 6.13 และในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังเท่ากับ 5.77 ถึง 5.28

5. สูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูงขึ้นในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังมีผลให้ค่า EC และปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินสูงกว่าในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพความชื้นแบบแห้ง และค่าดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการย่อยสลาย กล่าวคือ ในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังเท่ากับ 0.365 ถึง 0.482 dS/m และ 1.71 ถึง 1.76 % ตามลำดับ ในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วันเท่ากับ 0.124 ถึง 0.132 dS/m และ 1.67 ถึง 1.70 % ตามลำดับ และในสภาพความชื้นแบบแห้งเท่ากับ 0.054 ถึง 0.066 dS/m และ 1.58 ถึง 1.62 % ตามลำดับ

6. สูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูงขึ้นในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังมีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นมากกว่าในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน และสภาพความชื้นแบบแห้ง และค่าดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการย่อยสลาย กล่าวคือ ในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังเท่ากับ 0.069 ถึง 0.075 % และ 23.17 ถึง 28.58 mgP/kg ตามลำดับ ในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วันเท่ากับ 0.064 ถึง 0.067 % และ 21.58 ถึง 21.92 mgP/kg ตามลำดับ และในสภาพความชื้นแบบแห้งเท่ากับ 0.061 ถึง 0.064 % และ 16.69 ถึง 21.11 mgP/kg ตามลำดับ

7. สูตรที่มีสภาพความชื้นแบบแห้ง และสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน ในทุกสูตร จะมีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการย่อยสลาย กล่าวคือ

ในสภาพความชื้นแบบแห้งเท่ากับ 96.25 ถึง 133.10 mgK/kg และในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วันเท่ากับ 114.63 ถึง 483.84 mgK/kg แต่ในสูตรที่มีสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังในทุกสูตร มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการย่อยสลาย กล่าวคือ ในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขังเท่ากับ 228.03 ถึง 81.60 mgK/kg

8. สูตรที่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีในอัตราที่สูงขึ้น จะมีผลให้การเจริญเติบโตของต้นนนทรี ต้นแดง และต้นประดู่ป่าในด้านความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ ค่าความเขียว (SPAD reading) และมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินมากกว่าสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของปุ๋ยเคมีเลย

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการส่งเสริมการใช้วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อการผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน อีกทั้งยังช่วยลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นการทดแทนการใช้ถุงพลาสติกสีดำในการเพาะชำต้นไม้ อย่างไรก็ตาม อาจพบข้อจำกัดบางประการที่ยังต้องการการพัฒนาปรับปรุงต่อไป ดังนี้

1. จากการเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะของบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนปาล์ม น้ำมัน และ/หรือกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียด้วยสารเติมแต่ง คือ สารละลายแป้งเปียก พบว่า สามารถยึดเกาะได้ดี แต่สารเติมแต่งชนิดนี้ไม่สามารถกันความชื้น และการเกิดเชื้อราบนบรรจุภัณฑ์กระถางได้ ดังนั้น จำเป็นต้องมีการปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนชนิดของสารเติมแต่งโดยการเติมสารเติมแต่งประเภทอื่นๆ เช่น จีฟี่ สารกันเชื้อรา หรือการผสมเส้นใยและเยื่อต่างๆ จากธรรมชาติ

2. จากการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนปาล์มน้ำมัน และ/หรือกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องกดอัดไฮโดรลิก พบว่า ความหนาของบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตได้ยังคงไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งยังพบรอยแตกในบางบริเวณของบรรจุภัณฑ์ ดังนั้น การเปลี่ยนรูปแบบของแม่พิมพ์ น่าจะทำให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่ได้มีความหนาสม่ำเสมอ และลดรอยแตกที่เกิดขึ้นได้

3. จากสาเหตุในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนปาล์มน้ำมัน และ/หรือกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียด้วยแม่พิมพ์เหล็ก พบว่า เกิดปัญหาในขั้นตอนของการถอด

บรรจุภัณฑ์ออกจากแม่พิมพ์ ดังนั้น หากต้องการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ที่มีความลึกมากๆ จากเศษวัสดุเหลือทิ้ง ควรที่จะออกแบบแม่พิมพ์ใหม่ ให้ง่ายต่อการถอดบรรจุภัณฑ์

4. จากสาเหตุของความสามารถในการดูดซับความชื้นและน้ำได้ดี ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อบรรจุภัณฑ์กระถางจากกากตะกอนปาล์มน้ำมัน และ/หรือกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ดังนั้น การนำไปใช้ประโยชน์ในการปลูกกล้าไม้ พืชรอยแตกและการบวมในบางบริเวณของบรรจุภัณฑ์ ดังนั้น การเพิ่มความหนาของบรรจุภัณฑ์ และการปรับเปลี่ยนสารเติมแต่งให้เหมาะสม จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานของบรรจุภัณฑ์

5. ควรทำการศึกษาอิทธิพลของบรรจุภัณฑ์จากวัสดุเหลือทิ้งต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ที่ระยะ 6, 9 และ 12 เดือนต่อว่ากล้าไม้มีการเจริญเติบโตเป็นไปในทิศทางเดียวกับกล้าไม้ที่ระยะ 1, 2 และ 3 เดือนหรือไม่

6. เนื่องจากบรรจุภัณฑ์จากกากตะกอนปาล์มน้ำมัน และ/หรือกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียมีความต้านทานแรงกดสูง จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานชนิดอื่น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กิจจักษ์ วงษ์กุศลေး, นารณ์ ภูมิกรณ์ และศักดิ์ศิลป์ โชตติสกุล. 2541. ปาล์มน้ำมัน. กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

งามทิพย์ กุวัโรตม และสายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2540. การพัฒนาภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง. ใน การรายงานผลการวิจัยประจำปี 2540 ทูลอดหนุนวิจัยปี 2540 โครงการวิจัยรหัสพิเศษ 16.40. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จรวพร สมแก้ว. 2547. ผลของวัสดุเพาะกล้า 3 ชนิดต่อการงอกของเมล็ดสาลีจีนพันธุ์ Yokoyama Wase. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

จามีกร ศรีสุมล. 2537. การใช้อินทรีย์วัตถุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยในโตรเจนสำหรับข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จันรรจ์ วงศ์มณี, โกวิท พงศ์อนันต์, พิศาล วสุวานิช และ สมยศ กิจการคำ. 2532. ปุ๋ยออสโมไลต์ และวัสดุเพาะชำกับการเจริญเติบโตของกล้าไม้ประดู่. ศูนย์เมล็ดพันธุ์ไม้ป่าอาเซียนแคนาดา กองบำรุง กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

จิตรรัตน์ โพธิ์มามกะ. 2516. การประมาณความต้องการธาตุอาหารของผักบางชนิดจากปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในส่วนต่างๆ ของพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, เฉลิมพล บุญเจือ และ อุดมศรี อินทรโชติ. 2543 ก. การใช้กากเนื้อในเมล็ด
ปาล์มเป็นอาหารเสริมสำหรับโครีดนม. ใน รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2543. กองอาหาร
สัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. การใช้กากปาล์มน้ำมันเป็นอาหาร โค – กระบือ. ใน รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2548.
กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ชัยสิทธิ์ ทองจู. 2538. การใช้อินทรีย์วัตถุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับกวางตุ้งและ
ข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____. ก่อเกียรติ ฉายรัศมีกุล และ สุกชัย ศรีทันดร. 2541. วัสดุเหลือใช้จากโรงงาน อุตสาหกรรม:
ประโยชน์ในแง่วัสดุปลูกกับไม้กระถางในอนาคต. วารสารสถาบันคั่นคว้าและพัฒนาระบบ
เกษตรในเขตวิกฤต. 7(1): 9-14.

_____. จรัส เห็นพิทักษ์ และ วีระศรี หวังการ. 2544. การศึกษาและพัฒนาวัสดุเพาะกล้าจากวัสดุ
เหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมในเขตภาคตะวันตกของประเทศไทย, น. 7. ใน
รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39. วันที่ 5-7
กุมภาพันธ์ 2544. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. รุ่งโรจน์ จิตวีวรรณ. 2544. ชนิดและแนวทางการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
และอุตสาหกรรม. สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาระบบเกษตรในเขตวิกฤต
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฐานเศรษฐกิจ. 2550. นักธุรกิจปาล์มได้ จีแบ่งบริโกล-ไบโอ ล้อมคอกแย่งตลาด. แหล่งที่มา:
http://agro.psu.ac.th/index.php?option=com_content&task=view&id=1106&Itemid=113,
20 พฤษภาคม 2551.

ดวงทิพย์ กู้เกียรติกุลชัย. 2550. ผลการเคลือบสารซัดแปรและสารกันซึมต่อสมบัติของกระดาษกราฟทำผิวกล่องเพื่อใช้งานในสภาวะห้องเย็น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เดลินิวส์. 2551. กระดาษต้นไม้จากขุยมะพร้าว ไอเดียลดโลกร้อน. แหล่งที่มา:

http://www.dailynews.co.th/web/html/popup_news/popup_news_print.aspx?newsid=160854&NewsType=1&Template=1, 16 เมษายน 2551.

ถนัด เกิดงาม. 2533. ผลของอินทรีย์วัตถุเหลือใช้บางชนิดในแง่ปุ๋ยข้าวโพดที่ปลูกในชุดดินปากช่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และ จงรักษ์ จันทรเจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไทยรัฐ. 2545. “ผักตบชวา” จากพืชน้ำเจ้าปัญหามาเป็นกระถางย่อยสลาย. แหล่งที่มา:
<http://library.dip.go.th/multim/edoc/08863.doc>, 27 เมษายน 2545.

ชนธร ทองสัมฤทธิ์, สุขปา เนตรประดิษฐ์ และ ไพทีย์ ชีรเวชญาณ. 2547. รายงานการผลิตเยื่อและกระดาษจากใบธูปฤๅษีเพื่อนวัตกรรมสิ่งพิมพ์บรรจุภัณฑ์.

ธีระชัย รัตนโรจน์มงคล. 2542. การปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของกระดาษโดยใช้แป้งดัดแปรชนิดประจุบวก. รายงานการศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาตรี, กรุงเทพฯ.

นลินี วชิรานุกุล. 2550. ผลกระทบของโลหะหนักจากกระดาษที่ผลิตจากกากตะกอนเยื่อกระดาษ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.

นิภา พนาพิทักษ์กุล. 2524. ผลของอินทรีย์วัตถุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมต่อคุณสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บรรยงค์ แบบประเสริฐ และอุรวรรณ อุ่นแก้ว. 2544. การผลิตกระดาษหุ้มฝา. กองการวิจัย. กรม
วิทยาศาสตร์บริการ, กรุงเทพฯ.

บุบผา เข้มประเสริฐ. 2527. ผลกระทบของแคะเมียมใน activated sludge ที่มีต่อพืชผักและธาตุ
อาหารพืชบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปนัดดา พวงเกษม. 2540. การเตรียมฟิล์มบรีโกลได้จากแป้งมันสำปะหลังและแนวทางการใช้
ประโยชน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประกาศิต อินทรสำอางค์. 2549. การแปรสภาพและคุณภาพของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย จี
เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรีดา ธนสุกาญจน์, รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต และ กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2544. สมบัติกายภาพของเจล
ผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแซนแทนกัม, น.551-557. ใน รายงานการประชุมทาง
วิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39. วันที่ 5-7 กุมภาพันธ์ 2544.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรชัย ราชตะนະพันธุ์. 2550. พลศาสตร์การบรรจุ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

พรฤดี สงวนสุข. 2549. การใช้ของเหลือจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพื่อผลิตปุ๋ยอัดเม็ดสำหรับ
ดาวเรือง. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี, ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

พัชร หอพิจิตร. 2529. การจัดการขยะมูลฝอย. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

พานิช ทินนิมิตร. 2535. โภชนศาสตร์ประยุกต์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่, สงขลา.

พิทยากร ลิ้มทอง, วรรณลดา สุนันทพงษ์ศักดิ์, เสียงแจ้ว พิริยพจน์, ประโสด ธรรมเขต, ชุศรี
 ยสินทร และปรัชญา ธีัญญาดี. 2534. ผลของวิธีการระบายอากาศต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ใน
 กองปุ๋ยหมักจากฟางข้าว, น. 35-43. ใน รายงานผลการวิจัยการปรับปรุงบำรุงดินด้วย
 อินทรีย์วัตถุ, กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

เมธี มณีวรรณ. 2542. มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก). ว. พัฒนาที่ดิน. 36: 12-22.

ขงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงมณีโรจน์, ชวลิต ธงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน.
 สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รุ่งทิwa วันสุขศรี, บุญทิwa นิลจันทร์, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, วิไล สันติโสภาสรี และกล้าณรงค์ ศรี
 รอด. 2547. สมบัติโครงสร้างของสตร้าข้าวไทย 2: การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณอะ
 มิโลส. ใน งานประชุมเกษตรวิชาการ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์. 2545 . ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกระดาษ. กองการวิจัย, กรมวิทยาศาสตร์บริการ,
 กรุงเทพฯ.

วงศ์ผกา วงศ์รัตน์ และ ปาริชาติ ธาราพัตราพร. 2542. การศึกษาบรรจุภัณฑ์จากผักตบชวา. ภาควิชา
 วิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน,
 นครปฐม.

วิวัฒน์ ตันตะพาณิชกุล. 2546. รายงานการผลิตบรรจุภัณฑ์จากขาน้อย.

วิโรจน์ อัมพิทักษ์. 2528. ความเหมาะสมในการผลิตและการใช้ปุ๋ยหมัก. วารสารดินและปุ๋ย. 7: 100-
 107.

ศิริพร ศรีสมบุญ. 2545. การใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ปาล์มน้ำมันเพื่อการเกษตรยั่งยืน.
 วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

สมบัติ ศรีจันทร์. 2544. การใช้กากเนื้อในเมล็ดปาล์มชนิดหีบและใช้สารเคมีสกัดเป็นอาหารโคเนื้อ.
วารสารสัตวบาล. 12 (56): 14 35-41.

สมพงษ์ เทสประสิทธิ์. 2526. การใช้กากปาล์มน้ำมันในอาหารโคขุน. วารสารสงขลานครินทร์. 5 (3):
221-225.

สาयนต์ ดันพานิช และ ปรียานันท์ ศรีสูงเนิน. ม.ป.ป. คุณสมบัติของกากตะกอนโรงงาน
อุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย,
กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2548. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 75-2548.

สินชัย แซ่ตั้ง. 2543. การศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตต้นแบบภาชนะบรรจุเยื่อตะไคร้หอม. คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

สุนทร ดุริยะประพันธ์, ทักษิณ อาชวาคม, ชัยสิทธิ์ ทองจู, ปริญญา วิไลรัตน์, สาयนต์ ดันพานิช และ
ประยุทธ์ กาวีละเวส. 2541. การผลิตแท่งเพาะชำจากกากตะกอนบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงาน
อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย,
กรุงเทพฯ.

_____, ปริญญา วิไลรัตน์, ทักษิณ อาชวาคม, สาयนต์ ดันพานิช, ประยุทธ์ กาวีละเวส, ชลธิชา นิवास
ประกฤติ และ ปรียานันท์ ศรีสูงเนิน. ม.ป.ป. แนวทางการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ใน
อุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

สุริยา สาสนรักกิจ. 2531. การประเมินประสิทธิภาพของอินทรีย์วัสดุเหลือใช้บางอย่างในแง่การใช้
เป็นปุ๋ยในโตรเจนในนาข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภาวินี นิลเขต. 2550. การใช้กากตะกอนเยื่อกระดาษเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับผลิตกลูโคสและ
เอนไซม์เซลลูเลส โดยเชื้อรา *Trichoderma spp.* ในปฏิกิริยาคั่งต่อเนื่อง ขนาดระดับ
ห้องปฏิบัติการ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุริยา ศาสนรักกิจ. 2531. การประเมินประสิทธิภาพของอินทรีย์วัตถุเหลือใช้บางอย่างในแง่การใช้ปุ๋ย
ไนโตรเจนในนาข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อนุภาพ แก้วทอง. 2541. การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหญ้า เศษใบไม้แห้ง และกากตะกอนน้ำเสียด้วยวิธี
กองแบบมีการระบายอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรพินท์ สุริยพันธุ์. 2544. การวิเคราะห์กัมมันต์, น. 124-126. ใน คู่มือวิเคราะห์ดินและพืช. กอง
ปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2546. ปุ๋ยกับการเกษตรและสิ่งแวดล้อม. ใน ปฐพีก้าวหน้า วิจัย-วิชาการ.
ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อำนวย อำเมือง. 2528. อิทธิพลของตะกั่วในแอคติเวเตดสลัดจ์ที่มีผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณ
แอมโมเนียมและซีโอดี และผลที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรรถพงศ์ สีนชัยศรี, ปิยาภรณ์ วุ่นบาง และอิสระ ปรีชาชน. 2538. การศึกษาผลของแป้งมัน
ตำปะหลังที่ ปรับปรุงคุณสมบัติแล้วต่อการสลายตัวแล้วต่อการสลายทางชีวภาพของ
พลาสติกพอลิเอทิลีน. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

Altieri P.A. 1992. **biodegradable shaped products and the method of preparation thereof.**
U.S.patent 5, 153, 037.

AOAC. 1998. **Official Methods of Analysis of AOAC International.** 16th ed. AOAC
International.Maryland, USA.

_____. 2000. **Official Methods of Analysis.** 17th ed. Gaithersburg, MD, Maryland, USA, AOAC
International.

- Banegas, V., J. L. Moreno., J. I. Moreno., C. Garcia., G. Leon and T. Hernandez. 2007. Composting anaerobic and aerobic sewage sludge using two proportions of sawdust. **Waste Manage.** 27: 1317-1327.
- Bramel, G. F. 1986. Modified starch for surface sizing and coating of paper. **Tappi J.** 69 (1): 54-56. *Cited P. Lertsutthiwong. 2002. The use of chitosan in the production of high quality printing paper.* Asian Institute of Technology, Thailand.
- Beynum, G.M.A., van, and J.A. Roels. 1985. **Starch Conversion Technology.** Marcel Dekker, Inc., New York.
- Canpotex. 2004. **Planter's Diary.** Canpotex International, Singapore.
- Crawford, J.H. 1983. Composting of agricultural wastes-a review. **Process Biochem.** 18: 14-18.
- Day, M. and K. Shaw. 2001. Biological, chemical, and physical processes of composting, pp. 17-50. *In* P.J. Stoffella and B.A. Kahn (eds.). **Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems.** Lewis Publishers, New York, USA.
- De Bertoldi, M., G. Vallini and A. Pera. 1983. The Biology of Composting: a Review. **Waste Manage & Research.** 1: 157-176.
- Devendra, C and R. I. Hutagalung. 1978. **Feedingstuffs for Livestock of South East Asia. Feedingstuff from the oil palm.** Malaysian Society of Animal Production Serdang, Selangor. Malaysia.
- Faithfull, N.T. 2002. **Methods in Agricultural Chemical Analysis.** CAB International, Wallingford, UK.

- FAO. 1988. **Non-Conventional Feed Resources in Asia and the Pacific**. Advances in Availability and Utilization. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok.
- Frank H.G. 1996. **Composition for resilient biodegradable packaging material products**. U.S. patent 5,512,090.
- Gaur, A.C. 1980. Fundamentals of composting, pp. 7-14. *In* **Compost Technology**, FAO/UNDP regional project. Project field document no. 13.
- Gerritse, R.G., R. Vriesema, J.W. Dalenberg and H.P. De Roos. 1982. **Effect of sewage sludge on trace element mobility in soils**. 11: 359-364.
- Goluek, C.G. 1977. The biological approach of solid waste management. **Compost Sci.** 8: 4-9.
- Goring, C.A.I. and J.W. Hamaker. 1972. **Organic Chemicals in Soil Environment**. Marcel Dekker Inc., New York.
- Gray, K.R., K. Sherman and A.J. Biddlestone. 1971. A review of composting, part 1. **Process Biochem.** 6 (6): 22-36.
- Gudmundsson, T., Bjornsson, H. and Thorvaldsson, G. 2004. Organic carbon accumulation and pH changes in an Andic Gleysol under a long-term fertilizer experiment in Iceland. **Catena**. 56: 213-224.
- Guidi, G. and J.E., Hall. 1984. Effect of sewage sludge on the physical and chemical properties of soils, pp. 295-305. *In* P.L. Hermite and H. Ott (eds.). **Processing and Use of Sewage Sludge**. D. Reidal Publishing Company, Holland.
- Hasit, Y. 1986. Sludge treatment. Utilization and Disposal. **J. WCSF.** 58: 510-515.

- Haug, R.T. 1980. **Composting Engineering: Principle and Practice**. Technomic Publ. Co. Inc., Lancaster, Pennsylvania.
- Jeffs H.J. 1993. **Biodegradable packaging form and method of preparation**. U.S. patent 5,252,271.
- Jiminez, E.T. and V.P. Garcia. 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: A review. **Biological Wastes** 27: 115-142.
- JICA. 1982. **The Bangkok Solid Waste Management Study in Thailand Interim Report**. Bangkok, Thailand.
- Kasemsuwan, T., Jane, J., Chen, Y.Y., Lee, L.F., McPherson, A.E., Wong, K.S. and Radosavljevic, M. 1999. Effects of Amylopectin Branch Chain Length and Amylose Content on the Gelatinization and Pasting Properties of Starch. **Cereal Chem.** 76: 629-637.
- Kerr, R.W. 1950. **Chemistry and Industry of Starch**. 2nd ed. Academic Press, New York.
- Killham, K. 1994. **Soil ecology**. Department of Plant and Soil Science, University of Aberdeen, Australia.
- Kirkham, M.B. 1975. Trace element in corn grown of long-term sludge disposal sites Environ. **Sci. Technol.** 9:765-768.
- Lacourse N.L. 1991a. **Biodegradable package material and the method of preparation thereof**. U.S. patent 4,863,655.
- _____. 1991b. **Biodegradable shaped products and the method of preparation thereof**. U.S. patent 5,035,930.

- Lim, W.J., Liang, Y.T. and Seib, P.A. 1992. Cationic oat starch: Preparation and effect on paper strength. **Cereal Chem.** 69 (3): 237-239.
- Luetzke, K. and W., Klee. 1990. Measurement and assessment of the heavy metal emission from selected installations and suggested measures for their reduction. **Patial Report on Measurement of the Heavy Metal and Trace Element Emission of a Fluidized-Bed Furnace for Sewage Sludge Combustion**, Current Abstracts. 89: 100.
- Manson, J. 1988. Sewage sludge to land. **Water and Wastewater Treatment.** 31: 4.
- Martins, O. and Dewes, T. 1992. Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes. **Bioresour. Technol.** 42: 103-111.
- Meunchang, S., Panichsakpatana, S., and Weaver, R.W. 2005. Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from a sugar mill. **Bioresour. Technol.** 96: 437-442.
- Miller, F.C. 1993. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors, pp. 515-544. *In* Meeting, F.B., Jr. (ed.). **Soil Microbial Ecology**. Basel, Hong Kong: Marcel Dekker. Inc., New York.
- Moritsuka, N., Tanaka, U., Tsunoda, M., Mtakwa, P. and Kosaki, T. 2000. Significance of plant residue management under the Matego pit system in Mbinga district, Southern Tanzania. **Jpn. J. Trop. Arg.** 44: 130-137.
- Nwokolo, E.N., Bragg, D.B. and Saban, H.S. 1977. A Nutritive evaluation of Palm kernel meal for use in poultry ration. **Tropical Science.** 19(3) : 147 – 154.
- Panichsakpatana, S., S.Sassanarakkit, and S.Vacharotayan. 1991. Utilization of Some Organic Waste as N Source for Lowland Rice. *In* **Dynamics and Its Control of Soils in Tropical Monsoon Regions, Report of Survey and Research in Thailand**. T. Yoshida et al. (eds.). Ministry of Education, Science and Culture. Rep. No. 63044024. : 156-168.

- Parr, J.F. 1975. Chemical and biological consider reactions for land application of agricultural and municipal wastes, pp. 227-252. *In* **Organic Material as Fertilizer. Report of the FAO/SIDA Expert Consultation.** Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Pintukanok, A., Fukami, M. and Wada, H. 1988. Organic waste materials in Thailand, pp. 72 - 99. *In* Vacharotayan, S., Panichsakpatana, S., Chanchareonsook, C. and Wada, H. (eds.). **Sustained soil fertility in a tropical region as affected by organic waste materials.** Kasetsart Univ. and Dep. Agr., Bangkok.
- _____, L.J. Sikora, J.M. Taylor and J.F. Parr. 1977. Decomposition of sewage sludge compost in soil: I. Carbon and nitrogen transformations. **J. Environ. Qual.** 6: 459-463.
- Polprasert, C. 1996. **Organic Waste Recycling and Management.** John Wiley & Sons, England.
- Rabbani, K.R., Jindal, R., Kubota, H. and Obeng, L. 1983. Composting of domestic refuse: A review. **Environ. Sanitation.** 10 (11): 9-78.
- Rao, D.N. and Mikkelsen, D.S. 1976. Effect of rice straw incorporation on rice plant growth and nutrition. **Agro. J.** 68: 752-755.
- Rynk, R. 1992. **On farm composting handbook.** Northeast regional agricultural engineering service, Cooperation Extension, Ithaca, New York.
- Smook, G. A. 1992. **Handbook for Pulp & Paper Technologists.** Augus Wilde Publications Inc., Canada.
- Stentiford, E.T. 1996. Composting control: Principles and practice, pp. 49-59. *In* De Bertoldi, M., Sequi, P., Lemms, B. and Papi, T. (eds.). **The Science of Composting.** CEC, Blackie Academic and Professional, London.

Tengerdy, R.P. 1985. Solid substrate fermentation. **Trends in Biotech.** 3 (4): 96-99.

The Thai Pulp and Paper Industries Association (TPPIA). 1997. **Directory the Thai pulp and paper industries association.** Bangkok.

Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity, pp. 475-490. *In* D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (eds.). **Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods.** Science Society of America Book Series Number 5. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Thongjoo, C., Miyagawa, S. and Kawakubo, N. 2005. Effects of soil moisture and temperature on decomposition rates of some waste materials from agriculture and agro-industry. **Plant Prod. Sci.** 8 : 475-181.

_____, C., Miyagawa, S. and Kawakubo, N. 2006. Soil productivity after decomposition of waste materials under different soil moisture and temperature. **Plant Prod. Sci.** 9 (2): 106-114.

U.S. Environment Protection Agency. 1995. **Composting: Yard and Municipal Solid Waste.** Lancaster, Technomic Publishing.

Vinneras, B. 2007. Comparison of composting, storage and urea treatment for sanitizing of faecal matter and manure. **Bioresour. Technol.** 98 : 3317–3321.

Webber, M.D., A., Klok and J.Chr., Jell. 1984. A Review of Current Sludge Use Guideline for the Control of Heavy Metal Contamination in Soils, pp. 371-385. *In* P.L. Hermite and H. Ott (eds.). **Processing and Use of Sewage Sludge.** D. Reidal Publishing Company, Holland.

Wong, M.H. 1985. Heavy metal contamination of soils and crops from auto traffic, sewage sludge, pig manure and chemical fertilizer. **Agric. Ecosyst. Environ.** 13: 139-149.

Yoshida S. 1981. Fundamentals of rice crop science, Cited by J. Rangland and L. Boonpuckdee.

Fertilizer responses in northeast Thailand. 3 Nitrogen use and soil acidity. **Thai J. of Soils and Fertilizers**. 10(1): 67-76.

Zorpas, A.A., D. Arapoglou and K. Panagiotis. 2003. Wastes paper and clinoptilolite as a bulking material with dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge (DASPSS) for compost production. **Waste Manage**. 23: 27-35.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก**วิธีการทดสอบและการคำนวณค่าการทดสอบ**

วิธีทดสอบความหนา

1. มาตรฐานการทดสอบ ดัดแปลงจาก TAPPI 411 om-89

2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องวัดความหนา

3. วิธีการทดสอบ

1. ทำการตัดบรรจุภัณฑ์กระดาษจากวัสดุเหลือทิ้ง ขนาด 2 x 2 เซนติเมตร จากนั้น นำแผ่นทดสอบมาตรฐานมาวัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนา ครั้งละ 5 แผ่น แผ่นละ 8 จุด โดยแต่ละจุดไม่ซ้อนทับกัน

2. บันทึกค่าที่ได้

4. การคำนวณ

$$\text{ความหนาต่อหนึ่งแผ่นทดสอบ} = \frac{\text{ค่าความหนาที่วัดได้}}{5}$$

บันทึกค่าที่ได้ในหน่วยมิลลิเมตร (mm)

วิธีทดสอบปริมาณความชื้นของวัสดุ

1. มาตรฐานการทดสอบ ดัดแปลงจาก ASTM D 644

2. อุปกรณ์และสารเคมี

- 2.1 ตู้อบ (hot air oven)
- 2.2 เครื่องชั่งแบบละเอียดชนิด 3 ตำแหน่ง
- 2.3 ภาชนะความชื้น (moisture can)
- 2.4 ถังมือ
- 2.5 โถดูดความชื้น (desiccator)

3. วิธีการทดสอบ

- 3.1 นำตัวอย่างที่ทดสอบความชื้นประมาณ 50 กรัม ลงในภาชนะความชื้น (moisture can) ที่ทราบน้ำหนักแล้ว
- 3.2 นำชิ้นทดสอบพร้อมกับภาชนะความชื้น ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C นานประมาณ 24 ชั่วโมง
- 3.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำชิ้นทดสอบออกจากตู้อบทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccator)
- 3.4 นำไปชั่งหาน้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังอบ

4. การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนอบ} - \text{น้ำหนักชิ้นทดสอบหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนอบ}}$$

วิธีทดสอบปริมาณความชื้นของบรรจุภัณฑ์กระดาษ

1. มาตรฐานการทดสอบ ดัดแปลงจาก TAPPI T412 om-88

2. อุปกรณ์และสารเคมี

- 2.1 เครื่องทดสอบปริมาณความชื้น
- 2.2 เครื่องชั่งแบบละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง
- 2.3 ภาชนะใส่ตัวอย่างที่กันความชื้นได้
- 2.4 ถุงมือ และกรรไกร
- 2.5 โถดูดความชื้น (desiccator)

3. วิธีการทดสอบ

3.1 นำตัวอย่างที่ทดสอบความชื้น จำนวน 5 ชุด ที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำไปชั่งให้ละเอียดถึง 0.02 กรัม คำนวณน้ำหนักขึ้นทดสอบก่อนอบ

3.2 นำขึ้นทดสอบพร้อมกับกระป๋องความชื้น ไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 2 °C โดยนำขึ้นทดสอบมาวางไว้บนตะแกรงในเครื่องทดสอบความชื้น จนความชื้นคงที่

3.3 เมื่อความชื้นคงที่ นำขึ้นทดสอบใส่ในถุงพลาสติก แล้วนำออกจากเครื่องทดสอบความชื้นทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น (desiccator)

3.4 นำไปชั่งหาน้ำหนักของขึ้นทดสอบหลังอบ

4. การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักขึ้นทดสอบก่อนอบ} - \text{น้ำหนักขึ้นทดสอบหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักขึ้นทดสอบก่อนอบ}}$$

วิธีทดสอบค่าความต้านทานแรงกดของบรรจุภัณฑ์กระดาษ

1. มาตรฐานการทดสอบ ดัดแปลงจาก ASTM D642

2. อุปกรณ์และสารเคมี

2.1 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกด

3. วิธีการทดสอบ

3.1 วางบรรจุภัณฑ์บนแผ่นเครื่องทดสอบความต้านทานแรงกด

3.2 ทำการกดเพื่อหาค่าความต้านทานแรงกดในแนวดิ่ง โดยใช้อัตราเร็วในการกด (compression rate) เท่ากับ 30 มิลลิเมตร/นาที และบันทึกค่าแรงกดที่การเสียรูป 15 มิลลิเมตร

วิธีทดสอบการดูดซึมน้ำของบรรจุภัณฑ์กระดาษ

1. มาตรฐานการทดสอบ ดัดแปลงจาก TAPPI T441 om-90

2. อุปกรณ์และสารเคมี

- 2.1 โอเอซิส (oasis)
- 2.2 เครื่องชั่งแบบละเอียดตุนิยม 3 ตำแหน่ง
- 2.3 นาฬิกาจับเวลา
- 2.4 กระดาษซับ
- 2.4 น้ำกลั่น

3. ภาวะทดสอบ

- 3.1 อุณหภูมิ 27 ± 1 °C
- 3.2 ความชื้นสัมพัทธ์ 65 ± 2 %

4. วิธีการทดสอบ

- 4.1 แช่โอเอซิส (oasis) ให้อิ่มตัวด้วยน้ำประมาณ 30 นาที
- 4.2 ชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียดถึง 0.001 กรัม (W_1)
- 4.3 วางโอเอซิส (oasis) ลงบนชิ้นทดสอบ โดยใช้เวลาที่ทดสอบคือ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140 และ 150 นาที
- 4.4 นำชิ้นทดสอบมาซับน้ำออกด้วยกระดาษซับ
- 4.5 นำชิ้นทดสอบไปชั่งอีกครั้ง (W_2)

5. การคำนวณ

$$\text{น้ำหนักของการดูดซึมน้ำ} = (W_1 - W_2) \times 100$$

วิธีทดสอบความต้านทานการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์กระดาษ

1. มาตรฐานการทดสอบ ดัดแปลงจาก ASTM D 5276

2. อุปกรณ์และสารเคมี

2.1 เครื่องทดสอบความต้านทานการตกกระแทก

3. ขั้นตอนทดสอบ

3.1 บรรจุภัณฑ์กระดาษ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 3.5 นิ้ว

4. วิธีการทดสอบ

4.1 กำหนดความสูงของการตกกระแทก ที่ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 เซนติเมตร

4.2 ระบุตำแหน่งการตกกระแทก

4.2.1 การตกกระแทกเกิดที่ขอบก้นของบรรจุภัณฑ์กระดาษ

4.2.2 การตกกระแทกด้านก้นของบรรจุภัณฑ์กระดาษ



4.3 ตรวจสอบความเสียหายของขั้นตอนทดสอบ

ภาคผนวก ข

ค่าการทดสอบสมบัติเชิงกลของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากวัสดุเหลือทิ้ง

ตารางผนวกที่ ข1 ปริมาณการดูดซึมน้ำของกระถางจากวัสดุเหลือทิ้ง

ปริมาณการ ดูดซึมน้ำ (min)	สูตร						F-test ที่ได้ จาก Anova	CV (%)
	T1	T2	T3	T4	T5	T6		
	POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂		
10	2.48 ^a ±0.11	1.50 ^b ±0.11	2.50 ^a ±0.08	1.55 ^b ±0.06	2.56 ^a ±0.01	1.57 ^b ±0.03	**	25.29
20	4.15 ^a ±0.04	3.11 ^b ±0.26	4.17 ^a ±0.03	3.18 ^b ±0.04	4.25 ^a ±0.12	3.20 ^b ±0.07	**	15.21
30	5.10 ^b ±0.00	5.56 ^a ±0.00	5.15 ^b ±0.16	5.59 ^a ±0.07	5.31 ^b ±0.06	5.60 ^a ±0.04	**	4.52
40	6.53 ^b ±0.03	7.90 ^a ±0.59	6.54 ^b ±0.13	7.91 ^a ±0.04	6.60 ^b ±0.07	7.93 ^a ±0.09	**	10.94
50	7.68 ^b ±0.01	8.81 ^a ±0.04	7.70 ^b ±0.13	8.89 ^a ±0.06	7.78 ^b ±0.23	8.85 ^a ±0.00	**	7.31
60	8.93 ^b ±0.06	9.91 ^a ±0.08	8.97 ^b ±0.01	9.88 ^a ±0.07	9.03 ^b ±0.00	9.86 ^a ±0.00	**	5.02
70	10.29 ^{ab} ±0.42	10.92 ^a ±0.04	10.15 ^b ±0.14	10.89 ^a ±0.08	10.36 ^{ab} ±0.17	10.93 ^a ±0.00	*	4.15
80	11.27 ^b ±0.34	12.34 ^a ±0.25	11.23 ^b ±0.14	12.38 ^a ±0.22	11.18 ^b ±0.11	12.40 ^a ±0.64	**	5.63
90	12.48 ^b ±0.48	13.96 ^a ±0.14	12.53 ^b ±0.31	13.90 ^a ±0.06	12.64 ^b ±0.13	13.90 ^a ±0.15	**	6.04
100	13.20 ^b ±0.17	15.43 ^a ±0.03	13.39 ^b ±0.32	15.49 ^a ±0.23	13.26 ^b ±0.00	15.46 ^a ±0.07	**	8.00
110	14.26 ^b ±0.31	16.05 ^a ±0.17	14.18 ^b ±0.25	16.09 ^a ±0.21	14.21 ^b ±0.14	15.99 ^a ±0.14	**	6.54

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ปริมาณการ ดูดซึมน้ำ (min)	สูตร						F-test ที่ได้ จาก Anova	CV (%)
	T1	T2	T3	T4	T5	T6		
	POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂		
120	14.73 ^b ±0.23	17.40 ^a ±0.26	15.54 ^b ±0.63	18.04 ^a ±0.03	14.66 ^b ±0.06	18.06 ^a ±0.03	**	10.53
130	15.82 ^b ±0.16	18.91 ^a ±0.06	15.87 ^b ±0.46	18.91 ^a ±0.06	15.76 ^b ±0.14	18.89 ^a ±0.08	**	9.32
140	16.36 ^b ±0.00	19.49 ^a ±0.26	16.29 ^b ±0.42	19.45 ^a ±0.12	16.67 ^b ±0.17	19.53 ^a ±0.36	**	9.01
150	18.00 ^b ±0.23	20.04 ^a ±0.14	17.93 ^b ±0.20	20.06 ^a ±0.03	18.12 ^b ±0.23	20.03 ^a ±0.12	**	5.64

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยใช้ DMRT.

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

ภาคผนวก ค

ค่าการทดสอบต่างๆ ของการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระถางจากวัสดุเหลือทิ้ง

ตารางผนวกที่ ค1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์กระดาษจากจากกาก
ตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพ
ความชื้นดินที่ต่างกัน

ระยะเวลาการย่อยสลาย	อุณหภูมิในการย่อยสลาย (°C)		
	สภาพแห้ง	สภาพรดน้ำทุก 7 วัน	สภาพน้ำขัง
1	23.56	24.82	24.59
2	23.56	24.82	24.59
3	23.61	24.85	24.61
4	23.61	24.85	24.61
5	23.50	24.78	24.56
6	24.00	25.33	25.09
7	23.78	25.05	24.81
8	24.06	25.35	25.12
9	24.11	25.34	25.12
10	25.72	27.10	26.77
11	25.67	27.13	26.80
12	25.00	26.38	26.08
13	25.11	26.43	26.13
14	25.00	26.32	26.02
15	24.83	26.17	25.89
16	24.72	25.93	25.66
17	24.33	25.63	25.36
18	24.50	25.88	25.61
19	24.39	25.77	25.50
20	24.89	26.30	26.03
21	24.78	26.12	25.86
22	24.56	26.02	25.75
23	24.61	26.05	25.78

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ระยะเวลาการย่อยสลาย	อุณหภูมิในการย่อยสลาย (°C)		
	สภาพแห้ง	สภาพรดน้ำทุก 7 วัน	สภาพน้ำขัง
24	24.33	25.64	25.39
25	24.22	25.53	25.28
26	24.33	25.72	25.48
27	24.67	26.05	25.81
28	24.56	25.93	25.70
29	24.78	26.17	25.92
30	24.78	26.17	25.92
31	24.61	25.92	25.67
32	24.67	26.00	25.75
33	24.33	25.65	25.42
34	23.89	25.33	25.09
35	24.67	25.69	25.48
36	24.67	25.75	25.53
37	24.56	25.64	25.42
38	24.56	25.64	25.42
39	24.89	26.09	25.87
40	25.00	26.32	26.09
41	24.67	25.87	25.64
42	24.89	26.15	25.92
43	25.78	27.18	26.92
44	25.78	27.18	26.92
45	25.56	26.90	26.64
46	26.00	27.47	27.20
47	25.78	27.20	26.91

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ระยะเวลาการย่อยสลาย	อุณหภูมิในการย่อยสลาย (°C)		
	สภาพแห้ง	สภาพรดน้ำทุก 7 วัน	สภาพน้ำขัง
48	26.11	27.30	27.02
49	26.17	27.49	27.19
50	26.61	27.88	27.58
51	26.39	27.71	27.41
52	27.11	28.30	28.02
53	26.78	27.97	27.69
54	27.61	28.45	28.19
55	27.89	28.84	28.58
56	28.00	28.67	28.41
57	28.56	29.22	28.97
58	28.11	29.02	28.74
59	28.78	29.69	29.41
60	29.44	30.29	30.02
61	29.89	30.48	30.25
62	31.33	33.36	33.09
63	36.56	38.61	38.44
64	35.89	37.94	37.77
65	36.67	38.84	38.66
66	36.33	38.44	38.27
67	36.56	38.61	38.44
68	36.28	38.27	38.11
69	36.22	38.21	38.05
70	36.17	38.15	38.00
71	36.22	38.21	38.05

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ระยะเวลาการย่อยสลาย	อุณหภูมิในการย่อยสลาย (°C)		
	สภาพแห้ง	สภาพรดน้ำทุก 7 วัน	สภาพน้ำขัง
72	36.06	37.93	37.77
73	36.28	38.24	38.08
74	36.33	38.33	38.16
75	36.33	38.33	38.16
76	36.11	38.09	37.94
77	36.00	37.98	37.83
78	35.83	37.73	37.58
79	37.22	38.42	38.33
80	36.11	37.84	37.72
81	36.06	37.75	37.64
82	36.06	37.70	37.58
83	36.39	38.10	37.97
84	36.28	37.97	37.86
85	36.28	37.92	37.80
86	36.00	37.56	37.44
87	36.11	37.61	37.50
88	36.39	37.73	37.64
89	36.11	37.61	37.50
90	36.33	38.00	37.89
91	36.50	38.26	38.14

ตารางผนวกที่ ค2 การย่อยสลายของกระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อ
กระดากจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นดินที่ต่างกัน

สูตร	สภาพความชื้นดิน	การย่อยสลาย (%)		
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
T1 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	แห้ง	3.49 ^d	5.16 ^c	7.00 ^h
	รดน้ำทุก 7 วัน	31.85 ^c	33.28 ^{cd}	38.93 ^g
	น้ำท่วมขัง	40.88 ^b	42.79 ^{ab}	45.58 ^{cde}
T2 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	แห้ง	3.27 ^d	5.08 ^e	6.90 ^h
	รดน้ำทุก 7 วัน	30.91 ^c	32.08 ^d	38.41 ^g
	น้ำท่วมขัง	40.24 ^b	42.66 ^{ab}	44.03 ^{def}
T3 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	แห้ง	4.33 ^d	5.30 ^e	7.06 ^h
	รดน้ำทุก 7 วัน	32.73 ^c	33.81 ^{cd}	38.98 ^g
	น้ำท่วมขัง	44.97 ^a	44.48 ^{ab}	48.05 ^{bcd}
T4 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	แห้ง	4.59 ^d	6.43 ^e	7.08 ^h
	รดน้ำทุก 7 วัน	32.89 ^c	37.75 ^{bcd}	39.27 ^g
	น้ำท่วมขัง	45.36 ^a	45.75 ^{ab}	49.85 ^{abc}
T5 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	แห้ง	4.77 ^d	6.54 ^e	7.71 ^h
	รดน้ำทุก 7 วัน	38.00 ^b	41.51 ^{abc}	41.95 ^{efg}
	น้ำท่วมขัง	47.98 ^a	50.08 ^a	54.05 ^a
T6 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂	แห้ง	4.68 ^d	6.52 ^e	7.10 ^h
	รดน้ำทุก 7 วัน	34.29 ^c	38.61 ^{bcd}	40.76 ^{fg}
	น้ำท่วมขัง	47.40 ^a	46.32 ^{ab}	50.88 ^{ab}
F-test ที่ได้จาก Anova		**	**	**
CV (%)		7.73	15.76	8.06

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดย
การใช้ DMRT.

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

ภาคผนวก ง

ค่าการทดสอบสมบัติทางเคมีของดิน ภายหลังจากการย่อยสลายของกระถางจากวัสดุเหลือทิ้ง

ตารางผนวกที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของดิน ภายหลังการย่อยสลายของ
กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาศจากบ่อบำบัดน้ำ
เสีย ในสภาพความชื้นดินที่ต่างกัน

สูตร	สภาพความชื้นดิน	ค่าความเป็นกรดด่าง (pH, 1:1)		
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
T1 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	แห้ง	6.95 ^{ab}	6.83 ^{bc}	6.67 ^{ab}
	รดน้ำทุก 7 วัน	6.71 ^{de}	6.66 ^{def}	6.30 ^{de}
	น้ำท่วมขัง	5.93 ^g	5.86 ^h	5.35 ^f
T2 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	แห้ง	6.97 ^a	6.85 ^{bc}	6.69 ^{ab}
	รดน้ำทุก 7 วัน	6.71 ^{cde}	6.70 ^{cdef}	6.36 ^{cd}
	น้ำท่วมขัง	5.95 ^g	5.87 ^h	5.35 ^f
T3 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	แห้ง	6.84 ^{bcd}	6.81 ^{bcd}	6.61 ^{ab}
	รดน้ำทุก 7 วัน	6.55 ^f	6.55 ^f	6.13 ^c
	น้ำท่วมขัง	5.77 ^h	5.84 ^h	5.28 ^f
T4 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	แห้ง	7.02 ^a	6.92 ^{ab}	6.73 ^{ab}
	รดน้ำทุก 7 วัน	6.74 ^{cde}	6.72 ^{cde}	6.41 ^{cd}
	น้ำท่วมขัง	5.95 ^g	5.94 ^{gh}	5.36 ^f
T5 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	แห้ง	6.84 ^{bc}	6.82 ^{bcd}	6.67 ^{ab}
	รดน้ำทุก 7 วัน	6.63 ^{ef}	6.58 ^{ef}	6.28 ^{de}
	น้ำท่วมขัง	5.93 ^g	5.84 ^h	5.32 ^f
T6 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂	แห้ง	7.07 ^a	7.06 ^a	6.77 ^a
	รดน้ำทุก 7 วัน	6.79 ^{cd}	6.73 ^{cde}	6.53 ^{bc}
	น้ำท่วมขัง	6.03 ^g	6.04 ^g	5.46 ^f
F-test ที่ได้จาก Anova		**	**	**
CV (%)		1.09	1.34	1.76

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดย
การใช้ DMRT.

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ ๑2 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดิน ภายหลังจากการย่อยสลายของกระถาง จากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อน้ำบาดาลน้ำเสีย ใน สภาพความชื้นดินที่ต่างกัน

สูตร	สภาพความชื้นดิน	ค่าการนำไฟฟ้า (EC, 1:5; dS/m)		
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
T1 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	แห้ง	0.046 ^{lm}	0.044 ^k	0.053 ^g
	รดน้ำทุก 7 วัน	0.082 ^{hi}	0.081 ⁱ	0.122 ^e
	น้ำท่วมขัง	0.167 ^c	0.199 ^e	0.317 ^c
T2 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	แห้ง	0.045 ^m	0.041 ^k	0.053 ^g
	รดน้ำทุก 7 วัน	0.079 ⁱ	0.078 ^j	0.112 ^{ef}
	น้ำท่วมขัง	0.165 ^c	0.189 ^f	0.244 ^d
T3 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	แห้ง	0.048 ^{lm}	0.044 ^k	0.054 ^g
	รดน้ำทุก 7 วัน	0.084 ^h	0.083 ⁱ	0.124 ^c
	น้ำท่วมขัง	0.201 ^d	0.255 ^d	0.365 ^c
T4 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	แห้ง	0.049 ^l	0.044 ^k	0.062 ^{fg}
	รดน้ำทุก 7 วัน	0.085 ^h	0.087 ^h	0.126 ^c
	น้ำท่วมขัง	0.208 ^c	0.259 ^c	0.427 ^b
T5 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	แห้ง	0.063 ^j	0.044 ^k	0.066 ^{fg}
	รดน้ำทุก 7 วัน	0.100 ^f	0.093 ^g	0.132 ^c
	น้ำท่วมขัง	0.270 ^a	0.299 ^a	0.482 ^a
T6 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂	แห้ง	0.052 ^k	0.044 ^k	0.064 ^{fg}
	รดน้ำทุก 7 วัน	0.096 ^g	0.089 ^h	0.130 ^c
	น้ำท่วมขัง	0.247 ^b	0.266 ^b	0.464 ^{ab}
F-test ที่ได้จาก Anova		**	**	**
CV (%)		12.82	1.59	15.43

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยการใช้ DMRT.

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ภายหลังการย่อยสลายของกระดางจาก
กากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพ
ความชื้นดินที่ต่างกัน

สูตร	สภาพความชื้นดิน	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (%)		
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
T1 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	แห้ง	0.41 ^g	0.77 ^h	1.56 ^a
	รดน้ำทุก 7 วัน	1.46 ^{cd}	1.51 ^{cde}	1.64 ^a
	น้ำท่วมขัง	1.67 ^{abc}	1.66 ^{abc}	1.71 ^a
T2 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	แห้ง	0.39 ^g	0.69 ^h	0.92 ^b
	รดน้ำทุก 7 วัน	1.44 ^{cde}	1.42 ^{def}	1.63 ^a
	น้ำท่วมขัง	1.59 ^{abcd}	1.61 ^{abcd}	1.71 ^a
T3 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	แห้ง	0.66 ^f	0.81 ^h	1.58 ^a
	รดน้ำทุก 7 วัน	1.48 ^{cd}	1.52 ^{bcd}	1.67 ^a
	น้ำท่วมขัง	1.75 ^{ab}	1.67 ^{abc}	1.71 ^a
T4 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	แห้ง	1.20 ^e	1.01 ^g	1.58 ^a
	รดน้ำทุก 7 วัน	1.48 ^{cd}	1.53 ^{bcd}	1.69 ^a
	น้ำท่วมขัง	1.78 ^{ab}	1.68 ^{abc}	1.72 ^a
T5 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	แห้ง	1.38 ^{de}	1.37 ^{ef}	1.62 ^a
	รดน้ำทุก 7 วัน	1.59 ^{abcd}	1.56 ^{bcd}	1.70 ^a
	น้ำท่วมขัง	1.84 ^a	1.80 ^a	1.76 ^a
T6 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂	แห้ง	1.33 ^{de}	1.29 ^f	1.60 ^a
	รดน้ำทุก 7 วัน	1.55 ^{bcd}	1.55 ^{bcd}	1.69 ^a
	น้ำท่วมขัง	1.83 ^a	1.74 ^{ab}	1.72 ^a
F-test ที่ได้จาก Anova		**	**	**
CV (%)		9.92	8.21	7.96

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดย
การใช้ DMRT.

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ภายหลังการย่อยสลายของ
กระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดาษจากบ่อน้ำบำบัดน้ำ
เสีย ในสภาพความชื้นดินที่ต่างกัน

สูตร	สภาพความชื้นดิน	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)		
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
T1 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	แห้ง	0.056	0.059	0.061 ^c
	รดน้ำทุก 7 วัน	0.056	0.061	0.064 ^{bc}
	น้ำท่วมขัง	0.061	0.064	0.069 ^{abc}
T2 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	แห้ง	0.053	0.056	0.061 ^c
	รดน้ำทุก 7 วัน	0.056	0.061	0.064 ^{bc}
	น้ำท่วมขัง	0.061	0.064	0.067 ^{abc}
T3 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	แห้ง	0.056	0.059	0.061 ^c
	รดน้ำทุก 7 วัน	0.058	0.061	0.064 ^{bc}
	น้ำท่วมขัง	0.061	0.064	0.069 ^{abc}
T4 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	แห้ง	0.056	0.059	0.061 ^c
	รดน้ำทุก 7 วัน	0.059	0.061	0.067 ^{abc}
	น้ำท่วมขัง	0.061	0.064	0.072 ^{ab}
T5 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	แห้ง	0.056	0.059	0.064 ^{bc}
	รดน้ำทุก 7 วัน	0.061	0.061	0.067 ^{abc}
	น้ำท่วมขัง	0.067	0.067	0.075 ^a
T6 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂	แห้ง	0.056	0.059	0.064 ^{bc}
	รดน้ำทุก 7 วัน	0.059	0.061	0.067 ^{abc}
	น้ำท่วมขัง	0.064	0.064	0.072 ^{ab}
F-test ที่ได้จาก Anova		ns	ns	*
CV (%)		8.10	7.53	7.37

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดย
การใช้ DMRT.

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ 5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน ภายหลังการย่อยสลายของกระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเชื้อกระดากจากบ่อบำบัดน้ำเสีย ในสภาพความชื้นดินที่ต่างกัน

สูตร	สภาพความชื้นดิน	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)		
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
T1 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	แห้ง	17.24	19.05 ^f	16.19 ^f
	รดน้ำทุก 7 วัน	17.81	21.08 ^{abcdef}	21.56 ^{cde}
	น้ำท่วมขัง	18.55	21.66 ^{abcde}	22.64 ^c
T2 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	แห้ง	17.16	18.76 ^f	14.69 ^f
	รดน้ำทุก 7 วัน	17.72	20.72 ^{bcdef}	21.27 ^{cde}
	น้ำท่วมขัง	18.43	21.65 ^{abcde}	22.15 ^{cd}
T3 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	แห้ง	17.48	19.24 ^{ef}	16.69 ^f
	รดน้ำทุก 7 วัน	17.96	21.27 ^{abcdef}	21.58 ^{cde}
	น้ำท่วมขัง	18.76	22.19 ^{abcd}	23.17 ^c
T4 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	แห้ง	17.57	19.97 ^{def}	19.42 ^e
	รดน้ำทุก 7 วัน	17.96	21.43 ^{abcde}	21.74 ^{cde}
	น้ำท่วมขัง	18.89	23.00 ^{abc}	23.47 ^c
T5 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	แห้ง	17.70	20.56 ^{cdef}	21.11 ^{cde}
	รดน้ำทุก 7 วัน	18.22	21.65 ^{abcde}	21.92 ^{cd}
	น้ำท่วมขัง	19.13	23.55 ^a	28.58 ^a
T6 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂	แห้ง	17.57	20.10 ^{def}	19.94 ^{de}
	รดน้ำทุก 7 วัน	18.13	21.55 ^{abcde}	21.85 ^{cd}
	น้ำท่วมขัง	18.94	23.20 ^{ab}	26.43 ^b
F-test ที่ได้จาก Anova		ns	**	**
CV (%)		4.70	6.31	5.96

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยการใช่ DMRT.

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ ๖ การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ภายหลังจากย่อย
สลายของกระถางจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจาก
บ่อน้ำบาดาลเสีย ในสภาพความชื้นดินที่ต่างกัน

สูตร	สภาพความชื้นดิน	ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)		
		1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน
T1 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	แห้ง	98.12 ^{no}	104.33 ^{ghij}	104.92 ^{jk}
	รดน้ำทุก 7 วัน	121.42 ^j	272.57 ^e	285.34 ^e
	น้ำท่วมขัง	246.11 ^e	95.16 ^{jk}	82.31 ^{mn}
T2 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	แห้ง	96.25 ^o	102.92 ^{hijk}	102.17 ^k
	รดน้ำทุก 7 วัน	114.63 ^k	251.03 ^f	262.23 ^f
	น้ำท่วมขัง	228.03 ^f	94.01 ^k	81.60 ⁿ
T3 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	แห้ง	102.40 ^{mn}	104.34 ^{ghij}	109.25 ^j
	รดน้ำทุก 7 วัน	127.84 ⁱ	303.42 ^d	357.60 ^d
	น้ำท่วมขัง	254.28 ^d	98.14 ^{jk}	83.53 ^{mn}
T4 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	แห้ง	105.11 ^{lm}	110.15 ^{ghi}	116.24 ⁱ
	รดน้ำทุก 7 วัน	130.23 ^{hi}	322.18 ^c	376.01 ^c
	น้ำท่วมขัง	279.42 ^c	100.77 ^{ijk}	84.23 ^{lmn}
T5 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	แห้ง	109.07 ^l	113.48 ^g	133.10 ^g
	รดน้ำทุก 7 วัน	146.51 ^g	433.20 ^a	483.84 ^a
	น้ำท่วมขัง	395.87 ^a	102.90 ^{hijk}	90.03 ^l
T6 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂	แห้ง	108.38 ^l	112.21 ^{gh}	121.89 ^h
	รดน้ำทุก 7 วัน	134.21 ^h	417.47 ^b	469.42 ^b
	น้ำท่วมขัง	361.23 ^b	101.86 ^{ijk}	88.08 ^{lm}
F-test ที่ได้จาก Anova		**	**	**
CV (%)		1.63	2.80	1.77

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดย
การใช้ DMRT.

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

ภาคผนวก จ

ค่าการเจริญเติบโตและมวลชีวภาพแห้งส่วนเหนือดินของกล้าไม้ป่า

ตารางผนวกที่ จ1 การเจริญเติบโตและมวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดินของต้นนทรืบ้านที่ระยะต่างๆ

สูตร	ความสูง (ซม.)			เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มม.)			จำนวนใบ (ใบ)			SPAD reading			มวลชีวภาพ แห่งส่วนเหนือ ดิน (กรัม/ต้น)
	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	3 เดือน
T1 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	5.30	5.65 ^b	6.68 ^b	0.152	0.163	0.166 ^{bc}	4.50	4.75 ^c	5.25 ^c	20.53	20.18 ^b	21.55 ^b	0.103 ^c
T2 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	4.68	5.43 ^b	5.85 ^b	0.133	0.159	0.164 ^c	4.75	5.25 ^{bc}	5.00 ^c	20.65	19.93 ^b	20.93 ^b	0.099 ^c
T3 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	5.13	7.20 ^a	9.18 ^a	0.146	0.164	0.183 ^{ab}	4.75	6.75 ^a	8.00 ^b	19.93	29.18 ^a	32.48 ^a	0.198 ^b
T4 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	5.85	7.55 ^a	10.10 ^a	0.150	0.171	0.179 ^{abc}	4.25	6.25 ^{ab}	9.25 ^{ab}	21.10	31.13 ^a	33.35 ^a	0.254 ^b
T5 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	4.95	7.48 ^a	10.30 ^a	0.141	0.161	0.183 ^{ab}	5.25	7.50 ^a	9.25 ^{ab}	19.10	28.95 ^a	33.78 ^a	0.405 ^a
T6 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂	5.48	8.10 ^a	10.75 ^a	0.150	0.166	0.188 ^a	4.50	7.25 ^a	10.00 ^a	20.73	30.80 ^a	33.60 ^a	0.374 ^a
F-test ที่ได้จาก Anova	ns	**	**	ns	ns	*	ns	**	**	ns	**	**	**
CV (%)	16.88	14.43	13.92	10.98	7.63	5.93	11.29	14.39	15.50	13.30	11.92	10.12	20.96

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยใช้ DMRT.

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ จ2 การเจริญเติบโตและมวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดินของต้นแดงที่ระยะต่างๆ

สูตร	ความสูง (ซม.)			เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มม.)			จำนวนใบ (ใบ)			SPAD reading			มวลชีวภาพ แห่งส่วนเหนือ ดิน (กรัม/ต้น)
	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	3 เดือน
T1 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	5.28 ^{bc}	5.45 ^{bc}	5.88 ^{bc}	0.204 ^b	0.214 ^{cd}	0.225 ^{bc}	5.25	6.75 ^{bc}	6.75 ^c	35.65 ^b	35.48	35.35 ^b	0.291 ^c
T2 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	4.13 ^c	4.83 ^c	5.20 ^c	0.186 ^c	0.196 ^d	0.214 ^c	5.00	6.00 ^c	6.00 ^c	36.98 ^{ab}	36.35	37.63 ^b	0.265 ^c
T3 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	6.53 ^{ab}	6.93 ^{ab}	7.55 ^a	0.243 ^a	0.244 ^b	0.263 ^{ab}	5.00	7.00 ^{bc}	9.00 ^b	36.93 ^{ab}	37.30	37.68 ^b	0.473 ^b
T4 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	6.25 ^{ab}	6.55 ^{ab}	7.18 ^{ab}	0.220 ^b	0.240 ^b	0.249 ^{abc}	5.25	6.25 ^{bc}	8.50 ^b	33.70 ^b	36.53	36.35 ^b	0.447 ^b
T5 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	5.98 ^{ab}	6.98 ^{ab}	7.53 ^a	0.219 ^b	0.233 ^{bc}	0.249 ^{abc}	6.25	9.00 ^a	11.25 ^a	40.58 ^a	40.68	41.88 ^a	0.446 ^b
T6 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂	7.23 ^a	7.58 ^a	8.30 ^a	0.248 ^a	0.271 ^a	0.280 ^a	5.50	7.75 ^{ab}	10.00 ^{ab}	35.60 ^b	36.93	37.68 ^b	0.561 ^a
F-test ที่ได้จาก Anova	**	**	**	**	**	*	ns	**	**	*	ns	**	**
CV (%)	17.37	15.73	14.13	4.99	6.31	11.23	18.21	14.13	12.43	6.69	7.09	5.59	4.95

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยใช้ DMRT.

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

ตารางผนวกที่ 3 การเจริญเติบโตและมวลชีวภาพแห่งส่วนเหนือดินของต้นประดู่ป่าที่ระยะต่างๆ

สูตร	ความสูง (ซม.)			เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (มม.)			จำนวนใบ (ใบ)			SPAD reading			มวลชีวภาพ แห่งส่วนเหนือ ดิน (กรัม/ต้น)
	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	1 เดือน	2 เดือน	3 เดือน	3 เดือน
T1 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₀	4.80 ^d	7.20 ^c	8.35 ^c	0.158	0.176 ^b	0.195 ^c	4.50	5.75 ^b	6.50 ^c	28.68 ^b	27.28 ^d	28.10 ^d	0.293 ^d
T2 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₀	5.45 ^{cd}	7.33 ^c	7.65 ^c	0.160	0.174 ^b	0.203 ^{bc}	4.00	5.75 ^b	6.50 ^c	30.63 ^b	34.05 ^{abc}	35.00 ^{ab}	0.339 ^{cd}
T3 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₁	7.13 ^{ab}	12.08 ^a	13.33 ^a	0.185	0.214 ^a	0.253 ^a	5.00	7.75 ^a	10.25 ^a	30.45 ^b	31.38 ^{bcd}	34.25 ^{bc}	0.695 ^a
T4 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₁	5.85 ^{bcd}	8.60 ^{bc}	10.88 ^b	0.175	0.200 ^a	0.213 ^{bc}	4.50	6.00 ^b	8.25 ^{bc}	28.50 ^b	29.35 ^{cd}	30.48 ^{cd}	0.384 ^c
T5 = POS ₁₀₀ +AS ₀ +F ₂	8.23 ^a	11.48 ^a	13.25 ^a	0.165	0.201 ^a	0.228 ^{abc}	4.75	7.75 ^a	8.75 ^{ab}	36.85 ^a	37.93 ^a	39.20 ^a	0.615 ^b
T6 = POS ₇₅ +AS ₂₅ +F ₂	6.73 ^{bc}	10.13 ^{ab}	11.50 ^{ab}	0.188	0.211 ^a	0.233 ^{ab}	4.75	7.00 ^{ab}	7.75 ^{bc}	35.93 ^a	36.35 ^{ab}	37.00 ^{ab}	0.566 ^b
F-test ที่ได้จาก Anova	**	**	**	ns	**	*	ns	*	**	**	**	**	**
CV (%)	13.21	15.96	12.60	13.66	4.90	9.55	18.90	11.73	15.31	5.24	11.51	8.50	10.03

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยใช้ DMRT.

ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p \leq 0.01$)

ภาคผนวก จ

ลักษณะของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

ลักษณะของกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย

1. กากตะกอนน้ำมันปาล์ม



(ก)



(ข)

ภาพผนวกที่ จ1 กากตะกอนน้ำมันปาล์ม (ก) ตอนเปียก (ข) ตอนแห้ง

2. กากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย



(ก)



(ข)

ภาพผนวกที่ จ2 กากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสีย (ก) ตอนเปียก (ข) ตอนแห้ง

ภาคผนวก ข

การทดสอบบรรจุภัณฑ์กระถางจากวัสดุเหลือทิ้ง

การทดสอบบรรจุภัณฑ์กระถางจากวัสดุเหลือทิ้งต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ป่า

1. บรรจุภัณฑ์กระถางขึ้นรูปจากวัสดุเหลือทิ้ง



ภาพผนวกที่ ข1 บรรจุภัณฑ์กระถางขึ้นรูปจากวัสดุเหลือทิ้งต่อการเจริญของกล้าไม้หน่อบ้าน

2. บรรจุภัณฑ์กระถางขึ้นรูปจากวัสดุเหลือทิ้ง



ภาพผนวกที่ ข2 บรรจุภัณฑ์กระถางจากวัสดุเหลือทิ้งต่อการเจริญของกล้าไม้แดง

3. บรรจุภัณฑ์กระถางขึ้นรูปจากวัสดุเหลือทิ้ง



ภาพผนวกที่ ข3 บรรจุภัณฑ์กระถางจากวัสดุเหลือทิ้งต่อการเจริญของกล้าไม้ประดู่ป่า

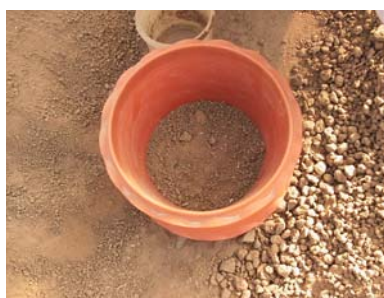
การทดสอบการย่อยสลายบรรจุภัณฑ์กระดาษจากวัสดุเหลือทิ้ง

1. การย่อยสลายบรรจุภัณฑ์กระดาษจากวัสดุเหลือทิ้ง



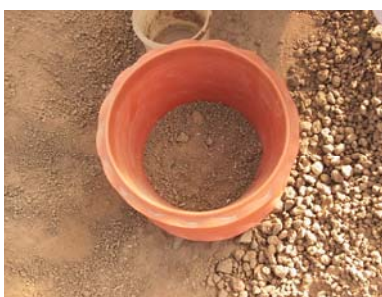
ภาพผนวกที่ ข4 การย่อยสลายบรรจุภัณฑ์กระดาษในสภาพความชื้นแบบแห้ง

2. การย่อยสลายบรรจุภัณฑ์กระดาษจากวัสดุเหลือทิ้ง



ภาพผนวกที่ ข5 การย่อยสลายบรรจุภัณฑ์กระดาษในสภาพความชื้นแบบรดน้ำทุก 7 วัน

3. การย่อยสลายบรรจุภัณฑ์กระดาษจากวัสดุเหลือทิ้ง



ภาพผนวกที่ ข6 การย่อยสลายบรรจุภัณฑ์กระดาษในสภาพความชื้นแบบน้ำท่วมขัง

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวพรฤดี สงวนสุข
วัน เดือน ปี ที่เกิด	21 มกราคม 2528
สถานที่เกิด	เขตพญาไท จ. กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาขาวิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-