การทำปุ๋ยหมักผักตบชวาร่วมกับกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นและกากตะกอนจากโรงงานยางแท่ง STR 20

Composting of Water Hyacinth with Excess Sludge from Wastewater Treatment Plants of the Concentrated Latex Factory and Sludge from Standard Thai Rubber (STR 20) Factory

ประไพพรรณ จันทร์ทิพย์

Prapaipun Chantip

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University

2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การทำปุ๋ยหมักผักตบชวาร่วมกับกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นและกากตะกอนจากโรงงานยางแท่ง STR 20

Composting of Water Hyacinth with Excess Sludge from Wastewater Treatment Plants of the Concentrated Latex Factory and Sludge from Standard Thai Rubber (STR 20) Factory

ประไพพรรณ จันทร์ทิพย์

Prapaipun Chantip

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University
2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การทำปุ๋ยหมักผักตบชวาร่วมกับกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นและกากตะกอนจากโรงงานยางแท่ง STR 20

ผู้เขียน นางสาวประไพพรรณ จันทร์ทิพย์

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

……..…..
(ดร.พรพงษ์ สุทธิรักษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

……..…..
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)

คณะกรรมการสอบ

…….ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ศักดิ์ เหล่าดี)

……..กรรมการ
(ดร.พรพงษ์ สุทธิรักษ์)

……..กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)

……..กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.โอภาส พิมพา)

……..กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.มณฑล เลิศคณาวนิชกุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

……..……..
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(ดร.พรพงษ์ สุทธิรักษ์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ.....
(นางสาวประไพพรรณ จันทร์ทิพย์)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวประไพพรรณ จันทร์ทิพย์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การทำปุ๋ยหมักผักตบชวาร่วมกับกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นและกากตะกอนจากโรงงานยางแท่ง STR 20

ผู้เขียน นางสาวประไพพรรณ จันทร์ทิพย์

สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์และธาตุอาหาร(ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม)ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเช่นเดียวกับผักตบชวาซึ่งเป็นวัชพืชน้ำที่เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วและขยายพันธุ์ได้ง่าย จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์แทนการนำไปกำจัดโดยสามารถนำมาเป็นวัสดุในการทำปุ๋ย การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผักตบชวาและของเสียในรูปกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 มาใช้หมักปุ๋ย เพื่อศึกษาถึงผลของการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศ และไม่เติมอากาศโดยการผสมที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (C/N 10 13 และ 15) ใช้ระยะเวลาการหมัก 60 วัน ผลการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุหมักพบว่า กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 มีความชื้นค่อนข้างต่ำ (61.69%)ในขณะที่กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นกับผักตบชวามีความชื้นสูงมีค่า 89.58% และ93.56% ตามลำดับ และพบว่ากากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำมาก (2.47%)แต่มีองค์ประกอบของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยเฉพาะไนโตรเจนในปริมาณสูง (10.94% น้ำหนักแห้ง)

ผลจากการหมักปุ๋ยแสดงให้เห็นว่าการหมักปุ๋ยโดยมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำและมีค่าความชื้นสูงมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาในการหมักค่อนข้างช้า และทุกชุดการทดลองมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง mesophilic phase เมื่อหมักปุ๋ยเป็นระยะเวลา 60 วัน ทุกชุดการทดลองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของประเทศไทยในแง่ของขนาดปุ๋ย ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน โลหะหนัก และดัชนีการงอก (GI) โดยปุ๋ยหมักที่ได้จากชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบเติมอากาศและไม่เติม

อากาศให้ค่าดัชนีการงอกสูงกว่า 98% อย่างไรก็ตามค่าอินทรียวัตถุ โพแทสเซียม และความชื้น ยังจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงเพื่อให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อทดสอบศักยภาพการเป็นปุ๋ยโดยการปลูกต้นดาวเรืองของปุ๋ยหมักที่ได้ พบว่าแต่ละชุดการทดลองให้ผลการเจริญเติบโตของอัตราความสูงต้น จำนวนดอกเฉลี่ย และขนาดดอกเฉลี่ย แตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)แต่ชุดการทดลองปลูกด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ให้ผลการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกับชุดการทดลองของปุ๋ยหมักที่ได้จากผักตบชวาร่วมกับกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ($P \geq 0.05$) โดยชุดที่มีการเติมปุ๋ยหมักที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน10 ที่มีการเติมไนโตรเจนในปริมาณเท่ากับปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูกมีศักยภาพความเป็นปุ๋ยโดยให้จำนวนดอกเทียบเท่ากับการปลูกดาวเรืองโดยใช้ปุ๋ยเคมี แต่ให้ขนาดดอกเฉลี่ยใหญ่กว่าการปลูกดาวเรืองโดยใช้ปุ๋ยเคมี ดังนั้นชุดปุ๋ยหมักที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน10 ที่มีการเติมไนโตรเจนในปริมาณเท่ากับปุ๋ยเคมีมีศักยภาพเพียงพอที่จะใช้เป็นปุ๋ยสำหรับทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี นอกจากนี้ในการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาและกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 มีความคุ้มทุนในการผลิต อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม และลดค่าใช้จ่ายในการนำของเสียไปกำจัด รวมทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียอีกด้วย

Thesis Title	Composting of Water Hyacinth with Excess Sludge from Wastewater Treatment Plants of the Concentrated Latex Factory and Sludge from Standard Thai Rubber (STR 20) Factory
Author	Miss Prapaipun Chantip
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2015

ABSTRACT

Excessed sludge generated from the wastewater treatment processes, of Standard Thai Rubber 20 (STR20) factory and concentrated latex factory, were composed of hydrocarbon substances and nutrients (Nitrogen, Phosphorus and Potassium). These nutrients are benefit for plantation. In addition, hyacinth is a weed with high growth and reproduction rate. Therefore it is suitable to use them as resources for composting. The objective of this work was to investigate hyacinth, excessed sludge generated from the wastewater treatment processes of STR20 factory and concentrated latex factory for co-composting. The co-compost materials were adjusted to be low C/N ratios of 10, 13 and15, added with seeding (cellulolytic microbial activator), and used for 60 days composting with either aeration and without aeration. The raw compost material properties showed that the sludge generated from the wastewater treatment processes of STR20 factory had quite low moisture content (61.69%) but the excess sludge generated from the wastewater treatment processes of concentrated latex factory, as well as hyacinth, contained with high moisture content (89.58% and 93.56%, respectively). Moreover, the excess sludge generated from the wastewater treatment processes of concentrated latex factory had very low C/N ratio (2.47%), but consisted of high concentration of plant nutrients especially nitrogen as of 10.94% dry weight.

The results illustrated that composting with low C/N ratio and high moisture content, the composting reactions were very slow and were at mesophilic condition along 60 days composting. After composting, composted products obtained from each experiment set had the properties complied with the Thailand organic compost standard, in particular in terms of size, pH, conductivity, phosphorus (P_2O_5), C/N ratio, heavy metals, and germination index (GI). The

germination index (GI) of the composted products from experiment set with C/N Ratio of 10, both aeration and no aeration conditions revealed to be more than 98**%.** However, the organic compounds, potassium and moisture contents of the composted products were needed to further treatment in order to meet the standard criteria**.** The potential use of composted product to be fertilizer was tested with marigold plantation. It was found that each plantation tested set had difference of marigold growth rate in terms of height, number and size of flower, ($P < 0.05$)**.** However, in the tested case using 15-15-15 formula chemical fertilizer for plantation, it was observed that the growth rate was similar to the tested sets of co-composted products used ($P \geq 0.05$)**.** The plantation test by using the composted product from the experiment set with 10 C/N ratio and using with the addition amount that contained nitrogen equal to the tested set of chemical fertilizer investigation, it gave the bigger size flower but similar the number of flower. This reflected that the composted product from the experiment set of 10 C/N could be used as fertilizer. Moreover, this co-composting is economical benefit as well as helpful for environmental pollution reduction, reducing the cost of waste disposal, and made value added of waste.

กิตติกรรมประกาศ

งานศึกษาวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความร่วมมือและความเมตตา จากผู้มีพระคุณหลายท่าน ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.พรพงษ์ สุทธิรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษา แนะนำในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ศักดิ์ เหล่าดี รองศาสตราจารย์ ดร.โอภาส พิมพา และรองศาสตราจารย์ ดร.มณฑล เลิศคณาวนิชกุล คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้พื้นที่ และเครื่องมือ อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกๆฝ่ายของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ช่วยประสานงานการศึกษา อำนวยความสะดวกและสนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบริษัท ไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์ กรุ๊ป จำกัด และบริษัทยางไทยปักษ์ใต้ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างกากตะกอน ตลอดจนข้อมูลในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ที่ทำงาน และเพื่อนปริญญาโท ปริญญาเอกสาขาการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษา การช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อนิพัฒน์ คุณแม่ประไพศรี จันทร์ทิพย์ ที่คอยสนับสนุนทุนการศึกษา อบรมสั่งสอน ให้ความรักความห่วงใย และเป็นกำลังใจสำคัญตลอดมา

สุดท้ายนี้ความสำเร็จของงานวิจัยที่เกิดขึ้นจากความร่วมมือ ช่วยเหลือในทุกๆด้านจะอยู่ในความทรงจำของผู้วิจัยตลอดไป คุณค่าของงานวิจัยนี้หากเป็นประโยชน์แก่ส่วนรวม ผู้วิจัยขอมอบความดีที่เกิดขึ้นให้แก่ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง คณาจารย์ ผู้มีพระคุณทุกท่าน ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านทั้งที่ได้กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ ที่คอยส่งเสริมการทำวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ประไพพรรณ จันทร์ทิพย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(7)
กิตติกรรมประกาศ	(9)
สารบัญ	(10)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพประกอบ	(14)
บทที่	
1. บทนำ	1
1. บทนำต้นเรื่อง	1
2. การตรวจเอกสาร	3
3. วัตถุประสงค์	37
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	38
2. วิธีดำเนินการวิจัย	39
1. วัสดุและอุปกรณ์	39
2. วิธีการดำเนินงาน	42
3. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล	51
1. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุหมัก	51
2. ผลการศึกษาการหมักปุ๋ย	54
3. ผลการทดสอบศักยภาพในการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้โดยการทดสอบด้วยการปลูกต้นดาวเรือง	79
4. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	91
4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	97
4.1 บทสรุป	97
4.2 ข้อเสนอแนะ	99
บรรณานุกรม	101

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	111
ก ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกองปุ๋ยหมัก	113
ข ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง	131
ค อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ	143
ง อัตราค่าไฟฟ้า	145
ประวัติผู้เขียน	147

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะทางกายภาพและเคมี กากตะกอนขั้นต้นจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20	5
2	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์	9
3	อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	16
4	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ในประเทศไทย	26
5	ส่วนประกอบของแร่ธาตุที่สำคัญในผักตบชวา	30
6	ส่วนประกอบทางเคมีของผักตบชวา	30
7	วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของผักตบชวา กากตะกอนส่วนเกินจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20	43
8	อัตราส่วนผสมวัสดุหมักที่ใช้ในการศึกษา	45
9	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะของปุ๋ยที่หมัก	47
10	เงื่อนไขทดสอบการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้โดยการทดลองปลูกดอกดาวเรือง	48
11	ลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ในการทดลองหมักทำปุ๋ย	51
12	ลักษณะของวัสดุหมักผสมเริ่มต้นของการทำปุ๋ยหมัก	54
13	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวภาพภายในกองปุ๋ยหมัก	56
14	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในกองปุ๋ยตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย 60 วัน	59
15	อัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยตลอดการหมักในเทอมของ VS	67
16	ปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสของแต่ละชุดการทดลองหมักปุ๋ย	71
17	ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมของแต่ละชุดการทดลองหมักปุ๋ย	73
18	การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย	75
19	ผลการเปรียบเทียบปุ๋ยหมักที่ได้หลังสิ้นสุดการหมักกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของไทย	77
20	ลักษณะของดินที่ใช้ทดลองก่อนปลูกต้นดาวเรือง และหลังปลูกต้นดาวเรือง	80
21	การลดลงของปริมาณธาตุอาหารหลังการปลูกดาวเรือง	82

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	อัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงของต้นดาวเรือง	84
23	ผลการใช้เป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงของต้นดาวเรือง	85
24	ผลการการใช้เป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักต่อการเจริญเติบโตของดาวเรือง	87
25	ผลการเจริญเติบของต้นดาวเรืองในการปลูกด้วยปุ๋ยหมัก	90
26	สรุปผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	93
27	ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิทั้งสามระดับของกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย	113
28	ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ยของกองปุ๋ยหมัก	121
29	ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชของกองปุ๋ยหมัก	122
30	ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของกองปุ๋ยหมัก	123
31	ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของกองปุ๋ยหมัก	124
32	ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุของกองปุ๋ยหมัก	125
33	ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งระเหยของกองปุ๋ยหมัก	126
34	ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของกองปุ๋ยหมัก	127
35	ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของกองปุ๋ยหมัก	128
36	ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของกองปุ๋ยหมัก	129
37	ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของกองปุ๋ยหมัก	130
38	ผลการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นดาวเรือง	131
39	อัตตราการให้ดอกของต้นดาวเรือง	134
40	ขนาดดอกของดาวเรือง	136
41	การเปรียบเทียบลักษณะการเจริญเติบโต ด้านความสูงต้น จำนวนดอก และขนาดดอกของต้นดาวเรือง one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05	139
42	การจัดกลุ่มชุดปุ๋ยเปรียบเทียบการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นดอกดาวเรือง ตัวเลขที่แสดงเป็นอัตราเพิ่มขึ้นของความสูงวันสุดท้าย (ปลูกได้ 45 วัน)	140
43	การจัดกลุ่มชุดปุ๋ยเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองด้านจำนวนดอก ตัวเลขที่แสดงเป็นจำนวนดอกเฉลี่ยวันสุดท้าย (ปลูกได้ 45 วัน)	141
44	การจัดกลุ่มชุดปุ๋ยเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองด้านขนาดดอก ตัวเลขที่แสดงเป็นขนาดดอกเฉลี่ยวันสุดท้าย (ปลูกได้ 45วัน)	142

รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรรมวิธีการผลิตและจุดกำเนิดน้ำเสียจากการผลิตน้ำยางข้นและยางสกิมเครพ	7
2	ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในกระบวนการ denitrification	22
3	สารเร่ง พด. 1 ของกรมพัฒนาที่ดิน	39
4	ปั๊มเติมอากาศที่ใช้ในการทดลอง	41
5	ถังหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้ในการทดลอง	42
6	ผักตบชวาที่ผ่านการตัดย่อยสำหรับใช้ในการทดลอง	42
7	กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและยางแท่ง STR 20 สำหรับใช้ในการทดลอง	43
8	ชุดการทดลองหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศทั้ง 6 ชุดการทดลอง	46
9	ท่อนไม้ (wood chip) ที่ใช้เติมในกองปุ๋ยหมัก	47
10	เมล็ดพันธุ์และต้นกล้าดาวเรืองที่ทำการเพาะสำหรับใช้ในการทดลอง	48
11	ลักษณะอุณหภูมิเฉลี่ยในกองปุ๋ยหมักของแต่ละชุดการทดลองที่ทำการศึกษา	60
12	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในแต่ละชุดการทดลอง	61
13	การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในแต่ละชุดการทดลอง	62
14	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยในแต่ละชุดการทดลอง	64
15	การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในแต่ละชุดการทดลอง	64
16	การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุในแต่ละชุดการทดลอง	65
17	การเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าในแต่ละชุดการทดลอง	66
18	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลอง	69
19	การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในแต่ละชุดการทดลอง	70
20	การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมในแต่ละชุดการทดลอง	72
21	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลอง	74
22	ลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยหมักที่ได้เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการหมัก 60 วัน	76
23	ลักษณะต้นดาวเรืองในแต่ละชุดการทดลองเมื่อย้ายต้นกล้ามาปลูก 1 สัปดาห์	83
24	อัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงต้นดาวเรืองเมื่อปลูกเป็นระยะเวลา 45 วัน	86
25	ลักษณะการให้ดอกของต้นดาวเรือง	88

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ลักษณะดอกและต้นดาวเรืองชุดใส่ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 2	88
27	จำนวนและขนาดดอกเฉลี่ยของดาวเรืองเมื่อปลูกเป็นระยะเวลา 45 วัน	89

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

อุตสาหกรรมยางพาราเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวอย่างมากในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมดังกล่าวก็ได้ก่อให้เกิดมลพิษสิ่งแวดล้อมจำนวนมากเช่นกัน ทั้งในเรื่องของน้ำเสียและกลิ่นเหม็น โดยก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีปริมาณความสกปรกสูง ในปริมาณสูงจากการใช้น้ำระหว่างกระบวนการผลิตและล้างอุปกรณ์ในการผลิต ซึ่งอุตสาหกรรมน้ำยางข้นก่อให้เกิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น 4.01 ลบ.ม./ตันน้ำยางข้น (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2545) และอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ก่อให้เกิดน้ำเสีย 13 ลบ.ม./ตันยางแท่ง STR 20 (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550) และเนื่องจากน้ำเสียมีปริมาณความสกปรกสูงโรงงานจึงมักเลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ โดยในปี 2558 อุตสาหกรรมน้ำยางข้นในภาคใต้เลือกใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์เพื่อลดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นจำนวนทั้งสิ้น 29 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2558) แต่อย่างไรก็ตามระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวก่อให้เกิดกากตะกอนส่วนเกิน (excess sludge) จำนวนมาก โดยก่อให้เกิดตะกอนส่วนเกิน 0.54 -5.6 ตัน/วัน (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2558) ซึ่งตะกอนส่วนเกินเหล่านี้จะถูกปรับสภาพด้วยโพลีอะคริลาไมด์ก่อนนำไปรีดน้ำออก ทำให้ตะกอนส่วนเกินดังกล่าวมีค่าความชื้น 89.86% (ณัฐนาท ชุมสวัสดิ์ และคณะ, 2554) และมีค่า VS, N, P และ K อยู่ในช่วง 71-87% ของของแข็งทั้งหมด, 8.5-11.51%, 1.26-1.86% และ 0.28% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีค่า C/N ต่ำ โดยมีค่าเท่ากับ 2.8 (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2558 และณัฐนาท ชุมสวัสดิ์ และคณะ, 2554) สำหรับอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นพวกเศษไม้และสิ่งสกปรกอื่นๆ จากกระบวนการผลิตที่ได้จากการตกตะกอนขั้นต้น ซึ่งก่อให้เกิดกากตะกอน 7-10 ตัน/วัน (เจิดจรรย์ ศิริวงศ์ และคณะ, 2555) มีปริมาณความชื้น 48.13% (ศิรินทรา วันดี และธนิยา เกาศล, 2552) และมีค่า VS, N, P และ K อยู่ในช่วง 46.8-88.0% ของของแข็งทั้งหมด, 0.20-1.29%, 0.51-3.66% และ 0.02% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (พนาลี ชีวกิดาการ และคณะ, 2552; เจิดจรรย์ ศิริวงศ์ และคณะ, 2555) ซึ่งเป็นภาระให้แก่โรงงานในการจัดการกากตะกอนน้ำเสียดังกล่าวเพิ่มขึ้นและหากไม่มีระบบการจัดการที่เหมาะสมอาจส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอื่นตามมาได้ แม้ว่ากากตะกอนส่วนเกินจากอุตสาหกรรม

น้ำยางข้นและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์และธาตุอาหารพืชในปริมาณสูง แต่จากการทบทวนเอกสารพบว่ายังมีข้อมูลเกี่ยวกับการนำกากตะกอนเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้กากตะกอนส่วนเกินจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 หมักปุ๋ยร่วมกับผักตบชวา ซึ่งเป็นวัชพืชน้ำที่เจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วและขยายพันธุ์ได้ง่าย ก่อให้เกิดปัญหาเป็นอย่างมาก ดังเช่นในบึงขุนทะเล ซึ่งเป็นแหล่งน้ำจืดที่มีลักษณะคล้ายทะเลสาบขนาดใหญ่ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีความสำคัญทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคมและเชิงนิเวศวิทยา เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำและนกน้ำหลายชนิด การขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วของผักตบชวาในบึงขุนทะเลทำให้มีวัชพืชปกคลุมอยู่จำนวนมาก ส่งผลให้บึงขุนทะเลเกิดความเสื่อมโทรม ตื้นเขิน (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2548) กรมชลประทานต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดผักตบชวาเป็นจำนวนมาก และแม้ว่าปัจจุบันได้มีการจัดสรรงบประมาณในการขุดลอกบึงรวมทั้งมีการกำจัดผักตบชวาในบึงขุนทะเลออกไป เพื่อพัฒนาเป็นสถานที่ท่องเที่ยวเชิงนิเวศน์ แต่ก็ยังมีผักตบชวาหลงเหลืออยู่เนื่องจากผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็วทำให้ต้องมีการกำจัดอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ผักตบชวาประกอบไปด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชสูง โดยมีปริมาณ N P และ K ประมาณ 1.73% 0.38% และ 5.75% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (พัชรี ธีรจินดาขจร, 2549) ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์แทนการนำไปกำจัดโดยสามารถนำมาเป็นวัสดุในการทำปุ๋ย เป็นการสร้างแรงจูงใจและส่งเสริมการกำจัดผักตบชวาอย่างสม่ำเสมอ

การหมักทำปุ๋ยเป็นวิธีการที่ง่าย และเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำกากของเสียประเภทกากตะกอนอุตสาหกรรมยาง ที่มีองค์ประกอบของธาตุอาหารพืชกลับมาใช้ประโยชน์ในการใช้เป็นปุ๋ยบำรุงดินในการปลูกพืชให้แก่กลุ่มเกษตรกร ซึ่งการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนดังกล่าวและผักตบชวาโดยการนำไปทำปุ๋ยหมักเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยมุ่งเน้นในการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่และยังเป็นการส่งเสริมสนับสนุนการทำเกษตรอินทรีย์ของประเทศไทย ช่วยลดต้นทุนในการทำการเกษตร ลดการใช้สารเคมี ร่วมทั้งยังช่วยลดปริมาณ และการจัดการในการกำจัดกากตะกอนจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น อุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 และผักตบชวาได้อีกทางหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามการหมักปุ๋ยมีหลายปัจจัยด้วยกันที่ส่งผลถึงปฏิกิริยาในกระบวนการหมักปุ๋ย เช่น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนความชื้น การเติมอากาศ เป็นต้น (Zhu, 2007; Chang and Hsu, 2008; Haug, 1993) และเนื่องจากลักษณะทางกายภาพและเคมีของผักตบชวาและกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและยางแท่ง STR 20 มีความชื้นสูงและมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ หากใช้ค่าที่ดีที่สุดของการหมักปุ๋ยโดยปรับวัสดุหมักให้มี

ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 25 จำเป็นต้องมีการใช้ส่วนผสมจากแหล่งอื่นมาหมักร่วมในปริมาณมากเพื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนทำให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเพิ่มขึ้นดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการนำผักตบชวาและกากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและยางแท่ง STR 20 มาหมักทำปุ๋ยโดยทดสอบภายใต้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (C/N 10 13 และ 15) และใช้หลักการทำปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศ และไม่เติมอากาศเพื่อศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นในการหมักปุ๋ย พร้อมทั้งติดตามตรวจสอบลักษณะทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย เพื่อตรวจสอบผลและคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 รวมถึงการนำปุ๋ยที่หมักได้ไปทดสอบต่อการปลูกพืชด้วย โดยทดลองกับต้นดาวเรืองซึ่งเป็นไม้ดอกเศรษฐกิจ ทั้งนี้คาดหวังว่าผลการศึกษาที่ได้จะสามารถนำไปสู่แนวทางในการจัดการกากตะกอนน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางและผักตบชวา และแนวทางเลือกเทคโนโลยีอย่างง่ายในการหมักปุ๋ยที่ให้เกิดการใช้ประโยชน์ได้จริงต่อไปในอนาคต

2. การตรวจเอกสาร

2.1 อุตสาหกรรมยาง

อุตสาหกรรมยางของไทยมีการผลิตยางหลากหลายประเภท อาทิ ยางแท่ง ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นดิบ น้ำยางข้น และยางอื่นๆ ในปัจจุบันได้มีการปรับเปลี่ยนการผลิต โดยเพิ่มการผลิตยางแท่งมากขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดโลก ซึ่งในปี พ.ศ.2557 ประเทศไทยผลิตยางธรรมชาติได้ปีละ 4.3 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็นการผลิตในเทอมของยางแท่ง 41.49% และน้ำยางข้น 17.96% (สถาบันวิจัยยาง, 2558)

2.1.1 อุตสาหกรรมยางแท่ง

อุตสาหกรรมยางแท่งไทยสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ โดยจำแนกตามวัตถุดิบที่ใช้ ได้แก่ ประเภทที่ 1 เป็นกลุ่มโรงงานยางแท่งที่ผลิตโดยใช้ยางที่มีการจับตัวภายใต้การควบคุม ซึ่งได้แก่ ยางแท่งประเภท STR 5L และ STR 5CV60 และประเภทที่ 2 เป็นกลุ่มโรงงานที่มีการผลิตยางแท่งโดยใช้วัตถุดิบจากยางก้นถ้วยและยางแห้งอื่นๆ ซึ่งได้แก่ ยางแท่งประเภท STR 5 STR 10 STR 10CV STR 20 และ STR 20CV ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางแท่งที่ได้มีความแตกต่างกันในลักษณะองค์ประกอบและคุณสมบัติ เช่น ค่าสิ่งสกปรกปนเปื้อน เถ้า ไนโตรเจน สี และค่า initial plasticity โดยค่าสิ่งสกปรกปนเปื้อน จะเป็นค่าที่แทนค่าความสะอาดที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานยางแท่งไทย (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550)

1) ขั้นตอนการผลิตยางแท่ง STR 20

สำหรับขั้นตอนการผลิตยางแท่ง STR 20 จะมีการผลิตโดยใช้ส่วนผสมของยางก้นถ้วยและยางแผ่นดิบเป็นวัตถุดิบ โดยมีอัตราส่วนผสมเฉลี่ย 4:1 หรือตามความเหมาะสมขึ้นอยู่กับสภาพยางก้นถ้วยซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550) เมื่อรับยางก้นถ้วยมาแล้ว จะนำยางก้นถ้วยไปพักบริเวณลานพักก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิต โดยจะถูกนำไปตัดให้มีขนาดประมาณ 2 นิ้ว จากนั้นจะนำไปล้างในบ่อแช่ยางเพื่อทำความสะอาดเบื้องต้นเอาสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนออกไป จากนั้นนำไปผสมกับยางแผ่นดิบและนำไปล้างเอาสิ่งสกปรกออกอีกครั้ง เมื่อผ่านการล้างแล้วยางก้อนถ้วยจะถูกลำเลียงสู่ขั้นตอนการตัด การทำเครฟ และบดย่อยยางเพื่อทำให้ยางมีขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร จากนั้นจะนำไปบรรจุลงภาชนะสแตนเลสทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ก่อนนำเข้าสู่เตาอบยางที่ควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 110–130 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาอบประมาณ 2–4 ชั่วโมง จากนั้นยางที่อบแล้วจะถูกนำมาอัดให้มีขนาดตามมาตรฐานที่กำหนด โดยมีน้ำหนัก 33.33 กิโลกรัม และมีขนาด 670×330×170 มิลลิเมตร จากนั้นยางที่อัดแท่งแล้วจะตรวจสอบโลหะเพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีการปนเปื้อนโลหะในก้อนยาง ก่อนนำไปบรรจุถุงพลาสติกเพื่อเตรียมจัดจำหน่ายต่อไป (ปิ่นพงษ์ คงชนะ, 2550; วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2549; สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2550; องค์การสวนยาง, ม.ป.ป.)

2) ของเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20

ในกระบวนการผลิตยางแท่ง STR 20 ทำให้เกิดน้ำเสียและของเสียต่างๆ จากการนำน้ำไปใช้เพื่อการล้างทำความสะอาด รวมถึงกระบวนการ บด อัด รีด ย่อย จึงทำให้การผลิตยางแท่ง STR 20 มีการผลิตน้ำเสียในแต่ละวันค่อนข้างสูง จากข้อมูลการศึกษาของ Danteravanich *et al.* (2007) พบว่า โรงงานยางแท่ง STR 20 มีอัตราการใช้น้ำในกระบวนการผลิตในช่วง 4-30 ลบ.ม./ตันยางแท่ง STR 20 หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.45 ลบ.ม./ตันยางแท่ง STR 20 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการใช้น้ำในอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2544) ระบุว่าค่าพิสัยของอัตราการใช้น้ำของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 มีค่าในช่วง 6-125 ลบ.ม./ตันยางแท่ง STR 20 หรือคิดเป็นค่ามัธยฐานเท่ากับ 23 ลบ.ม./ตันยางแท่ง STR 20 สำหรับน้ำเสียจากการผลิตยางแท่ง STR20 พบว่า มีความสกปรกน้อยกว่าน้ำเสียจากการผลิตน้ำยางข้น ซึ่งจากรายงานของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) พบว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตยางแท่ง STR 20 มีปริมาณแข็งแขวนลอยในปริมาณมากรวมถึงของแข็งจมตัว โดยมีปริมาณเฉลี่ย 1,294 มก./ล. และ 9.5 มล./ล. ตามลำดับ และมีค่า BOD_5 เฉลี่ยเท่ากับ 675 มก./ล. ในขณะที่ COD มีค่าเฉลี่ยของ 1,961 มก./ล มีสัดส่วนของค่า BOD_5 และ COD เฉลี่ยเท่ากับ 0.44 แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 เหมาะกับการใช้วิธีการบำบัดทางชีวภาพ จากลักษณะน้ำเสียดังกล่าวของการผลิตยางแท่ง STR 20 ที่ประกอบไปด้วย สารแขวนลอยและ

ตะกอนจมตัวจำนวนมาก พบได้ในรูปของเศษยาง เปลือกไม้ และของแข็งอื่นๆ ที่ปนเปื้อนมาจากยางก้นถ้วยและยางแผ่นดิบซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิต ตะกอนเหล่านี้จะถูกทำให้ตกตะกอนในบ่อตกตะกอนก่อนปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งจากรายงานของสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) ได้รายงานว่าอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ก่อให้เกิดกากตะกอนขั้นต้นจากระบบบำบัดน้ำเสียประมาณ 0.123-0.133 ลบ.ม./ตันยางแท่ง STR 20 หรือประมาณ 7-10 ลบ.ม./วัน

3) ลักษณะของกากตะกอนขั้นต้นจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา พบว่า กากตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตยางแท่ง STR 20 เป็นตะกอนหนักจากถังตกตะกอน ซึ่งจากการรายงานพิสมัย ทองคงเหย้า และสุภรพรรณ จันทร์หอม (2549) ได้รายงานว่ากากตะกอนสดของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 มีค่าความชื้นประมาณ 96% และมีค่าความหนาแน่นประมาณ 1.9 ตัน/ลบ.ม. และข้อมูลลักษณะของกากตะกอนจากการรายงานสมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2550) ระบุว่าตะกอนเหล่านี้มีค่า pH VS ash TN และ TP เฉลี่ยเท่ากับ 7.34 65% และ 33% (ของของแข็งทั้งหมด) 0.55% และ 2.87% ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากากตะกอนนี้อาจสามารถนำไปใช้เป็นสารปรับสภาพดินได้ นอกจากนี้ พนาลี ชีวกิดาการ และคณะ (2552) และฐิติรัชช์ ภู่ประเสริฐ์ และคณะ (2550) ได้มีการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมี กากตะกอนขั้นต้นจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพและเคมี กากตะกอนขั้นต้นจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20

ตัวแปร	การศึกษาโดย A	การศึกษาโดย B	การศึกษาโดย C
ลักษณะทางกายภาพ			
ความหนาแน่น (kg/m^3, wet wt)	650.72	638-736	571.4
สี	สีน้ำตาล	สีน้ำตาล	น้ำตาล
กลิ่น	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ความชื้น (%)	33.61	25-37	31.49

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพและเคมี กากตะกอนขั้นต้นจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 (ต่อ)

ตัวแปร	การศึกษาโดย A	การศึกษาโดย B	การศึกษาโดย C
ลักษณะทางเคมี			
pH	7.54	7.41-7.65	7.88
VS (% dry weight)	69.95	63-78	67.72
Ash (% dry weight)	30.05	22-37	32.28
TN (% dry weight)	0.02	0.02-0.13	0.13
TP (as P, % dry weight)	0.23	0.71 -1.35	0.06
TK (as K, % dry weight)	-	0.02-0.03	0.02

หมายเหตุ : A: ผลการศึกษาของณัฐนาท ชุมสวัสดิ์ และคณะ (2554), B: ผลการศึกษาของพนาลี ชีวกิดาการ และคณะ (2552) และ C: ผลการศึกษาของฐิติรัชช์ ภู่ประเสริฐ์ และคณะ (2550)

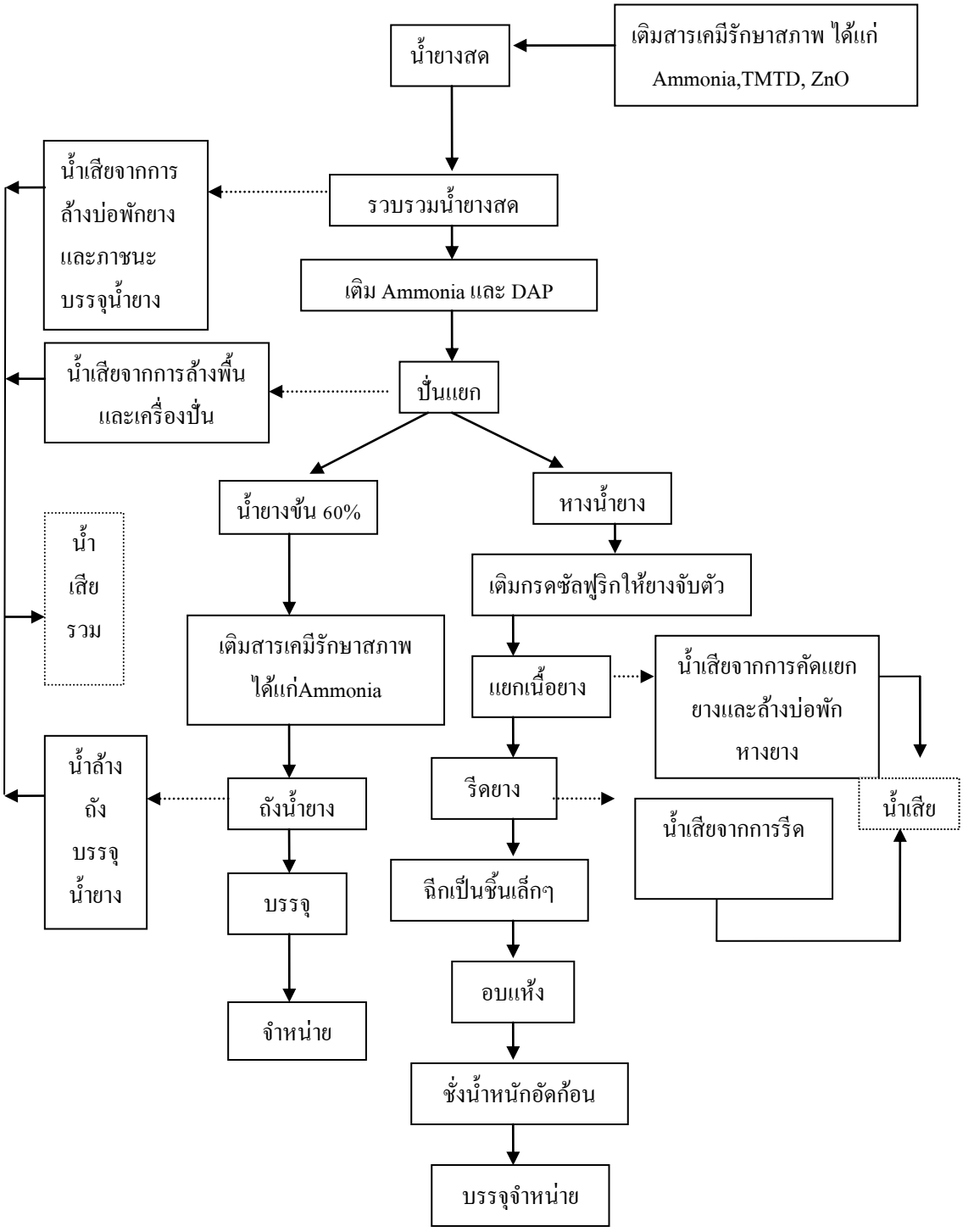
2.1.2 อุตสาหกรรมน้ำยางข้น

น้ำยางข้น คือ น้ำยางที่มีความเข้มข้นเนื้อยางแห้ง (dry rubber content: DRC) ไม่ต่ำกว่า 60% วิธีการผลิตน้ำยางข้นสามารถทำได้ 4 วิธี คือ (1) วิธีการทำครีม (creaming) (2) วิธีการระเหยด้วยน้ำ (evaporation) (3) วิธีการปั่นแยก (centrifuging) และ (4) วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (electrodecantation) ซึ่งวิธีที่ใช้ในการผลิตน้ำยางข้นในประเทศไทย ใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง

1) กระบวนการผลิตน้ำยางข้น

อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นมีวิธีการผลิตที่ทำกันในเชิงการค้าหลายวิธีด้วยกัน เช่น วิธีทำให้เกิดครีม วิธีระเหยน้ำ วิธีปั่น และการแยกด้วยไฟฟ้า แต่วิธีที่อุตสาหกรรมน้ำยางข้นในประเทศไทยนิยมใช้ คือ วิธีการปั่น (centrifugation) โดยกระบวนการผลิตเริ่มจากการนำน้ำยางสดซึ่งถูกรักษาสภาพและทำให้แมกนีเซียมตกตะกอนด้วยสารเคมี ซึ่งได้แก่ ammonia (ในรูปสารละลาย), tetramethyl triuram disulfide (TMTD), zinc oxide (ZnO) และdiammonium phosphate (DAP) ก่อนนำไปปั่นแยก (วราศรี เถกประสิทธิ์, 2543) หากไม่มีการรักษาสภาพน้ำยางจุลินทรีย์ในอากาศจะปะปนในน้ำยางและใช้สารกลุ่มน้ำตาลเป็นอาหารทำให้เกิดความเป็นกรด ซึ่งทำให้น้ำยางเสียสภาพก่อนนำไปแปรรูปได้ การปั่นแยกน้ำยางสดด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงนั้นก็เพื่อแยกน้ำและสารเจือปนอื่นๆ ในน้ำออกไปบางส่วน ซึ่งเมื่อผ่านการปั่นแยกแล้วจะได้น้ำยางข้นและหางน้ำยาง โดยในส่วนของหางน้ำยางจะนำไปเข้ากระบวนการผลิตยางสกิมโดยจะมีการเติม

กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เพื่อให้เนื้อยางที่ยังเหลืออยู่จับตัวกัน แล้วผ่านเครื่องรีดเครพ หรือตัดย่อย เพื่อทำสกิมเครพ หรือสกิมบล็อก ตามลำดับ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 กรรมวิธีการผลิตและจุดกำเนิดน้ำเสียจากการผลิตน้ำยางข้นและยางสกิมเครพ

ที่มา : สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ (2545)

2) ของเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

เนื่องจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีปัญหาเรื่องน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ ไนโตรเจน ซัลเฟต และของแข็งแขวนลอย รวมถึงมีปริมาณน้ำเสียจากการผลิตน้ำยางข้นเกิดขึ้นประมาณ 2.3–9.14 ลบ.ม.ต่อตันน้ำยางข้น (นฤเทพ บุญเรืองขาว, 2550) น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีลักษณะของน้ำเสีย ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้มาก จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำเสียก่อนระบายออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่มีการใช้งานมีหลากหลายระบบทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและเลือกใช้ระบบบำบัดให้มีความเหมาะสมกับลักษณะน้ำเสียของโรงงานแต่ละแห่ง รวมถึงความรู้ความสามารถของบุคลากรในการควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการจัดการระบบบำบัด ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นส่วนใหญ่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียที่จำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ ระบบบ่อปรับเสถียรที่ไม่มีบ่อเติมอากาศ ระบบปรับเสถียรที่มีบ่อเติมอากาศ และการใช้ระบบบำบัดที่เป็นเทคโนโลยีขั้นสูง เช่น ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ (activated sludge) หรือ UASB (upflow anaerobic sludge blanket) โดยในปี 2545 โรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในภาคใต้ที่มีระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์มีเพียง 5 โรงงาน จากโรงงานน้ำยางข้นทั้งหมด 55 โรงงาน (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2545) ในปี 2555 พบว่าประเทศไทยมีโรงงานน้ำยางข้นรวมทั้งสิ้น 92 โรงงาน โดยเป็นโรงงานที่อยู่ในภาคใต้ 68 โรงงาน (สถาบันวิจัยยาง, 2555) และในปี 2558 พบว่า โรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่มีการบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ในภาคใต้มีจำนวน 29 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2558) ซึ่งเพิ่มมากขึ้นกว่าในอดีต เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์เป็นระบบบำบัดที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางกลิ่นเหมือนระบบบ่อไร้อากาศ อีกทั้งยังเป็นกระบวนการบำบัดที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงรวมทั้งเป็นระบบที่สิ้นเปลืองเนื้อที่น้อย อย่างไรก็ตามระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวก่อให้เกิดกากตะกอนส่วนเกินจำนวนมาก ซึ่งหลายโรงงานยังไม่มีการบำบัดตะกอนส่วนเกินที่เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ

3) ลักษณะกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มีลักษณะทางกายภาพและเคมี แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งจากการศึกษาของ ณัฐนาท ชุมสวัสดิ์ และคณะ (2554) พบว่า กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น ประกอบไปด้วยอินทรีย์สารร้อยละ 49.21 และธาตุอาหารได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยมีปริมาณเฉลี่ยร้อยละ 5.19 1.80 และ 0.28

น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เช่นเดียวกับการศึกษาของ พนาลี ชีวกิดาการ และคณะ (2554) ได้รายงานว่า กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นเป็นกากตะกอนอินทรีย์ที่ประกอบด้วยอินทรีย์สารร้อยละ 40.75 และสารอาหารประเภทไนโตรเจน ฟอสฟอรัส (ในรูป P_2O_5) และโพแทสเซียม (ในรูปของ K_2O) เฉลี่ยร้อยละ 2.93 6.88 และ 1.88 น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำกากตะกอนมาใช้ในการเกษตรเนื่องจากมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ในปัจจุบันการนำกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ยังมีค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์

พารามิเตอร์	**ลักษณะกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์**
ความหนาแน่น (kg/m^3,wet wt.)	947
สี	สีน้ำตาล
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
ความชื้น (%)	89.86
TS (%)	10.14
pH	6.7
VS (% dry wt.)	82.72
Ash (% dry wt.)	17.28
Organic Metter (%)	49.21
TN (% dry wt.)	5.19
TP (% dry wt.)	1.80
TK (% dry wt.)	0.28
Zn (% dry wt.)	3.94

ที่มา: ณัฐนาท ชุมสวัสดิ์ และคณะ (2554)

2.2 ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก (compost) เป็นการนำวัสดุที่ต้องการหมักปุ๋ยมากองรวมกัน รดน้ำให้ชื้น แล้วปล่อยให้ย่อยสลายและแปรสภาพ จนกลายเป็นขุยสีดำหรือสีน้ำตาลเข้ม มีลักษณะพรุน ยุ่ยและ

ร่วนซุยแล้วจึงนำไปใช้บำรุงดิน การย่อยและการแปรสภาพของเศษพืชหรือวัสดุดังกล่าวเกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ติดมากับเศษวัสดุ ดิน หรือน้ำ จุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการแปรสภาพวัสดุมากที่สุดได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย (bacteria) แอคทิโนมัยซีต (actinomtcetes) และเชื้อรา (fungi) ในการเตรียมกองปุ๋ยหมักอาจใส่ เชื้อเร่ง ซึ่งได้แก่ จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยอินทรีย์สารและปุ๋ยคอก ปุ๋ยเคมีลงไป เพื่อช่วยเร่งกิจกรรมของจุลินทรีย์และเพิ่มคุณค่าธาตุอาหารของปุ๋ยหมัก (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ 2551) ซึ่งการหมักปุ๋ยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) การหมักปุ๋ยแบบใช้ออกซิเจน (aerobic composting) เป็นการหมักปุ๋ยในสภาพที่มีออกซิเจนโดยสามารถแสดงปฏิกิริยาย่อยสลายได้ดังสมการที่ 1

organic matter + O_2 + nutrients $\longrightarrow$ CO_2 + NH_3 + SO_2 + H_2O + resistance + organic matter + new cell + heat .....(1)

จากสมการที่ 1 จะเห็นว่าสารอินทรีย์ (organic matter) ได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำ เซลล์ใหม่ ก๊าซต่างๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย เป็นต้น และสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ซึ่งก็คือปุ๋ยหมักที่เกิดขึ้น

(2) การหมักปุ๋ยแบบไร้ออกซิเจน (anaerobic composting) เป็นการหมักปุ๋ยในสภาพที่ปราศจากออกซิเจนโดยสามารถแสดงปฏิกิริยาการย่อยสลายได้ดังสมการที่ 2

organic matter + H_2O + nutrients $\longrightarrow$ CH_4 + NH_3 + CO_2 + H_2S + resistance + organic matter + new cell + heat .....(2)

จากสมการที่ 2 จะเห็นว่ากระบวนการนี้ทำให้เกิดก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซชีวภาพที่สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานความร้อนได้ แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนอันเนื่องมาจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ส่วนของแข็งที่ได้จากการหมักจะมีส่วนของสารอาหารพืชน้อยกว่าการหมักแบบใช้ออกซิเจน การหมักด้วยวิธีการนี้ใช้เวลาในการหมักนานตั้งแต่ 2 เดือน ถึง 1 ปี ซึ่งจะได้ผลผลิตที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ และยังเป็นวิธีที่ง่าย จึงมีการนำไปใช้ในชนบทของประเทศกำลังพัฒนา (สุวศา กานตวนิชกูร, 2539)

2.2.1 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อกระบวนการหมักปุ๋ย

1) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อกระบวนการหมักปุ๋ย คือ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บ่งบอกความยากหรือง่ายต่อการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งมีผลต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน โดยเมื่อมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินมาก อัตราการย่อยสลายของอินทรียวัตถุในดินจะเกิดช้า ซึ่งแสดงว่าในดินมีปริมาณไนโตรเจนน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) จึงทำให้มีการกักเก็บคาร์บอนในดินมาก จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนจนกระทั่งได้โมเลกุลเล็กสุด และนำเข้าในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและสร้างสารประกอบของเซลล์ สำหรับสารประกอบไนโตรเจนก็จะถูกย่อยสลาย และเซลล์จุลินทรีย์จะนำไปใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนเพื่อสร้างส่วนประกอบของเซลล์ โปรตีน และกรดนิวคลีอิค เป็นต้น (สุธี พลรักษา, 2552)

อย่างไรก็ตาม ถ้าในการหมักปุ๋ยมีส่วนผสมที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (ไนโตรเจนสูง) เกินไปจะเกิดการสูญเสียไนโตรเจน จากการเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียและระเหยสู่บรรยากาศ (ฐิติรัชช์ ภู่ประเสริฐ และคณะ, 2550) เกิดการสูญเสียธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้หากมีปริมาณแอมโมเนียสูงเกินไปยังอาจเป็นพิษต่อกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์อีกด้วย ดังนั้นในกรณีที่ใช้วัสดุที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง (ไนโตรเจนต่ำ) ในการหมักปุ๋ยต้องมีการเติมสารประกอบไนโตรเจนเพื่อทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าลดลง ซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี และมีผลถึงกิจกรรมในการย่อยสลายด้วย ดังนั้นการทำปุ๋ยหมักจะต้องพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมักด้วย โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อ ไนโตรเจนที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 25-30 (Huang *et al*., 2004 and Zhu, 2007) ซึ่งหากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าสูงกว่า 30 เมื่อใส่ลงดินจะเริ่มมีการย่อยสลายต่อทำให้ปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอ จุลินทรีย์จะเจริญช้า เกิดการยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ ทำให้อัตราการย่อยสลายช้าลง (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2548) และหากวัสดุหมักมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20 ก็จะทำให้ปุ๋ยหมักมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำด้วย

Guo *et al*. (2012) ศึกษาถึงผลของการหมักปุ๋ยมูลสุกรร่วมกับซังข้าวโพด โดยการเติมอากาศในอัตรา 0.24, 0.48, 0.72 ลิตร/กก.แห้ง/นาที ความชื้น 65%, 70% และ 75% และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 15, 18, 21 ตามลำดับ พบว่า การเปลี่ยนแปลงในกองปุ๋ยหมักอุณหภูมิที่วัดได้อยู่ในระดับ thermophilic phase และเมื่อมีอัตราการเติมอากาศมากขึ้น พบว่า มีการสูญเสียออกซิเจน และไนโตรเจนเพิ่มขึ้นด้วย รวมทั้งการหมักปุ๋ย ที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำสุด จะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากการหมักปุ๋ยในชุดการทดลองอื่นและ ผลการ

ทดสอบการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ยให้ค่าดัชนีการงอกต่ำสุด (55-66%) ซึ่งการเติมอากาศเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย ในขณะที่ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีผลต่อ maturity ของปุ๋ยหมัก แต่ความชื้นไม่มีผลต่อคุณภาพของปุ๋ยหมัก

Zhang *et al*. (2010) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำเสียผสมขี้เลื่อย โดยใช้ bulking agent (recycled compost) ในสัดส่วนผสมของกากตะกอนน้ำเสียกับหัวเชื้อปุ๋ยหมัก (recycled compost) 1:1 1:2 และ 1:4 พบว่า สามารถใช้ปุ๋ยหมักที่ทำไว้แล้วมาเป็นสารผสมของการทำปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำเสียได้ นอกจากนี้ยังเป็นเร่งกระบวนการหมักให้สั้นลง สัดส่วน 1:2 ของ sludge ต่อ bulking agents เหมาะสมที่สุด และให้ผลผลิตปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีผ่านมาตรฐานปุ๋บหมัก ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ได้แก่ 9.82 (Exp.1), 10.05 (Exp.2) และ 10.11 (Exp.3) ซึ่งต่ำกว่าการศึกษาอื่นมาก อย่างไรก็ตาม ไม่ปรากฏว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีผลต่อการหมักทำปุ๋ย กล่าวคือค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเริ่มหมัก และลดลงหลังจากวันที่ 6 ผลสุดท้ายของปุ๋ยหมักมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 12-13

Huang *et al*. (2004) และ Zhu (2007) ได้แสดงให้เห็นถึงการทำปุ๋ยหมักที่สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 15 ซึ่งสามารถลดการเติมวัสดุอื่นๆ เพื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้แต่ต้องมีระยะเวลาในการหมักนานกว่า 60 วัน เช่นเดียวกับ Eiland *et al*. (2001) ซึ่งได้ศึกษาการหมักปุ๋ยโดยใช้หญ้ามิสแคนทัสหมักร่วมกับขี้หมูโดยเริ่มต้นที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (11-35) พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นต่ำมีผลทำให้อัตราการย่อยสลายสูง (40%-80%) ในขณะที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เริ่มต้นสูงจะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายลดลง (10%-20%) จากการศึกษาของ Kumar *et al*. (2010) ซึ่งหมักปุ๋ยโดยใช้เศษอาหารร่วมกับ green waste ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นตั้งแต่ 14-20 ผลการศึกษาพบว่าการทำปุ๋ยหมักที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการศึกษาที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 19.6

2) การเติมอากาศ

ความสำคัญของการเติมอากาศคือการให้ก๊าซออกซิเจนแก่จุลินทรีย์แล้วเกิดผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ถ้าหากระบบเกิดสภาพขาดก๊าซออกซิเจนกลิ่นเหม็นจากสารประกอบซัลเฟอร์จะเกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามไม่ควรมีการเติมอากาศที่มากเกินไปเพราะจะทำให้เกิดสภาพที่เย็นเกินไปซึ่งมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ลดลง ความต้องการก๊าซออกซิเจนนั้นมีมากที่สุดในช่วงตอนต้นของการหมัก ดังนั้นอาจจะลดอัตราการเติมอากาศลงเมื่อเข้าสู่ช่วงสุดท้ายของการหมัก

ชนกร วัชรปาณ (2546) ทำการศึกษาการทำปุ๋ยหมักโดยใช้มูลฝอยชุมชนและมูลฝอยตลาดสด ในกรณีที่ไม่มีการเติมตะกอนน้ำทิ้งและเติมตะกอนน้ำทิ้งชุมชนในปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักกองหมัก โดยกำหนดอัตราการเติมอากาศให้แก่กองหมักแตกต่างกัน คือไม่มีการเติมอากาศให้แก่กองหมัก และเติมอากาศในอัตรา 0.2 และ0.4 ลบ.ม./กก.ของของแข็งระเหยต่อวัน พบว่า การเติมอากาศมีผลทำให้ระยะเวลาในการหมักลดลง

ประสิทธิภาพในการเติมอากาศยังขึ้นกับความพรุนของวัสดุที่นำมาใช้หมักด้วยเพราะถ้าหากว่าวัสดุมีความพรุนหรือช่องว่างไม่มากพอก็จะทำให้อากาศเข้าไปไม่ทั่วถึงทุกจุดในกองปุ๋ยหมัก การนำตะกอนซึ่งมีปริมาณความชื้นสูง (โดยทั่วไปความชื้นของกากตะกอนที่ผ่านการรีดแล้วจะมีประมาณ 75-80%) มาทำปุ๋ยหมักแบบเติมอากาศ อาจก่อให้เกิดปัญหาในการเติมอากาศและส่งผลต่อกระบวนการหมักปุ๋ยได้ (Zhang *et al*., 2010) การพลิกกลับกองปุ๋ยเป็นวิธีการที่ง่ายในการเติมอากาศซึ่งวัสดุที่นำมาหมักนั้นต้องมีน้ำหนักเบาและสะดวกต่อการพลิกกลับ เช่น เศษหญ้า เศษใบไม้ และฟางข้าว ส่วนวิธีการเติมอากาศแบบอัดอากาศตามท่อเข้าไปใต้กองปุ๋ยหมักก็เพื่อช่วยเร่งให้อัตราการหมักเกิดเร็วขึ้นซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ยังพบว่าความต้องการออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 284 มล./ก.-ชม. ในช่วงเริ่มแรกของกระบวนการหมักซึ่งวัสดุที่นำมาหมักยังมีลักษณะที่ยังสดอยู่ และความต้องการออกซิเจนมีค่าลดลงเหลือเพียง 9 มล./ก.-ชม. ในขั้นสุดท้ายของการหมัก และกระบวนการหมักแล้วเสร็จภายในระยะเวลา 4 สัปดาห์ (อานุภาพ แก้วกอง, 2541)

3) ความชื้น

จุลินทรีย์ใช้น้ำในกระบวนการดูดซึมสารอาหารและกระบวนการขับถ่ายของเสีย ซึ่งความชื้นมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้นความชื้นที่เหมาะสมเริ่มต้นสำหรับการหมักปุ๋ยอยู่ระหว่างร้อยละ 55-65 จึงจะทำให้กระบวนการหมักดำเนินไปได้ด้วยดี แต่ถ้าหากความชื้นมากกว่าร้อยละ 80 ปุ๋ยจะถูกอัดแน่นและลดปริมาณช่องว่างของอากาศภายในกองปุ๋ยซึ่งทำให้เกิดสภาพการขาดออกซิเจนได้ ในทางตรงข้ามถ้าค่าความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 40 ซึ่งไม่เพียงพอต่อกระบวนการหมักก็จะทำให้อุณหภูมิตลอดทั่วทั้งกองปุ๋ยต่ำเกินไปมีผลทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างช้าๆทำให้ระยะเวลาในการหมักยาวนานออกไปด้วย (ศิรินทรา วันดี, 2552) นอกจากนี้ค่าความชื้นจะแปรเปลี่ยนไปได้ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ และระบบที่ใช้ในการหมัก

4) อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่พอเหมาะจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงกิจกรรมการดำรงชีวิตที่ดีของจุลินทรีย์ภายในระบบ การลดลงของอุณหภูมิอาจหมายถึงความต้องการ การเติมอากาศหรือลด

ความชื้นในกองปุ๋ย มิฉะนั้นแล้วกระบวนการย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ช้า การที่ระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้นมีผลดีคือเป็นการเร่งกระบวนการหมักให้เกิดได้เร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพที่ดี นอกจากนี้ยังสามารถทำลายเชื้อโรคบางชนิดได้ด้วย กระบวนการหมักในช่วงแรกที่อุณหภูมิประมาณ 35 องศาเซลเซียส พวกคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้ง และน้ำตาล จะถูกย่อยสลาย ส่วนโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายที่อุณหภูมิประมาณ 60-65 องศาเซลเซียส เมื่อกระบวนการหมักเริ่มสมบูรณ์อุณหภูมิจะลดลง จุลินทรีย์จำพวกแอคติโนมัยซีสและฟังไจจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และเริ่มเปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่มีความเสถียรภาพ เช่น เซลลูโลส (อานุภาพ แก้วกอง, 2541)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักเมื่อวัดที่จุดกึ่งกลางของกองปุ๋ยหมักสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ mesophilic stage มีช่วงอุณหภูมิ 15-43 องศาเซลเซียส thermophilic stage มีช่วงอุณหภูมิ 43-72 องศาเซลเซียส coolingdown stage เป็นช่วงที่อุณหภูมิเริ่มลดลง และ maturing stage เป็นช่วงที่อุณหภูมิลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศ (ประกาศิต อินทรสำอางค์, 2549; ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551)

5) ขนาดอนุภาค

ขนาดของวัตถุดิบที่นำมาหมักมีความสำคัญเพราะว่าถ้าขนาดเริ่มต้นมีขนาดเล็กก็จะช่วยให้การย่อยสลายเกิดได้ง่าย ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับจุลินทรีย์ได้สัมผัสมากขึ้น แต่ในทางตรงข้ามถ้าขนาดของอนุภาคมีขนาดที่ละเอียดมากเกินไปก็จะไปขัดขวางการแพร่ของออกซิเจนที่จะเข้าไปในกองปุ๋ย เนื่องจากในช่วง thermophilic นั้นเป็นช่วงที่มีความต้องการออกซิเจนสูงที่สุด ขนาดที่เหมาะสมของวัตถุสำหรับการทำปุ๋ยหมักคือ ประมาณ 1-3 นิ้ว นอกจากนี้ชนิดและอายุของวัสดุอินทรีย์ก็มีผลต่อการทำปุ๋ยหมัก พืชที่อายุน้อยจะมีโปรตีนสูงสลายตัวได้ง่าย ความสดและความแห้งของเศษพืชก็มีผลเช่นกัน โดยปกติการทำปุ๋ยหมักมักใช้เศษพืชที่แห้งเนื่องจากสะดวกในการกอง และการควบคุมสภาวะแวดล้อมในกองปุ๋ยหมักในด้านความชื้นและการระบายอากาศ ในกรณีที่ใช้เศษพืชสดก็สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้เช่นกัน แต่ต้องระมัดระวังเรื่องความชื้นเพราะในเศษพืชจะมีปริมาณน้ำมาก และถ้าการระบายอากาศไม่ดีอาจเกิดกระบวนการเน่าเสียภายในกองปุ๋ยจนเกิดกลิ่นเหม็นได้ สิริจิตต์ แสงอุ่นอุทัย และชาติชาย กมลมิตร (2541) พบว่าการใช้วัสดุหมักที่มีขนาด 5-10 มิลลิเมตร จะย่อยสลายเร็วกว่าการใช้วัสดุที่มีขนาด 10-15 มิลลิเมตรค่อนข้างมาก เนื่องจากมีพื้นที่ผิวมากง่ายต่อการที่จุลินทรีย์จะเข้าไปทำปฏิกิริยาการหมัก

6) พีเอช

พีเอชเป็นตัววัดค่าความเป็นกรด-ด่างของของผสม ซึ่งก่อนเข้าสู่กระบวนการหมัก พีเอชควรมีค่าเป็นกลาง การเปลี่ยนแปลงพีเอชของกระบวนการหมักสามารถแบ่งออกเป็น 4 ช่วง

คือช่วงแรกซึ่งพีเอชจะอยู่ในช่วง 5.0-5.5 (mesophilic stage) จากนั้นพีเอชจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกิดเป็นสภาวะด่างที่ช่วง 8.0-9.0 (thermophilic stage) ต่อมาค่าพีเอชจะลดลงมาเล็กน้อย (coolingdown stage) และท้ายที่สุดพีเอชก็ลดลงมาจนมีค่าในช่วง 7.0-8.0 (maturing stage) ซึ่งในการหมักแบบให้อากาศในช่วงแรก พีเอชอาจลดลงอันเกิดจากปฏิกิริยาในสภาพขาดออกซิเจน และมีการเกิดกรดระเหย หลังจากนั้น พีเอชก็จะขึ้นถึงช่วงเป็นกลางอีก เมื่อกรดถูกเปลี่ยนเป็น CH_4 และ CO_2 โดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2539) ในทางปฏิบัติค่าพีเอชไม่ได้ใช้เป็นตัวควบคุมกระบวนการหมัก แต่ถ้าผู้ปฏิบัติทราบถึงการเปลี่ยนแปลงพีเอชในช่วงต่างๆ ของกระบวนการหมักก็จะเป็นการดีที่ได้ทราบความเป็นไปได้ของระบบที่ดำเนินการอยู่ในขณะนั้น (อานุภาพ แก้วกอง, 2541)

7) จุลินทรีย์

จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักนั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยทั่วไปวัสดุที่นำมาหมักแบบเปิดในที่โล่งประกอบไปด้วยแบคทีเรียหลายชนิดจำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีแอคติโนไมซีส ฟังไจ รา และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ดังนั้นจุลินทรีย์เหล่านี้จึงเป็นส่วนหนึ่งของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการหมักและมีส่วนสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองปุ๋ย ส่วนการเพาะเชื้อจะทำก็ต่อเมื่อจุลินทรีย์เดิมนั้นไม่สามารถพัฒนาตัวเองให้มีการเพิ่มจำนวนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (อานุภาพ แก้วกอง, 2541)

2.2.2 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำปุ๋ยหมัก

กระบวนการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมักเกี่ยวข้องโดยตรงกับกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดที่เข้ามามีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง เปลี่ยนเป็นธาตุอาหาร เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารกลับมาใช้ใหม่ (recycling) ของสารอินทรีย์วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือเศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมทางการเกษตร ให้กลับมาอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เมื่อนำวัสดุอินทรีย์มาตั้งทำกองปุ๋ยหมัก มีการรดน้ำให้ความชื้นแก่เศษวัสดุ จุลินทรีย์ที่ติดมากับวัสดุเหล่านั้นจะเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วย่อยสลายและแปรสภาพของวัสดุอินทรีย์ จนกระทั่งกระบวนการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์จะได้สารประกอบที่มีความคงสภาพได้นาน ที่เรียกว่าปุ๋ยหมัก (compost) กระบวนการย่อยสลายดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยจุลินทรีย์หลายชนิดรวมกันและอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ (พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์, 2540) ดังนี้

- **ระยะอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic phase)** ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงแรกของการย่อยสลายโดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วงประมาณ 20-45 องศาเซลเซียส
- **ระยะอุณหภูมิสูง (thermophilic phase)** ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงที่มีการย่อยสลายอย่างต่อเนื่อง โดยอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นถึง 45-60 องศาเซลเซียส หรือมากกว่านี้ ซึ่งอุณหภูมิที่

เหมาะสมจะต้องไม่ต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่เกิดการย่อยสลายมากที่สุดจนทำให้เกิดความร้อนสะสมในกองปุ๋ยหมัก

- **ระยะอุณหภูมิลดลง (maturation phase)** ซึ่งเป็นช่วงที่อัตราการย่อยสลายลดลงจนกระทั่งอุณหภูมิกองปุ๋ยหมักลดลง ซึ่งเป็นระยะที่ใกล้เสร็จสิ้นการย่อยสลาย

จากการศึกษาของ Lardinois, *et al*. (1993) พบว่า จุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักสามารถแบ่งออกเป็น 3 จำพวกคือ psychrophilic, mesophilic และ thermophilic อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแต่ละจำพวก ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ประเภทจุลินทรีย์	**อุณหภูมิที่เหมาะสม (องศาเซลเซียส)**
Psychrophilic	15
Mesophilic	32
Thermophilic	55

ที่มา: Lardinois, *et al*. (1993)

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปุ๋ยหมัก มีเพียง 2 ประเภท คือ ชอบอุณหภูมิปานกลาง และแบบที่ชอบอุณหภูมิสูง ซึ่งแต่ละประเภทมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายตัวของอินทรียสารในแต่ละช่วงเวลา จึงแบ่งระยะ (stage) ของการหมักออกเป็น 3 ระยะ ตามอุณหภูมิของกองปุ๋ยได้ดังนี้

1) ระยะแรกอุณหภูมิปานกลาง (initial mesophilic stage) จุลินทรีย์ใช้น้ำตาลและสารอาหารที่ย่อยง่ายอย่างรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิในกองวัสดุเพิ่มสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ในระยะนี้แบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลางจะมีมากที่สุด แต่เมื่ออุณหภูมิในกองวัสดุสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส จะเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2

2) ระยะอุณหภูมิสูง (themophilic stage) ช่วงระยะนี้อุณหภูมิในกองวัสดุจะสูง 50-75 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงจะเริ่มย่อยสารที่สลายยาก จึงควรกลับกองปุ๋ยเป็นครั้งคราว เพื่อเพิ่มการถ่ายเทอากาศและทำให้กองวัสดุมีความร้อนกระจายสม่ำเสมอ ควรกลับเอาวัสดุที่อยู่ภายนอกให้เข้ามาได้รับความร้อนภายในกองด้วย ระยะนี้จะมีการสังเคราะห์คล้ายฮิวมัส

3) ระยะอุณหภูมิปานกลางครั้งที่ 2 (second mesophilic stage) หรือระยะบ่ม (curing stage) เมื่อผ่านระยะอุณหภูมิสูงแล้ว แหล่งอาหารที่ใช้ได้ง่ายต่อจุลินทรีย์ก็จะลดน้อยลง

กิจกรรมของจุลินทรีย์ก็จะลดต่ำลงไปด้วย อุณหภูมิจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศรอบกอง จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิระดับนี้จะมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ระยะนี้อาจกินเวลา 3-5 สัปดาห์หรือยืดเยื้อเป็นเวลาหลายเดือน ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้และสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ย

นอกจากนี้ เยาวลักษณ์ จันดาวงศ์ และสิรินทรเทพ เต้าประยูร (2541) ได้รายงานว่า กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส และอะไมเลส จะสูงในช่วง active stage ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเจริญของจุลินทรีย์สูง โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophile) หรือเป็นระยะอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic phase) และระยะอุณหภูมิสูง (thermophilic phase) ส่วนเซลลูเลสจะมีกิจกรรมสูงในช่วง curing stage ซึ่งเป็นช่วงที่การเจริญของจุลินทรีย์น้อยหรือเป็นระยะอุณหภูมิลดลง (maturation phase) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมภายในกองปุ๋ยหมักดังกล่าวข้างต้นเกิดขึ้นอย่างเป็นขั้นตอนตามกิจกรรมของจุลินทรีย์แต่ละกลุ่ม ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วย แบคทีเรีย เชื้อราและแอคติโนมัยซิส (เสียงแจ่ว พิริยพฤนต์ และนวลจันทร์ ภาสดา, 2540) จุลินทรีย์ในแต่ละกลุ่มมีอยู่มากมายหลายชนิด แต่ละชนิดมีบทบาทแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารอาหารที่มีอยู่ในกองวัสดุและสภาพแวดล้อมภายในกอง โดยบทบาทของจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีดังนี้

1) แบคทีเรีย (bacteria)

จุลินทรีย์กลุ่มนี้ขนาดค่อนข้างเล็กแต่มีปริมาณมากที่สุด ประมาณ 80-90% ของจุลินทรีย์ที่พบในกองปุ๋ยหมัก ปริมาณไม่แน่นอนโดยแปรผันไปตามสภาพแวดล้อมและวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก เนื่องจากมีการเจริญเติบโตได้รวดเร็ว จึงมีการเพิ่มประชากรมากตั้งแต่เริ่มตั้งกอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่ใช้หมักมีสารอาหารที่ใช้ง่ายอยู่มาก แบคทีเรียก็จะย่อยสลายสารอาหารเหล่านั้นอย่างรวดเร็ว และปลดปล่อยความร้อนออกมาในปริมาณมาก กองปุ๋ยจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น แม้จะพบว่าแบคทีเรียมีมากกว่าราหลายเท่า แต่ก็ไม่สามารถระบุได้ว่าจุลินทรีย์กลุ่มใดมีบทบาทมากกว่ากัน เนื่องจากราเป็นเส้นใยและมีขนาดของเซลล์ที่ใหญ่กว่า นอกจากนี้ยังเจริญเติบโตทอดเส้นใยข้ามช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนวัสดุได้ดีและรวดเร็วกว่าแบคทีเรีย ทั้งยังมีบทบาทสำคัญในการปลดปล่อยเอนไซม์ออกนอกเซลล์ (extracellular enzyme) มาย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ จึงถือว่าแบคทีเรียและรามีบทบาทสำคัญในการแปรสภาพวัสดุอินทรีย์ในช่วงอุณหภูมิปานกลาง สำหรับในช่วงอุณหภูมิสูงใกล้ถึง 60 องศาเซลเซียส รายังคงมีบทบาทร่วมกับแบคทีเรีย แต่เมื่ออุณหภูมิสูงเกินไปราก็จะหยุดกิจกรรมลง กิจกรรมหลักจึงเกิดจากแบคทีเรียกับแอคติโนมัยซิส แบคทีเรียค่อนข้างมีบทบาทสำคัญในกระบวนการย่อยสลายและการเกิดความร้อนในกองปุ๋ยหมัก โดยในระยะแรกของการหมักอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักจะไม่สูงมากนัก แบคทีเรียที่พบจะเป็นพวก *Cellulomonas* sp. *Achromobacter* sp. *Pseudomonas* sp., *Flavobacterium* sp., *Micrococcus* sp. และ *Bacillus* sp. ซึ่งแบคทีเรียในสกุล *Bacillus*

พบในปริมาณมากกว่าสกุลอื่น ระยะต่อมาเมื่อกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงมากขึ้น ในช่วงอุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส แบคทีเรียที่เจริญได้ดีจะเป็นพวก *B. subtilis* และ *B. stearothermophilus* ซึ่งเป็นพวกที่เจริญได้ดีในช่วง 50-55 องศาเซลเซียส บางกรณีอาจสูงถึง 65-70 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบพวกที่เจริญได้และสามารถทนความร้อนได้สูงได้แก่ *Thermus* sp. สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 40-79 องศาเซลเซียส และพวกที่มีความสามารถในการย่อยสลายเซลลูโลสที่พบได้โดยทั่วไปได้แก่ *Cellulomonas* (เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์ และนวลจันทร์ ภาสดา, 2540)

2) รา (fungi)

ในกองปุ๋ยจะพบราอยู่เสมอ แต่ชนิดและปริมาณจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก ความชื้นและอุณหภูมิ ของสภาพแวดล้อม ราเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศ ดังนั้นการเจริญจึงต้องมีออกซิเจนอย่างเพียงพอ เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเพิ่มปริมาณมากในช่วงระยะแรกของการหมักปุ๋ย เนื่องจากในระยะแรกของการหมักกองปุ๋ยจะมีอุณหภูมิที่ไม่สูงมากนักเพราะถ้ากองปุ๋ยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและมีความชื้นสูง ก็จะเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียมากกว่ารา ดังนั้นจึงมักพบราเจริญอยู่บริเวณผิวนอกของกองปุ๋ยหมักซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นต่ำกว่าภายในกองปุ๋ยหมัก ราส่วนใหญ่มีความสามารถในการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ได้ดีเนื่องจากราผลิตเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์ได้หลากหลายชนิด อย่างไรก็ตามปัจจัยต่างๆ ของสภาพแวดล้อมจะเป็นตัวควบคุมและคัดเลือกราที่มีความสามารถในการดำรงกิจกรรมในกองปุ๋ย จากการศึกษาในกองปุ๋ยหมักในช่วงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนใกล้ 60 องศาเซลเซียส การเจริญเติบโตของราจะลดลง และเมื่อกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 65 องศาเซลเซียส จะไม่พบรา แต่ถ้าอยู่ในสภาพแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส รายังสามารถเจริญอยู่ได้ โดยราที่พบทั่วไปในกองวัสดุเศษพืชคือราที่ย่อยเซลลูโลส ได้แก่ *Aspergillus*, *Penicillum*, *Fusarium*, *Trichoderma* และ *Chaetomonium* ซึ่งมีบทบาทในการย่อยสลายเศษวัสดุในกองปุ๋ยหมักให้มีขนาดเล็กลงในระยะแรกของการหมักในกองปุ๋ยหมักซึ่งอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยยังไม่สูงมากนัก จะพบราพวก *Geotrichum candidium* และ *Aspergillus Fumigitus* เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 45-55 องศาเซลเซียส จะพบราพวก *Cladosporium* sp. *Aspergillus* sp. และ *Mucor* sp. เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้อาจจะพบเชื้อราพวก *Penicilium duponti* (เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์ และนวลจันทร์ ภาสดา, 2540)

3) แอคติโนมัยซิส (actinomycetes)

โดยทั่วไปแอคติโนมัยซิส มีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้ากว่าแบคทีเรียและรา เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มนี้มีลักษณะการเจริญเติบโตในรูปแบบการแตกแขนงเป็นเส้นใยและสร้างสปอร์คล้ายรา แต่เส้นใยนั้นมีขนาดเล็กและสั้นกว่ารา การเพิ่มปริมาณในกองปุ๋ยจึงช้ากว่าราและแบคทีเรียด้วย ซึ่งจะพบน้อยในระยะแรกของการย่อยสลายแต่จะพบในช่วงท้ายของกระบวนการย่อยสลาย แอคติโน

มัยซิสสามารถเจริญได้ดีในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศเพียงพอ เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนและความชื้นน้อยในการเจริญเติบโต และค่าพีเอชที่ค่อนข้างเป็นด่าง สามารถใช้สารอินทรีย์ประเภทที่ย่อยสลายยากได้ดี ดังนั้นจึงมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรียวัตถุที่มีความทนทานต่อการย่อยสลายหรือมีโครงสร้างที่ซับซ้อน ได้แก่ เซลลูโลส ลิกนิน ไคติน และสารประกอบที่ย่อยสลายยากอื่นๆ มักจะไม่พบลักษณะของเชื้อแอคติโนมัยซิสเมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า 75 องศาเซลเซียส โดยเชื้อแอคติโนมัยซิสที่มักพบเสมอในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ *Thermoactinomyces* sp. และ *Thermomonospora* sp. เป็นพวกที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสออกมาย่อยเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอาจพบ *Streptomyces* sp. และ *Micropolyspora* sp. เช่นกัน (เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์ และนวลจันทร์ ภาสดา, 2540)

2.2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาการหมักปุ๋ย

ตัวเร่งในการหมักปุ๋ยสามารถหาได้หลายชนิด ซึ่งเมื่อเติมลงไปในกองหมักแล้วจะช่วยในการหมักดีขึ้น สารเร่งพด.1 เป็นตัวเร่งที่สามารถหาได้ทั่วไป ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถสูงในการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เพื่อผลิตปุ๋ยหมักในช่วงระยะเวลาอันสั้นและได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพดีเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม โดยต้องการแสง อากาศ และเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง 45 องศาเซลเซียส เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการความชื้นสูงร้อยละ 50 ประกอบด้วยเชื้อ แบคทีเรีย แอคติโมนัยซีส และรา ซึ่งมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูง เพื่อย่อยสลายเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักในเศษพืชได้ดี มีความสามารถในการใช้อาหารจากอินทรียวัตถุ และเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ได้ดีกว่า ทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นโทษต่อพืชซึ่งมีอยู่ในดินไม่สามารถเจริญแข่งขันกันได้ ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 8 สายพันธุ์ (ศิรินทรา วันดี, 2552) ดังนี้

1) แบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ อยู่ในสกุล *Bacillus* sp.

2) รา 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Scopulariopsis* sp., *Helicomyces* sp., *Chaetomium* sp. และ *Trichoderma* sp.

3) แอคติโนมัยซีส 2 สายพันธุ์ อยู่ในสกุล *Streptomyces* sp.

2.2.4 จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายและแปรสภาพเป็นแร่ธาตุ

สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานที่สำคัญของจุลินทรีย์ ในปุ๋ยหมักจะมีองค์ประกอบของธาตุที่สำคัญ โดยแบ่งตามการย่อยสลายของจุลินทรีย์ได้ 3 ประเภท ดังนี้

1) กลุ่มจุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ

กลุ่มจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นพวกเฮเทอโรทรอฟ (heterotroph) เป็นกลุ่มที่รับพลังงานและแหล่งคาร์บอนจากอินทรียวัตถุ

การย่อยสลายวัตถุดิบหมักที่เป็นพืชซึ่งคาร์บอนส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส จุลินทรีย์จะสร้างเอนไซม์และขับออกมานอกเซลล์เพื่อย่อยสารอาหารให้มีขนาดเล็กลงจนสามารถซึมผ่านเข้าไปและเกิดการย่อยสลายภายในเซลล์จะได้น้ำตาลกลูโคสที่มีขนาดเล็กลง รวมทั้งคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ แร่ธาตุต่างๆ และพลังงาน หรือถูกย่อยไปเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) โดยแอนแอโรบิกแบคทีเรียซึ่งสารเหล่านี้จำเป็นต่อการสร้างเซลล์จุลินทรีย์และเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยปฏิกิริยาการย่อยสลายที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ แสดงดังสมการที่ 3 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

เศษซากสิ่งมีชีวิต $\longrightarrow$ $CO_2 + H_2O$ + แร่ธาตุ + เซลล์จุลินทรีย์ + intermediate products + สารฮิวมิก .....(3)

2) กลุ่มจุลินทรีย์ที่แปรสภาพไนโตรเจน

สารอินทรีย์ไนโตรเจนในสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนหรือโปรตีน กรดอะมิโนอิสระ รวมทั้งเบสของ purine และ pyrimidine ซึ่งได้มาจากกรดนิวคลีอิก จุลินทรีย์ที่ย่อยสลาย ได้แก่ จุลินทรีย์ในสกุล *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Sterptomyces*, *Aspergillus*, *Nitrobacter* และ *Nitrosomonas* ซึ่งจะสร้างเอนไซม์โปรทีเอส (protease) เพื่อย่อยสลายโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโน น้ำตาลไรโบส (ribose) และน้ำตาลดีออซิไรโบส (deoxyribose) ซึ่งสารดังกล่าวนี้ส่วนหนึ่งจะเป็นอาหารสำหรับจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการเพิ่มเซลล์ และส่วนหนึ่งจะแปรสภาพต่อไปเป็นอนินทรียไนโตรเจนซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น แอมโมเนียม ไนเตรท คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ นอกจากนี้สารประกอบอะมิโนจะสามารถรวมตัวกับสารที่ได้จากการย่อยสลานลิกนินกลายเป็นสารประกอบฮิวมัส ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมเสถียรภาพของโครงสร้างดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน

การแปรสภาพของไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่เป็นกระบวนการชีวเคมี โดยเป็นกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่มีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ดังนี้

- **Nitrogen fixation** เป็นปฏิกิริยาของกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศได้ และเปลี่ยนจากไนโตรเจนมาอยู่ในรูปของแอมโมเนียม โดยมีปฏิกิริยาดังสมการที่ 4

$$N_2 \xrightarrow[\text{(bacteria)}]{\text{microorganism}} NH_4^+ \text{.....(4)}$$

- **Aminization** เป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารประกอบโปรตีน โดยจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ ซึ่งจะเปลี่ยนสภาพของโปรตีนให้เป็นสารประกอบไนโตรเจน พวก amino compound ชนิดต่างๆ โดยมีปฏิกิริยา ดังสมการที่ 5

$$\text{protein} \xrightarrow[\text{(digestion)}]{\text{enzymatic}} R\text{-}NH_2 + CO_2 + \text{energy} + \text{other product} \text{.....(5)}$$

- **Ammonification or Mineralization** เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ ให้เป็นแอมโมเนียม กระบวนการนี้เกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์พวกที่สร้างอาหารเองไม่ได้ โดยมีปฏิกิริยาดังสมการที่ 6 และ 7

$$R\text{-}NH_2 \xrightarrow[\text{hydrolysis}]{\text{enzymatic}} R\text{-}OH + NH_3 + \text{energy} \text{.....(6)}$$

$$2NH_3 + H_2CO_2 \longrightarrow (NH_4)_2CO_3 \longleftrightarrow 2NH_4^+ + CO_3^{2-} \text{.....(7)}$$

- **Nitrification** เป็นกระบวนการ enzymatic oxidation เกิดขึ้นโดยแบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนพวก nitrifying bacteria กระบวนการนี้ประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชั่นสองขั้นตอน คือ ขั้นแรกเป็นการเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมถูกออกซิไดส์ให้เป็นไนไตรท์ โดยแบคทีเรียพวก *Nitrosomonas* และ *Nitrosococcus* และขั้นที่สองไนไตรท์ที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดซ์ให้เป็นไนเตรตโดยจุลินทรีย์พวก *Nitrobacter* ปฏิกิริยา ดังสมการที่ 8 และ 9

$$NH_4^+ + 3O_2 \xrightarrow[\text{oxidation}]{\text{enzymatic}} 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+ + \text{energy} \text{.....(8)}$$

$$2NO_2^- + 3O_2 \xrightarrow[\text{oxidation}]{\text{enzymatic}} 2NO_3^- + \text{energy} \text{.....(9)}$$

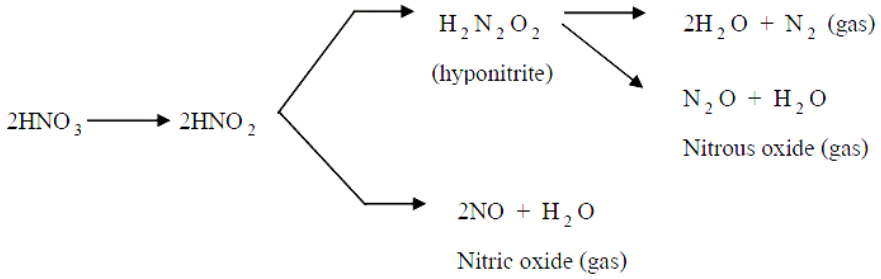
- **Assimilation** เป็นกระบวนการนำแร่ธาตุไปใช้ของพืช ซึ่งนำไนโตรเจนที่อยู่ในรูปไนเตรทเข้าทางรากพืช จึงถือว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงจากไนเตรทให้ไปอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจน ดังสมการที่ 10

$$NO_3^- \longrightarrow R\text{-}NH_2 \quad \text{.....(10)}$$

- **Immobilization** เป็นกระบวนการนำไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมไปใช้ของพืช ซึ่งจะแปรสภาพเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจน โดยมีปฏิกิริยาดังสมการที่ 11

$$NH_4^+ \longrightarrow R\text{-}NH_2 \quad \text{.....(11)}$$

- **Denitrification** เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนที่อยู่ในรูปไนเตรทไปเป็นก๊าซไนโตรเจน โดยจุลินทรีย์กลุ่ม denitrifying bacteria สารประกอบไนไตรท์ หรือไนเตรท จะถูกรีดิวส์ให้เปลี่ยนเป็นก๊าซที่ประกอบด้วยไนโตรเจนชนิดต่างๆ ทั้งนี้ชนิดของก๊าซขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และสภาพแวดล้อม ปฏิกิริยาแสดงดังภาพที่ 2 (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)



ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในกระบวนการ denitrification
ที่มา: มุกดา สุขสวัสดิ์ (2544)

3) กลุ่มจุลินทรีย์ที่แปรสภาพฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสในสารอินทรีย์อยู่ในรูปของออร์โทฟอสเฟต (orthophosphate) หรือพวกที่แปลงมาจากกรดออร์โทฟอสฟอริค อินทรีย์ฟอสเฟตมี 3 ประเภท คือ สารที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต พวกที่สอง คือ สารที่เป็นแหล่งสะสมของฟอสเฟตไว้ให้พืชนำไปใช้ และประเภทสุดท้าย คือ สารประกอบพวกอินเทอร์มิดิเอท เมตาบอลิท (intermediate metabolite) โดยทั่วไปฟอสฟอรัสในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้นั้นจะอยู่ในรูปของโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต (monohydrogen phosphate) และไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (dihydrogen phosphate) ซึ่งเป็นอนินทรีย์ฟอสเฟต ในกระบวนการหมักปุ๋ยสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์กับพืช ดังนั้นจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายจะสร้างเอนไซม์ออกมาเพื่อย่อยสลายและแปรสภาพอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัส กระบวนการแปรสภาพของอินทรีย์ฟอสเฟตให้เป็นอนินทรีย์ฟอสเฟต เรียกว่า mineralization of organic phosphorus เป็นกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับกิจกรรมของจุลินทรีย์พวก

heterotrophic (สมศักดิ์ วังใน, 2528) จะเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิตั้งแต่ 30 องศาเซลเซียสขึ้นไป โดยเฉพาะในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์พวกเทอร์โมฟิลิก โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงจะเกิดเร็วในช่วงเมโซฟิลิกและอัตราการแปรสภาพจะสูงขึ้นเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น ในการแปรสภาพอินทรีย์ฟอสเฟตนั้น สารประกอบพวกกรดนิวคลีอิกจะแปรสภาพได้ง่ายที่สุด ในขณะที่สารประกอบไพตินจะแปรรูปได้ยากที่สุด ซึ่งจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายไพตินประกอบด้วย *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Cunninghamella*, *Arthrobacter* และ *Bacillus* เมื่อย่อยสลายแล้วจะได้สารพวกอินโนซิทอล (inositol) และฟอสเฟต (สมศักดิ์ วังใน, 2528)

เมื่อได้ฟอสเฟตแล้วจะเกิดกระบวนการออกซิเดชั่นและรีดักชั่นของสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟต กระบวนการนี้เกิดขึ้นเพราะฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เปลี่ยน oxidation state ได้ตั้งแต่ -3 ถึง +5 การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งบางชนิดก็เพิ่มออกซิเจนและบางชนิดก็ลดออกซิเจนในฟอสเฟต โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงได้ดังสมการที่ 12 (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2544)

$$\underset{\text{+5}}{H_3PO_4} \xrightarrow{2H^+} \underset{\text{+3}}{H_3PO_3} \xrightarrow{2H^+} \underset{\text{+1}}{H_3PO_2} \xrightarrow{4H^+} \underset{\text{-3}}{PH_3} \quad \text{.....(12)}$$

phosphate phosphite hypophosphite phosphine

2.2.5 หลักในการพิจารณากองปุ๋ยหมัก

เมื่อกระบวนการหมักปุ๋ยเสร็จสมบูรณ์แล้ว จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทั้งที่มองเห็นได้และที่มองเห็นไม่ได้ ที่มองเห็นได้ก็คือ ชิ้นส่วนของพืชจะมีขนาดเล็กลงและยุบตัวลงกว่าเมื่อเริ่มกอง สีของเศษพืชก็จะเปลี่ยนไป ส่วนที่มองเห็นไม่ได้ก็คือปริมาณของจุลินทรีย์ หลักในการสังเกตว่าปุ๋ยหมักสามารถนำมาใช้ได้หรือไม่ มีข้อสังเกต ดังนี้

(1) สีของปุ๋ยหมักเริ่มเข้มขึ้นกว่าเมื่อเริ่มกอง อาจเป็นสีน้ำตาลหรือดำ (รสสุคนธ์ พุ่มพันธุ์วงศ์, 2549)

(2) อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยเมื่อเริ่มกองจะร้อนมากและลดลงเมื่อผ่านไประยะหนึ่ง จนอุณหภูมิภายในและภายนอกไม่ต่างกัน (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2539)

(3) ลักษณะความอ่อนนุ่มของเศษพืชจะอ่อนยุ่ยขาดออกจากกันได้ง่าย ไม่แข็งกระด้างและเป็นก้อน (รสสุคนธ์ พุ่มพันธุ์วงศ์, 2549)

(4) กลิ่นของปุ๋ยหมักจะคล้ายกลิ่นของดินธรรมชาติ ไม่มีกลิ่นเหม็น (ศุวศา กานตวนิชกูร, 2539)

(5) ต้นพืชที่มีระบบรากลึกสามารถเจริญเติบโตบนกองปุ๋ยหมักได้ แสดงว่าปุ๋ยหมักสลายตัวอย่างเต็มที่แล้ว ต้องมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วง 10-12 % มีเกรดปุ๋ยไม่ต่ำกว่า 0.5-0.5-1 ($N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$) ความชื้นของปุ๋ยหมักต้องอยู่ในช่วง 55-75 % ต้องมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระหว่าง 30-60 % ความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 6.0-7.5 ปุ๋ยหมักที่ดีต้องปราศจากเชื้อโรคทุกชนิด

2.2.6 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

1) การปรับปรุงบำรุงดิน (ภัทราพร กังวานเจษฎา, 2555)

- ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุให้แก่ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งดินทรายที่หน้าดินถูกชะล้างและดินชั้นล่างที่นำมาใช้ในการเพาะปลูก
- ช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืช ทั้งธาตุอาหารพืชหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริม
- ช่วยรักษาความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินอยู่ตลอดกาล โดยที่ธาตุอาหารพืชชนิดต่างๆ ละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างช้าๆ ช่วยให้ดินมีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิต
- ช่วยรักษาปฏิกิริยาของดินไม่ให้เปลี่ยนแปลงได้ง่ายโดยเฉพาะปุ๋ยหมักจะมีปฏิกิริยาเป็นกรดอ่อนๆ ซึ่งพืชโดยทั่วไปต้องการ
- ช่วยให้ดินเหนียวซึ่งแน่นทึบมีความร่วนซุยและดินทรายมีการจับตัวกันดียิ่งขึ้น
- ช่วยให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดียิ่งขึ้น เพราะปุ๋ยหมักมีคุณสมบัติคล้ายกระดาษซับที่คอยซับน้ำธาตุอาหารไว้ให้พืชใช้
- ช่วยป้องกันมิให้ดินสูญเสียหรือถูกชะล้างไปได้ง่าย เพราะปุ๋ยหมักช่วยซับน้ำ และทำให้ดินเกาะกันดียิ่งขึ้น
- ช่วยให้เกิดความสะดวกในการไถพรวนและการเตรียมดินโดยทั่วไป
- ช่วยเพิ่มกิจกรรมและปริมาณจุลินทรีย์ในดิน ซึ่งทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินเพิ่มขึ้น

2) ปรับสภาพสิ่งแวดล้อม (ภัทราพร กังวานเจษฎา, 2555)

- ช่วยกำจัดขยะมูลฝอย ทำให้บริเวณนั้นสะอาดถูกสุขลักษณะอนามัย

- ช่วยลดอุบัติเหตุได้ การทำลายเศษพืชโดยการนำไปเผาหรือเผาตอซังข้าว หรือเศษหญ้าข้างถนนเป็นวิธีไม่ถูกต้อง ทำให้เกิดรถชน จราจรติดขัด เกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สิน และก่อให้เกิดอากาศเป็นพิษ ถ้านำเศษพืชเหล่านั้นมาทำเป็นปุ๋ยหมักก็จะช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ได้

- เป็นการกำจัดวัชพืชน้ำทั้งหลายให้หมดไป ทำให้สัตว์น้ำได้รับแสงแดดเต็มที่และเจริญเติบโตในทางเศรษฐกิจ

- ช่วยประหยัดและลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีราคาแพง เป็นการลดต้นทุนการผลิต

2.2.7 ธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมัก

แม้ว่าธาตุอาหารพืชในปุ๋ยเคมีจะมากกว่าปุ๋ยหมักอย่างมาก แต่ธาตุอาหารเหล่านี้จะถูกละลายและถูกชะล้างไปจากบริเวณรากพืชได้ง่าย ส่วนปุ๋ยหมักนั้นมีสมบัติยึดธาตุอาหารในรูปคอลลอยด์ ซึ่งเป็นรูปที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้อย่างช้าๆ เมื่อวัสดุย่อยสลายในดิน ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสจากปุ๋ยหมักที่มักจะมีอยู่ในปริมาณต่ำนั้นอยู่ในรูปที่ควบคุมได้ เมื่อเทียบมูลสัตว์ (ปุ๋ยคอก) อีกทั้งปุ๋ยหมักจะมีปริมาณเกลือต่ำซึ่งเป็นผลดีต่อระบบรากพืช เพราะปริมาณเกลือสูงสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของระบบรากพืชได้ (เสาวนิตย์ แดงทองดี, 2549. อ้างอิงจาก ภาวนา ลิกขนานนท์, 2542)

2.2.8 มาตรฐานปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยอินทรีย์ในประเทศไทย

ปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักอินทรียวัตถุมีปริมาณธาตุอาหารหลักไม่สมบรูณ์ครบถ้วนที่จะเป็นปุ๋ยให้กับต้นไม้ได้ แต่ประโยชน์ของปุ๋ยหมักในด้านอื่นมีมากมาย เช่น ปุ๋ยหมักที่อยู่ในรูปของฮิวมัสช่วยปรับปรุงสภาพของดินให้ดีขึ้น ช่วยอุ้มน้ำได้มาก ช่วยป้องกันความแห้งแล้ง ป้องกันการสึกกร่อนของหน้าดิน ช่วยจัดเก็บธาตุต่างๆในดิน เช่น โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และทองแดง ช่วยทำให้สารพิษในดินเป็นกลาง ช่วยให้ต้นไม้ดูดซึมวิตามินและออกซิเจนดีขึ้น

ปุ๋ยที่หมักเสร็จแล้วจะต้องมีปริมาณของธาตุต่างๆ เป็นไปได้ตามมาตรฐานของปุ๋ยหมัก ถ้าปุ๋ยหมักไม่ได้มาตรฐานนี้อาจจะเป็นพิษต่อต้นไม้และสิ่งแวดล้อมได้ สำหรับมาตรฐานของปุ๋ยหมักในประเทศเป็นไปตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ในประเทศไทย

คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร
ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
ปริมาณหินและกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
ค่าพีเอช	5.5-8.5
อัตราค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N)	ไม่เกิน 20:1
ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
ปริมาณธาตุอาหารหลัก	-ไนโตรเจน (total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
	-ฟอสฟอรัส (total P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
	-โพแทสเซียม (total K_2O) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
การย่อยสลายที่สมบรูณ์	มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์
สารหนู(arsenic)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
แคดเมียม(cadmium)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
โครเมียม(chromium)	ไม่เกิน 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
ทองแดง(copper)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
ตะกั่ว(lead)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม
ปรอท(mercury)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2548)

2.3 ผักตบชวา (water hyacinth)

2.3.1 ความรู้เบื้องต้นของผักตบชวา

ผักตบชวามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Eichhornia crassipes* ชื่อสามัญคือ water hyacinth อยู่ในวงศ์ Pontederiaceae ในประเทศไทยมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป เช่น ผักตบ ผักบัวลอย ผักปอด ผักป่อง สวะ เป็นต้น ผักตบชวาเป็นวัชพืชน้ำที่เจริญเติบโตได้ทุกสภาพน้ำไม่ว่าจะเป็นน้ำสกปรกหรือน้ำสะอาด เจริญเติบโตได้ดีที่พีเอช 4-10 และอุณหภูมิของน้ำไม่สูงกว่า 34 องศาเซลเซียส อาศัยโดยไม่ต้องยึดเกาะกับสิ่งใดจัดเป็นประเภทพืชลอยน้ำ (floating plant) โดยปกติรากจะไม่ยึดติดกับพื้นดิน แต่หากน้ำตื้นรากก็จะหยั่งยึดติดกับพื้นดินได้ ลักษณะของผักตบชวาประกอบด้วยกลุ่มของใบเรียงกันเป็นกระจุก ที่โคนก้านใบจะมีกาบใบซึ่งมีลักษณะเป็นเยื่อบางๆ สีขาวแกมเขียวอ่อนๆ เมื่ออายุมากขึ้นก็จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแกมม่วง แต่ละต้นเชื่อมต่อกันโดยไหล (stolon) ซึ่งเป็นลำต้นที่ทอดไปตามผิวน้ำ ช่วยในการขยายตัวของผักตบชวาให้เพิ่มขึ้น (สุรชัย มัจฉาชีพ, 2538) ใบของผักตบชวาเป็นแบบใบเดี่ยวชูตั้งขึ้นประกอบด้วย แผ่นใบ และก้านใบ แผ่นใบมีลักษณะคล้ายไตหรือคล้ายรูปหัวใจ มักมีความกว้างมากกว่าความยาวหรือเกือบจะเท่าๆ กัน ระบบเส้นใบจะทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและอาหาร ซึ่งเป็นแบบเส้นขนาน ผักตบชวาจะออกดอก เป็นช่อ ในหนึ่งช่อจะมีจำนวนดอกแตกต่างกันออกไป (คะนึงนิจ แสงสุวรรณ, 2540)

การขยายพันธุ์ของผักตบชวามี 2 วิธี คือ การแตกไหลและใช้เมล็ด ผักตบชวาสามารถขยายพันธุ์ได้ทุกฤดูกาล ส่วนมากใช้วิธีแตกไหลในน้ำที่มีไนโตรเจนสูง และมีสภาพความเป็นกรดเป็นด่างระดับปานกลาง ลำต้นใหม่จะติดอยู่กับลำต้นแม่เป็นจำนวนมากจนเป็นกอใหญ่ หลังจากนั้นต้นอ่อนจะเกิดรากและใบ ซึ่งในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมผักตบชวาสามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว กล่าวคือผักตบชวา 2 ต้น โดยการแตกไหลเป็นต้นเล็กๆได้ถึง 300 ต้น ภายในระยะเวลาเพียง 23 วัน และหากเพิ่มเวลาเป็น 4 เดือน จำนวนผักตบชวาจะเพิ่มขึ้นเป็น 1,200 ต้น ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการเจริญเติบโต ของผักตบชวา 10 ต้น สามารถเพิ่มเป็น 600,000 ต้นภายในเวลา 8 เดือนซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่ได้ถึงกว่า 6 ไร่ ส่วนการขยายพันธุ์โดยเมล็ด ผักตบชวาหนึ่งต้นให้เมล็ดถึง 5,000 เมล็ด และเมล็ดอาจเคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำได้ไกลหรือติดไปกับสัตว์ได้ (วิศิษฐ์ ศิลปะสุวรรณชัย, 2544)

สำหรับการใช้ประโยชน์จากผักตบชวา (สุทธี พลรักษา, 2552) นั้นสามารถแบ่งได้ดังนี้

- ใช้เป็นแหล่งอาหารของสัตว์จำพวก วัว ควาย หมู แพะ และแกะ เป็นต้น
- ใช้เป็นวัตถุคลุมดิน เพื่อรักษาความชุ่มชื้นของดินและผักตบชวาที่คลุมดินจะย่อยสลายเป็นปุ๋ยในที่สุด

- ผักตบชวามีส่วนประกอบของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ค่อนข้างสูงจึงเหมาะแก่การทำปุ๋ยหมัก

- ใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมโปรตีนของมนุษย์และสัตว์ โดยการสกัดโปรตีนจากใบผักตบชวาและสกัดจากส่วนต่างๆ ของผักตบชวา มาใช้เป็นเคมีภัณฑ์หลายอย่าง เช่น จิบเบอเรลลิน (gibberellin) ได้จากรากของผักตบชวา สารนี้ใช้ในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชจำพวกข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด และถั่ว

- ผลิตแอลกอฮอล์ ซึ่งได้จากการหมักของผักตบชวา

- ใช้ทำเครื่องจักรสานและวัสดุต่างๆ เช่น ทำเครื่องเรือน ตะกร้า ชะลอม และแผงฉนวนไฟฟ้า

- ใช้บำบัดน้ำเสีย โดยผักตบชวาจะช่วยดูดสิ่งสกปรกและธาตุอาหารในแหล่งน้ำที่มาจากแหล่งต่างๆ ได้

- ใช้ผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้แบคทีเรียช่วยย่อยผักตบชวาจนเกิดก๊าซมีเทน

- ใช้ทำแท่งเพาะชำ โดยเอาผักตบชวามาบีบแล้วตากให้แห้ง และนำมาผสมกับดินเพื่อช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ขึ้น

2.3.2 ผลกระทบของผักตบชวา

ผลกระทบของผักตบชวาด้านต่างๆ (สุทธี พลรักษา, 2552) มีดังนี้

1) ผลกระทบต่อการคมนาคมทางน้ำ ทำให้การขนส่ง การคมนาคมทางน้ำเป็นไปได้ยาก มีอุปสรรคล่าช้า เมื่อแหล่งน้ำนั้นมีผักตบชวาขึ้นอย่างหนาแน่นโดยเฉพาะบริเวณประตูน้ำและสะพาน และหากจะพัฒนาแหล่งน้ำนั้นเป็นแหล่งท่องเที่ยวก็เป็นไปได้ยาก เพราะผักตบชวาทำลายทัศนียภาพความสวยงาม และไม่สามารถมีกิจกรรมการท่องเที่ยว เช่น การล่องเรือว่ายน้ำ เป็นต้น สำหรับความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ที่เกี่ยวข้องโดยตรงของหน่วยงานที่มีจุดมุ่งหมายพัฒนาแหล่งน้ำในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรน้ำ เช่น การไฟฟ้า กรมชลประทาน กรมประมง เทศบาลและท้องถิ่นต่างๆ ที่ต้องสูญเสียงบประมาณแผ่นดินปีจำนวนมากในการใช้กำจัดวัชพืชผักตบชวา

2) ผลกระทบต่อสภาพทางอุทกวิทยา มีดังนี้

- ทำให้น้ำระเหยมากขึ้นมากกว่าพื้นที่ที่ไม่มีผักตบชวาปกคลุม โดยน้ำระเหยสูงกว่าปกติ 2-3 เท่าเนื่องจากการคายน้ำของผักตบชวา

- ผักตบชวาที่ตายและจมลงทับถมอยู่ใต้น้ำเป็นอุปสรรคต่อการระบายน้ำ เนื่องจากทางเดินน้ำตื้นเขิน ทำให้อัตราการไหลของน้ำลดลงและทำให้เกิดน้ำเสีย

3) ผลกระทบของผักตบชวาต่อสัตว์น้ำ ถ้าผักตบชวาคลุมผิวน้ำมากกว่าร้อยละ 20 ทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงและส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำทำให้ปริมาณอาหารของสัตว์น้ำลดลง เนื่องจากแสงสว่างส่องลงไปในน้ำได้น้อย

4) ผลกระทบต่อพืชเศรษฐกิจ ในพื้นที่ที่มีผักตบชวาแพร่กระจายเข้าไปจะมีผลเสียหายต่อพืชเศรษฐกิจที่เจริญเติบโตอยู่เดิม เช่น ผักบุ้ง ผักกระเฉด เนื่องจากผักตบชวาเจริญเติบโตได้ดีกว่า ทำให้เกิดการแย่งน้ำและธาตุอาหารพืชในน้ำบริเวณพื้นที่ทำการเกษตร

5) ผลกระทบทางสังคม เมื่อผักตบชวาตายลงจะทับถมเน่าเปื่อยก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ส่งกลิ่นเหม็นต่อชุมชนที่อยู่ใกล้เคียง

6) ผลกระทบทางด้านสาธารณสุข ผักตบชวาเป็นแหล่งอาศัยและแพร่พันธุ์ของยุงที่อาจเป็นสาเหตุการกระจายของโรคหลายชนิด เช่น มาลาเรีย (Malaria หรือ Plasmodiosis) สมองอักเสบ (Japanese encephalitis: JE) เท้าช้าง (Lymphatic filariasis) และเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของหอยทากน้ำจืด เช่น *Bulinus* และ *Biomphelaria* ซึ่งเป็นพาหะ(intermediate host) ของพยาธิใบไม้เลือด (*Schistosomiasis*) โดยหอยทากชนิดนี้จะเกาะอาศัยอยู่บริเวณรากของผักตบชวา

2.3.3 องค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวา

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวา พบว่า มีปริมาณธาตุอาหารพืชจำพวก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับร้อยละ 1.67 0.71 และ 4.48 น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) สอดคล้องกับการศึกษาของ ปรัชญา ธัญญาดี และคณะ (2524) พบว่า ผักตบชวามีส่วนประกอบของแร่ธาตุที่สำคัญแสดงดังตารางที่ 5 และจากการศึกษาของวารุณี พานิชผล และพูลศรี ศุกระรุจิ (2540) ซึ่งได้สุ่มเก็บตัวอย่างผักตบชวามาวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร พบว่า ต้นสด (ใบรวมกับก้าน) มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่สูงถึงร้อยละ 90 โปรตีนร้อยละ 1 เถ้าร้อยละ 1.4 และเยื่อใย neutral detergent fiber (NDF) ร้อยละ 5.2 น้ำหนักแห้ง เมื่อนำไปตากให้แห้งจะได้คุณภาพอาหารที่สูงขึ้นโดย ที่ส่วนใบจะมีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 16.8 มี NDF ร้อยละ 50 น้ำหนักแห้ง แต่ก้านใบมีโปรตีนเพียงร้อยละ 6.5 และ NDF 51.6 น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 6 เนื่องจากผักตบชวามีระบบรากฝอยเป็นจำนวนมาก สามารถดูดซึมเอาสารอาหารที่ปะปนอยู่ในน้ำและตะกอนในน้ำไว้ในส่วนต่างๆ ของลำต้นและใบ จึงส่งผลให้ส่วนประกอบต่างๆ ของผักตบชวามีธาตุอาหารพืชที่ค่อนข้างสูง เหมาะแก่การนำมาทำปุ๋ยหมัก ซึ่งการทำปุ๋ยหมักเป็นวิธีการควบคุมปริมาณผักตบชวาอีกวิธีหนึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ในทางการเกษตร ซึ่งสอดคล้องกับการประกอบอาชีพเกษตรกรรมของประชาชนส่วนใหญ่ของประเทศช่วยลดต้นทุนการผลิต ลดปัญหาดินเสื่อมคุณภาพ และปัญหาสารเคมีตกค้างในดินที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นจำนวนมากและติดต่อกันเป็นเวลานาน

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบของแร่ธาตุที่สำคัญในผักตบชวา

การวิเคราะห์	ร้อยละของน้ำหนักแห้ง (%)
คาร์บอน (C)	32-35
ไฮโดรเจน (H)	5.4-5.8
ไนโตรเจน (N)	2.8-3.5
โพแทสเซียม (K)	2.0-2.5
โซเดียม (Na)	1.5-2.5
แคลเซียม (Ca)	0.6-1.3
ฟอสฟอรัส (P)	0.4-1.0
กำมะถัน (S)	0.3-0.4
แมกนีเซียม (Mg)	0.2-0.3

หมายเหตุ : โปรตีนหยาบ (Crude Protein) = % ไนโตรเจน x 6.25

ที่มา : ปรัชญา ธัญญาดี และคณะ (2524)

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบทางเคมีของผักตบชวา

ตัวอย่าง	Dry meter %	% on dry basis							
		protein	cellulose	ADF	NDF	hemicellulose	lignin	calcium	phosphorus
ใบ	14.9	16.8	27.2	28.8	50	21.2	1.3	2.1	0.5
ก้าน	8.1	6.5	35.9	37.5	51.6	14.1	1.3	1.9	0.5
ทั้งต้น	10.0	10.4	32.7	34.2	52.2	18	1.3	2.0	0.4

หมายเหตุ : - NDF (neutral detergent fiber) คือ ส่วนประกอบของผนังเซลล์ที่ไม่ละลายในสารละลาย detergent ที่เป็นกลาง ประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส ซิลิกาเคราติน คิวติน

- ADF (acid detergent fiber) คือส่วนประกอบของผนังเซลล์ซึ่งไม่ละลายในสารละลาย detergent ที่เป็นกรด ประกอบด้วยลิกนิน และเซลลูโลสประมาณ 90% ส่วนที่เหลือ 10 % จะเป็นพวกเถ้าที่ไม่ละลายในกรด และคิวติน

ที่มา: วารุณี พานิชผล และพูลศรี ศุกระรุจิ (2540)

2.4 ดอกดาวเรือง

ดอกดาวเรืองเป็นไม้ล้มลุกทรงพุ่มอายุสั้น มีความสูงตั้งแต่ 30-60 เซนติเมตร มีชื่อสามัญ Marigold ชื่อวิทยาศาสตร์ *Tagetes erecta Linn.* วงศ์ Compositae ใบมีลักษณะเป็นใบประกอบเหมือนขนนกออกตรงข้ามกัน ใบย่อยรูปรีหรือรูปหอกแกมขอบขนาน โคนใบสอบ ปลายใบแหลม ออกดอกเป็นดอกเดี่ยวกระจุกอยู่ปลายยอด สีเหลืองหรือสีส้ม กลีบดอกวงนอกมีลักษณะเป็นรูปรางน้ำ โคนดอกเป็นหลอดเล็ก ปลายดอกเป็นรอยหยัก กลิ่นหอมฉุน ใช้วิธีการขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ด สภาพที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต คือ ดินร่วนซุย อุ้มน้ำได้ดี และแสงแดดจัด (จริยา แสวงทรัพย์สกุล, 2549)

การปลูกดาวเรืองในประเทศไทย มีการนำเข้าพันธุ์ดาวเรืองจากต่างประเทศ มีการกระจายตัวของสายพันธุ์มากทั้งทางด้านรูปทรงดอก ขนาดดอก ลักษณะการเจริญเติบโต ตลอดจนการต้านทานต่อโรคและแมลง ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกดาวเรืองประมาณ 4,000 ไร่มีแหล่งปลูกที่สำคัญ คือ จังหวัดพะเยา ลำปาง นนทบุรี กรุงเทพฯ ราชบุรี สมุทรสาคร สุพรรณบุรี และอุดรธานี ดาวเรืองนิยมปลูกตัดดอก เป็นดาวเรืองในกลุ่ม african หรือ american marigold เป็นพันธุ์ดอกใหญ่ พันธุ์ที่ใช้เป็นการค้าในประเทศไทยได้แก่พันธุ์ซอเวอร์เรน (soverign) นอกจากนี้ยังมีสายพันธุ์ใหม่ๆ ที่นำเข้ามา ได้แก่ พันธุ์จาไมก้า (jamaica) และอื่นๆ อีกหลายพันธุ์ (สถานีโทรทัศน์ดีเอ็มซี, 2556) ซึ่งราคาดอกดาวเรืองจากข้อมูลตลาดกลางสินค้าเกษตรแห่งประเทศไทย วันที่ 13 พฤศจิกายน 2558 พบว่าดอกดาวเรืองมีราคาตามขนาดดังนี้

- ดอกดาวเรืองขนาดใหญ่ ร้อยละ 90–120 บาท
- ดอกดาวเรืองขนาดกลาง ร้อยละ 50–60 บาท
- ดอกดาวเรืองขนาดเล็ก ร้อยละ 30 บาท
- ดอกดาวเรืองขนาดจัมโบ้ ร้อยละ 120 บาท

2.4.1 ชนิดของดอกดาวเรือง

ดาวเรืองที่ปลูกกันอยู่โดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ (ปริศนา คล้ายทอง และสารีย๊ะ ติงสา, 2551) คือ

1) ดาวเรืองอเมริกัน (american marigolds) ดาวเรืองชนิดนี้มีถิ่นกำเนิดอยู่ฝั่งตะวันตกเฉียงใต้ของทวีปอเมริกา มีขนาดดอกกลมใหญ่ ขนาดตั้งแต่ 3-4 นิ้ว กลีบดอกซ้อน

กันแน่น ลักษณะดอกเป็นสีเหลือง สีส้มทอง และสีขาว ลำต้นขนาดใหญ่ และสูงตั้งแต่ 10-40 นิ้ว ดาวเรืองชนิดนี้มีอยู่หลายพันธุ์ ได้แก่

- พันธุ์เตี้ยต้นสูง 10-14 นิ้ว ได้แก่ ไพน์แอปเปิล (pineaple) พันธุ์ปาปาย่า (papaya) และปัมพ์กิน (pumpkin) เป็นต้น
- พันธุ์สูงปานกลาง ต้นสูง 14-16 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์ไวกิ่ง (ziking) มูนช๊อต (moonshot) และ พันธุ์อะพอลโล (apollo) เป็นต้น
- พันธุ์สูง ต้นสูง 16-36 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์ดับเบิล อีเกิล (double egle) ซอฟเวอร์เรน (sovereign) และพันธุ์ดับบลูน (doubloon) เป็นต้น

2) ดาวเรืองฝรั่งเศส (french marigolds) ดาวเรืองชนิดนี้เป็นดาวเรืองพันธุ์เล็ก ทรงพุ่มเตี้ย ต้นสูงประมาณ 6-12 นิ้ว ลักษณะดอกซ้อน และไม่ซ้อนเป็นสีเหลือง สีส้มทอง สีน้ำตาลอมแดง และสีแดง ขนาดดอกเล็กประมาณ 1.5 นิ้ว และยังมีก้านดอกสั้นจึงนิยมปลูกประดับในแปลงมากกว่าการปลูกเพื่อตัดดอก นอกจากนี้พันธุ์ดาวเรืองฝรั่งเศษก็ยังสามารถช่วยลดปริมาณไส้เดือนฝอยที่ทำให้เกิดอาการรากปมในรากพืชได้ ตัวอย่างดาวเรืองฝรั่งเศส ได้แก่

- พันธุ์ดอกชั้นเดียว มีขนาดดอกประมาณ 1.5-2 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์นอธตี้มาเรตต้า (naughty marietta) เรดมาเรตต้า (red marietta) เอสปานา (espana) และพันธุ์ลีโอปาร์ด (leopard) เป็นต้น
- พันธุ์ดอกซ้อน มีขนาดดอกประมาณ 1.5-3 นิ้ว ได้แก่ พันธุ์สการ์เลต โซเฟีย (scarlet sophia) ควีน โซเฟีย (queen sophia) และโกลเด้น เกต (golden gate) เป็นต้น

3) ดาวเรืองพันธุ์ลูกผสม (mule marigolds) เป็นดาวเรืองลูกผสมระหว่างดาวเรืองพันธุ์อเมริกัน และดาวเรืองฝรั่งเศส โดยมีวัตถุประสงค์นำเอาจุดเด่นในลักษณะความแข็งแรง ดอกใหญ่ และมีกลีบซ้อนมากของดาวเรืองพันธุ์อเมริกันรวมเข้ากับลักษณะต้นเตี้ย ทรงพุ่มกะทัดรัดของดาวเรืองพันธุ์ฝรั่งเศส ดาวเรืองพันธุ์ลูกผสมจะให้ดอกเร็วมาก ใช้เวลาเพียง 5 สัปดาห์หลังจากการเพาะเมล็ด ดอกจะมีขนาด 2-3 นิ้ว ดอกดก และติดกับต้นได้ดี ดาวเรืองชนิดนี้มีข้อเสียคือเมล็ดจะฝ่อลีบ ไม่สามารถนำมาเพาะให้เป็นต้นใหม่ได้ จึงเรียกว่า ดาวเรืองล่อ เปรียบเทียบเช่นเดียวกับการผสมม้ากับลา จึงทำให้เมล็ดมีราคาแพงมาก ดังนั้นการปลูกดาวเรืองด้วยเมล็ดชนิดนี้จึงควรใช้เมล็ดเป็นปริมาณ 2 เท่าของจำนวนที่ต้องการเนื่องจากมีเปอร์เซ็นการงอกต่ำ พันธุ์ดาวเรืองลูกผสมที่นิยมปลูกมีอยู่ด้วยกันหลายพันธุ์ คือ พันธุ์สตาร์ (red seven star) นักเก็ต (nugget) ไฟร์เวิร์ก (fireworks) เรดเซเว่น และโชว์โบ๊ต (showboat) (พรรณภา ปรีชาเวช, 2553)

2.4.2 การขยายพันธุ์ดาวเรือง

ทำได้โดยการหยอดเมล็ด และการปักชำ แต่วิธีที่นิยมทำคือ การหยอดเมล็ด เพราะได้จำนวนมากกว่า โดยนำเมล็ดดาวเรืองมาเพาะในกระบะเพาะ ซึ่งมีวัสดุเพาะ คือ ขุยมะพร้าว ทราย ขี้เถ้าแกลบ ปุ๋ยคอก ในอัตราส่วน 1:1:1:1 หรือแปลงเพาะที่มีดินร่วนซุยค่อนข้างละเอียด คราดดินให้ผิวดินเรียบสม่ำเสมอ ทำร่องบนกระบะเพาะหรือแปลงเพาะให้ลึกประมาณ 0.5 เซนติเมตร กว้าง 1 เซนติเมตร แต่ละร่องห่างกัน 5 เซนติเมตร หยอดเมล็ดลงในร่องห่างกัน 1-2 นิ้ว แล้วกลบแต่ละร่องด้วยวัสดุเพาะ หรือดินละเอียดเพียงบางๆ รดน้ำด้วยฝักบัวฝอยให้ชุ่ม แล้วใช้กระดาษหนังสือพิมพ์คลุมกระบะเพาะ หรือคลุมแปลงเพาะด้วยฟางหรือหญ้าแห้ง รดน้ำวันละ 2 ครั้ง เช้า-เย็น เพื่อรักษาความชื้น เมล็ดดาวเรืองจะงอกภายใน 3-5 วัน เป็นต้นกล้า (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2545)

2.4.3 การปลูกดาวเรือง

1) การเตรียมแปลงปลูก

การเตรียมแปลงปลูก สำหรับการปลูกต้นดาวเรืองลักษณะดินปลูกที่เหมาะสม ควรเป็นดินที่มีลักษณะระบายน้ำได้ดี เก็บรักษาความชื้นได้สูง และมีค่าพีเอชเป็นกลาง ประมาณ 6.5-7.5 ในขณะที่เตรียมดินนั้น ควรใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกลงไปด้วย เพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชและปรับโครงสร้างให้ดินโปร่ง และ ก่อนลงแปลงปลูกควรขุดพลิกหน้าดินไว้ประมาณ 1-2 สัปดาห์ เพื่อทำลายเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืช ขนาดแปลงปลูกควรมีขนาดความกว้างประมาณ 1 เมตร ความยาวตามความเหมาะสมของพื้นที่ ปรับหน้าแปลงให้เรียบ แล้วจึงปลูกดาวเรืองโดยให้แต่ละแถวห่างกัน 30 เซนติเมตร และระยะระหว่างต้นห่างกัน 30 เซนติเมตร เช่นกัน ถ้าพื้นที่ปลูกเป็นแปลงขนาดใหญ่ ให้เว้นทางเดินระหว่างแปลงประมาณ 80 เซนติเมตร แต่ถ้าเป็นที่ลุ่มและยกร่องปลูกก็ไม่ต้องเว้นทางเดินไว้ เพียงแต่เว้นขอบแปลงริมร่องน้ำไว้เล็กน้อยเพื่อใช้เป็นทางเดิน (พรรณภา ปรีชาเวช, 2553)

2) วิธีการปลูก

- **การเตรียมหลุมปลูก** ในแปลงปลูกขุดหลุมโดยให้หลุมห่างกัน 30 เซนติเมตร และแถวแต่ละแถว ห่างกัน 30 เซนติเมตร รองก้นหลุมด้วยปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตหรือปุ๋ยสูตร 15-15-15 อัตราหลุมละ 1 ช้อนชา แล้วเกลี่ยดินกลบปุ๋ยเพื่อป้องกันไม่ให้รากดาวเรืองสัมผัสปุ๋ยโดยตรง

- **การย้ายกล้า** ที่เหมาะสมควรย้ายต้นกล้าในตอนเย็น และก่อนย้ายต้นกล้าควรรดน้ำแปลงไว้ล่วงหน้า 1 วัน หรือรดน้ำตอนเช้าแล้วย้ายกล้าตอนเย็น และควรใช้ช้อนปลูกตักต้นกล้า เพื่อให้ดินติดรากต้นกล้ามาด้วย รากต้นกล้าจะได้ไม่กระทบเทือนมาก ต้นไม่เหี่ยวและตั้งตัวได้เร็ว

- **การปลูกต้นกล้า** ปลูกต้นกล้าในหลุมที่เตรียมไว้หลุมละต้นโดยลงต้นกล้าลงในหลุมให้โคนต้นอยู่ระดับปากหลุมและเกลี่ยดินข้างๆปากหลุมมากลบให้เสมอใบเลี้ยงจากนั้นจึงรีบรดน้ำให้ชุ่มตลอดเวลา (พรรณภา ปรีชาเวช, 2553)

3) การปฏิบัติดูแลรักษา

- **การรดน้ำ** ในช่วงแรกปลูกถึงอายุ 7 วัน ควรรดน้ำวันละ 2 ครั้ง เช้า และเย็นหลังจากนั้นรดน้ำวันละครั้งในตอนเช้า และในช่วงที่ดอกเริ่มบานจะต้องระวังอย่ารดน้ำให้ถูกตรงดอกดาวเรือง เพราะจะทำให้ดอกช้ำเสียหาย และมีเชื้อโรคเข้าทำลายได้ง่าย

- **การใส่ปุ๋ย** ควรใส่ปุ๋ย สูตร 15-15-15 เมื่อดาวเรืองมีอายุ 15 และ 25 วัน ในอัตรา 1 ช้อนชาต่อหลุม และเมื่อดาวเรืองมีอายุ 35 และ 45 วัน ควรใส่ปุ๋ยสูตร 15-24-12 อัตรา 1 ช้อนชาต่อหลุมเช่นกัน การใส่ปุ๋ยควรใส่ให้ห่างโคนต้นประมาณ 6 นิ้ว โดยฝังลงในดินประมาณครึ่งนิ้ว จากนั้นควรพรวนดินรอบๆโคนต้น และกลบโคนต้นไว้ การใส่ปุ๋ยทุกครั้งจะต้องรดน้ำให้ชุ่มเสมอ

- **การปลิดยอด** นิยมเรียกว่าการเด็ดตุ้ม หรือการแต่งตุ้ม ทำเพื่อให้ต้นดาวเรืองแตกพุ่ม ดอกมีขนาดใหญ่ การปลิดยอดนี้ควรทำเมื่อดาวเรืองมีอายุประมาณ 21-25 วัน ซึ่งเป็นระยะที่ดาวเรืองมีใบจริงขนาดใหญ่ประมาณ 4 คู่ และส่วนยอดมีใบเล็กๆ ประมาณ 1-2 คู่ วิธีการปลิดยอดทำได้โดยใช้มือข้างหนึ่งจับใบคู่บนสุดที่ต้องการเหลือไว้ แล้วใช้มือที่ถนัดดึงส่วนยอดลงทางด้านข้าง เพื่อให้ยอดหลุดออกมา ไม่ควรเด็ดยอด เพราะจะทำให้ส่วนตาของยอดเหลือติดอยู่ ซึ่งจะเจริญเป็นดอกในภายหลัง ทำให้ดอกไม่เป็นไปตามกำหนด คือดอกบานไม่พร้อมกันและมีขนาดเล็ก ปกติดาวเรืองต้นหนึ่งควรไว้ดอกประมาณ 8 ดอก จึงจะได้ดอกที่มีคุณภาพ

- **การปลิดตาข้าง** ตาข้างจะเริ่มแตกกิ่งใหม่จากการปลิดตายอดประมาณ 1 สัปดาห์ ตาข้างที่แตกขึ้นมาใหม่นั้น ถ้าสังเกตเห็นมีดอกที่ยอดและมีตาข้างเจริญออกมารอจนกระทั่งดอกที่ยอดมีขนาดประมาณเท่าถั่วเขียวหรือเมล็ดข้าวโพด ให้ปลิดตาข้างของแต่ละกิ่งออกให้หมด เพื่อไม่ให้ตาข้างเจริญเป็นดอกต่อไป ซึ่งจะทำให้ดอกที่ยอดมีขนาดใหญ่ ก้านดอกยาวและมีขนาดสม่ำเสมอ (ทวีพงศ์ สุวรรณโร และคณะ, 2545)

4) การตัดดอก

ก่อนตัดดอกดาวเรืองเพื่อนำไปจำหน่ายประมาณ 2-3 วัน ควรให้น้ำหรือน้ำตาลทรายจำนวน 15 ลิตร ฉีดพ่นใบดาวเรืองทั้งด้านบนและด้านล่าง จะทำให้ก้านดอกแข็งแรงขึ้น จากนั้นจึงทยอยตัดดอก อายุของดาวเรืองที่สามารถตัดดอกขายได้คือประมาณ 55-65 วันหรือให้สังเกตจากดอกที่ยังมีกลีบดอกตรงกลางเป็นสีเขียว อยู่ได้นานกว่าดอกที่บานทั้งหมด ในการตัดดอก

นั้นควรตัดให้ชิดโคนกิ่งให้มากที่สุด จะทำให้ก้านดอกที่ติดมามีขนาดยาว (สถานีโทรทัศน์ดีเอ็มซี, 2556)

5) ศัตรูที่สำคัญดาวเรือง

(ก) โรคที่สำคัญและพบบ่อยๆ

- **โรคเหี่ยว** เป็นโรคที่เกิดจากเชื้อรามักเกิดกับดาวเรืองที่ดอกกำลังเริ่มทยอยบาน ระยะแรกมีอาการคล้ายกับดาวเรืองขาดน้ำ กล่าวคือ อาการเหี่ยวจะแสดงในตอนกลางวันส่วนกลางคืนอาการจะปกติ หลังจากนั้นประมาณ 3-4 วัน ดาวเรืองก็จะเหี่ยวทั้งต้นและตายไปในที่สุด การป้องกันกำจัด ใช้สารเคมีป้องกันและกำจัดเชื้อรา เช่น แมนโคเซ็ป ฉีดพ่นสลับกับคาร์เบนดาซิมประมาณสัปดาห์ละครั้ง และถ้าพบมากต้นที่เป็นโรคและตายในแปลงต้องรีบกำจัดทิ้ง

- **โรคราแป้ง** เกิดจากเชื้อราชนิดหนึ่งลักษณะอาการ คือจะเห็นสปอร์ของเชื้อราเป็นฝุ่นสีขาว ตามใบของดาวเรือง ทำให้ใบหยิก การเจริญเติบโตชะงัก ถ้าเป็นมากอาจทำให้ต้นตายในที่สุดการป้องกันกำจัด โดยการพ่นด้วยสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราประมาณสัปดาห์ละครั้ง

- **โรคดอกไหม้** เกิดเชื้อราเข้าทำลายดอกดาวเรือง ทำให้ดอกเป็นสีน้ำตาลจนไม่สามารถเก็บเกี่ยวได้ การป้องกันกำจัด ควรฉีดพ่นด้วยสารเคมีแมนโคเซ็ปหรือดาโคนิลโดยฉีดพ่นให้ทั่วทั้งแปลง (ปริศนา คล้ายทอง และสารีย๊ะ ติงสา, 2551)

(ข) แมลง

- **เพลี้ยไฟ** เข้าทำลายโดยดูดกินน้ำเลี้ยงจากยอดอ่อนและใบอ่อนจะเห็นมีรอยขีดตามใบหรือกลีบเลี้ยงของดอก เพลี้ยไฟจะระบาดมากในช่างฤดูร้อน ป้องกันโดยใช้สาร Temic A.G. ฝังรอบโคนต้น โดยฝังให้ห่างโคนต้นประมาณ 1 ฝ่ามือ หรือฉีดพ่นด้วยสารโตกุไธออนสัปดาห์ละครั้ง

- **หนอนกระทู้หอม** เป็นหนอนของผีเสื้อกลางคืน จะเข้าทำลายในขณะที่ดอกดาวเรืองเริ่มบาน หนอนจะกัดกินดอกดาวเรือง ทำให้ดอกแหว่งเสียหาย ป้องกันโดยฉีดพ่นด้วยสารเคมีกำจัดแมลง เช่น แลนเนทแคสเคต หรือใช้เชื้อไวรัสทำลายแมลงพวก เอ็น.พี.วี (NPV) ฉีดพ่นในแปลงที่มีหนอนกระทู้หอมระบาด (สถานีโทรทัศน์ดีเอ็มซี, 2556)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สาคร เขิมขันธ์ (2543) ศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดการขยะสดผลิตปุ๋ยชีวภาพโดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนและใช้กากน้ำตาลเป็นตัวเร่งให้จุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรียวัตถุได้เร็วขึ้น ภายใน 7 วัน พบว่าการปลูกดาวเรืองโดยใช้น้ำสกัดชีวภาพจากเศษอาหารและ

เศษผักมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดี แสดงว่าน้ำสกัดชีวภาพเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้ทดแทนปุ๋ยเคมีได้

ชาติ เจียมไชยศรี (2542) อธิบายกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน มี 2 วิธี คือ การหมักโดยอาศัยออกซิเจนตามธรรมชาติ (windrow composting) วิธีนี้นำมูลฝอยที่มีอินทรียวัตถุที่ย่อยสลายได้มากองรวมกัน และใช้พื้นที่มากเพื่อให้สัมผัสออกซิเจนในอากาศมากที่สุด ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30 วัน และการนำมูลฝอยมากองบริเวณพื้นราบให้ได้ความสูงพอสมควร จะช่วยให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ดี โดยการพลิกกลับกองปุ๋ยจะช่วยการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ป้องกันสภาวะการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจนและอีกวิธีเป็นการหมักโดยการเพิ่มอัตราการย่อยสลายโดยใช้เครื่องจักรกลช่วยให้สัมผัสอากาศมากที่สุด วิธีนี้เรียกกันโดยทั่วไปว่า high rate composting จะใช้เวลาน้อยประมาณ 5-7 วัน กระบวนการหมักจำเป็นต้องมีปัจจัยที่สำคัญ คือ ปริมาณออกซิเจน ความชื้น และกลุ่มจุลินทรีย์ ซึ่งผลผลิตจากการทำปุ๋ยหมักจะได้สารปรับสภาพดินและปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปความร้อน

สุทธี พลรักษา (2552) ศึกษาคุณลักษณะของสารเร่งชีวภาพในการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาผสมมูลวัว และเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) มีพีเอช และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยหมักที่ได้จากผักตบชวาผสมมูลวัว โดยใช้สารเร่งชีวภาพในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน การหมักใช้ผักตบชวาผสมมูลวัวอัตราส่วน 3:1 ทำการหมักแบบใช้ออกซิเจน ซึ่งการเปรียบเทียบจะแบ่งเป็น 3 รูปแบบคือ บ่อที่ไม่ใส่สารเร่งชีวภาพ (A1) บ่อที่ใส่สารเร่งชีวภาพอัตราส่วน 1:100 (A2) และบ่อที่ใส่สารเร่งชีวภาพอัตราส่วน 1:50 (A3) พบว่า สารเร่งมีค่าพีเอช 3.5 มีจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ย่อยเซลลูโลส 1.2 x 10^7 CFU/ml นำสารเร่งชีวภาพที่ได้ใช้เป็นสารเร่งปุ๋ยหมัก พบว่า บ่อ A3 ใช้เวลาหมักเร็วกว่าบ่อ A2 และบ่อ A1 โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมักที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลัก ค่าพีเอช และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักในบ่อ A1, A2 และ A3 ไม่แตกต่างกัน

ศิรินทรา วันดี (2552) ศึกษาการหมักปุ๋ยของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง (STR 20) แบบใช้ถังหมักเติมอากาศ พบว่าของเสียจากโรงงานยางแท่ง (STR 20) มีค่าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงและความชื้นต่ำ ควรมีวัสดุหมักร่วมเพื่อช่วยปรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม และเพิ่มปริมาณความชื้น ผลการทดลอง พบว่า การหมักของเสียโรงงานยางแท่ง (STR 20) ร่วมกับตะกอนน้ำเสียชุมชน และผักตบชวามีระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักที่ 60 วัน ผ่านมาตรฐานปุ๋ยหมัก รวมทั้งศึกษาการย่อยสลายในการหมักด้วยการเติม

สารเร่ง พด.1 พบว่า สารเร่ง พด.1 ไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์สุดท้าย และไม่ช่วยลดระยะเวลาในการย่อยสลายของการหมักของเสียโรงงานยางแท่ง (STR 20) เพียงอย่างเดียว แต่สารเร่ง พด.1 สามารถช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้มีลักษณะคล้ายดิน และมีปริมาณธาตุอาหารหลักตามมาตรฐานปุ๋ยเมื่อนำมาใช้กับการหมักปุ๋ยของเสียโรงงานยางแท่ง (STR 20) ร่วมกับตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล และผักตบชวา

Kalamdhad (2011) ศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมี ในระหว่างการทำปุ๋ยหมักแบบกลับกองด้วยผักตบชวาซึ่งรวมกับมูลสัตว์และขี้เลื่อย ที่ใช้เป็นเนื้อปุ๋ย ผลทดลองปรากฏว่าสัดส่วนที่เหมาะสมที่จะช่วยให้การย่อยสลายผักตบชวาได้ดีควรมีปริมาณสัดส่วนของมูลสัตว์มากและฟางข้าวมีคุณสมบัติดีกว่าขี้เลื่อยกรณีใช้เป็นเนื้อปุ๋ย

ชฎาพร องอาจ (2550) ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ ในการย่อยสลายปุ๋ยหมัก โดยวิธีกองกลางแจ้งเป็นเวลา 2 เดือน ควบคุมความชื้นภายในกองปุ๋ยประมาณ 60-70% พบว่า ปริมาณแบคทีเรีย ยีสต์ ราทั้งหมด และ แอคติโนมัยซิส ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส เพิ่มจำนวนมากที่สุดในช่วง 7 วันแรก ในปุ๋ยหมักสูตรเติมกากน้ำตาล ส่วนปริมาณยีสต์ ราทั้งหมด จะเพิ่มจำนวนมากที่สุด ในช่วง 14 วันแรก และปริมาณแอคติโนมัยซิสจะเพิ่มจำนวนมากที่สุด ในช่วง 21 วันแรก ในปุ๋ยหมักสูตรที่ใช้ยูเรียผสม กับปุ๋ยหมักจุลินทรีย์ EM โดยมีจำนวนแบคทีเรีย 7.67 x 10^7 CFU/g จำนวนยีสต์ ราทั้งหมดประมาณ 8.97 x 10^7 CFU/g และมีจำนวน แอคติโนมัยซิสประมาณ 10.8 x 10^7 CFU/g ตามลำดับ

3. วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาถึงผลของการหมักทำปุ๋ยจากผักตบชวาร่วมกับกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ภายใต้วิธีการหมักแบบเติมอากาศ (aeration composting) และ การหมักแบบไม่เติมอากาศ (no aeration composting) โดยการผสมกากของเสียที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (low C/N ratio)

2) ประเมินความสามารถการใช้เป็นปุ๋ยของส่วนที่หมักได้โดยทดสอบการปลูกด้วยต้นดอกดาวเรือง

3) ประเมิน และวิเคราะห์ค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเทคนิคการหมักปุ๋ยที่ศึกษาได้

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้องค์ความรู้ทางเทคโนโลยีในการหมักทำปุ๋ยจากผักตบชวา ของเสียจากอุตสาหกรรมยางและความสามารถในการเป็นปุ๋ยของของเสียที่หมักได้จากการทดสอบกับการปลูกต้นดาวเรือง

2) ได้องค์ความรู้ที่สามารถระบุแนวทางเพื่อพัฒนาใช้ของเสียจากอุตสาหกรรมยางและผักตบชวาในเชิงพานิชย์ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ในชุมชนต่อไป

3) สามารถได้ทางเลือกหนึ่งในการนำผักตบชวาและของเสียในรูปกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางมาใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมัก

4) เกิดการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสีย ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัด และเกิดประโยชน์ในทางการเกษตรได้

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อนำ ผักตบชวา และของเสียที่เหลือทิ้งในรูปกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 มาใช้ประโยชน์ใหม่โดยการหมักทำปุ๋ย และทดสอบการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้ โดยการปลูกต้นดาวเรืองที่เพาะเอง เปรียบเทียบกับการปลูกที่ใช้ปุ๋ยเคมี เพื่อดูถึงการเจริญเติบโต อัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงต้น อัตราการให้ดอก และขนาดของดอกดาวเรือง ผลที่ได้นำไปสรุปถึงศักยภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ เพื่อใช้เป็นปุ๋ยให้กับไม้ดอกต่อไป ซึ่งการทดลองทำการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ศึกษาในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีรายละเอียดและขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้

1. วัสดุและอุปกรณ์

1.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย ผักตบชวา กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ดินธรรมชาติ เมล็ดดาวเรือง สารเร่งเชื้อจุลินทรีย์ พด. 1 (ภาพที่ 3) ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 และสารเคมีระดับคุณภาพวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ภาพที่ 3 สารเร่ง พด. 1 ของกรมพัฒนาที่ดิน

1.2 อุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหมักปุ๋ยและการปลูกดาวเรือง และอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1) อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

- ถุงซิป
- ถุงพลาสติก
- ช้อนตัก
- ถุงมือ

2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหมักปุ๋ยและการปลูกต้นดาวเรือง

- ถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร
- เครื่องย่อยใช้สำหรับย่อยวัสดุหมักให้มีขนาด 2.5-7 เซนติเมตร
- เครื่องชั่ง สำหรับชั่งวัสดุหมัก
- เลื่อย
- พลั่ว
- ท่อพีวีซี
- ปั๊มเติมอากาศ (air pump) ยี่ห้อ RESUN รุ่น AP-120 กำลังไฟฟ้า 280 วัตต์
- ถุงดำสำหรับปลูกต้นดอกดาวเรืองขนาด 0.18 m × 0.18 m × 0.18 m
- กระบะเพาะต้นกล้า
- บัวรดน้ำ
- ปุ้งกี๋
- ตลับเมตร

3) อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

- thermometer
- ตะแกรงขนาดรูเปิด 12.5 มิลลิเมตร
- ตะแกรงขนาดรูเปิด 0.5 มิลลิเมตร
- ตู้ดูดควัน (hood) ยี่ห้อ TOPLAB
- ตู้เย็น (refrigerator) ยี่ห้อ MIRAGE รุ่น BC-330(F)
- เครื่องเขย่าสารละลาย (shaker) ยี่ห้อ Lab Tech รุ่น LSI-020
- ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ยี่ห้อ BINDER รุ่น FD 115

- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น TE612-L
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Denver Instrument รุ่น TB-214
- เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ EUTECH INSTRUMENT รุ่น CyberScan pH 1500
- เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ mre รุ่น UV-2000 RS
- เครื่องวัดค่า conductivity ยี่ห้อ Mettler
- เตาเผา (furnace) ยี่ห้อ Carbolite รุ่น Control 301
- โถดูดความชื้น (desiccator)
- เตาไฟฟ้าพร้อมชุดกวน (hot plate and stirrer) ยี่ห้อ Heidolph รุ่น MR Hei-Standard
- ชุดย่อยวิเคราะห์ TKN ยี่ห้อ GerHard
- ชุดกลั่นวิเคราะห์ TKN ยี่ห้อ GerHard
- อุปกรณ์เครื่องแก้วที่จำเป็นต่างๆ สำหรับวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

1.3 ถังหมักปุ๋ยสำหรับใช้ในการทดลอง

แบบจำลองถังหมักปุ๋ยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1) ถังหมัก เป็นถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร สูง 93 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร บริเวณก้นถังเจาะรูเพื่อระบายน้ำจำนวน 4 รู

2) ระบบการเติมอากาศ มีการเติมอากาศ โดยใช้ปั๊มเติมอากาศ เข้าไปในถังหมักตามท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 30 มิลลิเมตร ซึ่งถูกติดตั้งไว้ที่บริเวณก้นถัง (ภาพที่ 4 และ 5)

ภาพที่ 4 ปั๊มเติมอากาศที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 5 ถังหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศที่ใช้ในการทดลอง

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 การเตรียมวัสดุหมักเพื่อใช้ในการทดลอง

1) ผักตบชวาเก็บรวบรวมจากบริเวณบึงขุนทะเล อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี โดยนำผักตบชวาทั้งต้นมาหั่นให้ได้ขนาดประมาณ 2.5-7.0 เซนติเมตร และนำไปผึ่งไว้ในที่ร่มเป็นเวลา 7 วัน (ภาพที่ 6)

ภาพที่ 6 ผักตบชวาที่ผ่านการตัดย่อยสำหรับใช้ในการทดลอง

2) กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจากบริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็คซ์ กรุ๊ป จำกัด และกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 จากบริษัท ยางไทยปักษ์ใต้ จำกัด จ.สุราษฎร์ธานี นำมาผึ่งไว้ให้หมาดๆ ในที่ร่มเป็นเวลา 7 วัน (ภาพที่ 7)

กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20

ภาพที่ 7 กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและยางแท่ง STR 20 สำหรับใช้ในการทดลอง

2.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุหมัก

ทำการศึกษาโดยสุ่มเก็บตัวอย่างวัสดุหมักที่ได้จากการเตรียมในข้อ 2.1 เพื่อให้ได้ตัวแทนของวัสดุหมัก นำมาศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมี ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ ความหนาแน่น (density) ความชื้น (moisture content) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids) ค่าพีเอช (pH) ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (volatile solid content) ปริมาณเถ้า (ash) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) ตามวิธีการวิเคราะห์ของ AOAC (1990) และคู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2551) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของผักตบชวา กากตะกอนส่วนเกินจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20

ค่าพารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
ความหนาแน่น (density)	ชั่งน้ำหนักตัวอย่างในภาชนะที่ทราบปริมาตรและคำนวณ
ความชื้น (moisture content)	gravimetric method**
ค่าพีเอช (pH)	electrometric method**

ตารางที่ 7 วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของผักตบชวา กากตะกอนส่วนเกินจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 (ต่อ)

ค่าพารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solids)	gravimetric method*
ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (volatile solid content)	gravimetric method *
ปริมาณเถ้า (ash)	gravimetric method *
total nitrogen	macro-kjeldahl method**
total phosphorus	spectrophotometric molybdovanadophosphate method**
total potassium	Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy method (ICP-AES)**
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	calculation from %OC and %N **
ปริมาณอินทรียวัตถุ (organic matter)	Walkley and Black**
ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon)	Walkley and Black**

หมายเหตุ : * เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ของ AOAC (1990)

** เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ของคู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2551)

2.3 การศึกษาทดลองการหมักทำปุ๋ย

ทดลองการทำปุ๋ยหมักโดยใช้วัสดุหมักร่วมได้แก่ ผักตบชวา กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 โดยหมักในภาวะที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ โดยมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 10 13 และ 15 แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 6 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 อัตราส่วนผสมวัสดุหมักที่ใช้ในการศึกษา

ชุดการทดลอง	วัสดุหมักทำปุ๋ย	อัตราส่วนผสมวัสดุหมัก (น้ำหนักเปียก)	หมายเหตุ
ชุด 1 แบบเติมอากาศ	ผักตบชวา : กากตะกอนเร่ง : กากตะกอนSTR 20	0.8 : 0.4 : 0.7	C/N เท่ากับ 10
ชุด 2 แบบเติมอากาศ	ผักตบชวา : กากตะกอนเร่ง : กากตะกอนSTR 20	0.5 : 0.2 : 1.2	C/N เท่ากับ 13
ชุด 3 แบบเติมอากาศ	ผักตบชวา : กากตะกอนเร่ง : กากตะกอนSTR 20	0.3 : 0.1 : 1.5	C/N เท่ากับ 15
ชุด 4 แบบไม่เติมอากาศ	ผักตบชวา : กากตะกอนเร่ง : กากตะกอนSTR 20	0.8 : 0.4 : 0.7	C/N เท่ากับ 10
ชุด 5 แบบไม่เติมอากาศ	ผักตบชวา : กากตะกอนเร่ง : กากตะกอนSTR 20	0.5 : 0.2 : 1.2	C/N เท่ากับ 13
ชุด 6 แบบไม่เติมอากาศ	ผักตบชวา : กากตะกอนเร่ง : กากตะกอนSTR 20	0.3 : 0.1 : 1.5	C/N เท่ากับ 15

ดำเนินการทดลองโดยใช้เทคนิคการหมักแบบเติมอากาศ (aeration composting) และการหมักแบบไม่เติมอากาศ (no aeration composting) ในถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร สำหรับถังหมักแบบเติมอากาศจะมีการวางท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 30 มิลลิเมตร ที่เจาะรูบริเวณผิวของท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 มิลลิเมตร เพื่อให้อากาศกระจายเข้าสู่กองปุ๋ยหมักได้ทั่วถึง โดยวางท่อไว้บริเวณด้านล่างของถังหมักปุ๋ย ซึ่งต่อกับปั๊มเติมอากาศขนาด 280 วัตต์ (อัตราการเติมอากาศต่อเครื่องเท่ากับ 200 ลิตร/นาที) จำนวน 2 เครื่อง เพื่อเติมอากาศให้กับกองปุ๋ยหมัก 3 ชุดการทดลอง (ภาพที่ 8) ทำการเติมอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

ภาพที่ 8 ชุดการทดลองหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศทั้ง 6 ชุดการทดลอง

และเนื่องจากลักษณะของวัสดุหมักร่วมประเภทกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นเป็นตะกอนละเอียดมีอนุภาคเล็กและหนืด เมื่อนำมาหมักร่วมกับวัสดุอื่นทำให้กองปุ๋ยหมักอัดแน่น จึงได้มีการเติมท่อนไม้ (wood chip) ขนาด 2.5x2.5x7.5 ลบ.ซม. (ภาพที่ 9) ประมาณ 20% (v/v) ผสมกับวัสดุหมัก เพื่อทำให้เกิดช่องว่างในกองปุ๋ยหมัก นอกจากนี้ได้เติมสารเร่ง พด.1 เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในทุกชุดการทดลอง โดยละลายสารเร่ง พด. 1 ปริมาณ 120 กรัม ในน้ำ 24 ลิตร คนให้เข้ากันประมาณ 10-15 นาที เพื่อกระตุ้นให้จุลินทรีย์พร้อมที่จะเกิดกิจกรรมการย่อยสลาย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550) จากนั้นนำสารเร่ง พด.1 ที่ละลายแล้วราดให้ทั่วกองปุ๋ยในปริมาณ 4 ลิตรในแต่ละการทดลอง ทำการหมักปุ๋ยเป็นเวลา 60 วัน ระหว่างการหมักสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกองปุ๋ยหมักด้านกายภาพ เช่น กลิ่น สี และการยุบตัวของวัสดุหมัก เป็นต้น และทำการเก็บตัวอย่างของแต่ละชุดการทดลองในวันที่ 1, 3, 5, 7, 15, 30, 45 และ 60 โดยวิธีการสุ่มให้ได้ตัวแทนของวัสดุที่ใช้หมักโดยการเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 3 ระดับ บริเวณ บน กลาง และล่างของกองปุ๋ยหมัก แล้วนำมาผสมแบบ composite samples ประมาณ 500-600 กรัม จากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่า moisture content (MC) และอบแห้งพร้อมวิเคราะห์หาค่าพีเอช (pH) ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) อินทรีย์คาร์บอน(OC) ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (volatile solid content) เถ้า (ash) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) รวมทั้งตรวจวัดอุณหภูมิ (temperature) ในกองปุ๋ยทุกวัน และเมื่อปุ๋ยหมักครบ 60 วัน เก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักที่ได้ในทุกชุดการทดลองมาร่อนผ่านตะแกรงขนาดรูเปิด 12.5 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์หา yield ปุ๋ย และนำมาศึกษาลักษณะทางกายภาพ และเคมี ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 9 ซึ่งวิธีวิเคราะห์เป็นไปตามวิธีที่ระบุตามที่คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2551)

ภาพที่ 9 ท่อนไม้ (wood chip) ที่ใช้เติมในกองปุ๋ยหมัก

ตารางที่ 9 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะของปุ๋ยที่หมัก

ลักษณะ	วิธีวิเคราะห์
ขนาดของปุ๋ย	dry screen analysis**
ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	gravimetric method*
ปริมาณหินและกรวด	wet screen analysis**
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) และปริมาณอินทรีย์คาร์บอน(OC)	Walkley and Black**
ค่าพีเอช (pH)	electrometric method**
อัตราค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N)	calculation from OC and % N **
ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity)	electrometric method**
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	macro-kjeldahl method*
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus)	spectrophotometric molybdovanadophosphate method
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium)	inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES)**
การย่อยสลายที่สมบรูณ์	Germination Index
โลหะหนัก (สารหนู, แคดเมียม, โครเมียม, ทองแดง, ตะกั่ว และปรอท)	inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES)**

หมายเหตุ : * เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ของ AOAC (1990)

** เป็นไปตามวิธีวิเคราะห์ของคู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2551)

2.4 การทดสอบการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้โดยการทดลองปลูกดาวเรือง

ดำเนินการทดลองโดยเลือกใช้ปุ๋ยหมักจากชุดการทดลองที่มีคุณสมบัติของธาตุอาหารพืชที่ดีที่สุดและรองลงมา นำไปทดลองปลูกต้นดาวเรืองพันธุ์ลูกผสม ดาวน้อย F1 ตราศรแดง (ภาพที่ 10) โดยใช้วิธีการปลูกในถุงดำ ซึ่งแต่ละชุดการทดลองมีการเติมปุ๋ยหมักที่เลือกนำมาทดสอบการปลูกต้นดาวเรืองโดยเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนของปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมในการปลูกต้นดอกดาวเรือง โดยใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ให้ต้นดาวเรืองในอัตรา 1 ช้อนชาต่อต้น (5 กรัมต่อต้น) (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2545) เติมปุ๋ยหมักที่ใช้ทดสอบในปริมาณน้อยกว่า เท่ากัน และมากกว่าที่เหมาะสมตามทฤษฎี ดังตารางที่ 10 ซึ่งแต่ละชุดการทดลองทำการทดลอง 4 ซ้ำ และการทดลองในขั้นตอนนี้ได้ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่เหมือนกัน มีการให้น้ำเท่ากัน และมีการเพาะต้นกล้าดาวเรืองก่อนนำต้นกล้าที่มีอายุประมาณ 1 เดือน (ภาพที่ 10) มาทดสอบ

เมล็ดพันธุ์ดาวเรือง

ต้นกล้าดาวเรืองที่ทำการเพาะ

ภาพที่ 10 เมล็ดพันธุ์และต้นกล้าดาวเรืองที่ทำการเพาะสำหรับใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 10 เงื่อนไขทดสอบการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้โดยการทดลองปลูกดอกดาวเรือง

ชุดทดสอบ	**ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ**	**ปริมาณ N (g) ที่เหมาะสมที่ใช้ในการปลูกดาวเรือง/ต้น**	**ปริมาณปุ๋ยหมักที่ใช้ต่อต้น (g, wet wt.)**
Control 1 (ดินเปล่า)	ดินอย่างเดียว	-	-
Control 2 (ดิน + ปุ๋ยเคมี)	ดิน + ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15	0.75	5

ตารางที่ 10 เงื่อนไขทดสอบการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้โดยการทดลองปลูกดอกดาวเรือง (ต่อ)

ชุดทดสอบ	ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ	ปริมาณ N (g) ที่เหมาะสมที่ใช้ในการปลูกดาวเรือง/ต้น	ปริมาณปุ๋ยหมักที่ใช้ต่อต้น (g, wet wt.)
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 1	ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 เติมปริมาณไนโตรเจน 0.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก	0.375	14.59
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 2	ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 เติมปริมาณไนโตรเจนเท่ากับปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก	0.75	29.18
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 3	ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 เติมไนโตรเจนในปริมาณ 1.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก	1.5	58.36
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 1	ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 เติมไนโตรเจนในปริมาณ 0.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก	0.375	16.38
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 2	ปุ๋ย Aeration C/N 13 เติมไนโตรเจนในปริมาณเท่ากับ ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก	0.75	32.75
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 3	ปุ๋ย Aeration C/N 13 เติมไนโตรเจนในปริมาณ 1.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก	1.5	65.5

ทำการศึกษาถึงการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองโดยวัดความสูง ขนาดและจำนวนดอก ของต้นดาวเรือง ทุก 7 วัน นอกจากนี้ก่อนย้ายต้นกล้ามาปลูก และหลังการทดลองปลูก 45 วัน ทำการเก็บตัวอย่างโดยการนำดินธรรมชาติที่มีลักษณะเป็นดินร่วนซุย ระบายน้ำได้ดี และดินธรรมชาติที่มีการเติมปุ๋ยตามเงื่อนไขซึ่งมีทั้งหมด 4 ซ้ำในแต่ละชุดการทดลองมาคลุกผสมให้เข้ากัน

จากนั้นจึงสุ่มให้ได้ตัวแทนของดินที่ใช้ในการปลูกนำมาอบแห้งพร้อมวิเคราะห์หาค่าพีเอช (pH) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (total potassium) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามคู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2551)

ข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงวิเคราะห์เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง ความสูง ขนาดดอก จำนวนดอก โดยใช้ค่าสูงสุด-ต่ำสุด ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) หากพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ซึ่งผลที่ได้นำไปสรุปถึงศักยภาพของการใช้เป็นปุ๋ยให้กับไม้ดอกต่อไป

2.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นและสรุปข้อเสนอแนะในการนำไปใช้ประโยชน์

การประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในการนำผักตบชวา กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 มาใช้ประโยชน์ในการหมักเป็นปุ๋ย โดยพิจารณาเปรียบเทียบถึงค่าใช้จ่ายในการใช้วัสดุหมักเหล่านี้ ในการทำปุ๋ยหมักเพื่อเทียบกับปุ๋ยที่ขายตามท้องตลาด ทั้งนี้จะเน้นการประเมินและคำนวณในเบื้องต้น โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สามารถวิเคราะห์ได้เท่านั้น และได้ทำการสรุปและประมวลผล เพื่อเป็นแนวทางนำไปสู่การปฏิบัติ และใช้ประโยชน์ต่อไป

บทที่ 3

ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อนำผักตบชวา และตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 มาหมักทำปุ๋ย ในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (low C/N ratio) โดยเทคนิคการหมักแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ ทำการหมักเป็นระยะเวลา 60 วัน และเก็บตัวอย่างเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของวัสดุหมักปุ๋ยตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย เมื่อครบระยะการหมักปุ๋ย 60 วัน เลือกปุ๋ยหมักจากชุดการทดลองที่มีคุณสมบัติของธาตุอาหารพืชที่ดีที่สุดและรองลงมา (คุณสมบัติของปุ๋ยที่ได้ให้เป็นไปตามประกาศกรมวิชาการเกษตรว่าด้วยมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ปี 2548) ไปทดสอบศักยภาพการเป็นปุ๋ยโดยการทดลองปลูกต้นดาวเรือง ซึ่งมีรายละเอียดผลการศึกษา สรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุหมัก

ลักษณะทางกายภาพและเคมีของผักตบชวา กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ที่นำมาศึกษา ได้ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ Density, MC, pH, OM, OC, VS, Ash, TN, TP และ TK เพื่อใช้ในการกำหนดสัดส่วนผสมของวัสดุหมัก ซึ่งผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีแสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ในการทดลองหมักทำปุ๋ย

พารามิเตอร์	วัสดุหมักปุ๋ย		
	ผักตับชวา	กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น	กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20
ลักษณะทางกายภาพ			
ความหนาแน่น (Density)(kg/m^3, wet wt.)	356.91	878.99	748.26
สี	สีเขียว	สีน้ำตาล	สีดำ

ตารางที่ 11 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ในการทดลองหมักทำปุ๋ย (ต่อ)

พารามิเตอร์	วัสดุหมักปุ๋ย		
	ผักตับชวา	กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น	กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น	มีกลิ่นเหม็น	ไม่มีกลิ่น
ความชื้น (MC) (%)	93.59	89.58	61.69
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) (%)	6.41	10.42	38.31
ลักษณะทางเคมี			
ค่าพีเอช (pH)	6.86	8.16	7.03
ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (VS) (% dry wt.)	78.21	63.25	44.73
ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) (% dry wt.)	52.23	46.40	39.73
ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) (% dry wt.)	30.30	26.91	23.05
ปริมาณเถ้า (ash) (% dry wt.)	21.79	36.75	55.27
ปริมาณไนโตรเจน (TN) (% dry wt.)	2.77	10.91	1.29
ปริมาณฟอสฟอรัส (TP) (% dry wt.)	0.60	1.51	0.24
ปริมาณโพแทสเซียม (TK) (% dry wt.)	3.20	0.81	0.05
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	10.94	2.47	17.86

1.1. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของผักตบชวา

ผักตบชวา มีความหนาแน่น 356.91 กก./ลบ.ม. มีความชื้นสูงถึง 93.56% ใกล้เคียงกับการศึกษาของศิรินทรา วันดี (2552) ซึ่งวิเคราะห์ความชื้นของผักตบชวาได้ 91.1% จากการศึกษาพบว่า ผักตบชวามีปริมาณความชื้นสูงเนื่องจากในส่วนของผักตบชวานั้นมีน้ำเป็นองค์ประกอบสูงกว่า 90% (วารุณี พานิชผล และพูลศรี ศุกระรุจิ, 2540) นอกจากนี้ผักตบชวายังประกอบไปด้วยธาตุอาหารที่สำคัญได้แก่ TN, TP และ TK โดยมีค่าเท่ากับ 2.77%, 0.60% และ 3.20% น้ำหนักแห้งตามลำดับ จะเห็นได้ว่าผักตบชวามีปริมาณธาตุอาหารพืชค่อนข้างสูง และมีปริมาณ OM และ OC เท่ากับ 52.23% และ 30.30% น้ำหนักแห้ง ซึ่งวัตถุดิบที่มีปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์อยู่มากเป็นแหล่งอาหารที่ดีสำหรับจุลินทรีย์ในการดำรงชีวิต ผักตบชวานั้นมีค่าอินทรีย์คาร์บอนมากกว่ากากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 เนื่องจากผักตบชวาเป็นพืชที่มีส่วนประกอบอยู่ในรูป

เซลลูโลส และลิกนินเป็นส่วนใหญ่อันเป็นแหล่งคาร์บอนสูง ในกระบวนการหมักจึงต้องใช้วัตถุดิบที่มีสารอินทรีย์คาร์บอนสูง ซึ่งสารอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักที่มีความสำคัญของกองปุ๋ยหมัก (เปรมสุดา จิ๋วนอก, 2550) ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ของผักตบชวา มีค่าเท่ากับ 10.94

1.2. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มีลักษณะเป็นของแข็งละเอียด มีกลิ่นเหม็น สีน้ำตาล มีความหนาแน่น 878.99 กก./ลบ.ม. มีความชื้น 89.58% เนื่องจากเป็นกากตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียมีลักษณะค่อนข้างเปียกแม้มีการปรับสภาพตะกอนและรีดตะกอนเพื่อเอาน้ำออกก่อนแล้วก็ตาม จึงทำให้กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีปริมาณความชื้นสูง เมื่อวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี พบว่า มีปริมาณ OM และ OC เท่ากับ 46.40% และ 26.91 % น้ำหนักแห้ง มีปริมาณธาตุอาหารพืชค่อนข้างสูง โดยเฉพาะปริมาณไนโตรเจนมีค่า 10.91% น้ำหนักแห้ง เป็นแหล่งไนโตรเจนภายในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งจะให้ธาตุไนโตรเจนแก่จุลินทรีย์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต และแพร่พันธุ์ของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ (เปรมสุดา จิ๋วนอก, 2550) ประกอบกับธาตุอาหารฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีค่า 1.51% และ 0.81% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ แต่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำมาก เท่ากับ 2.47 ซึ่งจะเห็นได้ว่ากากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีปริมาณธาตุอาหารสูงเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช (พนาลี ชีวกิดาการ, 2554) แต่อย่างไรก็ตามกากตะกอนชนิดนี้มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ อาจจะไม่เหมาะสมหากนำกากตะกอนส่วนเกินดังกล่าวเพียงอย่างเดียวไปหมักทำปุ๋ย

1.3. ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20

กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 เป็นของแข็งสีดำ ไม่มีกลิ่น มีความหนาแน่น 748.26 กก./ลบ.ม. มีความชื้น 61.69% ส่วนค่า OM และ OC มีค่าเท่ากับ39.73% และ 23.05% น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายเองได้ (organic matter) ใกล้เคียงกับกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น แต่มีค่าอัตราอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่า โดยมีค่า 17.86 เป็นวัสดุหมักร่วมที่ช่วยปรับค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่กำหนดให้มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 10 13 และ 15 ของการหมักปุ๋ย และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20

มีองค์ประกอบของธาตุอาหารพืช TN, TP และ TK เท่ากับ 1.29%, 0.24% และ 0.05% น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าของเสียดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุหมักร่วม ที่มีคุณสมบัติที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในด้านธาตุอาหารของพืชโดยการนำไปใช้หมักทำปุ๋ย

เมื่อนำผักตบชวา และกากตะกอนอุตสาหกรรมยางมาผสมตามสัดส่วนเพื่อทำการศึกษาการทำปุ๋ยหมักโดยให้มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 10 13 และ 15 และได้ทำการเก็บตัวอย่างวัสดุหมักที่ทำการผสมแล้ว เพื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะของวัสดุหมักผสมเริ่มต้นของการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งจากข้อมูลผลการศึกษาดังตารางที่ 12 จะเห็นได้ว่าวัสดุหมักที่ทำการผสมแล้วมีค่า N อยู่ในช่วง 1.90-2.92% น้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ แต่สำหรับ P มีค่าอยู่ในช่วง 0.26-0.42% น้ำหนักแห้ง ต่ำกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ และ K อยู่ในช่วง 0.23-0.73% น้ำหนักแห้ง โดยชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 เพียงชุดการทดลองเดียวที่มีค่า K อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์คือ $\geq 0.5\%$

ตารางที่ 12 ลักษณะของวัสดุหมักผสมเริ่มต้นของการทำปุ๋ยหมัก

พารามิเตอร์	แบบเติมอากาศ			แบบไม่เติมอากาศ		
	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15
pH	7.60	7.31	7.14	7.51	7.25	7.01
MC (%)	82.36	72.46	67.46	83.96	78.73	78.96
VS (%dry wt.)	52.15	49.68	47.70	53.69	49.13	47.22
Ash (%dry wt.)	47.85	50.32	52.30	46.31	50.87	52.78
OM (%dry wt.)	49.44	43.97	47.77	51.40	48.72	52.32
OC (%dry wt.)	28.67	25.50	27.71	29.82	28.30	30.35
N (%dry wt.)	2.82	1.90	1.90	2.92	2.20	2.08
P (%dry wt.)	0.42	0.33	0.26	0.42	0.36	0.33
K (%dry wt.)	0.61	0.35	0.23	0.73	0.34	0.28
C/N ratio	10.16	13.42	14.58	10.21	12.86	14.59

2. ผลการศึกษาการหมักปุ๋ย

จากการศึกษาการหมักปุ๋ยด้วยผักตบชวา และกากตะกอนอุตสาหกรรมยาง ในภาวะที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ โดยมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 10 13 และ 15 ใช้เทคนิคการหมักแบบเติมอากาศและการหมักแบบไม่เติมอากาศ ซึ่งมีชุดการทดลอง

ทั้งหมด 6 ชุดการทดลอง ใช้ระยะเวลาการหมัก 60 วัน ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและเคมีของกองปุ๋ยหมัก มีรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวภาพภายในกองปุ๋ยหมัก

ลักษณะทางกายภาพถือได้ว่าเป็นเครื่องชี้วัดการเกิดปฏิกิริยาภายในกองปุ๋ยอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งจากการทดลองหมักทำปุ๋ย (ตารางที่ 13) พบว่า ในช่วงสัปดาห์แรกของการหมัก ปุ๋ยหมักทั้ง 6 ชุดการทดลอง สามารถมองเห็นวัสดุหมักแต่ละส่วนได้อย่างชัดเจนเนื่องจากยังไม่เกิดการย่อยสลาย เมื่อกระบวนการย่อยสลายเริ่มเกิดขึ้น จะเกิดกลิ่นเหม็นคล้ายก๊าซแอมโมเนียรุนแรงขึ้น ซึ่งชุดการทดลองที่ไม่เติมอากาศจะมีกลิ่นเหม็นมากกว่าชุดการทดลองที่เติมอากาศ กลิ่นเหม็นเริ่มลดลงและไม่มีกลิ่นเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาการหมัก อย่างไรก็ตามกลิ่นเหม็นคล้ายก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น ทำให้อินทรีย์ไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจนและเกิดการระเหยทำให้ได้กลิ่นแอมโมเนียระหว่างการหมัก หลังสัปดาห์ที่ 4 สีของปุ๋ยเริ่มเปลี่ยนเป็นสีดำ วัสดุเป็นเนื้อเดียวกันจนกระทั่งหมักได้ 45 วัน ปุ๋ยหมักมีลักษณะร่วนซุย ซึ่งชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 15 ทั้งแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศเป็นชุดที่มีลักษณะปุ๋ยร่วนซุยมากกว่าชุดการทดลองอื่น เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักที่ 60 วัน พบว่าปุ๋ยหมักที่ได้ในทุกชุดการทดลองมีสีดำ กลิ่นคล้ายกลิ่นดิน และมีการยุบตัวอยู่ในช่วง 40-55% โดยชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบไม่เติมอากาศมีการยุบตัวต่ำสุด สำหรับชุดการทดลองที่มีการยุบตัวสูงสุดคือชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 แบบเติมอากาศ ซึ่งสังเกตพบว่าชุดการทดลองแบบเติมอากาศและชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 15 มีการยุบตัวมากกว่าชุดการทดลองไม่เติมอากาศที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 อาจเนื่องมาจากบทบาทการทำงานของจุลินทรีย์ในสารเร่ง พด.1 ซึ่งประกอบด้วยแบคทีเรีย เชื้อรา และแอคติโนมัยซิส จุลินทรีย์เหล่านี้มีความสามารถย่อยสลายอินทรียสาร เช่น เซลลูโลส ลิกนิน ไคตินซึ่งจะช่วยแปรสภาพผักตบชวาที่มีองค์ประกอบของ ลิกนิน และเซลลูโลสประมาณ 90% (วารุณี พานิชผล และพูลศรี ศุกระรุจิ, 2540) เชื้อแอคติโนมัยซิสที่มักพบเสมอในกองปุ๋ยหมัก ได้แก่ พวก *Thermoactionalmyces* sp. และ *Thermomonospora* sp. ซึ่งเป็นพวกที่สามารถผลิตเอ็นไซม์เซลลูเลสออกมาย่อยเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพและอาจพบ *Streptomyces* sp. และ *Micropolyspora* sp. ในกองปุ๋ยได้ ประกอบกับในกองปุ๋ยที่มีอากาศเพียงพอจะพบจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียที่เจริญได้ดี

นอกจากคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดการเกิดปฏิกิริยาภายในกองปุ๋ยแล้ว ลักษณะทางชีวภาพก็จัดได้ว่ามีส่วนสำคัญในการชี้วัดการเกิดปฏิกิริยาเช่นกัน โดยสามารถสังเกตเห็นไข่หรือตัวอ่อนของแมลงที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ย ซึ่งจากการสังเกตลักษณะทางชีวภาพใน

กองปุ๋ยตลอดระยะเวลาการหมัก 60 วันของทุกชุดการทดลอง พบว่าในช่วงสองสัปดาห์แรกจะมีแมลงตัวเล็กๆ เกิดขึ้น รวมถึง ราขาว หนอน และไข่ของแมลงปีกแข็งบางชนิดขึ้นภายในกองปุ๋ย และค่อยๆ ลดจำนวนลงตามระยะเวลาการหมัก โดยเมื่อการหมักเข้าสู่ช่วงสุดท้าย ซึ่งอุณหภูมิในกองปุ๋ยลดลงและเริ่มคงที่แล้ว สังเกตเห็นว่าไม่พบแมลงขนาดเล็กภายในกองปุ๋ยอีก

ตารางที่ 13 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวภาพภายในกองปุ๋ยหมัก

ชุดการทดลอง	**ลักษณะทางกายภาพ**	**ระยะเวลาการหมักปุ๋ย**				
		วันที่ 0-7	**วันที่ 8-15**	**วันที่ 16-30**	**วันที่ 31-45**	**วันที่ 45-60**
เติมอากาศ -C/N 10	สี	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้มปนดำ	น้ำตาลเข้มปนดำ	ดำ	ดำ
	กลิ่น	เหม็น	เหม็น	เหม็นเน่า, มีน้ำชะ (leachate) ออกมามาก	กลิ่นลดลง, มีน้ำชะ (leachate) ออกมามาก	ไม่มีกลิ่น
	แมลง/สิ่งมีชีวิต	มีหนอน	ไข่แมลง, หนอน	แมลง,หนอน, ราขาว	มด,แมลง, หนอน, พยาธิ	ไม่พบ
	ระยะที่ยุบตัว (%)	พองตัวขึ้น	ไม่ยุบ	15	30	45
	เนื้อปุ๋ย	มีเศษวัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกัน	เป็นเนื้อเดียวกัน	เป็นเนื้อเดียวกัน,หนืด	เป็นเนื้อเดียวกัน,หนืด	ร่วนซุยน้อย
เติมอากาศ -C/N 13	สี	เทาปนน้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้มปนดำ	น้ำตาลเข้มปนดำ	ดำ	ดำ
	กลิ่น	เหม็น	กลิ่นลดลง	กลิ่นน้อย	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น
	แมลง/สิ่งมีชีวิต	ไม่พบ	ราขาว, แมลง	ราขาว,หนอน, แมลง	รา, มด, แมลง, พยาธิ	ไม่พบ
	ระยะที่ยุบตัว (%)	10	25	40	45	55
	เนื้อปุ๋ย	มีเศษวัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกัน	วัสดุเริ่มเป็นเนื้อเดียวกัน	เป็นเนื้อเดียวกัน	เป็นเนื้อเดียวกัน, หนืด	ร่วนซุย

ตารางที่ 13 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวภาพภายในกองปุ๋ยหมัก (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ลักษณะทางกายภาพ	ระยะเวลาการหมักปุ๋ย				
		วันที่ 0-7	วันที่ 8-15	วันที่ 16-30	วันที่ 31-45	วันที่ 45-60
เติมอากาศ -C/N 15	สี	เทาปนน้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้มปนดำ	น้ำตาลเข้มปนดำ	ดำ	ดำ
	กลิ่น	เหม็น	กลิ่นลดลง	กลิ่นน้อย	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น
	แมลง/สิ่งมีชีวิต	ไม่พบ	ราขาว, แมลง	ราขาว, หนอน, แมลง	ราขาว, แมลง, มด	ไม่พบ
	ระยะที่ยุบตัว (%)	5	20	30	40	50
	เนื้อปุ๋ย	มีเศษวัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกัน	วัสดุเริ่มเป็นเนื้อเดียวกัน	เป็นเนื้อเดียวกัน	ร่วนซุย	ร่วนซุยมาก
ไม่เติมอากาศ -C/N 10	สี	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้มปนดำ	น้ำตาลเข้มปนดำ	ดำ	ดำ
	กลิ่น	เหม็น	เหม็นเน่า, มีน้ำชะ (leachate)	เหม็น, มีน้ำชะ (leachate)	กลิ่นลดลง, มีน้ำชะ (leachate)	ไม่มีกลิ่น
	แมลง/สิ่งมีชีวิต	มีหนอน	แมลงหวี่	แมลงหวี่, ไข่หนอน, แมลง	แมลง,หนอน, พยาธิ	พยาธิ
	ระยะที่ยุบตัว(%)	พองตัวขึ้น	5	20	25	40
	เนื้อปุ๋ย	มีเศษวัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกัน	วัสดุเริ่มเป็นเนื้อเดียวกัน	เป็นเนื้อเดียวกัน	เป็นเนื้อเดียวกัน, หนืด	ร่วนซุยน้อย
ไม่เติมอากาศ -C/N 13	สี	เทาปนน้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้มปนดำ	น้ำตาลเข้มปนดำ	ดำ	ดำ
	กลิ่น	เหม็น	กลิ่นลดลง, มีน้ำชะ (leachate)	มีน้ำชะ (leachate) เล็กน้อย, มีกลิ่นเล็กน้อย	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น

ตารางที่ 13 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและชีวภาพภายในกองปุ๋ยหมัก (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ลักษณะทางกายภาพ	ระยะเวลาการหมักปุ๋ย				
		วันที่ 0-7	วันที่ 8-15	วันที่ 16-30	วันที่ 31-45	วันที่ 45-60
	แมลง/สิ่งมีชีวิต	ไม่พบ	ราขาว, แมลง	ราขาว, แมลง	รา,มด,แมลง, พยาธิ	ไม่พบ
	ระยะที่ยุบตัว(%)	10	20	30	40	50
	เนื้อปุ๋ย	มีเศษวัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกัน	วัสดุเริ่มเป็นเนื้อเดียวกัน	เป็นเนื้อเดียวกัน	เป็นเนื้อเดียวกัน หนืด	ร่วนซุย
ไม่เติมอากาศ -C/N 15	สี	เทาปนน้ำตาลเข้ม	น้ำตาลเข้มปนดำ	น้ำตาลเข้มปนดำ	ดำ	ดำ
	กลิ่น	เหม็น	กลิ่นลดลง	ไม่มีกลิ่น	ไม่มี	ไม่มี
	แมลง/สิ่งมีชีวิต	ไม่พบ	แมลง	มด,แมลงหวี่	แมลง	ไม่พบ
	ระยะที่ยุบตัว(%)	10	20	30	40	50
	เนื้อปุ๋ย	มีเศษวัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกัน	วัสดุเริ่มเป็นเนื้อเดียวกัน	เป็นเนื้อเดียวกัน	ร่วนซุย	ร่วนซุยมาก

2.2 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงภายในกองปุ๋ย

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยทั้ง 6 ชุดการทดลอง โดยมีการวัดอุณหภูมิ 3 จุด ที่ระดับผิวด้านบน กลาง และด้านล่างในกองปุ๋ยหมัก นำมาหาค่าเฉลี่ยและแสดงดังตารางที่ 14 พบว่า ในช่วงเริ่มต้นการหมักปุ๋ยอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นของทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วง 28.4-29.9 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เข้าสู่ช่วง mesophilic phase (อุณหภูมิ 25-45 องศาเซลเซียส) เป็นระยะเริ่มต้นของจุลินทรีย์กลุ่ม mesophiles ทำให้เกิดความร้อน และพลังงานในกองปุ๋ย (ธนิยา เกาศล, 2551) อย่างไรก็ตามสังเกตพบว่ามีอุณหภูมิในกองปุ๋ยส่วนใหญ่สูงกว่าอุณหภูมิในบรรยากาศประมาณ 1-4 องศาเซลเซียส และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันตลอดระยะเวลาการหมัก โดยอุณหภูมิในชุดที่มีการเติมอากาศอุณหภูมิสูงสุดวัดได้ที่บริเวณตรงกลางและอุณหภูมิต่ำสุดวัดได้ที่บริเวณด้านล่างของกองปุ๋ยหมัก แตกต่างกับชุดการทดลองที่ไม่เติมอากาศพบว่า อุณหภูมิสูงสุดวัดได้บริเวณส่วนบนของกองปุ๋ยหมัก และเมื่อวิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการหมัก พบว่า ชุดการ

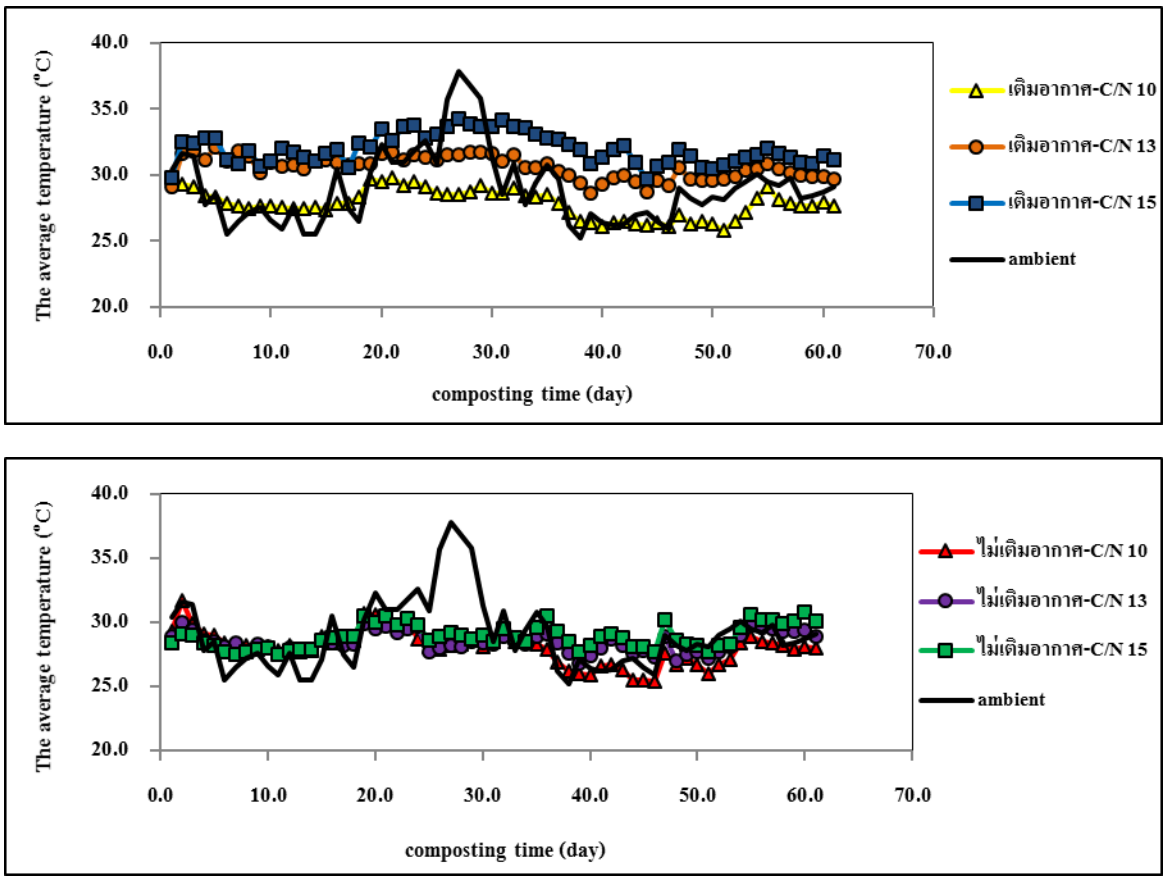
ทดลองที่มีการเติมอากาศมีอุณหภูมิเฉลี่ยในกองปุ๋ยหมักสูงกว่าชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศ และสังเกตว่าอุณหภูมิต่ำสุดพบในชุดการทดลองที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงสุด (ชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบไม่เติมอากาศ) เห็นได้ว่าความชื้นของวัสดุหมักเริ่มต้น และปัจจัยการเติมอากาศในกองปุ๋ยมีผลต่อระดับอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งชุดการทดลองที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดคือชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 15 แบบเติมอากาศ รองลงมาคือชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 แบบเติมอากาศ โดยมีอุณหภูมิ 32.0 และ 30.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ตารางที่ 14) และอุณหภูมิเริ่มคงที่ในช่วงใกล้สิ้นสุดกระบวนการหมัก (ช่วงวันที่ 55-60)

ตารางที่ 14 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในกองปุ๋ยตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย 60 วัน

อุณหภูมิ	**เติมอากาศ**			**ไม่เติมอากาศ**		
(^{o}C)	**C/N 10**	**C/N 13**	**C/N 15**	**C/N 10**	**C/N 13**	**C/N 15**
ระดับบน	27.86±1.13	30.66±1.13	31.84±1.57	28.44±1.51	28.67±0.89	29.23±1.11
ระดับกลาง	27.67±0.95	31.00±0.97	32.83±1.48	27.70±1.18	28.31±0.73	28.89±0.91
ระดับล่าง	28.01±1.28	30.10±0.98	31.28±0.95	28.02±1.58	28.39±1.03	28.58±1.14
เฉลี่ย	27.9±1.08	30.6±0.86	32.0±1.14	28.1±1.32	28.5±0.78	28.9±0.92
ambient	29.02 ±2.78					

หมายเหตุ : ค่าแสดงคือ mean ± SD

อุณหภูมิที่พบเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักอยู่ในช่วง27.62-31.2 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 11) นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่พบสูงสุดในการทดลองนี้ไม่เข้าช่วง thermoplilic phase เนื่องจากในกองปุ๋ยมีความชื้นค่อนข้างสูง (พนาลี ชีวกิดาการ และคณะ, 2554) ซึ่งความชื้นจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิภายในกองปุ๋ย โดยอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักที่ไม่สามารถเข้าสู่ช่วง thermoplilic phase ได้ อาจเกิดจากกองปุ๋ยมีขนาดเล็ก วัสดุหมักมีปริมาณความชื้นสูงหรือสภาพอากาศในช่วงทดลองหมักปุ๋ยที่มีฝนตกชุกทำให้อุณหภูมิภายนอกเย็น (ณัฐพล ศรีเมือง, 2553)



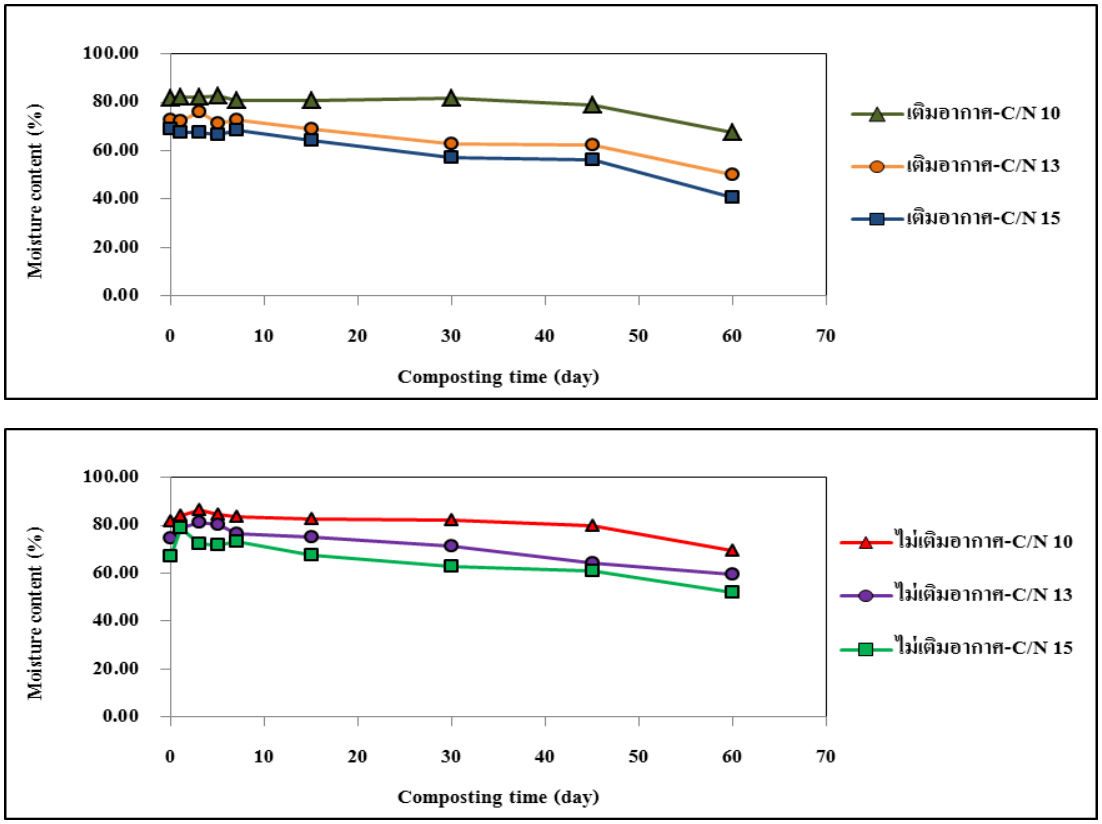
ภาพที่ 11 ลักษณะอุณหภูมิเฉลี่ยในกองปุ๋ยหมักของแต่ละชุดการทดลองที่ทำการศึกษา

2.3 ค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงภายในกองปุ๋ย

ค่าความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งน้ำจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์ในกระบวนการดูดซึมสารอาหารและกระบวนการขับถ่ายของเสีย ความชื้นมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้นในการหมักวัสดุต่างๆ จึงควรควบคุมความชื้นให้เหมาะสมต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ โดยควรควบคุมให้อยู่ในช่วง 50-60% ซึ่งเป็นช่วงที่ทำให้เกิดการย่อยสลายที่สูงสุด (นภารัตน์ ไวยเจริญ, 2544) ซึ่งถ้าหากความชื้นมากเกินไป ปุ๋ยจะถูกอัดแน่นและลดปริมาณช่องว่างของอากาศภายในกองปุ๋ยทำให้เกิดสภาพการขาดออกซิเจนได้ (ธนิยา เกาศล, 2551) แต่หากความชื้นน้อยกว่า 20% จะทำให้จุลินทรีย์ที่ทำการย่อยสลายตายและการหมักปุ๋ยล้มเหลว (ธเนศ ศรีสถิตย์, 2553)

การทดลองหมักปุ๋ยในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ทุกชุดการทดลองมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากผักตบชวาและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่ใช้ในการหมักปุ๋ยมีความชื้นสูง เมื่อนำมาผสมทำปุ๋ยหมักทำให้ปุ๋ยหมักเริ่มต้นมีความชื้นอยู่ในช่วง 67.46-83.96% ซึ่งในชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบเติม

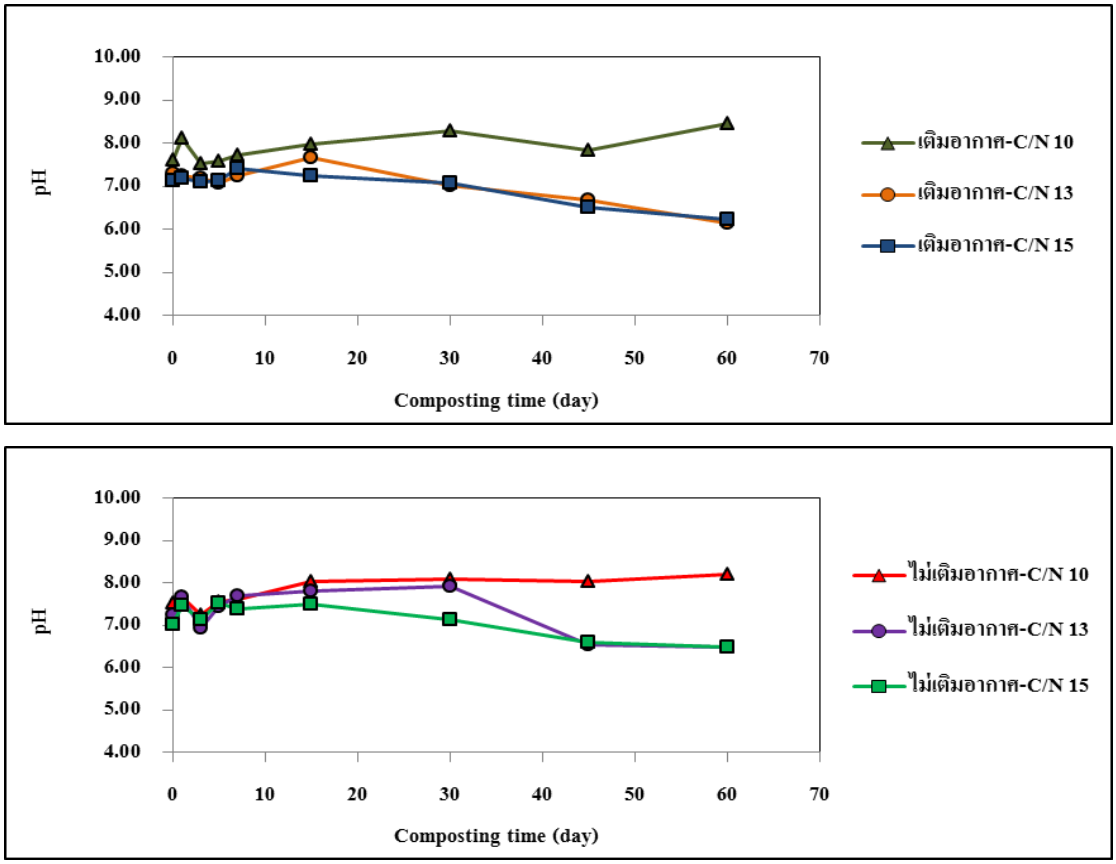
อากาศและไม่เติมอากาศมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงกว่าชุดการทดลองอื่น เนื่องจากมีสัดส่วนผสมระหว่างผักตบชวาและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้นสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ณัฐนาท ชุมสวัสดิ์ และ คณะ (2554) ศึกษาการหมักปุ๋ยโดยใช้กากขี้แป้ง กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำยางข้นและขุยมะพร้าว พบว่า ทุกชุดการทดลองมีปริมาณความชื้นตลอดระยะเวลาการหมัก โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 58.47-90.43% (ช่วงการทดลองหมักทำปุ๋ยเป็นช่วงที่มีฝนตกหนัก อากาศภายนอกมีความชื้นสูง) ประกอบกับชุดการทดลองที่มีกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย (มีค่าความชื้นที่สูง) เป็นวัสดุหมักร่วมทำให้ชุดการทดลองอื่นๆ มีค่าความชื้นที่สูงตามไปด้วย ส่งผลให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายในกองปุ๋ยเกิดได้ค่อนข้างช้า และพบว่า ชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 15 แบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ ความชื้นในกองปุ๋ยจะเริ่มลดลงหลังจากวันที่ 7 แต่ปริมาณความชื้นในชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 และ 13 ทั้งแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ ปริมาณความชื้นจะลดลงหลังจาก 15 วัน และ 45 วันของการหมักปุ๋ย ดังแสดงดังภาพที่ 12 สังเกตการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในกองปุ๋ยทั้ง 6 ชุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่มีการเติมอากาศจะมีค่าความชื้นที่ลดลงได้มากกว่าชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศ



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในแต่ละชุดการทดลอง

2.4 ค่าพีเอช ที่เปลี่ยนแปลงภายในกองปุ๋ย

การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ภายในกองปุ๋ย มีความสัมพันธ์ต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้สูงในช่วงค่าพีเอช 6-9 (สุธี พลรักษา, 2552) โดยปกติในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการหมักค่าพีเอชของปุ๋ยหมักจะลดลงซึ่งเป็นช่วงจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายวัตถุที่ย่อยได้ง่าย และผลิตกรดอินทรีย์บางชนิดออกมา (สุชาดา บัวพันธ์, 2548) หลังจากนั้นค่าพีเอชจะเริ่มสูงขึ้นจนมีค่าเป็นกลางถึงด่าง ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ค่าพีเอชของปุ๋ยหมักในช่วงเริ่มต้นของการหมักมีค่าอยู่ในช่วง 7.01-7.60 และเห็นได้ว่าค่าพีเอช ลดลงในวันที่ 3 ของการหมัก แสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในแต่ละชุดการทดลอง

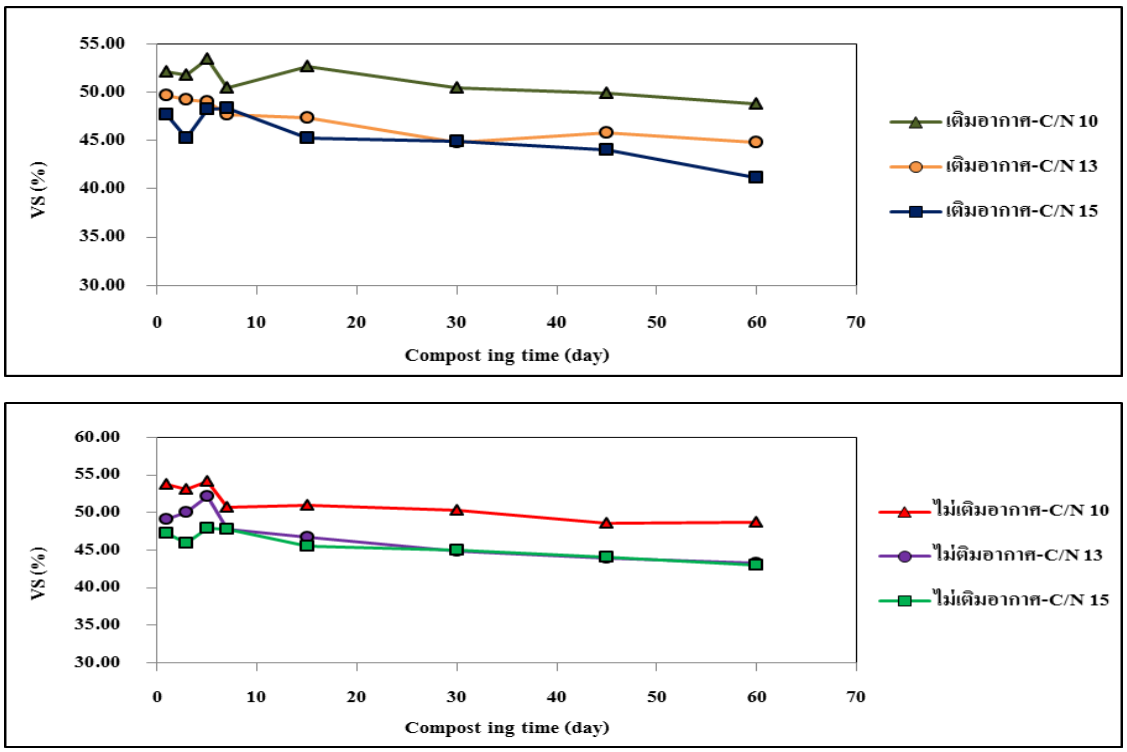
ในช่วงหลังของปฏิกิริยาการหมักการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มแตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชนั้น Huang *et al.* (2004) รายงานว่า การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าพีเอชในกองปุ๋ยเกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ได้ย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนในสภาวะที่มีออกซิเจน และสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนจะถูกแปรสภาพเป็นแอมโมเนียโดยอาศัยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชั่น (ammonification) และกระบวนการมิเนอราไลเซชั่น (mineralization) ซึ่ง

เป็นการแปรสภาพอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนทำให้ค่าพีเอชในกองปุ๋ยเพิ่มขึ้น โดยในการทดลองนี้ค่าพีเอช ของชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เข้าสู่สภาวะเป็นด่างจนถึง 60 วันของการหมัก ตลอดระยะเวลาการหมักค่าพีเอชไม่ควรสูงกว่า 8.5 เพราะจะทำให้สูญเสียไนโตรเจนในรูปก๊าซแอมโมเนีย (สุชาดา บัวพันธ์, 2548) ในขณะที่ชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 และ 15 แบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศมีค่าพีเอชลดลงต่ำกว่า 7 จนถึง 60 วันของการหมัก อย่างไรก็ตาม ค่าพีเอชที่ได้ของวัสดุหมักทั้ง 6 ชุดการทดลองเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยามีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.14-8.45 ซึ่งมีค่าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ในประเทศไทย พ.ศ. 2548 ซึ่งมาตรฐานของปุ๋ยหมักกำหนดไว้ว่าต้องมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.5-8.5

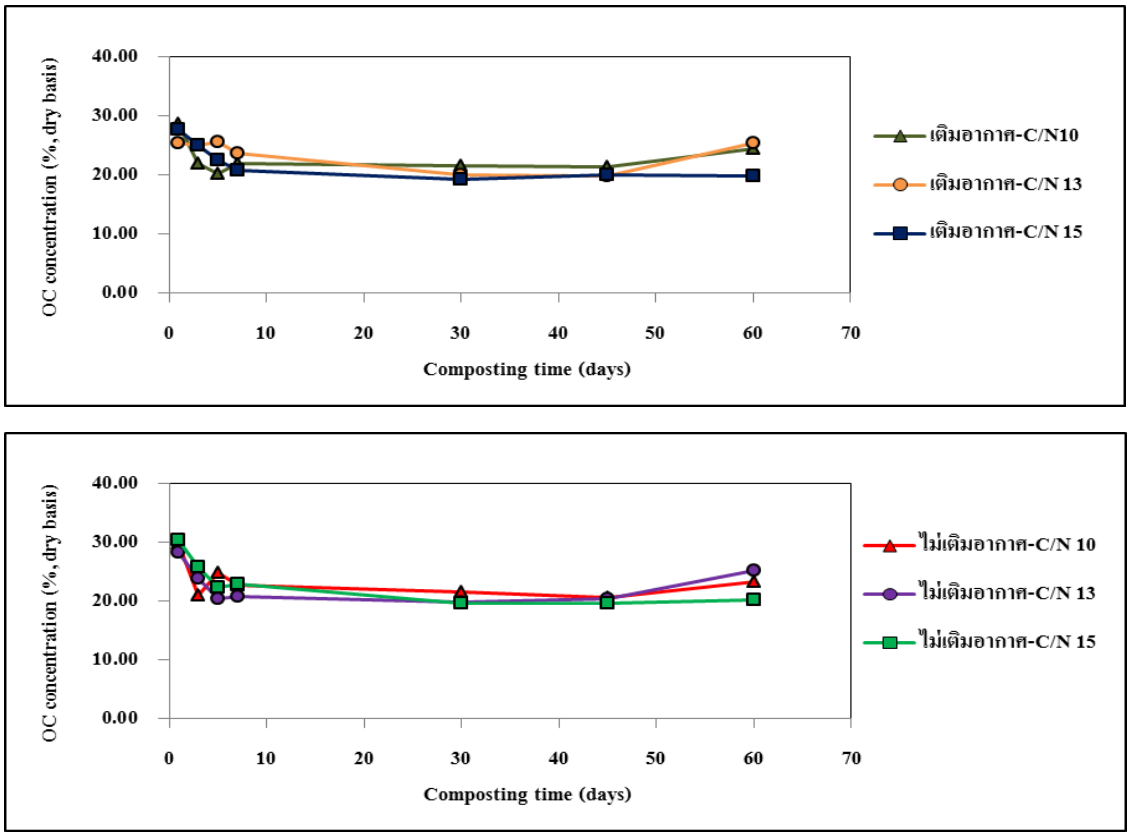
2.5 ค่าปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (VS) ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (OC) และค่าปริมาณเถ้า (ash) ที่เปลี่ยนแปลงภายในกองปุ๋ย

ปริมาณของแข็งระเหยสามารถบ่งบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ภายในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งจากผลการทดลองในช่วงเริ่มต้นของการหมัก พบว่า ทุกชุดการทดลองมีปริมาณของแข็งระเหยเริ่มต้นอยู่ในช่วง 47.22-53.69% น้ำหนักแห้ง จากนั้นปริมาณของแข็งระเหยเริ่มมีแนวโน้มลดลงอย่างช้าๆ แสดงถึงการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยนั้นเกิดการย่อยสลายได้ช้า โดยในแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณลดลงเพียงเล็กน้อยตามระยะการหมัก เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักที่ 60 วัน ปริมาณของแข็งระเหยลดลงอยู่ในช่วง 41.21-48.75% น้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 14) โดยชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 แบบไม่เติมอากาศมีแนวโน้มการลดลงของของแข็งระเหยได้มากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ

ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณอินทรีย์คาร์บอน พบว่าให้ผลในลักษณะเดียวกันโดยอินทรีย์คาร์บอน (OC) หรือธาตุคาร์บอนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์บ่งบอกถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในกองปุ๋ยซึ่งมีแนวโน้มลดลงในทุกชุดการทดลอง ในช่วงเริ่มต้นพบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในช่วง 26.35-30.77% น้ำหนักแห้ง และหลังการหมักหนึ่งสัปดาห์มีค่าในช่วง 20.25-23.73% น้ำหนักแห้ง อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักที่ 60 วัน ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลงอยู่ในช่วง 19.89-25.42% น้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 15) ซึ่งการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 แบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศมีแนวโน้มการลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนได้มากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 15 แบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ อาจกล่าวได้ว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการเจริญเติบโต เปลี่ยนคาร์บอนไปเป็นกรดอินทรีย์และบางส่วนอาจถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ ดังนั้น จึงทำให้อัตราการย่อยสลายของปริมาณคาร์บอนในปุ๋ยหมักลดลงอย่างช้าๆ ตลอดระยะเวลาการหมัก (สุชาดา บัวพันธ์, 2548)

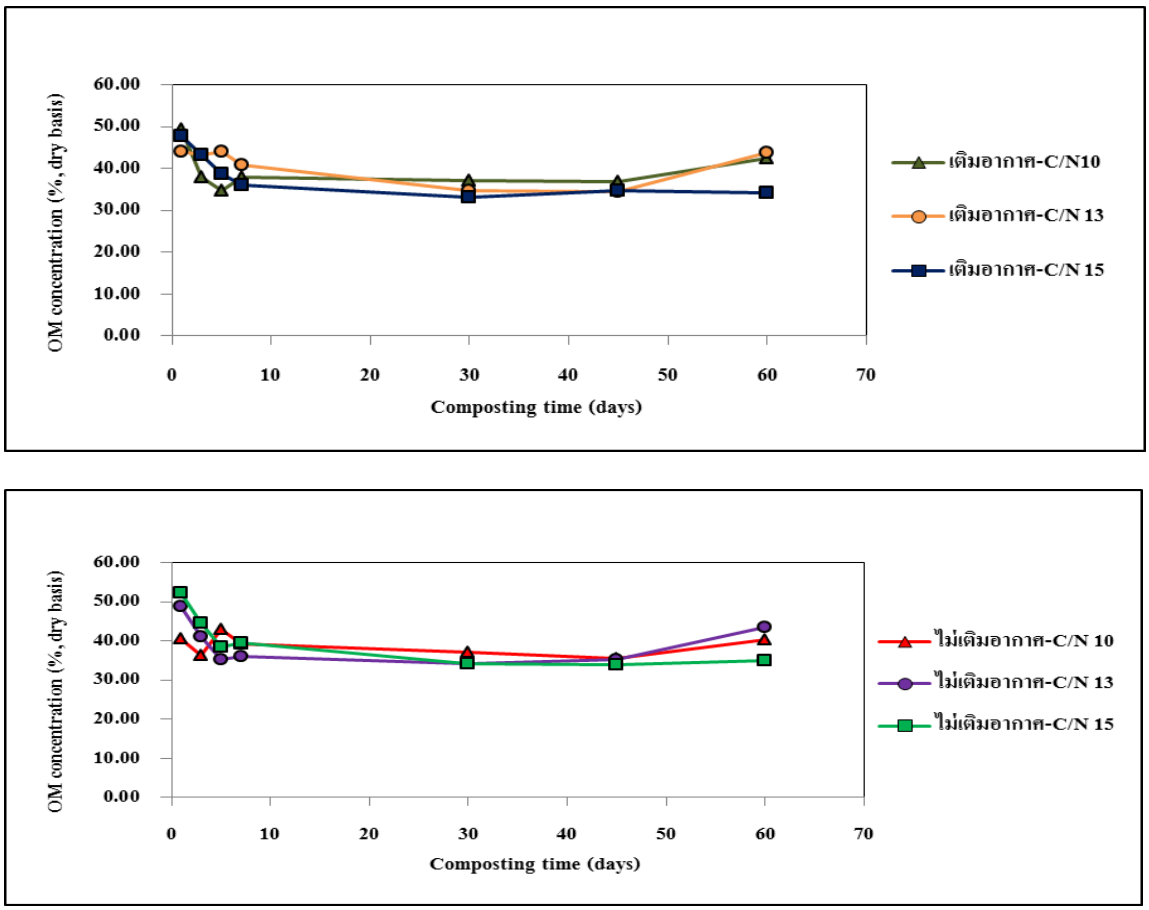


ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งระเหยในแต่ละชุดการทดลอง



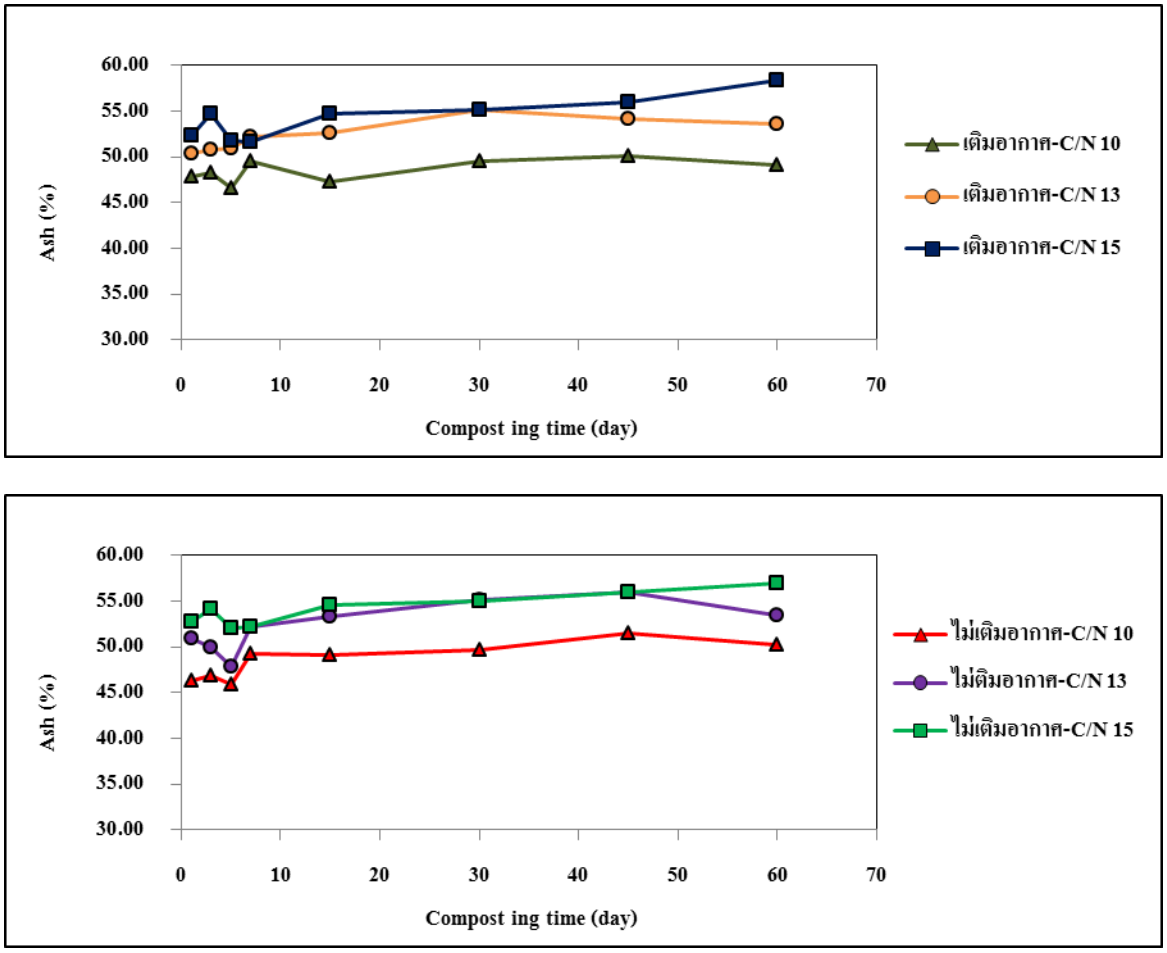
ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในแต่ละชุดการทดลอง

เช่นเดียวกับปริมาณอินทรียวัตถุที่มีแนวโน้มลดลง ซึ่งปุ๋ยหมักที่ได้ควรมีปริมาณอินทรียวัตถุไม่ต่ำกว่า 30 % โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2548) จากผลการทดลองในช่วงเริ่มต้นของการหมัก พบว่า มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 45.43-53.05% น้ำหนักแห้ง และมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาการหมักโดยมีปริมาณอินทรียวัตถุมีค่าคงที่หรือมีเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักที่ 60 ปริมาณอินทรียวัตถุลดลงจากค่าเริ่มต้นอยู่ในช่วง 34.29-43.82 % น้ำหนักแห้ง โดยปริมาณอินทรียวัตถุที่หายไปจะอยู่ในรูปแหล่งอาหาร และพลังงานให้กับจุลินทรีย์ (ธันวดีย์ ศรีธาวิรัตน์, 2547) (ภาพที่ 16) การลดลงของปริมาณ อินทรียวัตถุเป็นผลมาจากการที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ในเศษวัสดุถูกย่อยสลายและนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยจุลินทรีย์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรียวัตถุ ดังนั้นเมื่ออินทรีย์คาร์บอนลดลง ปริมาณของอินทรียวัตถุจะลดลงไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Garcia *et al*. (2003) ที่ทำการทดลองเกี่ยวกับการใช้กากตะกอนที่ได้จากการบดผลมะกอกผสมกับใบมะกอก พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุลดลงตลอดระยะเวลาการทดลอง



ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุในแต่ละชุดการทดลอง

ส่วนปริมาณเถ้าจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงตรงกันข้ามกับของแข็งระเหย ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากช่วงแรกตามระยะเวลาของการหมัก เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักที่ 60 วัน ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 49.10-58.37% น้ำหนักแห้ง (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าในแต่ละชุดการทดลอง

นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ภายในกองปุ๋ยหมักของทุกชุดการทดลองในรูปแบบสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างง่ายก็สามารถช่วยทำนายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้รวดเร็ว โดยพิจารณาจากอินทรีย์สารที่ระเหยได้ โดยใช้สมการ $Y = aX + b$ เมื่อ Y คือค่าความเข้มข้นของปริมาณสารอินทรีย์ a คือค่าคงที่อัตราการย่อยสลาย และ X คือระยะเวลาในการหมักปุ๋ย ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 15 พบว่า ชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบเติมอากาศมีอัตราการย่อยสลายต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น ซึ่งอาจเกิดจากการที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น และเมื่อพิจารณาการย่อยสลายจากค่าอินทรีย์คาร์บอน และอินทรียวัตถุ พบว่า ชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อ

ไนโตรเจน 13 แบบไม่เติมอากาศมีอัตราการย่อยสลายสูงกว่าทุกชุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการเติมอากาศในการหมักปุ๋ยนี้ไม่ได้ส่งผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองปุ๋ย

ตารางที่ 15 อัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยตลอดการหมักในเทอมของ VS

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนผสม C/N	สมการการย่อยสลาย	R^2
VS			
เติมอากาศ	C/N 10	Y = -0.0579X + 52.39	0.67
	C/N 13	Y = -0.0797X + 48.96	0.79
	C/N 15	Y = -0.0974X + 47.63	0.78
ไม่เติมอากาศ	C/N 10	Y = -0.0859X + 53.04	0.76
	C/N 13	Y = -0.1254X + 49.84	0.78
	C/N 15	Y = -0.0737X + 47.32	0.82

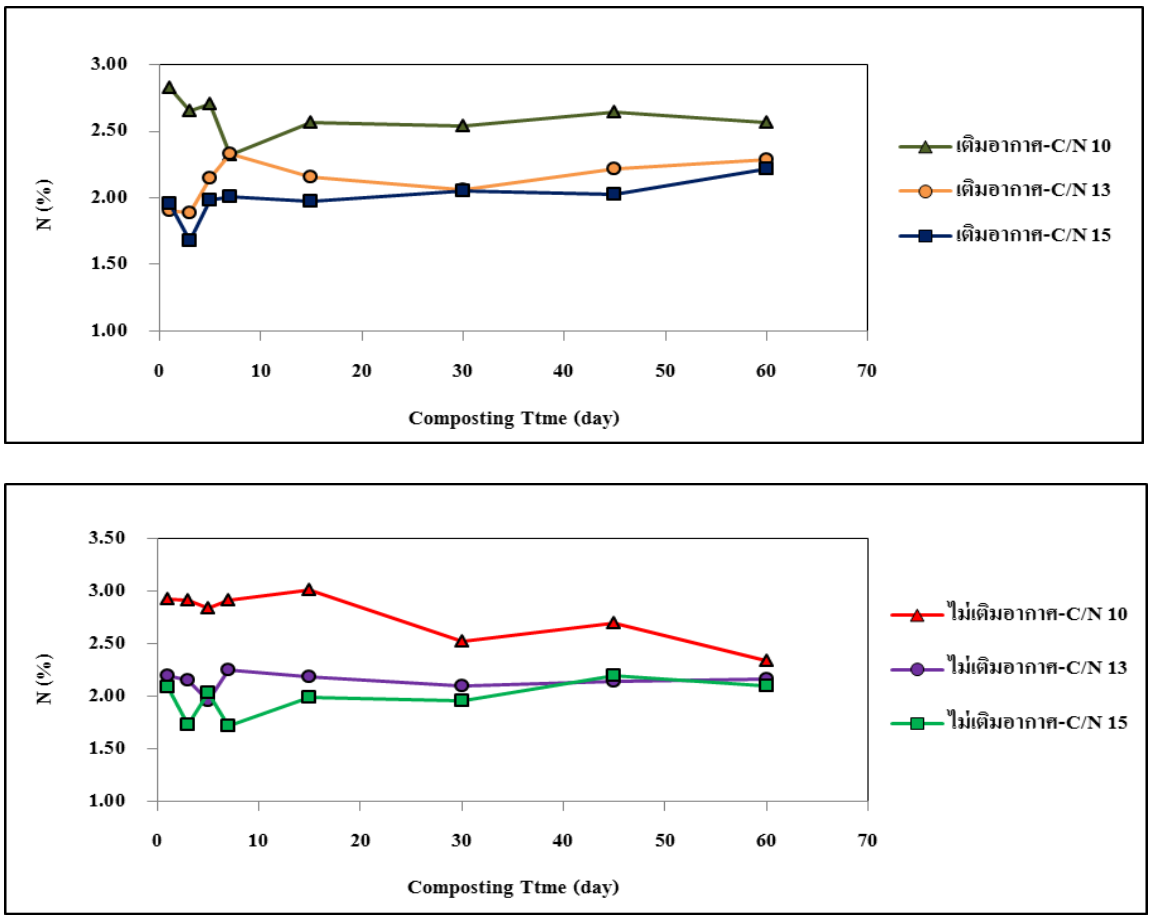
2.6 ปริมาณธาตุอาหารหลักที่เปลี่ยนแปลงภายในกองปุ๋ย

1) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN)

จากการศึกษาธาตุอาหารหลักในกองปุ๋ยหมัก ที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยไนโตรเจนทั้งหมด ผลมาจากการย่อยสลายโปรตีนของแบคทีเรีย และอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นไนโตรเจนจะสูญเสียสู่บรรยากาศ (Zucconi and Bbetroldi, 1998) ปกติแล้วธาตุไนโตรเจนจะมีอยู่ในอากาศในรูปของก๊าซไนโตรเจน แต่ไนโตรเจนในรูปของก๊าซ พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ (ยกเว้นพืชตะกูลถั่วที่มีระบบรากพิเศษสามารถแปรรูปก๊าซมาใช้ประโยชน์ได้) ไนโตรเจนที่รากพืชดึงไปใช้ อยู่ในรูปของสารประกอบไนเทรตไอออน (NO_3^-) และแอมโมเนียไอออน (NH_4^+) ธาตุไนโตรเจนเหล่านี้จะมาจากการสลายตัวของสารอินทรียวัตถุในดินซึ่งปลดปล่อยโดยจุลินทรีย์ สำหรับยูเรียแม้ว่าพืชจะดึงไปใช้ได้โดยตรงแต่ธาตุนี้มีอยู่น้อยในธรรมชาติ พืชดึงไปใช้เฉพาะกรณีที่ใส่ปุ๋ยยูเรียสังเคราะห์เท่านั้น (จิราณี วานิชกุล, 2538) และหากพืชขาดธาตุอาหารไนโตรเจน จะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของยอดอ่อน พืชจะโตช้า แคระแกร็น ใบเหลือง ใบและกิ่งก้านไม่ค่อยสมบูรณ์

จากการทดลองหมักปุ๋ย พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในกองปุ๋ยระหว่างการหมักช่วงเริ่มต้นของทุกชุดการทดลองมีไนโตรเจนอยู่ในช่วง 1.90-2.92% น้ำหนักแห้ง โดยชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบไม่เติมอากาศ มีไนโตรเจนเริ่มต้นสูงที่สุด มีค่า 2.92% น้ำหนักแห้ง รองลงมาเป็นชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบเติมอากาศ ซึ่ง

ชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 และชุดทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 15 แบบไม่เติมอากาศ พบว่าค่าไนโตรเจนที่วิเคราะห์ได้มีความแปรปรวนอยู่บ้างแต่มีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย แต่พบว่า ชุดการทดลองแบบเติมอากาศที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 และเติมอากาศที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 15 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการหมักปุ๋ย (ภาพที่ 18) อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตในระหว่างการหมักปุ๋ย รวมทั้งจะออกซิไดซ์อินทรียวัตถุ และปลดปล่อยแร่ธาตุที่จำเป็นต่อพืชออกมาทำให้ผลรวมของไนโตเจนเพิ่มขึ้นจากวันเริ่มต้นการหมักปุ๋ยจนสิ้นสุดการหมัก 60 วัน ส่วนอนินทรีย์ไนโตรเจนถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศ และมีรายงานของ Larney *et al*. (2002) ได้รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนเป็นผลเนื่องมาจากกิจกรรมการย่อยสลายทำให้สูญเสียมวลวัสดุไปประมาณ 20-30% และชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบไม่เติมอากาศ พบว่าไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลง ตลอดระยะเวลาการหมัก อาจเนื่องมาจากไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนีย (NH_3) จะระเหยไปเมื่อค่าพีเอชมากกว่า 7 (Polprasert, 2007) ซึ่งในการทดลองนี้ชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 มีค่าพีเอชมากกว่า 7 ซึ่งอาจส่งผลให้ไนโตรเจนลดลง ในขณะที่ชุดการทดลองอื่นสังเกตว่าค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลงเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาหมักมีค่าพีเอชน้อยกว่า 7 เมื่อแสดงถึงการสูญเสียไนโตรเจนจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างการหมัก โดยพิจารณาจากสมการเชิงเส้น พบว่า ชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบไม่เติมอากาศมีการสูญเสียไนโตรเจนสูงสุด 0.009% ไนโตรเจนต่อวัน เนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าวมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นต่ำ (ไนโตรเจนสูง) จึงอาจทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียสู่บรรยากาศและเกิดกลิ่นเหม็น (สุวสา กานตวนิชกูร, 2539) หรือเกิดจากการชะของไนโตรเจนในรูปที่ละลาย (Wu *et al*., 2010) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพที่ในช่วงแรกของการหมักปุ๋ยจะเกิดกลิ่นเหม็นขึ้นในกองปุ๋ยหมัก อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ย 60 วัน พบว่า ทุกชุดการทดลองมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 2.10-2.57% น้ำหนักแห้ง หรือคิดเป็น 0.71-1.32% น้ำหนักเปียก เมื่อเปรียบเทียบค่าปริมาณไนโตรเจนกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ในประเทศไทยปี 2548 พบว่า มีเพียงชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบเติมอากาศ และ ชุดปุ๋ยหมักแบบไม่เติมอากาศที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 และ 13 มีปริมาณไนโตรเจนน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ในประเทศไทย



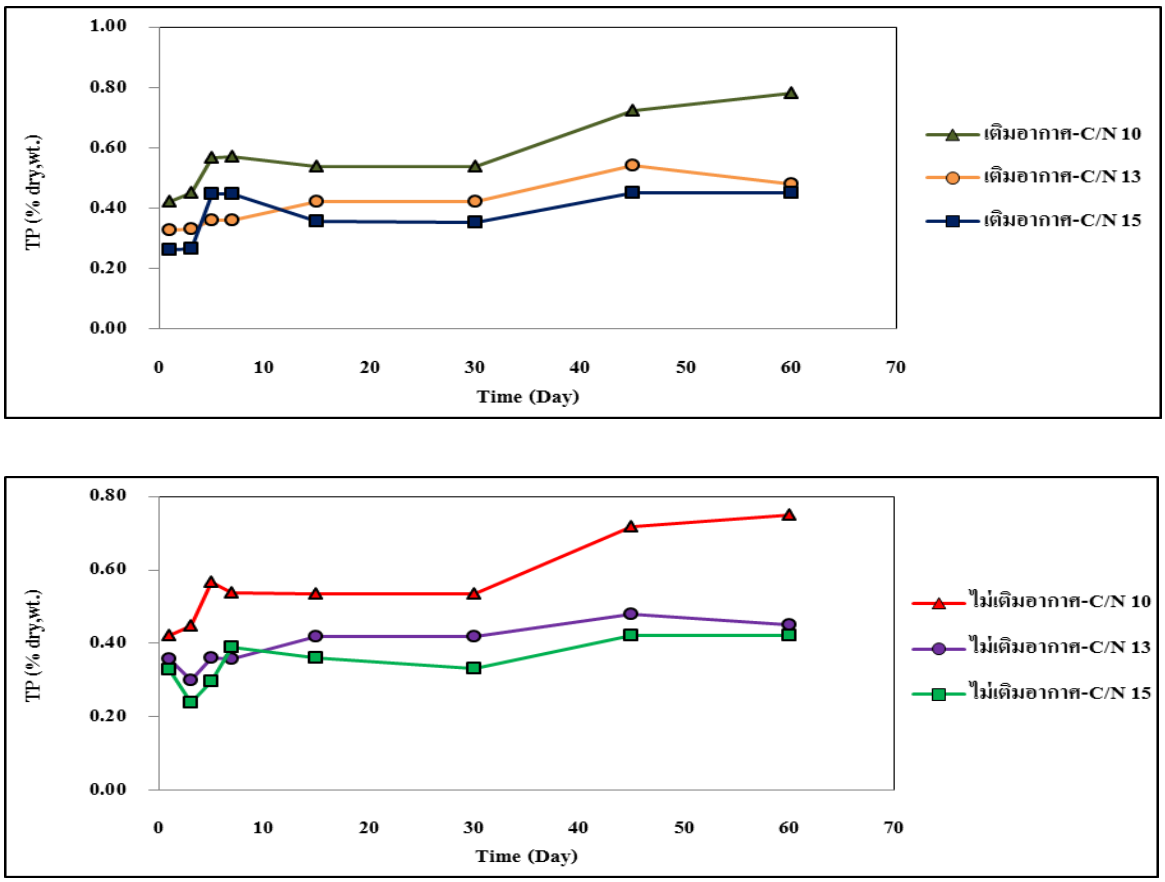
ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลอง

2) ฟอสฟอรัส (TP)

สำหรับปริมาณฟอสฟอรัส ในกองปุ๋ยซึ่งจัดว่าเป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญเหมือนกับไนโตรเจนและโพแทสเซียม เพราะฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่สำคัญมากมายหลายชนิด เนื่องจากฟอสฟอรัสสามารถทำปฏิกิริยากับอินทรีย์สารได้หลายลักษณะช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนเพื่อให้การเจริญเติบโตของพืชเจริญเติบโตได้ตามปกติ พืชจึงต้องการปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) ร้อยละ 0.3-0.5 โดยน้ำหนัก (ศิรินทรา วันดี, 2552) ทั้งนี้พืชที่ขาดฟอสฟอรัสจะส่งผลให้ใบขยายขนาดช้า ใบจึงเล็กและจำนวนใบน้อย ไม่ผลิดอกออกผล

จากการทดลอง พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสตลอดระยะเวลาในการหมักปุ๋ย ปริมาณฟอสฟอรัสทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 19) โดยตลอดระยะเวลาการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.35-0.57% น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 16) การเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสอาจเนื่องจากในกองปุ๋ยหมักมีมวลลดลง ทำให้ความเข้มข้นของธาตุอาหาร

เพิ่มสูงขึ้นจากการปลดปล่อยปริมาณฟอสฟอรัสออกมาระหว่างการย่อยสลาย การเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสในกระบวนการหมักปุ๋ยสอดคล้องกับการทดลอง Larney (2003) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษไม้ พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการลดลงของมวลวัสดุ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Larney *et al.* (2002) รายงานไว้ว่ากิจกรรมย่อยสลายจะทำให้สูญเสียมวลวัสดุไปประมาณ 20-30% ฟอสฟอรัสไม่เกิดการสูญเสียในระหว่างการย่อยสลาย ดังนั้นเมื่อมวลวัสดุลดลงระหว่างการย่อยสลายทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสมีปริมาณเพิ่มขึ้นจนสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ย



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 16 ปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสของแต่ละชุดการทดลองหมักปุ๋ย

ปริมาณความเข้มข้น	เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ		
	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15
P (%, น้ำหนักแห้ง)						
ค่าสูงสุด	0.78	0.54	0.45	0.75	0.48	0.42
ค่าต่ำสุด	0.42	0.33	0.26	0.42	0.30	0.24
ค่าเฉลี่ย	0.57±0.12	0.40±0.08	0.38±0.08	0.56±0.12	0.39±0.06	0.35±0.06

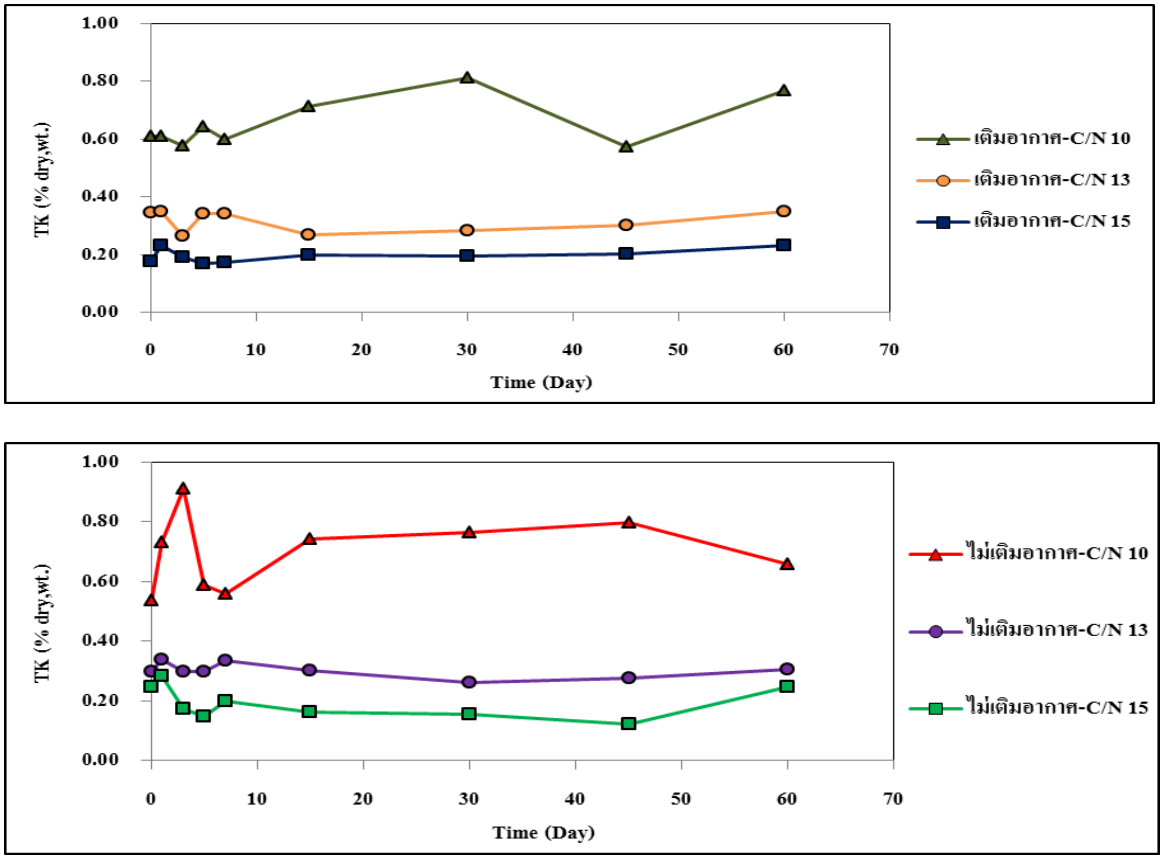
นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสอาจเนื่องมาจากบทบาทการทำงานของจุลินทรีย์ ในสารเร่ง พด.1 โดยกระบวนการของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตด้วยเอนไซม์ (mineralization) และการตรึงฟอสฟอรัส (immobilization) โดยการดูดซึมเข้าสู่ภายในเซลล์ และการละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตด้วยกรดอินทรีย์ (solubilization) และสามารถปลดปล่อยอินทรีย์ฟอสฟอรัสโดยจุลินทรีย์ในกลุ่มแบคทีเรียและราที่มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนรูปฟอตเฟตในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Salehrastin *et al*, 1998) อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ย 60 วัน พบว่า ทุกชุดการทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 อยู่ในช่วง 0.42-0.61% น้ำหนักเปียก ซึ่งการทดลองส่วนใหญ่มีค่า P_2O_5 ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยที่กำหนดมีเพียงชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 และ 15 ที่ไม่ผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ในประเทศไทยปี 2548 ซึ่งกำหนดให้มีค่า $\geq$0.5% น้ำหนักเปียก

3) โพแทสเซียม(TK)

โพแทสเซียมเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อขบวนการสังเคราะห์ และการเคลื่อนย้ายแป้งในพืช ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายของน้ำตาลจากใบไปสู่ผลโดยเฉพาะพืชผักประเภทหัว โพแทสเซียมที่พืชดึงไปใช้ประโยชน์ คือโพแทสเซียมไอออน (K^+) หากพืชขาดธาตุโพแทสเซียม จะส่งผลให้ใบมีขอบสีซีด ระหว่างเส้นใบจะมีจุดสีน้ำตาล อาการใบเริ่มแก่ก่อนปกติ รากเจริญช้า ลำต้นอ่อนแอ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมในกองปุ๋ย พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมมีค่าไม่ต่างจากค่าเริ่มต้นของการหมักมากนัก (ภาพที่ 20) ปริมาณโพแทสเซียมที่เปลี่ยนแปลงนั้นอาจเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์จากสารเร่ง พด.1 และจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยที่มีการใช้โพแทสเซียมในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ในกองปุ๋ยในกระบวนการหมัก จากรายงานของ Paekum *et al*. (2013) ที่ศึกษาปริมาณธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยหมักผักตบชวาที่ย่อยสลายโดยเชื้อรา *Trichoderma* sp. พบว่า เชื้อรา *Trichoderma* sp. มีการสร้างเอนไซม์เซลลูเลส โปรติเอส ไซแลนเนส และยูรีเอส ที่ย่อยสลาย

สารประกอบโปรตีนและคาร์โบไฮเดรทที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนซึ่งจะมีอัตราการสลายตัวเร็ว ส่วนสารประกอบชนิดเซลลูโลสและลิกนินจะมีอัตราการสลายตัวช้าซึ่งจะปลดปล่อยธาตุอาหารให้อยู่รูปอิสระ อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักที่เวลาต่างๆ อาจเป็นผลมาจากอัตราการเกิดขบวนการ immobilization และ mineralization ของธาตุอาหารในปุ๋ยหมัก (การเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารจากอินทรีย์เป็นอนินทรีย์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้) ถ้าอัตราการเกิด immobilization สูงกว่าmineralization ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักจะลดลง แต่ถ้าอัตราการเกิด immobilization ต่ำกว่า mineralization ปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ในปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้น ซึ่ง ปัจจัยการสร้างเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ประกอบด้วย ปริมาณเชื้อ แหล่งคาร์บอน พีเอช อุณหภูมิ การมีตัวชักนำ (inducer) และการให้อากาศ (Ali *et al.*,1991) ซึ่งทุกชุดการทดลองนี้มีปริมาณโพแทสเซียมตลอดระยะเวลาการหมักที่ 60 วัน มีค่าอยู่ในช่วง 0.19-0.72% น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 17) เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ย 60 วัน พบว่าทุกชุดการทดลองมีปริมาณโพแทสเซียมในรูป K_2O ไม่ผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ในประเทศไทยปี 2548 เนื่องจากมีค่าอยู่ในช่วง 0.14-0.30% น้ำหนักเปียก



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 17 ปริมาณความเข้มข้นของโพแทสเซียมของแต่ละชุดการทดลองหมักปุ๋ย

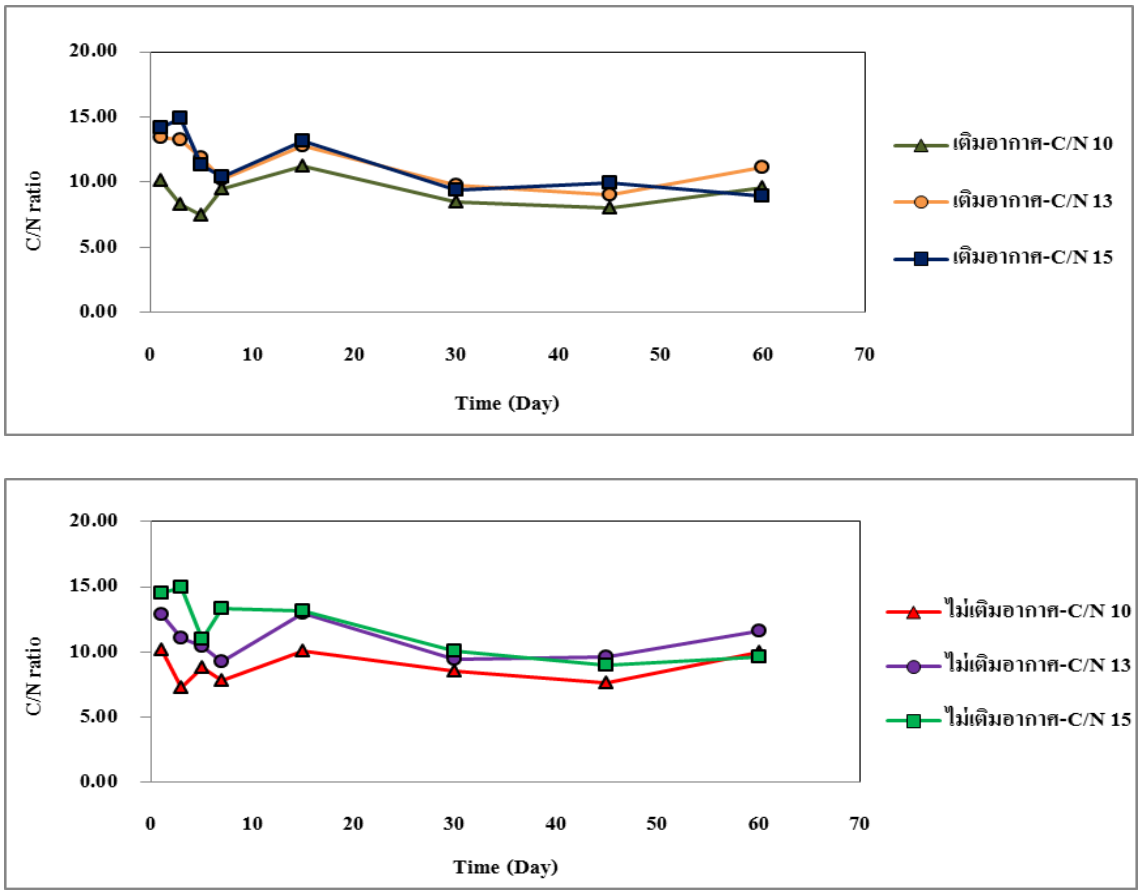
ปริมาณความเข้มข้น	เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ		
	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15
K (%, น้ำหนักแห้ง)						
ค่าสูงสุด	0.81	0.35	0.23	0.91	0.34	0.28
ค่าต่ำสุด	0.58	0.27	0.17	0.56	0.26	0.12
ค่าเฉลี่ย	0.66±0.09	0.31±0.04	0.20±0.02	0.72±0.12	0.30±0.03	0.19±0.05

2.7 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

ปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการพิจารณาการหมักปุ๋ยควรคำนึงถึงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ซึ่งความสมดุลของธาตุอาหารในกองปุ๋ยนั้นขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้หมัก คาร์บอนจัดเป็นแหล่งพลังงานเบื้องต้นที่จุลินทรีย์ต้องการ และปริมาณไนโตรเจนจะมีอิทธิพลต่อการเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ ดังนั้นการรักษาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้สมดุลเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ปุ๋ยมีคุณภาพดี (ศิรินทรา วันดี, 2552) ใช้ในการพิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยหมัก และช่วยควบคุมอัตราการย่อยสลายระหว่างการหมัก นอกจากนี้ กรมพัฒนาที่ดิน (2548) กล่าวว่า แบคทีเรียจะดูดซับคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์เข้าไปในเซลล์ 10-15 หน่วย ต่อสารประกอบไนโตรเจน 1 หน่วย ในขณะที่ Haug (1980) กล่าวว่าจุลินทรีย์ต้องการอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 15-30:1 เพื่อให้เกิดความสมดุลของสารประกอบในเซลล์ ดังนั้นจึงควรควบคุมให้สารประกอบของวัตถุดิบมีค่าใกล้เคียงต่อความต้องการของแบคทีเรีย เพื่อให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ดี

การทดลองนี้มีการกำหนดให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นต่ำซึ่งสามารถลดการเติมวัสดุอื่นๆ เพื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้แต่ต้องมีระยะเวลาในการหมักนานกว่า 60 วัน ซึ่งผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของกองปุ๋ยหมักในชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศมีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในลักษณะกราฟเกือบเป็นเส้นตรง ดังภาพที่ 21 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของแต่ละชุดการทดลองตลอดระยะเวลาการหมักชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 และ 15 แบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการหมักโดยจะลดลงในช่วง 30 วันของการหมักและจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย (ตารางที่ 18) ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของวัสดุหมักนั้นความเข้มข้นของคาร์บอนลดลงโดยที่ไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อ

ไนโตรเจนลดลง (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551) ทำให้กองปุ๋ยมีลักษณะแห้ง เนื่องจากคาร์บอนเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (NH_4-N) ไนเตรท-ไนโตรเจน(NO_3-N) ทำให้ระดับแอมโมเนียเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและลดลงมาเมื่อเข้าสู่ระยะสิ้นสุดกระบวนการหมัก เมื่อพิจารณาการลดลงของค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน จะเห็นว่าชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 15 แบบเติมอากาศมีค่าการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจากวันเริ่มต้นจนถึงวันสิ้นสุดกระบวนการหมักมากที่สุด และปุ๋ยหมักสุดท้ายที่ได้ทุกชุดการทดลองมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่า 12 ซึ่ง Bernal *et al*. (1998) ได้แนะนำว่าปุ๋ยที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายแล้ว สุดท้ายควรมีค่า C/N ratio ต่ำกว่า 12:1 และปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีควรมีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของไทย ถือว่าสามารถนำไปใช้ปลูกพืชได้



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 18 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนผสม C/N	ค่า C/N ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย				% การลดลง
		เริ่มต้น	30 วัน	45 วัน	60 วัน	
เติมอากาศ	C/N 10	10.16	8.45	8.05	9.56	6.01
	C/N 13	13.42	9.73	9.00	11.10	17.27
	C/N 15	14.58	9.37	9.91	8.96	38.58
ไม่เติมอากาศ	C/N 10	10.21	8.56	7.62	9.98	2.16
	C/N 13	12.86	9.46	9.57	11.63	9.56
	C/N 15	14.59	10.10	8.94	9.63	33.99

2.8 ลักษณะของปุ๋ยหมักที่ได้

จากการทดลองการหมักปุ๋ยด้วยผักตบชวา และตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ทั้ง 6 ชุดการทดลอง พบว่า เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาการหมัก 60 วัน ปุ๋ยหมักที่ได้ในทุกชุดการทดลองมีลักษณะนุ่มยุ่ย ขาดออกจากกันได้ง่าย มีสีดำ ไม่มีกลิ่น ดังแสดงในภาพที่ 22 บ่งบอกถึงลักษณะปุ๋ยซึ่งเหมาะสมสำหรับการใช้เป็นปุ๋ย แสดงถึงการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ย (maturity) และเมื่อนำผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และเคมีของปุ๋ยหมักที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2548) พบว่า ทุกชุดการทดลองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ในเรื่องของขนาดของปุ๋ย ปริมาณพลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ ปริมาณหิน-กรวด ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และโลหะหนักจำพวกสารหนู แคดเมียม โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว และปรอท โดยมีปริมาณโครเมียม ทองแดง และตะกั่วอยู่ในช่วง 2.33-4.14 มก./กก., 3.97-10.30 มก./กก. และ0.54-1.09 มก./กก. น้ำหนักเปียก ตามลำดับ และปริมาณสารหนู (<0.02 มก./กก.) แคดเมียม (<0.001 มก./กก.) และปรอท (<0.001 มก./กก.) มีค่าผ่านมาตรฐานปุ๋ยกำหนด แต่ปุ๋ยที่ได้ในทุกชุดการทดลองยังมีปริมาณความชื้นสูงไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดว่าปุ๋ยหมักที่ดีควรมีความชื้นไม่เกิน 35 %โดยน้ำหนัก เนื่องจากวัสดุที่ใช้หมักเริ่มต้นมีปริมาณความชื้นสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ ณัฐพล ศรีเมือง (2553) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาในการหมักปุ๋ยผักตบชวา พบว่า ตั้งแต่ระยะแรกจนถึงสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ยเปอร์เซนต์ความชื้นยังสูงถึง 70% เนื่องจากผักตบชวามีเส้นใยที่สามารถดูดซับน้ำได้ปริมาณสูงซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิภายในกองปุ๋ยที่ไม่สูงมากนักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย เช่นเดียวกับการทดลองนี้ที่มี

ผักตบชวาเป็นวัสดุหมักร่วม ซึ่งการทดลองนี้ ปุ๋ยหมักสุดท้ายมีปริมาณความชื้นในช่วง 40.50-69.63% โดยชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบไม่เติมอากาศ มีปริมาณความชื้นสูงสุด และชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 15 แบบเติมอากาศมีปริมาณความชื้นต่ำสุด (ตารางที่ 19)

ปุ๋ยหมักชุดเติมอากาศ C/N 10

ปุ๋ยหมักชุดเติมอากาศ C/N 13

ปุ๋ยหมักชุดเติมอากาศ C/N 15

ปุ๋ยหมักชุดไม่เติมอากาศ C/N10

ปุ๋ยหมักชุดไม่เติมอากาศ C/N13

ปุ๋ยหมักชุดไม่เติมอากาศ C/N15

ภาพที่ 22 ลักษณะทางกายภาพของปุ๋ยหมักที่ได้เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการหมัก 60 วัน

อย่างไรก็ตามพบว่าชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 ทั้งแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ และชุดการทดลองไม่เติมอากาศที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 มีธาตุอาหารพืชในแง่ของไนโตรเจนไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่มาตรฐานซึ่งกำหนดไว้ ≥1.0% โดยมีค่า 0.83%, 0.71% และ 0.87% น้ำหนักเปียก ตามลำดับ เนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าวมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นต่ำเกิดการสูญเสียไนโตรเจน ประกอบกับค่าความชื้นที่ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ทำให้ปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยไม่ถึง 1.0 % สำหรับชุดการทดลองที่พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสไม่ผ่านตามเกณฑ์กำหนดมาตรฐานปุ๋ยที่อยู่ในรูปของค่า $P_2O_5 \geq 0.5$ คือชุดการทดลองไม่เติมอากาศ ที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 และ 15 ซึ่งมีค่า 0.42% และ 0.46% น้ำหนักเปียก จากการทดลองในครั้งที่จะเห็นว่าความแตกต่างของการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศ และไม่เติมอากาศโดยมีสารเร่ง พด.1 ซึ่งเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักให้เกิดกระบวนการแปรรูปวัสดุหมักได้ดีขึ้นนั้นพบว่าในชุดการทดลองแบบเติมอากาศ เมื่อมีอากาศเพียงพอจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโต และแพร่พันธ์รวดเร็วทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์กลายเป็นแร่ธาตุได้ได้รวดเร็ว และปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปความร้อนจากการออกซิเดชั่นของสารอินทรีย์จะให้ผลผลิตสุดท้ายที่มีความเสถียรกว่าชุดการทดลองไม่เติมอากาศ ผลผลิตปฏิกิยาต่างกันจากการหมักปุ๋ยแบบเติมอากาศเนื่องจากไม่ได้เกิดก๊าซมีเทนที่มีกลิ่นเหม็น จะได้ปุ๋ยที่มีคุณภาพดี

นอกจากนี้ พบว่า ทุกชุดการทดลองมีปริมาณโพแทสเซียมในรูปของ K_2O ไม่ผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งค่าที่เหมาะสมตามมาตรฐานต้องมีปริมาณโพแทสเซียมในรูปของ K_2O ไม่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5% โดยในปุ๋ยที่หมักได้มีค่าอยู่ในช่วง 0.14-0.30% น้ำหนักเปียก (ตารางที่ 19) อาจต้องปรับปรุงในแง่การลดความชื้นของวัสดุหมักตั้งต้น หรือหาวัสดุอื่นมาหมักร่วมเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุโพแทสเซียมในการศึกษาครั้งต่อไป

ตารางที่ 19 ผลการเปรียบเทียบปุ๋ยหมักที่ได้หลังสิ้นสุดการหมักกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของไทย

พารามิเตอร์	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์	เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ		
		C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15
MC (%)	≤ 35	67.58	50.19	40.50	69.63	59.59	52.18
Size (%)	≤12.5x12.5 mm	97.25	97.08	97.19	97.20	97.21	97.14
TS (%)	-	32.42	49.81	59.50	30.37	40.41	47.82
Marble and gravel (%)	≤ 5%	0.12	2.1	1.95	0.28	0.09	2.18

ตารางที่ 19 ผลการเปรียบเทียบปุ๋ยหมักที่ได้หลังสิ้นสุดการหมักกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของไทย (ต่อ)

พารามิเตอร์	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์	เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ		
		C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15
OM (% wet wt.)	≥ 30 %	13.72	21.83	20.40	12.21	17.52	16.68
OC (%wet wt.)	-	7.96	12.66	11.83	7.08	10.16	9.67
pH	5.5-8.5	8.45	6.14	6.23	8.20	6.49	6.47
C/N	≤ 20:1	9.56	11.10	8.96	9.98	11.63	9.63
EC (dS/m)	≤ 6	2.25	2.64	2.9	1.87	2.18	3.17
N (% wet wt.)	≥1.0	0.83	1.14	1.32	0.71	0.87	1.00
N (% dry wt.)		2.57	2.29	2.22	2.34	2.16	2.10
P_20_5 (% wet wt.)	≥0.5	0.58	0.55	0.61	0.52	0.42	0.46
P_20_5 (%drywt.)		1.79	1.10	1.03	1.72	1.03	0.96
K_2O (% wet wt.)	≥0.5	0.30	0.21	0.17	0.24	0.15	0.14
K_2O (% dry wt.)		0.93	0.42	0.28	0.79	0.37	0.30
Germination index (%)	≥80	98.56	97.97	78.78	98.41	82.56	80.33
As (mg/kg, wet wt.)	≤50	<LD*	<LD*	<LD*	<LD*	<LD*	<LD*
Cd (mg/kg, wet wt.)	≤5	<LD**	<LD**	<LD**	<LD**	<LD**	<LD**
Cr (mg/kg, wet wt.)	≤300	2.33	3.99	4.14	2.50	3.35	4.05
Cu (mg/kg, wet wt.)	≤500	4.5	7.9	10.3	3.9	6.2	7.9
Pb (mg/kg, wet wt.)	<500	0.60	0.86	1.09	0.54	0.84	0.78
Hg (mg/kg, wet wt.)	≤2	<LD**	<LD**	<LD**	<LD**	<LD**	<LD**
VS (% dry wt.)	-	48.75	44.75	41.21	48.71	43.29	43.53
Ash (% dry wt.)	-	51.25	55.16	58.79	51.29	56.71	56.47

หมายเหตุ * ต่ำกว่าค่า detection limit (0.02 mg/kg ต่อน้ำหนักเปียก)

** ต่ำกว่าค่า detection limit (0.001 mg/kg ต่อน้ำหนักเปียก)

2.9 ค่าดัชนีการงอก

การย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมักเป็นการบ่งบอกถึงความพร้อมของปุ๋ยที่สามารถใช้งานเป็นสารปรับปรุงดินในการปลูกพืชโดยที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช ซึ่งค่าการย่อยสลายสมบูรณ์

นั้นจะทำการวัดโดยทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ด (germination index) ซึ่งใช้เมล็ดกวางตุ้งในการทดสอบการงอกโดยใช้น้ำสกัดจากปุ๋ยหมักเปรียบเทียบกับน้ำกลั่น ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถวัดสารพิษที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักที่เป็นพิษต่อพืชได้โดยตรง เช่น แอมโมเนีย กรดอินทรีย์ต่างๆ หรือปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายไม่เสร็จสมบูรณ์ที่ตกค้างอยู่ในปุ๋ยหมักโดยตรง (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

ผลจากการทดสอบ พบว่า ทุกชุดการทดลองมีค่าดัชนีการงอกผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (2548) ยกเว้นชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 15 แบบเติมอากาศมีค่าดัชนีการงอกเพียง 78.78% ซึ่งมีค่าต่ำกว่าทุกชุดการทดลองและน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีค่า ≥80% อาจเนื่องมาจากมีกรดอินทรีย์บางชนิดที่เป็นพิษต่อพืชสะสมอยู่หรือการย่อยสลายของปุ๋ยไม่เสร็จสมบูรณ์ สำหรับชุดการทดลองที่ค่าดัชนีการงอกสูงสุด คือ ชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบเติมอากาศ รองลงมาคือชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน10 แบบไม่เติมอากาศ โดยมีค่าดัชนีการงอก 98.56% และ 98.41% ตามลำดับ บ่งบอกว่ามีการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้น และเกิดการย่อยสลายสมบูรณ์ เพราะเมื่อทดสอบการงอกของเมล็ดแล้วสามาถทำให้เมล็ดงอกมีรากยาวพร้อมเจริญเติบโตต่อไป

3. ผลการทดสอบศักยภาพในการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้โดยการทดสอบด้วยการปลูกต้นดาวเรือง

จากการพิจารณาผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยที่หมักได้ 60 วัน ที่มีลักษณะปุ๋ยหมักที่ดีที่สุดและรองลงมา โดยพิจารณาจากค่า germination index (GI) และธาตุอาหารพืช ซึ่งพบว่า ชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบเติมอากาศ มีลักษณะปุ๋ยหมักที่ดีที่สุด โดยให้ค่า GI ถึง 98.56% และมีธาตุอาหารพืชในรูป %N, $\%P_2O_5$ และ $\%K_2O$ เท่ากับ 0.83%, 0.58% และ 0.30% น้ำหนักเปียก ตามลำดับ และชุดการทดลองที่มีลักษณะปุ๋ยหมักที่ดีรองลงมา คือ ชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 แบบเติมอากาศ ให้ค่า GI 97.97% มีธาตุอาหารพืชในรูป %N, $\%P_2O_5$ และ $\%K_2O$ เท่ากับ 1.14%, 0.55% และ 0.21% น้ำหนักเปียก ตามลำดับ จึงเลือกตัวอย่างปุ๋ยที่หมักได้จาก 2 ชุดการทดลองดังกล่าว ไปทดลองปลูกต้นดาวเรืองเป็นระยะเวลา 45 วัน โดยใช้วิธีการปลูกในถุงดำ ซึ่งแต่ละชุดการทดลองมีการเติมปุ๋ยหมักที่เลือกนำมาทดสอบการปลูกต้นดาวเรืองโดยเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนของปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมตามทฤษฎีการปลูกต้นดอกดาวเรืองซึ่งกรมส่งเสริมการเกษตร (2545) ได้แนะนำให้ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ให้ต้นดาวเรืองในอัตรา 1 ช้อนชาต่อต้น (5 กรัมต่อต้น) โดยเติมปุ๋ยหมักที่ใช้ทดสอบในปริมาณน้อยกว่า เท่ากัน และมากกว่าปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก รวมถึงใช้ดินธรรมชาติเพียงอย่างเดียวและดินธรรมชาติผสมปุ๋ยเคมีเพื่อเป็นตัวควบคุม รวมชุดการทดลอง

ทั้งหมด 8 ชุดการทดลอง โดยแต่ละชุดการทดลองทำการทดลอง 4 ซ้ำ ซึ่งมีผลการศึกษาดังรายละเอียดดังนี้

3.1 ปริมาณธาตุอาหารในดินของชุดการทดลองปลูกต้นดาวเรือง

ผลการวิเคราะห์ลักษณะของดินที่ใช้ทดลองก่อนปลูกต้นดาวเรืองและหลังปลูกต้นดาวเรือง แสดงดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ลักษณะของดินที่ใช้ทดลองก่อนปลูกต้นดาวเรืองและหลังปลูกต้นดาวเรือง

ชุดทดลอง	พารามิเตอร์							
	ก่อนปลูกดาวเรือง				หลังปลูกดาวเรือง			
	pH	N	P_2O_5	K_2O	pH	N	P_2O_5	K_2O
		(% dry wt.)				(% dry wt.)		
Control 1 (ดินเปล่า)	7.79	0.10	1.23	0.01	7.40	0.03	1.18	0.01
Control 2 (ดิน + ปุ๋ยเคมี)	6.77	0.11	1.54	0.04	7.84	0.08	1.34	0.01
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 1	8.14	0.10	1.39	0.01	7.22	0.08	1.23	0.01
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 2	8.07	0.12	1.35	0.02	7.77	0.08	1.20	0.01
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 3	7.75	0.15	1.35	0.03	7.44	0.09	1.21	0.01
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 1	7.66	0.11	1.28	0.01	7.43	0.11	1.22	0.01
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 2	7.59	0.19	1.39	0.01	7.35	0.17	1.29	0.01
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 3	7.48	0.20	1.59	0.02	7.23	0.12	1.36	0.01

หมายเหตุ : dose 1 คือ เติมปริมาณไนโตรเจน 0.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก
dose 2 คือ เติมปริมาณไนโตรเจนเท่ากับปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก
dose 3 คือ เติมปริมาณไนโตรเจน 1.5 เท่า ของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก

3.1.1 ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน

ผลการทดลองศักยภาพในการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้โดยการปลูกต้นดาวเรือง พบว่า ในช่วงเริ่มต้นปริมาณไนโตรเจนในดินที่ปลูกต้นดาวเรืองในแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณไนโตรเจนต่างกันเล็กน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณปุ๋ยหมักที่เติมลงไป โดยมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 0.10-0.20% น้ำหนักแห้ง อย่างไรก็เมื่อปลูกต้นดาวเรืองเป็นระยะเวลา 45 วัน พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในดินที่ปลูกต้นดาวเรืองของทุกชุดการทดลองมีปริมาณไม่แตกต่างกัน ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.03-0.17% น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 20) โดยทุกชุดการทดลองปริมาณไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลง

เพียงเล็กน้อยจากเมื่อเริ่มปลูก ยกเว้นชุดการทดลองการเติมปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 ที่มีการเติมไนโตรเจนในปริมาณ 0.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลอง ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 1) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนหลังมีการปลูกต้นดาวเรือง จะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกับผลการเจริญเติบโตของต้นดอกดาวเรืองเนื่องจากธาตุอาหารไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่ช่วยในการเจริญเติบโตในของลำต้น และทรงพุ่มให้แก่ต้นพืช ซึ่งพบว่าชุดการทดลองนี้มีศักยภาพความเป็นปุ๋ยในเจริญด้านความสูงต้นน้อยกว่าชุดการทดลองอื่น อาจเนื่องมาจากพืชไม่ได้ใช้ธาตุอาหารไนโตรเจน เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซนต์การลดลงของปริมาณธาตุอาหารในชุดการทดลองหลังปลูก ซึ่งชุดการทดลองที่มีปริมาณไนโตรเจนลดลงมากที่สุดคือชุดการทดลองที่ใช้ดินเปล่าเพียงอย่างเดียว (Control 1 (ดิน)) คิดเป็นการลดลงของปริมาณไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 70 ซึ่งต่างจากการศึกษาของ อภิรัฐ จูทอง (2553) ซึ่งได้ทำการปลูกต้นกระถินเทพาด้วยวัสดุปรับปรุงดินจากกากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและมูลสุกร โดยพบว่า ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนในดินที่ปลูกกระถินเทพาในแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากต้นกระถินเทพาเป็นพืชตระกูลถั่วจึงมีปมรากที่ตรึงธาตุไนโตรเจนมาใช้ประโยชน์ได้ทำให้ในดินทั้งชุดควบคุมดิน และชุดทดลองวัสดุปรับปรุงดินมีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

3.1.2 ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัส

ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ในดินที่ปลูกต้นดาวเรือง พบว่า ทุกชุดการทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 อยู่ในช่วง 1.23-1.59% น้ำหนักแห้ง และเมื่อปลูกต้นดาวเรืองเป็นระยะเวลา 45 วัน พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ในดินที่ปลูกต้นดาวเรืองของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และมีปริมาณไม่แตกต่างกันซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.18-1.36% น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 21) เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การลดลงของธาตุอาหารหลังปลูก ซึ่งอาจจะบ่งบอกได้ว่าพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์นั้น โดยชุดการทดลองที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ลดลงในปริมาณใกล้เคียงกันเป็นชุดการทดลองใส่ปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 ที่มีการเติมไนโตรเจน 0.5 เท่า ปริมาณเท่ากับ และ 1.5 เท่าของปุ๋ยเคมี ซึ่งสอดคล้องกับผลการเจริญเติบโตในด้านจำนวนดอกเฉลี่ย ขนาดดอกเฉลี่ย ในชุดการทดลองนี้ให้ผลดีกว่าชุดดินอย่างเดียว และชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยหมักอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 ที่มีการเติมไนโตรเจนในปริมาณเท่ากับปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก (ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 1) คิดเป็นเปอร์เซนต์ลดลงร้อยละ 4.07 และ 4.69 ตามลำดับ

และพบว่าดินในชุดการทดลองหลังปลูกที่เปอร์เซนต์ธาตุอาหารพืชลดลงมากที่สุดคือชุดการทดลองการเติมปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13

ที่มีการเติมไนโตรเจนในปริมาณ 1.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก (ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 3) คิดเป็นร้อยละ 14.47 (ตารางที่ 21)

3.1.3 ปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียม

ปริมาณโพแทสเซียมในรูป K_2O ของทุกชุดการทดลองในดินหลังปลูกต้นดาวเรืองในแต่ละชุดทดลองมีแนวโน้มคงที่ ซึ่งมีค่าประมาณ 0.01% น้ำหนักแห้ง โดยเมื่อเริ่มต้นปลูกปริมาณโพแทสเซียมในรูป K_2O มีค่าอยู่ในช่วง 0.01-0.04% น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 21) แต่เมื่อคิดเป็นปริมาณการลดลงของโพแทสเซียมในชุดการทดลอง พบว่า มีปริมาณการลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 50-75 (ตารางที่ 21) อย่างไรก็ตามเนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ดี จึงสูญเสียจากการถูกชะล้างออกมาจากดินได้ง่าย (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2544) จึงทำให้มีปริมาณสะสมในดินน้อย

ตารางที่ 21 การลดลงของปริมาณธาตุอาหารหลังการปลูกดาวเรือง

ชุดทดลอง	% การลดลง		
	N	**P_2O_5**	**K_2O**
Control 1 (ดินเปล่า)	70.00	4.07	0.00
Control 2 (ดิน + ปุ๋ยเคมี)	27.27	12.99	75.00
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N10 dose 1	20.00	11.51	0.00
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 2	33.33	11.11	50.00
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 3	40.00	10.37	66.67
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 1	0.00	4.69	0.00
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 2	10.53	7.19	0.00
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 3	40.00	14.47	50.00

หมายเหตุ : dose 1 คือ เติมปริมาณไนโตรเจน 0.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก
dose 2 คือ เติมปริมาณไนโตรเจนเท่ากับปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก
dose 3 คือ เติมปริมาณไนโตรเจน 1.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก

3.2 ผลของการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง

ผลการทดสอบการใช้เป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักเมื่อนำมาทดลองปลูกดาวเรือง (ภาพที่ 23) โดยใส่ปุ๋ยให้กับต้นดาวเรืองโดยเติมปุ๋ยหมักที่ใช้ทดสอบให้ปริมาณไนโตรเจน0.5 เท่า เท่ากับและ1.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก ใช้ตัวควบคุมคือ ปลูกด้วยดินธรรมชาติอย่าง

เดียว และดินที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ซึ่งใช้ระยะเวลาในการปลูก 45 วัน ผลที่ได้ที่แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของความสูง จำนวนดอก และขนาดของดาวเรืองที่พบในแต่ละชุดการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

ภาพที่ 23 ลักษณะต้นดาวเรืองในแต่ละชุดการทดลองเมื่อย้ายต้นกล้ามาปลูก 1 สัปดาห์

3.2.1 อัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงต้นดาวเรือง

การทดสอบเพื่อใช้งานเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้ต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงของต้นดาวเรือง (ตารางที่ 22) พบว่า ชุดดินอย่างเดียว มีอัตราการความสูงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นใน 2 สัปดาห์แรก แต่จะเจริญในช่วงระยะเวลาสั้นกว่าชุดการทดลองอื่น ประกอบกับลำต้นแคระแกรน ใบน้อย เนื่องจากในดินมีปริมาณธาตุอาหารจำกัด เมื่อพืชนำมาใช้หมดไปการเจริญเติบโตของดาวเรืองก็จะคงที่ ต่างจากชุดการทดลองอื่นที่มีองค์ประกอบของธาตุอาหารในปุ๋ยที่พืชนำไปใช้ได้และเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อปลูกดาวเรืองเป็นระยะเวลา 45 วัน พบว่า ทุกชุดการทดลองมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับดินเปล่าอย่างเดียว (ตารางที่ 23) ความแตกต่างที่พบ เนื่องจากมีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมในวัสดุปลูก โดยเฉพาะปัจจัยทางบวก เช่น ความพรุนของดิน การควบคุมการให้น้ำ สภาพอากาศ และธาตุอาหารในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 พบว่า การเติมปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ให้อัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงของต้นดาวเรืองสูงที่สุด (ภาพที่ 24) ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงที่ 45 วัน เท่ากับ 0.83±0.03 ซม./วัน อย่างไรก็ตามทุกชุดการทดลองให้อัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงของต้นดาวเรืองไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการเติมปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงที่ 45 วันอยู่ในช่วง 0.68-0.78 ซม./วัน ดังแสดงในตารางที่

22 ซึ่งมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียงกับชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงต้นดาวเรืองดีที่สุด

ตารางที่ 22 อัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงของต้นดาวเรือง

ชุดการทดลอง	ความสูงเฉลี่ยเริ่มต้น (cm)	ความสูงเฉลี่ยตามวันที่ศึกษา (cm)						อัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูง (cm/day) ช่วง 1-45 วัน
		7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	45 วัน	
Control 1 (ดิน)	7.90±0.81	14.75±1.44	18.75±1.19	23.25±1.19	24.25±1.19	28.50±1.91	30.25±0.50	0.50±0.02
Control 2 (ปุ๋ยเคมี)	7.13±1.60	11.00±1.41	17.00±2.16	24.50±1.73	31.50±1.29	41.25±1.26	44.50±1.29	0.83±0.03
ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 1	6.75±0.29	12.63±0.63	18.50±2.83	28.13±0.95	32.63±2.75	36.75±4.35	38.50±3.70	0.71±0.09
ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 2	5.05±0.41	9.88±0.63	14.13±1.18	26.88±0.75	34.00±2.16	37.00±1.41	39.25±1.50	0.76±0.03
ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 3	4.55±0.33	9.63±0.63	14.88±1.31	27.38±1.44	36.00±1.83	38.50±1.73	39.75±1.71	0.78±0.04
ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 1	3.85±0.44	8.88±0.75	13.13±1.03	23.50±2.58	28.75±4.27	32.50±6.14	34.50±6.81	0.68±0.15
ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 2	3.75±1.19	9.13±1.11	13.13±1.31	24.00±2.42	28.25±2.36	31.00±5.10	34.75±3.77	0.69±0.09

ตารางที่ 22 อัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงของต้นดาวเรือง (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ความสูงเฉลี่ยเริ่มต้น (cm)	ความสูงเฉลี่ยตามวันที่ศึกษา (cm)						อัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูง (cm/day) ช่วง 1-45 วัน
		7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน	45 วัน	
ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 3	4.03±0.68	10.00±0.41	14.00±1.08	24.88±2.56	30.75±4.35	34.00±4.90	36.50±4.65	0.72±0.11

หมายเหตุ : ค่าแสดงคือ mean ± SD

dose 1 คือ เติมปริมาณไนโตรเจน 0.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก

dose 2 คือ เติมปริมาณไนโตรเจนเท่ากับปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก

dose 3 คือ เติมปริมาณไนโตรเจน 1.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก

ตารางที่ 23 ผลการใช้เป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงของต้นดาวเรือง

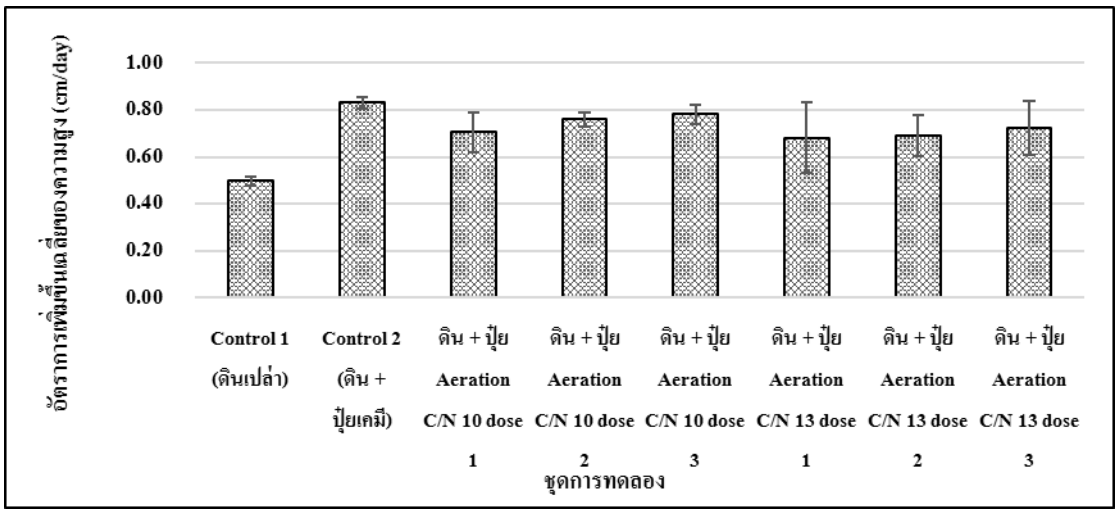
ชุดการทดลอง	อัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูง (ซม./วัน)
Control 1 (ดินเปล่า)	0.50^{c}±0.02
Control 2 (ดิน + ปุ๋ยเคมี)	0.83^{a}±0.03
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 1	0.71^{ab}±0.09
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 2	0.76^{ab}±0.03
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 3	0.78^{ab}±0.04
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 1	0.68^{b}±0.15
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 2	0.69^{b}±0.09
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 3	0.72^{ab}±0.11

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$) โดยวิธี DMRT

dose 1 คือ เติมปริมาณไนโตรเจน 0.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก

dose 2 คือ เติมปริมาณไนโตรเจนเท่ากับปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก

dose 3 คือ เติมปริมาณไนโตรเจน 1.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก



ภาพที่ 24 อัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของความสูงต้นดาวเรืองเมื่อปลูกเป็นระยะเวลา 45 วัน

3.2.2 การให้ดอกและขนาดดอกของต้นดาวเรือง

การทดสอบการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้ต่อการให้ดอกและขนาดดอกของต้นดาวเรือง พบว่า ชุดการทดลองโดยส่วนใหญ่ให้ดอกเมื่อทำการปลูกได้เพียง 2 สัปดาห์ (ไม่รวมระยะเวลาการเพาะต้นกล้าก่อนปลูก 30 วัน) (ภาพที่ 25) ยกเว้นชุดการทดลองการเติมปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักปุ๋ยที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 ที่มีการเติมไนโตรเจนในปริมาณ 0.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลอง ดิน + ปุ๋ย Aeration 13 dose 1) อาจเนื่องจากชุดการทดลองดังกล่าวมีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นจึงอาจทำให้ออกดอกช้า ซึ่งฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก หากพืชขาดฟอสฟอรัสจะทำให้ออกดอกช้า จำนวนดอกผลลดลง เป็นต้น (ยงยุทธ โอสถสภา, 2543) และเมื่อปลูกดาวเรืองเป็นระยะเวลา 45 วัน ชุดการทดลองการเติมปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 ที่มีการเติมไนโตรเจนในปริมาณเท่ากับ และมากกว่า 1.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก (ดิน + ปุ๋ย Aeration 10 dose 2 และdose 3) ให้จำนวนดอกเฉลี่ยต่อต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับดินเปล่าอย่างเดียว และเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ใส่ปุ๋ยเคมี 15-15-15 พบว่า ทุกชุดการทดลองให้จำนวนดอกเฉลี่ยต่อต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยชุดการทดลองที่ให้จำนวนดอกเฉลี่ยต่อต้นสูงที่สุด คือ ชุดการทดลองการเติมปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 ที่มีการเติมไนโตรเจนในปริมาณ 0.5 เท่า และเท่ากับปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลอง ดิน + ปุ๋ย Aeration 10 dose 1 และ 2) ซึ่งทั้ง 2 ชุดการทดลองดังกล่าวให้จำนวนดอกเฉลี่ยต่อต้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดย

ให้จำนวนดอกเฉลี่ยเท่ากับ 8.25 และ 7.50 ดอก/ต้น (ตารางที่ 25) และยังให้จำนวนดอกมากกว่าชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาขนาดดอก พบว่า ทุกชุดการทดลองมีขนาดดอกเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.00-7.56 ซม. โดยชุดการทดลองที่ให้ขนาดดอกใหญ่ที่สุด คือ ชุดการทดลองการเติมปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 ที่มีการเติมไนโตรเจนในปริมาณเท่ากับปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลอง ดิน + ปุ๋ย Aeration 10 dose 2) โดยมีความกว้างของขนาดดอกเฉลี่ยอยู่ที่ 7.56 ซม. (ภาพที่ 26) ซึ่งลักษณะการเจริญเติบโตนี้สอดคล้องกับประภาพรรณ ซื่อสัตย์ (2548) โดยการทดสอบการใช้เป็นปุ๋ยหมักจากขยะชุมชนผสมกับขุยมะพร้าว ซึ่งพบว่าดาวเรืองเริ่มบานเมื่อมีอายุประมาณ 42.20 วัน เฉลี่ยทั้งต้นมีดอกขนาด 7.07 ซม. ซึ่งสังเกตได้ว่าผลของการเจริญเติบโต นอกจากธาตุอาหารที่ใส่ปรับปรุงดินแล้ว ความพรุนในวัสดุปลูก ความหนาแน่นและการยุบตัวในปุ๋ยเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตที่ให้ผลดี จากการทดลองนี้ พบว่า ผลการให้ดอกมีขนาดดอกใหญ่เทียบเท่าชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อย่างไรก็ตามทุกชุดการทดลองให้ขนาดดอกเฉลี่ยต่อต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับดินเปล่าอย่างเดียว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 พบว่า ทุกชุดการทดลองให้ขนาดดอกเฉลี่ยต่อต้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 24)

ตารางที่ 24 ผลการการใช้เป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักต่อการเจริญเติบโตของดาวเรือง

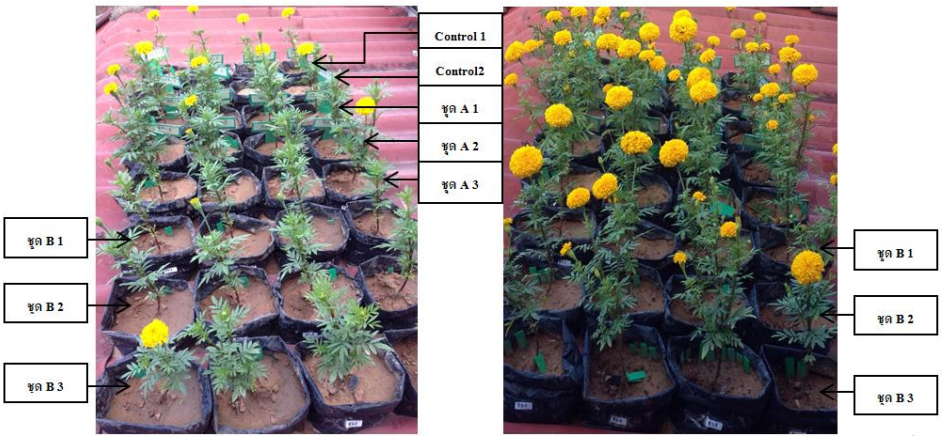
ชุดการทดลอง	จำนวนดอกเฉลี่ย (ดอก/ต้น)	ขนาดดอกเฉลี่ย (ซม./ดอก)
Control 1 (ดินเปล่า)	$3.00^{bc} \pm 0.00$	$5.00^{c} \pm 0.00$
Control 2 (ดิน + ปุ๋ยเคมี)	$5.50^{abc} \pm 1.29$	$7.19^{ab} \pm 0.31$
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 1	$6.25^{ab} \pm 2.22$	$6.79^{ab} \pm 0.71$
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 2	$7.50^{a} \pm 2.38$	$7.56^{a} \pm 1.40$
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 3	$8.25^{a} \pm 2.22$	$6.47^{ab} \pm 0.87$
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 1	$2.25^{c} \pm 1.89$	$6.13^{b} \pm 0.48$
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 2	$3.25^{bc} \pm 1.50$	$6.81^{ab} \pm 0.38$
ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 3	$6.00^{ab} \pm 3.37$	$6.50^{ab} \pm 0.54$

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษในคอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยวิธี DMRT

dose 1 คือ เติมปริมาณไนโตรเจน 0.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก

dose 2 คือ เติมปริมาณไนโตรเจนเท่ากับปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก

dose 3 คือ เติมปริมาณไนโตรเจน 1.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก



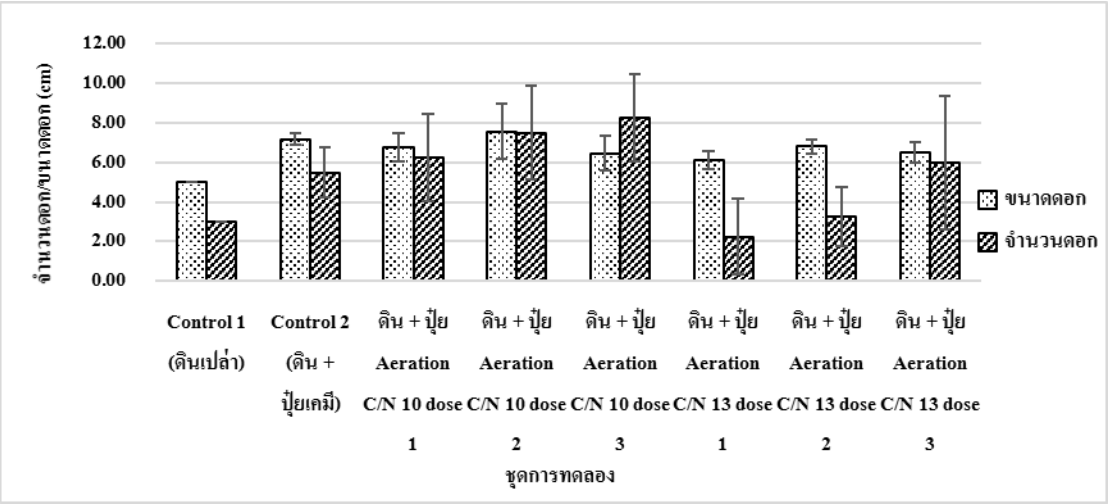
ดาวเรืองอายุ 28 วัน ดาวเรืองอายุ 45 วัน

(ไม่นับรวมระยะเวลาเพาะต้นกล้า 30 วัน)

หมายเหตุ: Control 1 = ดินเปล่า, Control 2 = ดิน + ปุ๋ยเคมี, A1 = ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 1, A2 = ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 2, A3 = ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 3, B1 = ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 1, B2 = ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 2 และ B3 = ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 3

ภาพที่ 25 ลักษณะการให้ดอกของต้นดาวเรือง

ภาพที่ 26 ลักษณะดอกและต้นดาวเรืองชุดใส่ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 2



ภาพที่ 27 จำนวนและขนาดดอกเฉลี่ยของดาวเรืองเมื่อปลูกเป็นระยะเวลา 45 วัน

เมื่อพิจารณาจากกราฟ (ภาพที่ 27) จะเห็นได้ว่าชุดการทดลองที่ให้จำนวนดอกมาก อาจมีขนาดดอกเล็ก และชุดการทดลองที่ให้ขนาดดอกใหญ่อาจให้ดอกจำนวนน้อย ยกเว้นชุดการทดลองการเติมปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 ที่มีการเติมไนโตรเจนในปริมาณเท่ากับปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลอง ดิน + ปุ๋ย Aeration 10 dose 2) ที่ให้ทั้งขนาดดอกที่ใหญ่และจำนวนดอกสูง โดยพบว่า ชุดการทดลองดังกล่าวจัดอยู่ในกลุ่มที่ให้จำนวนและขนาดดอกสูง อีกทั้งยังมีขนาดดอกใหญ่เทียบเท่ากับชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยหมักที่ได้โดยเฉพาะชุดการทดลองการเติมปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 ที่มีการเติมไนโตรเจนในปริมาณเท่ากับปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลอง ดิน + ปุ๋ย Aeration 10 dose 2) สามารถใช้เป็นปุ๋ยซึ่งให้ผลดีเทียบเท่าการใช้ปุ๋ยเคมี สอดคล้องกับรายงานของ นวลปรางค์ ไชตะขบ และ ธงไชย มาลา (2548) พบว่า ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากวัสดุเหลือทิ้งโรงงานผงชูรสต่อการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองโดยให้ความสูง และขนาดดอกไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมี นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อโครงสร้างดินทำให้ดินมีลักษณะทางกายภาพ และเคมีดีขึ้น และควรคำนึงถึงการใส่ปุ๋ยให้ตรงกับระยะการเจริญเติบโตซึ่งต้องการธาตุอาหารที่แตกต่างกันไป กรมส่งเสริมการเกษตร (2545) แนะนำการใส่ปุ๋ยให้กับต้นดาวเรืองคือ ใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 หลังย้ายต้นกล้า 15 และ 25 วัน หลังจากนั้นใส่ปุ๋ยสูตร12-24-12 ปริมาณ 1 ช้อนชาต่อต้น เมื่อดาวเรืองอายุ 35 และ 45 วัน

3.2.3 สรุปผลการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง

จากการศึกษาศักยภาพของปุ๋ยที่หมักได้ ในชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 และ 13 แบบเติมอากาศ ถึงผลการเจริญเติบของต้นดาวเรือง ด้านความสูงต้น จำนวนดอก และขนาดดอกสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ผลการเจริญเติบของต้นดาวเรืองในการปลูกด้วยปุ๋ยหมัก

พารามิเตอร์	ผลการศึกษาที่ได้	
	ดีที่สุด	ด้อยที่สุด
ความสูง	Control 2 > A3 ≥ A2 ≥ B3 ≥ A1 > B2 ≥ B1 > Control 1	
จำนวนดอก	A3 ≥ A2 > A1> B3 > Control 2 > B2 ≥ Control 1 > B1	
ขนาดดอก	A2 > Control 2 ≥ B2 ≥ A ≥ B3 ≥ A3 > B1 > Control 1	

หมายเหตุ : Control 1 (ดินเปล่า), Control 2 (ดิน + ปุ๋ยเคมี), A1 ชุดปลูก ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 1, A2 ชุดปลูก ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 2, A3 ชุดปลูก ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 3, B1 ชุดปลูก ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 1, B2 ชุดปลูก ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 2 และ B3 ชุดปลูก ดิน + ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 3

จากการศึกษาสามารถสรุปในภาพรวมได้ว่า ชุดการทดลองการเติมปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 ที่มีการเติมไนโตรเจนในปริมาณ0.5 เท่า ปริมาณเท่ากับ และปริมาณ 1.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลอง ดิน + ปุ๋ย Aeration 10 dose1 dose2 does3) และชุดการทดลองการเติมปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักปุ๋ยที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 ที่มีการเติมไนโตรเจน 1.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลอง ดิน + ปุ๋ย Aeration 13 dose 3) จัดอยู่ในกลุ่มที่ให้ผลดีในการให้ดอก และขนาดดอกที่ใหญ่ มีศักยภาพเทียบเท่าปุ๋ยเคมี จากผลการทดสอบสามารถอธิบายได้ว่าในชุดการทดลองที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 ที่นำมาใช้งานเป็นปุ๋ยกับต้นดอกดาวเรืองซึ่งเป็นชุดปุ๋ยหมักที่ให้ผลดีที่สุดเมื่อพิจารณาถึง maturity จากลักษณะทางกายภาพประกอบกับธาตุอาหารหลักที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) รวมถึงเปอร์เซนต์การลดลงของธาตุอาหารพืชของชุดทดลองดินหลังปลูกซึ่งในชุดการทดลองการใช้เป็นปุ๋ยในชุดปุ๋ยหมักอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลดลงมากกว่าชุดควบคุมดินอย่างเดียว และชุดปุ๋ยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13 ที่มีการเติมปริมาณไนโตรเจน 0.5 เท่า และเติมปริมาณ 1.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยเคมีแต่มีลักษณะการ

ลดลงใกล้เคียงกับชุดการปลูกด้วยปุ๋ยเคมี ซึ่งอาจเนื่องมาจากปริมาณธาตุอาหารที่ลดลงจากปริมาณเริ่มต้นที่ใส่ในชุดดินก่อนปลูกนั้นมีความสอดคล้องกัน และทุกชุดการทดลองดังกล่าวให้จำนวนดอกเฉลี่ยมาก ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสที่ลดลงในชุดดินหลังปลูกนั้นอาจเกิดจากการที่พืชดึงไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนและสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืช ช่วยถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการต่างๆ เช่น การสังเคราะห์แสงและการหายใจ ทำให้ต้นดาวเรืองออกดอกได้ดี

4. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากผลการทดลองการหมักปุ๋ยของผักตบชวา กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 และการทดสอบศักยภาพการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยหมักที่ได้ในการปลูกต้นดอกดาวเรืองเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยเคมี พบว่า ปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองหมักปุ๋ยที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบเติมอากาศ เป็นชุดการทดลองที่มีคุณภาพปุ๋ยเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์รวมทั้งมีศักยภาพในการเป็นปุ๋ยเทียบเท่าปุ๋ยเคมีมากที่สุด ดังนั้นจึงใช้ชุดทดลองดังกล่าวมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบถึงค่าใช้จ่ายการทำปุ๋ยหมักและผลตอบแทนที่เกิดขึ้นโดยเน้นการประเมินและคำนวณในเบื้องต้นซึ่งคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สามารถวิเคราะห์ได้เท่านั้น (ไม่รวมค่าใช้จ่ายในการลงทุนอุปกรณ์ต่างๆ)

4.1 เงื่อนไขการคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในการทำปุ๋ยหมัก

ค่าใช้จ่ายในการนำผักตบชวา กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 มาใช้ประโยชน์โดยการหมักทำปุ๋ย คิดเฉพาะในส่วนของแรงงานคน ค่าไฟฟ้า และค่าขนส่ง ซึ่งไม่รวมค่ากากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากกากตะกอนน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทยรับเบอร์ลาเท็คซ์ กรุ๊ป จำกัด และบริษัท ยางไทยปักษ์ใต้ จำกัด จ.สุราษฎร์ธานี จึงไม่มีค่าใช้จ่ายในการซื้อกากตะกอนน้ำเสียดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามหากเกษตรกรหรือบุคคลทั่วไปนำกากตะกอนซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงงานไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์อาจต้องมีการคิดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ด้วย

ทั้งนี้เพื่อให้การประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนที่ได้เป็นไปในเชิงพาณิชย์มากขึ้น จึงทำการประเมินจากการผลิตปุ๋ยหมัก 2,000 กิโลกรัม ดำเนินการหมักปุ๋ยโดยใช้อัตราส่วนผสมของวัสดุหมักทั้งสามชนิดตามชุดการทดลองหมักปุ๋ยที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 แบบเติมอากาศ ให้อากาศกับกองปุ๋ยหมักตลอดเวลาที่อัตรา 0.03 m^3/kg/hr (Leemaharoungruang, 1998)

โดยใช้ปั๊มเติมอากาศ ring blower ขนาดมอเตอร์ ½ แรงม้า ให้ปริมาณลม 1.3 ลบ.ม.ต่อนาที จำนวน 1 เครื่อง และทำการหมักปุ๋ยเป็นระยะเวลา 60 วัน โดยสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

1) ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบการเติมอากาศ

การหมักปุ๋ย 2,000 กิโลกรัม ใช้ปั๊มเติมอากาศมีกำลังไฟฟ้า ½ แรงม้า (1 แรงม้า เท่ากับ 0.746 กิโลวัตต์) จำนวน 1 เครื่อง เปิดใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง คิดเป็นจำนวนหน่วยที่ใช้ต่อวันเท่ากับกิโลวัตต์ของเครื่องใช้ไฟฟ้าคูณด้วยชั่วโมงที่ใช้งาน (0.373 กิโลวัตต์ x 24 ชั่วโมง) ดังนั้น ปั๊มเติมอากาศจะใช้ไฟฟ้าวันละ 8.952 หน่วย ซึ่งหากคิดเป็นค่าไฟฟ้าในการเติมอากาศในกองปุ๋ย โดยคิดจากจำนวนหน่วยที่ใช้คูณด้วยอัตราค่ากระแสไฟต่อหน่วยซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ 3.7362 บาท (ใช้ข้อมูลการคำนวณอัตราปกติที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน ในหน่วยที่ 151-400) (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2559) ค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้าวันละ 33.45 บาท (8.952 หน่วย x 3.7362 บาท) หรือเดือนละประมาณ 1,003 บาท ทั้งนี้ได้ทำการหมักปุ๋ยเป็นระยะเวลา 60 วัน รวมค่าใช้จ่ายด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบการเติมอากาศทั้งหมดเท่ากับประมาณ 2,006 บาท อย่างไรก็ตามค่าไฟฟ้าที่คำนวณได้ยังไม่รวมค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) ค่าภาษี และค่าบริการรายเดือน

2) ค่าใช้จ่ายในการเตรียมผักตบชวา

การเตรียมผักตบชวาสด 1,000 กิโลกรัม (คิดตามอัตราส่วนผสมของวัสดุหมักที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 10 ซึ่งปุ๋ยหมัก 2,000 กิโลกรัม จะใช้ผักตบชวาประมาณ 880 กิโลกรัม) โดยการหั่นย่อยผักตบชวาให้มีขนาดเล็กลงโดยการใช้เครื่องย่อย ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

- แรงงานในการเตรียมผักตบชวาจำนวน 1 คน ค่าแรงขั้นต่ำวันละ 300 บาท (ภาคผนวก ค) หรือตกชั่วโมงละ 37.50 บาท ทำงาน 3 ชั่วโมง คิดเป็นค่าแรงงานในการบดย่อยผักตบชวาประมาณ 113 บาท
- ค่าไฟฟ้าในการบดย่อยเท่ากับ 12.50 บาท (3 ชั่วโมง ใช้พลังงาน 2.238 กิโลวัตต์ และมีอัตราค่ากระแสไฟต่อหน่วยเท่ากับ 1.8632 บาทต่อหน่วย)
- ค่าขนส่งผักตบชวา ระยะทางประมาณ 10 กิโลเมตร ราคาประมาณ 300 บาทต่อตัน (ค่าขนส่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามระยะทาง)

3) ค่าใช้จ่ายในการเตรียมกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีลักษณะเป็นของแข็งละเอียดและมีความชื้น ก่อนนำมาหมักทำปุ๋ยต้องมีการลดความชื้นด้วยการผึ่งให้หมาดๆ โดยใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ จึงไม่มีค่าใช้จ่าย

จากการเตรียมกากตะกอนดังกล่าว นอกจากค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายจริงขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้และระยะทาง สำหรับค่าใช้จ่ายในการขนส่งกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นประเมินจากการขนส่งกากตะกอน โดยรถ 1 คัน สามารถบรรทุกกากตะกอนได้ประมาณ 3,000 กิโลกรัม ระยะทางประมาณ 5 กิโลเมตร ราคาประมาณ 300 บาท (ค่าขนส่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามระยะทาง)

4) ค่าใช้จ่ายในการเตรียมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20

กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ลักษณะเป็นของแข็งละเอียดและมีความชื้น จึงต้องมีการลดความชื้นด้วยการผึ่งให้หมาดๆ โดยใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้ไม่มีค่าใช้จ่ายจากการเตรียมกากตะกอนดังกล่าวเช่นเดียวกับกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มีเพียงค่าใช้จ่ายในการขนส่ง โดยรถ 1 คัน สามารถบรรทุกกากตะกอนได้ประมาณ 3,000 กิโลกรัม ระยะทางประมาณ 20 กิโลเมตร ราคาประมาณ 500 บาท (ค่าขนส่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามระยะทาง)

4.2 สรุปผลการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

ผลการทดลองการหมักปุ๋ยของผักตบชวา กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 สามารถเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนที่เกิดขึ้น แสดงดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 สรุปผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

รายละเอียด	**ผลผลิตปุ๋ยที่ได้ (% yield)***
1) ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง - ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบการเติมอากาศ (บาท)	2,006
- ค่าใช้จ่ายในการเตรียมผักตบชวา 1,000 กิโลกรัม (แรงงานในการเตรียมผักตบชวา, ค่าไฟฟ้าในการบดย่อย และ ค่าขนส่ง) (บาท)	425.50

ตารางที่ 26 สรุปผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (ต่อ)

รายละเอียด	ผลผลิตปุ๋ยที่ได้ (% yield)*
- ค่าใช้จ่ายในการเตรียมกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น (บาท)	300
- ค่าใช้จ่ายในการเตรียมกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 (บาท)	500
- **รวมต้นทุนทั้งหมด**	3,231.50
2) ผลผลิต (กิโลกรัมของปุ๋ยหมักที่ได้)	1,641
3) รายได้จากการขายผลผลิต - ราคาซื้อขายปุ๋ยหมักตามท้องตลาด (บาทต่อกิโลกรัม)	5-6
- รายได้จากการขายผลผลิตที่ได้รับ (บาท)	8,205-9,846
4) ผลตอบแทน - ผลตอบแทนที่ได้รับ (บาท) - กำไรจากการจำหน่ายปุ๋ยหมัก (บาทต่อกิโลกรัม)	 4,973.5-6,614.50 3.03-4.03

หมายเหตุ : * การประเมิน yield ปุ๋ยที่ได้โดยประเมินจาก % ของน้ำหนักที่เหลือหลังการหมักปุ๋ย 60 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 82.05%

เมื่อประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของการผลิตปุ๋ยหมักดังกล่าว โดยคำนวณจากราคาซื้อขายปุ๋ยหมักตามท้องตลาดในราคา 5-6 บาทต่อกิโลกรัม (บริษัท ไทยรุ่งเจริญดี จำกัด, 2558) สามารถประเมินได้ว่ามีกำไรประมาณ 3.03-4.03 บาทต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ปุ๋ยหมักที่ได้ยังมีศักยภาพในการเป็นปุ๋ยได้ดีในการการปลูกไม้ดอกเทียบเท่าปุ๋ยเคมีที่มีราคาแพง ซึ่งมีราคาขายปลีกปุ๋ยเคมีอยู่ที่ 17.46 บาท/กิโลกรัม (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยหมักสามารถลดต้นทุนให้กับเกษตรกรซึ่งมีต้นทุนต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีและยังสามารถลดปัญหาสารเคมีตกค้างได้อีกด้วย

ในแง่ของโรงงานอุตสาหกรรมหากไม่มีทางเลือกในการนำกากของเสียไปใช้ประโยชน์ กากของเสียจะต้องถูกนำไปกำจัด ซึ่งเป็นภาระต่อผู้ประกอบการ หากประเมินราคาค่า

กำจัดในกรณีที่กากของเสียทั้งหมดถูกนำไปกำจัดโดยการฝังกลบจะต้องเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 1,500 บาทต่อตัน หรือ 1.50 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งยังไม่รวมค่าขนส่งกากของเสียไปกำจัด แต่หากโรงงานอุตสาหกรรมนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ในการหมักทำปุ๋ยแทนการนำไปกำจัด ซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายของโรงงานและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียได้อีกด้วย โดยโรงงานจะมีกำไรจากการจำหน่ายปุ๋ยหมัก 3.03-4.03 บาทต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม เป็นการใช้ประโยชน์จากของเสียที่มีความคุ้มทุนและยั่งยืน

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

1. บทสรุป

การศึกษาในครั้งนี้เพื่อนำผักตบชวา และของเสียที่เหลือทิ้งในรูปตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 มาใช้ประโยชน์ใหม่โดยการหมักทำปุ๋ย ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของผักตบชวา กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ซึ่งเป็นวัสดุในการนำมาทำปุ๋ยหมัก พบว่าผักตบชวา และกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีความชื้นสูง โดยมีค่า 93.59% และ 89.58% ตามลำดับ และโดยเฉพาะกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำมากโดยมีค่า C/N ratio เท่ากับ 2.47 แต่อย่างไรก็ตามวัสดุทั้ง 3 ประเภท มีองค์ประกอบของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน (1.29-10.91% น้ำหนักแห้ง) ฟอสฟอรัส (0.24-1.51% น้ำหนักแห้ง) และโพแทสเซียม (0.05-3.20% น้ำหนักแห้ง) ในปริมาณสูง

2) จากการทดลองหมักทำปุ๋ยด้วยผักตบชวาร่วมกับกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20โดยใช้วิธีการหมักในถังพลาสติกเป็นระยะเวลาการหมัก 60 วันวัสดุหมักเริ่มต้นมีค่า C/N ratio ต่ำและมีค่าความชื้นสูง ซึ่งมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาในการหมักค่อนข้างช้าโดยสังเกตุได้จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ค่าของแข็งระเหย อินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน และค่าปริมาณเถ้า เป็นต้น ซึ่งชุดการทดลองที่มีการเติมอากาศ มีค่าความชื้นที่ลดลงได้มากกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมอากาศ และมีอุณหภูมิเฉลี่ยในกองปุ๋ยหมักสูงกว่าชุดการทดลองแบบไม่เติมอากาศ ซึ่งตลอดระยะการหมักพบว่าอุณหภูมิทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วง mesophilic phase นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนของชุดการทดลองที่ C/N 10 แบบเติมอากาศและไม่เติม

อากาศ ซึ่งมีค่า C/N ratio เริ่มต้นต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นมีแนวโน้มลดลงจากการสูญเสียไนโตรเจน ในขณะที่ชุดการทดลองอื่นไม่มีการสูญเสียไนโตรเจน มีแนวโน้ม เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในระบบ

3) ลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากปุ๋ยหมักผักตบชวาร่วมกับกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 พบว่า ปุ๋ยหมักที่ได้ของทุกชุดการทดลองมีลักษณะนุ่มยุ่ย ขาดออกจากกันได้ง่าย มีสีดำ ไม่มีกลิ่น แสดงถึงการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของปุ๋ย (maturity) และยังพบว่ามีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยหมักอินทรีย์ ปี 2551 ยกเว้นปริมาณความชื้นและปริมาณโพแทสเซียมในรูปของ K_2O ของทุกชุดการทดลองยังน้อยกว่าค่ามาตรฐาน โดยในปุ๋ยที่หมักได้มีค่าโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 0.14-0.30% น้ำหนักเปียก รวมถึงปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ของบางชุดการทดลองยังมีค่าไม่ผ่านมาตรฐาน โดยในส่วนของปริมาณไนโตรเจน พบว่าชุดการทดลองที่ไม่ผ่านมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ชุดการทดลองที่ C/N 10 แบบเติมอากาศ ชุด C/N 10 แบบไม่เติมอากาศ และ C/N 13 แบบไม่เติมอากาศ ซึ่งมีค่า 0.83%,0.71% และ 0.87% น้ำหนักเปียกตามลำดับ สำหรับชุดการทดลองที่ไม่ผ่านมาตรฐานในส่วนของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของค่า P_2O_5 คือ ชุดการทดลองที่ C/N 13 และ C/N 15 แบบไม่เติมอากาศ ซึ่งมีค่า 0.42% และ 0.46% น้ำหนักเปียก นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากค่า Germination Index (GI) พบว่า ชุดการทดลองที่ C/N10 แบบเติมอากาศ มีค่าดัชนีการงอกสูงกว่าชุดการทดลองอื่น มีค่า98.56% รองลงมาคือชุดการทดลองที่ C/N 10 แบบไม่เติมอากาศ มีค่า 98.41% ตามลำดับ

4) จากการทดสอบศักยภาพการเป็นปุ๋ยของปุ๋ยที่ได้ โดยเลือกปุ๋ยหมักในชุดการทดลองที่ C/N 10 และ C/N13 แบบเติมอากาศในการปลูกต้นดาวเรือง ซึ่งเติมปุ๋ยที่หมักได้ให้มีปริมาณไนโตรเจน 0.5 เท่า ปริมาณเท่ากับ และปริมาณ 1.5 เท่าของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมในการปลูกดาวเรือง ตามคำแนะนำวิธีการปลูกของกรมส่งเสริมการเกษตร ปี 2545 ผลการทดลองพบว่า ชุดที่มีการเติมปุ๋ยหมักที่ C/N 10 ที่มีการเติมไนโตรเจนในปริมาณเท่ากับปุ๋ยเคมีและมากกว่าปุ๋ยเคมี 1.5 เท่าที่ใช้ปลูก (ชุดการทดลองปุ๋ย Aeration 10 dose2 และชุดการทดลองปุ๋ย Aeration 10 dose3) มีศักยภาพความเป็นปุ๋ยเทียบเท่ากับปุ๋ยเคมี เนื่องจากสามารถทำให้ต้นดาวเรืองเจริญเติบโตด้านความสูงและให้จำนวนดอกได้ผลดีเทียบเท่ากับการปลูกดาวเรืองโดยใช้ปุ๋ยเคมี แต่ให้ขนาดดอกใหญ่กว่าการปลูกดาวเรืองโดยใช้ปุ๋ยเคมี

5) จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาร่วมกับกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 พบว่า การผลิตปุ๋ยหมักดังกล่าวมีต้นทุนในการผลิตประมาณ 1.96 บาทต่อกิโลกรัมของปุ๋ยที่หมักได้ และมีศักยภาพในการ

เป็นปุ๋ยได้ดีในการการปลูกไม้ดอกเทียบเท่าปุ๋ยเคมีหากผลิตเพื่อจำหน่ายในราคาเท่ากับราคาซื้อขายปุ๋ยหมักตามท้องตลาดทำให้มีกำไรประมาณ 3.03-4.03 บาทต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนให้กับเกษตรกรซึ่งมีต้นทุนต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี และยังสามารถลดปัญหาสารเคมีตกค้างในดินและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียจากการนำกลับมาใช้ประโยชน์แทนการกำจัดและช่วยลดค่าใช้จ่ายในการจัดการกากตะกอนเหลือทิ้งของโรงงานได้อีกด้วย

2. ข้อเสนอแนะ

2.1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์

1) เกษตรกรในพื้นที่สามารถนำผักตบชวาและของเสียในรูปกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมยางไปประยุกต์ใช้ในการทำปุ๋ยหมักเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการทำเกษตรกรรม

2) โรงงานควรมีการพัฒนาต่อยอดในการนำของเสียรูปแบบอื่นมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุหมักร่วมในการหมักปุ๋ย อาทิเช่น เศษหญ้า ใบไม้แห้ง ขุยมะพร้าว มาผสมกับของเสียจากโรงงานในการหมักปุ๋ยเพื่อเป็นการใช้ของเสียให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการนำกากตะกอนไปกำจัด

2.2. ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนางานวิจัยต่อไป

1) เนื่องจากการทดลองหมักทำปุ๋ยในการศึกษาครั้งนี้มีค่าความชื้นค่อนข้างสูงอันเนื่องมาจากวัสดุหมักมีค่าความชื้นสูงจึงควรปรับปรุงการลดปริมาณความชื้นให้มีค่าที่เหมาะสมก่อนนำมาหมักทำปุ๋ยและทำการศึกษาที่ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ระดับอื่นๆ เพิ่มเติม

2) ควรศึกษาการหมักทำปุ๋ยจากกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมยางร่วมกับของเสียจากอุตสาหกรรมการเกษตรอื่นๆ เช่น เส้นใยปาล์มจากอุตสาหกรรมปาล์ม ขี้เถ้าจากโรงงานยางแผ่นรมควัน เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณธาตุโพแทสเซียมในการศึกษาครั้งต่อไป

3) การศึกษาวิจัยในการทดสอบความสามารถในการเป็นปุ๋ยโดยทดสอบกับไม้ยืนต้นและพืชผักสวนครัว ร่วมถึงศึกษาการสะสมของโลหะหนักในเนื้อเยื่อของพืชที่ทดลองปลูก

4) เนื่องจากกากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มีการใช้ ZnO ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น ซึ่งอาจทำให้กากตะกอนมีค่า Zn สะสม ดังนั้นควรมีการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของ Zn ในปุ๋ยหมักที่ได้เพิ่มเติมก่อนนำไปใช้เป็นปุ๋ยในการปลูกพืช

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. **ปุ๋ยหมัก**. กองบริรักษ์ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

กรมพัฒนาที่ดิน. 2550. **การผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้สารเร่งซูปเปอร์ พด. 1. เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี: ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน**. สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2544. **หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีที่สะอาด) สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขา: อุตสาหกรรมน้ำยางข้น อุตสาหกรรมยางแท่งมาตรฐาน เอสทีอาร์ 20** (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://php.diw.go.th/ctu/pdf/codeofpractice_rubber_th.pdf (15 มีนาคม 2558)

กรมโรงงานอุตสาหกรรม.2558. **ข้อมูลโรงงานที่มีน้ำเสีย**. (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://reg.diw.go.th/water/data.(22 มกราคม2558)

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ 2548** (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://www.agriinfo.doae.go.th/year52/knowledge/km_13-01-52.doc. (11 มกราคม 2558)

กรมวิชาการเกษตร. 2551. **คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์**. กรุงเทพฯ: ควิกปริ้น ออฟเซ็ท.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2545. **การปลูกดาวเรือง**. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ. 13 หน้า.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์.

คะนึงนิจ แสงสุวรรณ. 2540. **การใช้น้ำเสียโรงฆ่าสัตว์เพิ่มค่าไนโตรเจนแก่ผักตบชวาแห้ง**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

จริยา แสวงทรัพย์สกุล. 2549. **ดอกดาวเรือง** (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/2549/m63/no12/flower/sec02p07.htm. (5 สิงหาคม 2555).

จิราณี วานิชกุล. 2538. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. ภาควิชาเกษตรศาสตร์. สถาบันราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง. ราชบุรี

เจิดจรรย์ ศิริวงศ์,สุวิทย์ สุวรรณโณ, สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์,พนาลี ชีวกิดาการ,พรทิพย์ ศรีแดง, ปิยะนุช ฝ้ายทอง,วราศรี พรหมหอม และสมศักดิ์ สระแก้ว. 2555. **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยเรื่องการประเมินศักยภาพของปุ๋ยหมักในภาคใต้: กรณีศึกษาใน จังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลา**. คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

ชฎาพร องอาจ. 2550. **รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ในการย่อยสลายปุ๋ยหมัก**. มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ชนกร วัชรปาณ. 2546. **อิทธิพลของอัตราการเติมอากาศและกากตะกอนน้ำทิ้งในการหมักจากมูลฝอยชุมชนและมูลฝอยตลาดสด**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชาติ เจียมไชยศรี. 2542. **การจัดการมูลฝอย**. เอกสารประกอบการบรรยายสำหรับการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่องการจัดการมูลฝอย และของเสียอันตราย. วันที่ 25-31 มกราคม 2542. ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.

ฐิติรัชช์ ภู่ประเสริฐ, พัทธรินทร์ สิริโสทร และสารีนา มูซอ. 2550. **การใช้ประโยชน์กากตะกอนอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 และกากขี้แป้งและน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นเพื่อหมักทำปุ๋ย**. โครงงานนักศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี.

ณัฐนาท ชุมสวัสดิ์, ทัศนี นนทฤทธิ์ และสัจจมาศ เรืองน้อย. 2554. **การหมักทำปุ๋ยโดยใช้กากตะกอนน้ำเสียประเภทตะกอนเร่งกับกากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางข้น**. โครงงานนักศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี.

ณัฐพล ศรีเมือง. 2553. **การเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาในการหมักปุ๋ยผักตบชวา.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ทวีพงศ์ สุวรรณโร, เอกวัฒน์ จันทรวงศ์ และเรณู ดอกไม้หอม. 2545. การปลูกดาวเรือง: คำแนะนำที่ 109 (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://ag-ebook.lib.ku.ac.th/ebooks/2011/2011-005-0154/index.html#/1/. (9 มีนาคม 2558)

ธนิยา เกาศล. 2551. **รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ การนำของเสียโรงงานผลิตยางแท่งมาหมักปุ๋ย.** คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ธันวดีย์ ศรีธาวิรัตน์. 2547. **การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชัฏพิบูลสงคราม.

นภารัตน์ ไวยเจริญ. 2544. **การทำปุ๋ยหมักของมูลฝอยจากตลาดสดในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา**. วิทยาพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นฤเทพ บุญเรืองขาว. 2550. **การติดตามตรวจสอบประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมยางพารา ในภาคใต้ตอนล่าง**, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นวลปรางค์ ไชตะขบ และธงไชย มาลา. 2548. ผลของปุ๋ยอินทรีย์จากวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานผงชูรสที่มีต่อการเจริญเติบโตของดาวเรือง. **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์** ครั้งที่ 43. 1-4 กุมภาพันธ์ 2548. ณ กรุงเทพฯ

บริษัท ไทยรุ่งเจริญดี จำกัด. 2558. **ราคาปุ๋ยอินทรีย์** (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://www.thaifertilizer.com/organic-fertilizer-price (5 สิงหาคม 2558)

ประกาศิต อินทรสำอางค์. 2549. **การแปรสภาพและคุณภาพของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัสและตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษ**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประภาพรรณ ซื่อสัตย์. 2548. **การใช้ปุ๋ยหมักจากขยะชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีกล่องคอนกรีตเป็นวัสดุปลูกดาวเรือง**. วิทยาพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญา ธัญญาดี, พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิโรจน์. 2524. **การทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวา**. วารสารพัฒนาที่ดิน. 19(194): 6-15.

ปริศนา คล้ายทอง และสารีย๊ะ ติงสา. 2551. **การใช้วัสดุจากกากตะกอนยางแท่ง STR20 กากขี้แป้งและน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นและขี้เถ้าจากโรงงานรมยางเพื่อปลูกดาวเรือง**. โครงงานนักศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต หลักสูตรเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี.

ปิ่นพงษ์ คงชนะ. 2550. **การอบแห้งยางแท่ง เอส ที อาร์ 20 ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมเพื่อความสิ้นเปลื้องพลังงานต่ำ**. วิทยาพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เปรมสุดา จิ๋วนอก. 2550. **ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของแหล่งไนโตรเจนกับเวลาการย่อยสลายสมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก**. วิทยาพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พนาลี ชีวกิดาการ สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และพรทิพย์ ศรีแดง. 2552. **คุณลักษณะและศักยภาพการประยุกต์ใช้ปุ๋ยหมักจากของเสียโรงงานน้ำยางข้น โรงงานยางแท่ง STR 20 และโรงรมยาง**. รายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อ สกอ.

พนาลี ชีวกิดาการ, สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์, เจิดจรรย์ ศิริวงศ์ และนภารัตน์ ไวยเจริญ. 2554. **โครงการวิจัยการใช้กากตะกอนส่วนเกินจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์และกากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางข้นมาทำเป็นปุ๋ยหมักอัดเม็ด.** มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

พรรณภา ปรีชาเวช. 2553. **ดอกดาวเรือง** (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://www.doae.go.th/library/html/detail/dawrueng/dawrueng.html. (13 พฤศจิกายน 2558).

พัชรี ธีรจินดาขจร. 2549. **ดินดีเมื่อมีอินทรียวัตถุ.** วารสารศูนย์บริการวิชาการขอนแก่น. 14(3): 12-15.

พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิโรจน์. 2540. **ระดับธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมัก.** คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ พ.ศ. 2535. กรมพัฒนาที่ดิน. หน้า 70-81.

พิสมัย ทองคงเหย้า และสุภรพรรรณ จันทร์หอม. 2549. **ศักยภาพการนำกลับมาใช้ประโยชน์ของเศษยางจากกระบวนการผลิตยางแท่ง**. โครงงานนักศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี.

ภัทราพร กังวานเจษฎา. 2555. **การศึกษาการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนเพื่อเป็นดัชนีการเจริญเต็มที่ของปุ๋ยหมัก**. วิทยาพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ภาวนา ลิกขนานนท์. 2542. **การผลิตปุ๋ยหมัก: เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรการเร่งรัดการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์**. เพชรบุรี: กรมวิชาการเกษตร กองปฐพีวิทยา

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2548. **รายงานการศึกษาความเหมาะสมและออกแบบรายละเอียดฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาความเหมาะสมและออกแบบรายละเอียดพัฒนาบึงขุนทะเล อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี**.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2548. **ปุ๋ยอินทรีย์**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: บ้านและสวน.

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2543. **ธาตุอาหารพืช.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เยาวลักษณ์ จันดาวงศ์ และสิรินทรเทพ เต้าประยูร. 2541. **การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในระหว่างการทำปุ๋ยหมักจากขยะชุมชน กรุงเทพมหานคร.** เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ การสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 2.

รสสุคนธ์ พุ่มพันธุ์วงศ์. 2549. **การผลิตปุ๋ยอินทรีย์**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ยูไนเต็ดเอ็มพอร์เรียม

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2549. **ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน**. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

วราศรี เถกประสิทธิ์. 2543. **การนำกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

วารุณี พานิชผล และพูลศรี ศุกระรุจิ. 2540. **การใช้ผักตบชวาเป็นอาหารสัตว์**. ข่าวสารพืชอาหารสัตว์ มิถุนายน-กันยายน. (2)3: 3-7.

วิศิษฐ์ ศิลปะสุวรรณชัย. 2544. **100 ปี ผักตบชวาเข้ามาถึงสยามใครเอามา.** วารสารศิลปวัฒนธรรม. 23: 52-55.

ศิรินทรา วันดี และธนิยา เกาศล. 2552. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้สารเร่ง ในการหมักของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่ง. **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์** มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7. วันที่ 21-22 พฤษภาคม 2552

ศิรินทรา วันดี. 2552. **การศึกษาการนำของเสียโรงงานผลิตยางแท่ง (STR 20) มาหมักปุ๋ย**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศุวศา กานตวนิชกูร. 2539. **เทคโนโลยีการหมุนเวียนทรัพยากรมาใช้ใหม่**. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สถานีโทรทัศน์ดีเอ็มซี. 2556. **ดาวเรือง ดอกดาวเรือง ชนิดของดาวเรือง การใช้ประโยชน์ วิธีการปลูกดาวเรือง**. (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://www.dmc.tv/pages/scoop/ (9 กุมพาพันธุ์ 2558)

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2555. **จำนวนโรงงานน้ำยางข้นในประเทศไทย.** (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://www.rubberthai.com/statistic/stat_index.htm (24 ตุลาคม2557)

สถาบันวิจัยยาง. 2558. **สถิติยางไทย** (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://www.rubberthai.com/statistic/stat_index.htm. (10 กรกฎาคม 2558)

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ อุดมผล พืชน์ไพบูลย์ เสาวลักษณ์ รุ่งตะวันเรืองศรี และคณะ. 2545. **รายงานโครงการวิจัยเรื่องการตรวจสอบการจัดการของเสียของโรงงานน้ำยางข้น ภายใต้ชุดโครงการวิจัยเรื่องการจัดการของเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้น.** มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์, ปิยะมาศ ชุมหชวาลวงษ์ และวรรณฤดี หวั่นเซ่ง. 2558. **โครงการวิจัยเรื่องการใช้ประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียส่วนเกินจากโรงงานน้ำยางข้นมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มวัสดุที่ใช้ในการเพาะปลูก: กรณีศึกษาระยะที่ 1 การออกแบบสูตรและการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และวัสดุใช้ปลูกพืชโดยผ่านกระบวนการหมักทำปุ๋ย.** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี.

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์. 2550. **รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่องปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางก้นถ้วยเพื่อผลิตยางแท่ง.** คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2544. **สรีรวิทยาของพืช**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: กรุงเทพมหานคร.

สมศักดิ์ วังใน. 2528. **จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน**. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

สาคร เขิมขันธ์. 2543. **การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ขยะสดผลิตปุ๋ยชีวภาพ กรณีศึกษา: วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีขอนแก่น**. วิทยาพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร. มหาวิทยาลัยมหิดล.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. **ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าปุ๋ยเคมี** (ออนไลน์). เข้าถึงได้ที่: http://www.oae.go.th/download/FactorOfProduct/Fertilizer_value49-54.html (25 สิงหาคม 2558)

สิริจิตต์ แสงอุ่นอุทัย และชาติชาย กมลมิตร. 2541. **โครงการศึกษาปริมาณอากาศและขนาดวัสดุในการเพิ่มปริมาณทำปุ๋ยหมัก**. ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุชาดา บัวพันธ์. 2548. **การศึกษาสูตรและสัดส่วนธาตุอาหารที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานน้ำอัดลมสำหรับการปลูกพืชผัก**. วิทยาพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร

สุทธี พลรักษา. 2552. **การทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาผสมมูลวัวโดยใช้สารเร่งชีวภาพ**. วิทยานิพนธ์สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

สุรชัย มัจฉาชีพ. 2538. **วัชพืชในประเทศไทย.** สถานีเทคโนโลยีราชมงคล. กรุงเทพฯ

เสาวนิตย์ แดงทองดี. 2549. รายงานวิจัยเรื่องการศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษผัก. เพชรบูรณ์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์ และนวลจันทร์ ภาสดา. 2540. **ปัจจัยที่ควบคุมการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก.** คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ. กรมพัฒนาที่ดิน.

องค์การสวนยาง. ม.ป.ป. **การผลิตยางก้อนถ้วย.** นครศรีธรรมราช: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อภิรัฐ จูทอง. 2553. **วัสดุปรับปรุงดินจากกากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและมูลสุกรสำหรับการปลูกกระถินเทพา**. วิทยาพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อานุภาพ แก้วกอง. 2541. **การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหญ้า เศษใบไม้แห้ง และกากกะตอนน้ำเสียด้วยวิธีกองแบบมีการระบายอากาศ**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

AOAC. 1990. **Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemists**,15th ed., USA: AOAC, Inc.

APHA, AWWA. and WEF. 2012. **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater**. 22th edition. Washington D.C: American Public Health Association.

Chang, J.I. and Hsu, T.E., (2008) Effects of Compositions on Food Waste Composting. **Bioresource Technology**. 99 (17), 8068-8074

Danteravanich, S., Puetpaiboon, U., and Proukaew, N. (2007) A Survey of Wastewater Management in the Concentrated Latex Industry in Southern Thailand. In H. Furumai, F. Kurisu, H. Katayama, H. Satoh, S. Ohgaki, and N.C., Thanh (Eds.), **Southeast Asian Water Environment 2** (263-270). IWA Publishing, London, UK

Eiland, F., Klamer, M., Lind. M., Leth, M. and Baath, E. 2001 Influence of Initial C/N ratio on Chemical and Microbial Composition During Long Term Composting of Straw. **Microbial Ecology**. 41: 272–280

Garcia Gomez A, Roiang A, Bernal M.P. 2003. Composting of the solid fraction olive mill wastewater with olive leaves: organic matter degradation and biological activity. **Bioresource Technology.** 86: 59-64.

Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., and Shen, Y. 2012. Effect of Aeration rate, C/N ratio and Moisture Content on the Stability and Maturity of Compost, **Bioresource Technology.** 112: 171-178.

Haug, R.T. 1980. Composting Engineering: Principle and Practice. **Technomic Publishing**. Co Inc., Lancaster, Pennsylvania. 655.

Haug, R.T. 1993. **The Practical Handbook of Compost Engineering**. Lewis Publish, Boca Raton, Florida, USA.

Huang, G.F., Wong, J.W.C., Wu, Q.T. and Nagar, B.B. 2004. Effect of C/N on Composting of Pig Manure with Sawdust. **Waste Management**. 24: 805–813.

Kalamdhad, A. S. 2011. **Agitated Pile Composting of Water Hyacinth**. 2nd International Conference on Environmental Science and Development IPCBEE vol.4. IACSIT Press. Singapore

Kumar, M., Ou, Y.L. and Lin, J.G. 2010. Co-composting of Green Waste and Food Waste at Low C/N ratio. **Waste Management**. 30: 602-609.

Lardnois, I., A. Klundert and D. Van.1993. **Organic Waste**. Gouda: Amsterdam and Waste Consultant.

Larney F. J., Chi Chang and Xiying Hao. 2002. Carbon, Nitrogen Balance and Greenhouse Gas Emission during Cattle Feedlot Manure Composting. (Online) Available: http:/// jeg.scijournals.org/cgi/content/full/33/1/37 (2015, 4 ,11)

Larney, F. J. 2003. Carbon, Nitrogen and Phosphorus Dynamics During Composting of Beef Cattlefeedlot Manure. **In 9th Annual CTC Composting Conference Proceedings**: May 8-9, 2015

Paekum, C., Tittayavan, M. and Nuangmek, W. 2013. **Screening of Enzymes Activities in Indigenous Microorganism for Water Hyacinth Degradation**. 29th National Graduate Research Conference: 1078-1083.

Polprasert, C. 2007. **Organic Waste Recycling: Technology and Management**, the 3rd Edition, IWA Publishing, London, UK

Salehrastin, N. 1998. Biofertilizer and Their Roles in Sustainable Agriculture. **Journal of Soil and Water**. 3: 128-137.

Wu, D., Liu, P., Luo, Y., Tian, G. and Mahmood, Q. 2010. Nitrogen Transformations During Co-composting of Herbal Residues Spent Mushrooms and Sludge. **Bioresource Technology**. 200-208

Zhang, X., Renb, J., Niua, H. and Wua, X. 2010. **Composting of Sewage Sludge Using Recycled Matured Compost as a Single Bulking Agent**. Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai, China. Sinopec Shanghai Petrochemical Company Limited, AcrylicFiber Research Institute, Shanghai, China. 177-180.

Zhu, N. 2007. Effect of Low Initial C/N ratio on Aerobic Composting of Swine Manure with Rice Straw. **Bioresource Technology**. 98: 9-13

Zucconi, F and Bbetroldi, D. 1998. International Sym. On Compost Production Quality and Use.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกองปุ๋ยหมัก

1. ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของกองปุ๋ยหมัก

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิทั้งสามระดับของกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย

วันที่	ระดับบน						ระดับกลาง						ระดับล่าง						ambient
	เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			
	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	
0	30.00	29.10	29.80	28.90	28.90	28.10	29.50	28.90	29.50	29.50	28.90	28.80	30.20	29.40	30.00	29.50	28.90	28.30	30.4
1	29.00	32.50	32.50	31.60	29.80	28.50	29.00	32.10	32.50	29.80	28.50	29.60	29.80	30.20	32.50	33.80	31.60	29.20	31.6
2	29.00	32.50	33.10	29.60	29.50	29.20	29.20	32.80	32.80	30.10	29.80	29.40	29.00	30.20	31.40	30.10	29.00	28.50	31.4
3	28.60	30.20	32.80	29.80	28.50	28.50	28.50	30.20	33.50	29.00	29.00	28.50	28.00	33.10	32.10	28.40	28.20	28.20	27.8
4	28.50	33.80	32.30	29.80	28.80	28.80	28.20	32.80	32.80	28.80	28.80	28.20	28.20	29.80	33.20	28.50	27.80	27.50	28.5

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิทั้งสามระดับของกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย (ต่อ)

วันที่	ระดับบน						ระดับกลาง						ระดับล่าง						ambient
	เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			
	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	
5	28.40	32.90	32.10	28.80	28.20	28.20	28.00	31.40	31.70	28.40	28.50	27.50	27.40	29.10	29.80	28.00	27.60	27.40	25.5
6	27.80	31.90	31.40	29.20	28.60	27.80	27.40	32.40	31.40	27.80	27.80	27.40	28.00	31.20	29.90	27.80	28.80	27.20	26.5
7	27.60	31.70	31.70	28.60	27.80	28.00	27.40	30.80	31.90	27.40	27.20	27.20	27.60	31.70	31.70	28.60	27.80	28.00	27.2
8	27.60	29.20	30.30	28.40	28.40	28.40	27.40	31.20	31.40	27.40	28.00	27.80	28.00	30.10	30.30	28.60	28.40	27.40	27.6
9	27.60	31.60	31.40	28.40	28.20	28.60	27.70	31.20	31.40	27.40	28.00	27.80	27.70	30.20	30.60	28.40	28.00	27.60	26.6
10	27.40	31.40	31.70	28.40	27.80	28.20	27.20	31.20	31.90	27.10	27.20	27.10	28.20	29.40	32.40	27.80	27.60	27.10	25.9
11	27.20	32.10	32.40	28.80	28.60	28.60	27.20	31.40	32.10	27.20	27.40	27.60	28.20	28.80	30.50	28.60	28.00	27.20	27.6
12	27.40	30.50	31.40	28.00	28.60	28.80	27.40	31.70	32.60	27.60	27.60	27.80	27.60	29.20	29.90	27.40	27.20	27.10	25.5
13	27.50	32.00	31.70	28.40	28.40	28.80	27.50	31.80	31.70	27.40	27.60	27.80	27.70	29.40	30.00	27.60	27.60	27.20	25.5

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิทั้งสามระดับของกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย (ต่อ)

วันที่	ระดับบน						ระดับกลาง						ระดับล่าง						ambient
	เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			
	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	
14	27.20	31.90	31.00	29.10	29.40	29.70	27.10	31.90	32.60	27.20	27.60	28.20	28.00	29.90	31.20	30.30	28.80	27.80	27.1
15	28.20	31.40	33.10	28.80	29.20	30.10	28.00	31.80	33.10	28.50	28.40	28.80	27.60	29.80	29.40	27.80	27.50	27.40	30.5
16	28.00	31.60	31.00	28.90	29.00	30.10	28.00	31.60	30.90	28.50	28.00	28.60	27.70	29.20	29.90	27.80	27.70	28.00	27.5
17	28.60	31.20	33.40	29.40	29.20	30.10	28.00	31.70	32.60	28.60	28.00	28.60	28.20	29.70	31.20	27.80	27.80	28.00	26.5
18	30.00	30.90	33.00	31.20	30.10	30.60	30.20	30.90	32.10	30.80	29.70	30.60	28.90	30.90	31.20	30.20	29.80	30.40	30.2
19	29.40	31.60	35.10	31.40	30.10	30.50	28.20	31.60	33.50	29.00	28.20	29.40	30.90	31.60	31.80	31.40	30.20	30.10	32.3
20	29.60	31.70	33.50	30.10	30.20	30.40	29.80	31.70	32.90	29.80	29.10	30.40	30.10	31.80	31.40	30.20	29.80	30.60	31.0
21	29.40	31.70	35.40	30.50	29.70	30.50	28.40	31.40	34.40	29.20	28.60	29.10	29.70	30.50	31.20	29.70	29.20	29.90	31.0
22	29.60	31.90	35.40	30.60	29.80	30.60	28.80	31.80	34.60	30.00	29.00	30.00	30.10	30.70	31.50	30.20	29.60	30.20	31.8

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิทั้งสามระดับของกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย (ต่อ)

วันที่	ระดับบน						ระดับกลาง						ระดับล่าง						ambient
	เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			
	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	
23	29.00	30.90	32.70	29.00	29.90	30.20	28.80	32.10	34.80	28.60	29.60	29.40	29.60	31.00	31.00	28.40	29.60	29.90	32.6
24	28.80	30.80	32.90	29.40	28.40	29.70	27.80	31.90	35.20	27.60	27.40	27.80	29.20	31.00	31.20	27.20	27.20	28.20	30.9
25	28.40	31.20	33.80	28.80	28.60	29.70	28.00	32.00	35.70	27.70	28.10	28.50	29.00	31.20	31.60	27.20	27.20	28.50	35.7
26	28.20	31.80	34.30	29.00	28.80	29.80	28.00	32.10	35.90	27.80	28.40	29.00	29.20	30.70	32.80	27.80	27.40	28.80	37.8
27	28.40	31.60	34.40	29.40	28.60	29.70	28.60	32.40	35.90	27.70	28.30	28.80	29.00	31.00	31.40	27.80	27.40	28.50	36.8
28	29.20	31.20	33.60	28.70	28.60	28.40	29.00	32.70	35.40	28.20	28.60	28.60	29.30	31.20	32.20	29.00	28.40	29.10	35.8
29	28.60	31.40	33.70	28.80	28.80	29.70	28.20	32.10	35.60	28.00	29.00	28.60	29.00	31.30	31.80	27.40	27.40	28.60	31.3
30	28.90	30.80	33.70	28.20	28.20	28.40	27.70	31.80	35.40	27.70	27.90	27.90	29.10	30.60	33.60	29.50	28.70	29.10	28.5
31	28.60	31.20	34.10	28.90	29.00	30.50	28.20	32.10	34.60	28.70	28.60	28.60	30.10	31.20	32.40	30.20	29.20	29.50	30.9

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิทั้งสามระดับของกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย (ต่อ)

วันที่	ระดับบน						ระดับกลาง						ระดับล่าง						ambient
	เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			
	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	
32	28.70	30.60	32.80	28.60	29.10	29.00	27.60	30.90	34.90	27.70	28.20	28.20	28.80	30.40	33.10	29.10	28.90	29.20	27.8
33	28.70	30.40	32.60	28.40	28.40	28.60	27.70	30.80	34.50	27.80	28.10	27.80	28.60	30.60	32.20	29.20	28.50	29.00	29.4
34	28.80	30.80	32.90	29.40	29.00	29.80	27.80	31.00	34.20	27.10	28.70	28.90	28.90	30.80	31.40	28.40	29.10	30.00	30.8
35	28.10	30.80	32.80	28.80	29.20	29.80	27.30	30.50	33.90	26.70	28.70	30.30	28.40	29.70	31.30	28.30	29.40	31.50	29.7
36	26.90	30.00	32.50	26.90	28.10	29.00	27.30	31.00	33.30	27.10	28.70	29.90	27.30	29.00	31.00	26.80	28.50	28.90	26.2
37	26.30	29.50	31.10	26.10	27.80	28.80	26.80	29.80	33.20	26.20	27.80	29.10	26.50	28.80	31.30	26.30	27.20	27.50	25.2
38	26.20	28.10	30.30	25.90	26.80	27.10	26.50	29.30	32.50	26.10	27.10	27.90	26.50	28.50	29.90	26.10	26.50	28.00	27.1
39	26.20	29.20	30.00	25.80	28.00	28.30	26.10	29.80	32.40	25.80	27.30	28.90	25.90	28.90	31.60	26.00	26.90	27.30	26.4
40	26.60	29.90	30.40	27.10	28.50	29.20	26.30	30.30	33.10	26.10	27.10	29.20	26.30	29.30	32.20	26.70	28.30	28.20	26.2

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิทั้งสามระดับของกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย (ต่อ)

วันที่	ระดับบน						ระดับกลาง						ระดับล่าง						ambient
	เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			
	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	
41	26.60	30.00	30.80	27.20	29.20	29.50	26.40	30.60	33.50	26.30	27.80	29.40	26.50	29.50	32.40	26.70	29.00	28.50	26.3
42	26.50	29.40	30.40	26.30	28.40	28.60	26.30	30.20	31.80	26.10	28.30	29.80	26.10	28.80	30.90	26.50	28.00	28.10	27.0
43	26.10	28.90	29.50	25.30	27.50	27.90	26.50	29.10	30.10	25.60	28.00	28.80	26.10	28.10	29.50	25.50	27.20	27.50	27.2
44	26.20	29.50	30.60	25.50	27.70	27.80	26.70	30.00	31.00	25.60	28.20	28.80	26.20	29.20	30.40	25.50	27.60	27.60	26.5
45	25.90	29.50	30.50	25.40	26.90	28.20	26.40	29.90	31.20	25.40	27.60	28.50	26.20	28.10	31.20	25.30	27.40	26.50	25.9
46	27.30	30.60	31.20	29.40	29.10	30.90	26.60	30.40	32.50	26.50	27.90	29.10	27.20	30.70	31.90	26.80	29.80	30.50	29.0
47	26.20	29.80	30.90	26.80	26.50	28.40	26.40	29.50	32.20	26.90	26.60	28.50	26.20	29.90	31.20	26.30	27.90	28.80	28.2
48	26.40	29.50	29.40	26.60	27.50	28.30	26.80	30.10	31.20	28.60	28.10	29.20	26.40	29.20	31.30	26.30	27.00	27.50	27.8
49	26.30	29.50	29.80	26.30	27.30	28.00	26.50	30.20	31.50	27.40	27.90	29.10	26.10	29.20	30.10	26.30	27.80	27.50	28.3

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิทั้งสามระดับของกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย (ต่อ)

วันที่	ระดับบน						ระดับกลาง						ระดับล่าง						ambient
	เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			
	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	
50	25.70	29.60	30.10	25.80	26.80	27.20	25.70	30.30	31.80	26.30	27.60	28.50	25.90	29.30	30.50	26.00	27.30	27.40	28.1
51	26.30	29.50	30.70	26.50	27.70	27.60	26.90	30.60	32.30	27.50	28.00	28.90	26.20	29.70	30.40	26.00	27.50	28.00	29.0
52	27.00	29.90	31.00	27.10	28.30	28.10	27.60	31.00	32.60	27.90	28.50	29.00	27.00	30.20	30.40	26.20	27.50	27.80	29.5
53	28.10	30.40	31.30	28.30	29.00	28.90	28.50	31.00	32.60	28.40	28.90	30.00	28.00	30.00	30.60	28.40	29.00	29.90	30.1
54	29.10	30.40	30.90	29.80	30.00	31.50	29.00	30.90	32.50	27.80	29.50	30.60	29.20	31.30	32.60	29.10	29.90	29.80	29.5
55	28.10	30.10	30.50	29.60	30.20	31.10	28.00	30.50	32.20	27.50	29.20	30.20	28.30	30.90	32.20	28.40	29.50	29.40	29.2
56	27.80	29.90	30.30	29.40	30.00	31.00	28.00	30.20	31.90	27.50	29.10	30.20	28.00	30.60	31.80	28.40	29.50	29.30	29.8
57	27.40	29.50	30.00	29.00	29.80	30.70	27.80	29.90	31.50	27.40	28.90	30.00	28.00	30.50	31.30	28.20	29.10	29.00	28.2
58	27.80	29.60	29.90	28.80	29.00	30.60	27.40	29.80	31.50	27.00	29.40	29.80	28.00	30.20	31.20	28.00	29.60	29.80	28.4

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิทั้งสามระดับของกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย (ต่อ)

วันที่	ระดับบน						ระดับกลาง						ระดับล่าง						ambient
	เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			เติมอากาศ			ไม่เติมอากาศ			
	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	C/N 10	C/N 13	C/N 15	
59	28.30	29.80	30.40	29.20	28.70	31.30	27.30	29.90	32.20	27.40	29.50	30.40	28.30	30.00	31.60	27.70	29.90	30.80	28.7
60	28.10	29.50	30.20	28.60	28.80	30.60	27.40	29.70	32.00	27.70	29.20	30.10	27.50	29.80	31.40	27.70	28.80	29.50	29.1
เฉลี่ย	27.86	30.66	31.84	28.44	28.67	29.23	27.67	31.00	32.83	27.70	28.31	28.89	28.01	30.10	31.28	28.02	28.39	28.58	29.02
Max	30.00	33.80	35.40	31.60	30.20	31.50	30.20	32.80	35.90	30.80	29.80	30.60	30.90	33.10	33.60	33.80	31.60	31.50	37.80
Min	25.70	28.10	29.40	25.30	26.50	27.10	25.70	28.90	29.50	25.40	26.60	27.10	25.90	28.10	29.40	25.30	26.50	26.50	25.20
SD	1.13	1.13	1.57	1.51	0.89	1.11	0.95	0.97	1.48	1.18	0.73	0.91	1.28	0.98	0.95	1.58	1.03	1.14	2.78

ตารางที่ 28 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ยของกองปุ๋ยหมัก

ชุดการทดลอง	อุณหภูมิเฉลี่ย (^{o}C)							
	Day-1	**Day-3**	**Day-5**	**Day-7**	**Day-15**	**Day-30**	**Day-45**	**Day-60**
เติมอากาศ-C/N 10	29.27	28.37	27.93	27.53	27.93	28.57	26.17	27.67
เติมอากาศ-C/N 13	31.60	31.17	31.13	31.40	31.00	31.07	29.17	29.67
เติมอากาศ-C/N 15	32.50	32.80	31.20	31.77	31.87	34.23	30.97	31.20
ไม่เติมอากาศ-C/N 10	31.73	29.07	28.40	28.20	28.37	28.47	25.37	28.00
ไม่เติมอากาศ-C/N 13	29.97	28.57	28.10	27.60	28.37	28.27	27.30	28.93
ไม่เติมอากาศ-C/N 15	29.10	28.40	27.70	27.73	28.77	28.47	27.73	30.07

ตารางที่ 29 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอชของกองปุ๋ยหมัก

ชุดการทดลอง	พีเอช							
	Day-1	**Day-3**	**Day-5**	**Day-7**	**Day-15**	**Day-30**	**Day-45**	**Day-60**
เติมอากาศ-C/N 10	7.60	7.51	7.58	7.72	7.98	8.29	7.84	8.45
เติมอากาศ-C/N 13	7.31	7.18	7.08	7.24	7.65	7.02	6.68	6.14
เติมอากาศ-C/N 15	7.14	7.10	7.12	7.41	7.25	7.06	6.51	6.23
ไม่เติมอากาศ-C/N 10	7.51	7.24	7.54	7.62	8.04	8.09	8.02	8.2
ไม่เติมอากาศ-C/N 13	7.25	6.94	7.44	7.68	7.81	7.91	6.55	6.49
ไม่เติมอากาศ-C/N 15	7.01	7.13	7.52	7.37	7.49	7.12	6.58	6.47

ตารางที่ 30 ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นของกองปุ๋ยหมัก

ชุดการทดลอง	ความชื้น (%)							
	Day-1	**Day-3**	**Day-5**	**Day-7**	**Day-15**	**Day-30**	**Day-45**	**Day-60**
เติมอากาศ-C/N 10	82.36	82.15	82.61	80.65	80.69	81.79	78.97	67.58
เติมอากาศ-C/N 13	72.46	75.96	71.37	72.85	68.72	62.92	62.11	50.19
เติมอากาศ-C/N 15	67.46	67.36	66.48	68.41	64.27	57.06	56.05	40.50
ไม่เติมอากาศ-C/N 10	83.96	86.21	84.49	83.74	82.77	81.94	79.64	69.63
ไม่เติมอากาศ-C/N 13	78.73	81.04	80.15	76.62	75.06	71.33	64.21	59.59
ไม่เติมอากาศ-C/N 15	78.96	72.33	71.83	73.27	67.68	62.92	60.74	52.18

2. ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของกองปุ๋ยหมัก

ตารางที่ 31 ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของกองปุ๋ยหมัก

ชุดการทดลอง	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (% น้ำหนักแห้ง)							
	Day-1	Day-3	Day-5	Day-7	Day-15	Day-30	Day-45	Day-60
เติมอากาศ-C/N 10	28.67	21.95	20.19	21.92	28.94	21.49	21.32	24.54
เติมอากาศ-C/N 13	25.50	25.09	25.53	23.73	27.62	20.06	19.92	25.42
เติมอากาศ-C/N 15	27.71	25.00	22.51	20.90	26.05	19.21	20.06	19.89
ไม่เติมอากาศ-C/N 10	29.82	21.04	24.92	22.67	30.23	21.58	20.56	23.32
ไม่เติมอากาศ-C/N 13	28.30	23.90	20.40	20.85	28.39	19.87	20.45	25.14
ไม่เติมอากาศ-C/N 15	30.35	25.84	22.28	22.86	26.05	19.75	19.61	20.23

ตารางที่ 32 ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุของกองปุ๋ยหมัก

ชุดการทดลอง	ปริมาณอินทรียวัตถุ (% น้ำหนักแห้ง)							
	Day-1	**Day-3**	**Day-5**	**Day-7**	**Day-15**	**Day-30**	**Day-45**	**Day-60**
เติมอากาศ-C/N 10	49.44	37.84	34.81	37.78	49.90	37.06	36.75	42.32
เติมอากาศ-C/N 13	43.97	43.25	44.01	40.92	47.62	34.58	34.34	43.82
เติมอากาศ-C/N 15	47.77	43.10	38.81	36.04	44.92	33.13	34.59	34.29
ไม่เติมอากาศ-C/N 10	51.40	36.27	42.97	39.09	52.12	37.20	35.44	40.21
ไม่เติมอากาศ-C/N 13	48.72	41.20	35.17	35.95	48.95	34.26	35.26	43.35
ไม่เติมอากาศ-C/N 15	52.32	44.55	38.41	39.41	44.91	34.05	33.80	34.88

ตารางที่ 33 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งระเหยของกองปุ๋ยหมัก

ชุดการทดลอง	ปริมาณของแข็งระเหย (% น้ำหนักแห้ง)							
	Day-1	**Day-3**	**Day-5**	**Day-7**	**Day-15**	**Day-30**	**Day-45**	**Day-60**
เติมอากาศ-C/N 10	52.15	51.75	53.40	50.48	52.65	50.48	49.89	48.75
เติมอากาศ-C/N 13	49.68	49.23	49.04	47.74	47.32	44.79	45.83	44.84
เติมอากาศ-C/N 15	47.70	45.30	48.23	48.31	45.21	44.93	43.99	41.21
ไม่เติมอากาศ-C/N 10	53.69	53.10	54.12	50.70	50.94	50.30	48.54	48.71
ไม่เติมอากาศ-C/N 13	49.13	50.06	52.18	47.73	46.67	44.91	43.97	43.29
ไม่เติมอากาศ-C/N 15	47.22	45.91	47.91	47.83	45.47	44.99	44.02	43.00

ตารางที่ 34 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของกองปุ๋ยหมัก

ชุดการทดลอง	ปริมาณเถ้า (% น้ำหนักแห้ง)							
	Day-1	**Day-3**	**Day-5**	**Day-7**	**Day-15**	**Day-30**	**Day-45**	**Day-60**
เติมอากาศ-C/N 10	47.85	48.25	46.60	49.52	47.35	49.52	50.11	49.10
เติมอากาศ-C/N 13	50.32	50.77	50.96	52.26	52.68	55.21	54.17	53.58
เติมอากาศ-C/N 15	52.30	54.70	51.77	51.69	54.79	55.07	56.01	58.37
ไม่เติมอากาศ-C/N 10	46.31	46.90	45.88	49.30	49.06	49.70	51.46	50.22
ไม่เติมอากาศ-C/N 13	50.87	49.94	47.82	52.27	53.33	55.09	56.03	53.46
ไม่เติมอากาศ-C/N 15	52.78	54.09	52.09	52.17	54.53	55.01	55.98	57.00

ตารางที่ 35 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของกองปุ๋ยหมัก

ชุดการทดลอง	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (% น้ำหนักแห้ง)							
	Day-1	**Day-3**	**Day-5**	**Day-7**	**Day-15**	**Day-30**	**Day-45**	**Day-60**
เติมอากาศ-C/N 10	2.83	2.65	2.70	2.32	2.57	2.54	2.65	2.57
เติมอากาศ-C/N 13	1.90	1.89	2.15	2.33	2.15	2.06	2.21	2.29
เติมอากาศ-C/N 15	1.90	1.68	1.98	2.01	1.98	2.05	2.02	2.22
ไม่เติมอากาศ-C/N 10	2.92	2.91	2.83	2.92	3.01	2.52	2.70	2.34
ไม่เติมอากาศ-C/N 13	2.20	2.16	1.96	2.25	2.18	2.10	2.14	2.16
ไม่เติมอากาศ-C/N 15	2.08	1.72	2.03	1.71	1.98	1.95	2.19	2.10

ตารางที่ 36 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของกองปุ๋ยหมัก

ชุดการทดลอง	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (% น้ำหนักแห้ง)							
	Day-1	**Day-3**	**Day-5**	**Day-7**	**Day-15**	**Day-30**	**Day-45**	**Day-60**
เติมอากาศ-C/N 10	0.42	0.45	0.57	0.57	0.54	0.54	0.72	0.78
เติมอากาศ-C/N 13	0.33	0.33	0.36	0.36	0.42	0.42	0.54	0.48
เติมอากาศ-C/N 15	0.26	0.27	0.45	0.45	0.36	0.35	0.45	0.45
ไม่เติมอากาศ-C/N 10	0.42	0.45	0.57	0.54	0.53	0.53	0.72	0.75
ไม่เติมอากาศ-C/N 13	0.36	0.30	0.36	0.36	0.42	0.42	0.48	0.45
ไม่เติมอากาศ-C/N 15	0.33	0.24	0.30	0.39	0.36	0.33	0.42	0.42

ตารางที่ 37 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของกองปุ๋ยหมัก

ชุดการทดลอง	ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (% น้ำหนักแห้ง)							
	Day-1	**Day-3**	**Day-5**	**Day-7**	**Day-15**	**Day-30**	**Day-45**	**Day-60**
เติมอากาศ-C/N 10	0.61	0.58	0.64	0.60	0.71	0.81	0.58	0.77
เติมอากาศ-C/N 13	0.35	0.27	0.34	0.34	0.27	0.28	0.30	0.35
เติมอากาศ-C/N 15	0.23	0.19	0.17	0.17	0.20	0.20	0.20	0.23
ไม่เติมอากาศ-C/N 10	0.73	0.91	0.59	0.56	0.74	0.77	0.80	0.66
ไม่เติมอากาศ-C/N 13	0.34	0.30	0.30	0.34	0.30	0.26	0.28	0.31
ไม่เติมอากาศ-C/N 15	0.28	0.17	0.15	0.20	0.16	0.16	0.12	0.25

ภาคผนวก ข

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของต้นดาวเรือง

ตารางที่ 38 ผลการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นดาวเรือง

ชุดการทดลอง	วันที่	ความสูง (cm)					
		ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 4	ค่าเฉลี่ย	SD
Control 1 (ดิน)	เริ่มต้น	9.00	8.00	7.40	7.20	7.90	0.81
	7	16.50	15.00	14.50	13.00	14.75	1.44
	14	19.50	20.00	18.00	17.50	18.75	1.19
	21	22.50	24.00	24.50	22.00	23.25	1.19
	28	22.50	25.00	24.50	25.00	24.25	1.19
	35	28.00	26.00	30.00	30.00	28.50	1.91
	45	30.00	31.00	30.00	30.00	30.25	0.50
Control 2 (ปุ๋ยเคมี)	เริ่มต้น	9.50	6.00	6.50	6.50	7.13	1.60
	7	13.00	10.00	10.00	11.00	11.00	1.41
	14	20.00	15.00	17.00	16.00	17.00	2.16
	21	27.00	24.00	24.00	23.00	24.50	1.73
	28	33.00	30.00	32.00	31.00	31.50	1.29
	35	41.00	43.00	41.00	40.00	41.25	1.26
	45	46.00	45.00	44.00	43.00	44.50	1.29
ดิน+ปุ๋ย Aeration 10 dose 1	เริ่มต้น	6.50	6.50	7.00	7.00	6.75	0.29
	7	12.50	12.50	12.00	13.50	12.63	0.63
	14	18.50	16.50	16.50	22.50	18.50	2.83
	21	28.00	27.50	27.50	29.50	28.13	0.95
	28	30.00	35.00	35.00	30.50	32.63	2.75
	35	33.00	43.00	35.00	36.00	36.75	4.35
	45	36.00	44.00	37.00	37.00	38.50	3.70

ตารางที่ 38 ผลการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นดาวเรือง (ต่อ)

ชุดการทดลอง	วันที่	ความสูง (cm)					
		ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 4	ค่าเฉลี่ย	SD
ดิน+ปุ๋ย Aeration 10 dose 2	เริ่มต้น	5.00	4.60	5.60	5.00	5.05	0.41
	7	10.00	10.50	10.00	9.00	9.88	0.63
	14	15.00	15.00	14.00	12.50	14.13	1.18
	21	26.50	26.50	28.00	26.50	26.88	0.75
	28	33.00	34.00	37.00	32.00	34.00	2.16
	35	35.00	38.00	38.00	37.00	37.00	1.41
	45	38.00	40.00	41.00	38.00	39.25	1.50
ดิน+ปุ๋ย Aeration 10 dose 3	เริ่มต้น	4.50	4.50	4.20	5.00	4.55	0.33
	7	9.50	9.00	9.50	10.50	9.63	0.63
	14	16.00	15.00	13.00	15.50	14.88	1.31
	21	29.00	27.50	25.50	27.50	27.38	1.44
	28	35.00	37.00	34.00	38.00	36.00	1.83
	35	37.00	38.00	41.00	38.00	38.50	1.73
	45	38.00	39.00	42.00	40.00	39.75	1.71
ดิน+ปุ๋ย Aeration 13 dose 1	เริ่มต้น	3.70	3.70	4.50	3.50	3.85	0.44
	7	8.50	9.50	9.50	8.00	8.88	0.75
	14	12.50	14.00	14.00	12.00	13.13	1.03
	21	22.50	24.50	26.50	20.50	23.50	2.58
	28	26.00	26.00	35.00	28.00	28.75	4.27
	35	27.00	28.00	35.00	40.00	32.50	6.14
	45	29.00	29.00	37.00	43.00	34.50	6.81

ตารางที่ 38 ผลการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นดาวเรือง (ต่อ)

ชุดการทดลอง	วันที่	ความสูง (cm)					
		ต้นที่ 1	ต้นที่ 2	ต้นที่ 3	ต้นที่ 4	ค่าเฉลี่ย	SD
ดิน+ปุ๋ย Aeration 13 dose 2	เริ่มต้น	3.00	4.50	2.50	5.00	3.75	1.19
	7	8.50	9.50	8.00	10.50	9.13	1.11
	14	12.50	13.00	12.00	15.00	13.13	1.31
	21	23.50	23.00	22.00	27.50	24.00	2.42
	28	28.00	25.00	30.00	30.00	28.25	2.36
	35	29.00	26.00	31.00	38.00	31.00	5.10
	45	34.00	30.00	36.00	39.00	34.75	3.77
ดิน+ปุ๋ย Aeration 13 dose 3	เริ่มต้น	5.00	4.00	3.60	3.50	4.03	0.68
	7	10.00	10.00	10.50	9.50	10.00	0.41
	14	13.50	14.00	15.50	13.00	14.00	1.08
	21	22.00	23.50	27.50	26.50	24.88	2.56
	28	25.00	35.00	33.00	30.00	30.75	4.35
	35	30.00	36.00	40.00	30.00	34.00	4.90
	45	31.00	38.00	42.00	35.00	36.50	4.65

ตารางที่ 39 อัตราการให้ดอกของต้นดาวเรือง

ชุดการทดลอง	วันที่	จำนวนดอก											
		ต้นที่ 1			ต้นที่ 2			ต้นที่ 3			ต้นที่ 4		
		ตูม	บาน	รวม	ตูม	บาน	รวม	ตูม	บาน	รวม	ตูม	บาน	รวม
Control 1 (ดิน)	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
	21	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1
	28	1	1	2	0	1	1	2	1	3	2	1	3
	35	1	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3
	45	1	2	3	2	1	3	2	1	3	1	2	3
Control 2 (ปุ๋ยเคมี)	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1
	21	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
	28	3	1	4	3	1	4	1	1	2	1	1	2
	35	5	2	7	3	1	4	3	2	5	2	1	3
	45	5	2	7	3	2	5	4	2	6	3	1	4
ดิน+ปุ๋ย Aeration 10 dose 1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
	21	2	1	3	1	0	1	3	1	4	5	1	6
	28	5	1	6	3	1	4	3	1	4	7	1	8
	35	4	3	7	3	1	4	2	2	4	4	4	8
	45	2	5	7	3	1	4	1	4	5	4	5	9
ดิน+ปุ๋ย Aeration 10 dose 2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	21	1	0	1	4	1	5	1	0	1	1	0	1
	28	5	1	6	7	1	8	3	0	3	3	0	3
	35	6	1	7	8	2	10	3	1	4	4	1	5
	45	5	4	9	6	4	10	3	2	5	4	2	6

ตารางที่ 39 อัตราการให้ดอกของต้นดาวเรือง (ต่อ)

ชุดการทดลอง	วันที่	จำนวนดอก											
		ต้นที่ 1			ต้นที่ 2			ต้นที่ 3			ต้นที่ 4		
		ตูม	บาน	รวม	ตูม	บาน	รวม	ตูม	บาน	รวม	ตูม	บาน	รวม
ดิน+ปุ๋ย Aeration 10 dose 3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	21	2	0	2	3	0	3	1	0	1	3	0	3
	28	5	1	6	4	1	5	3	0	3	8	1	9
	35	5	1	6	3	2	5	4	1	5	7	2	9
	45	5	4	9	5	5	10	3	2	5	6	3	9
ดิน+ปุ๋ย Aeration 13 dose 1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1
	28	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2	0	2
	35	1	1	2	0	1	1	0	1	1	4	0	4
	45	1	1	2	0	1	1	0	1	1	3	2	5
ดิน+ปุ๋ย Aeration 13 dose 2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	21	1	0	1	0	0	0	1	0	1	2	0	2
	28	3	0	3	1	0	1	2	0	2	3	0	3
	35	2	1	3	1	1	2	1	1	2	3	0	3
	45	2	2	4	1	1	2	1	1	2	4	1	5
ดิน+ปุ๋ย Aeration 13 dose 3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	14	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0
	21	1	0	1	1	0	1	4	0	4	0	0	0
	28	2	1	3	4	0	4	6	0	6	1	0	1
	35	2	1	3	3	2	5	7	1	8	2	1	3
	45	3	1	4	3	2	5	9	2	11	2	2	4

ตารางที่ 40 ขนาดดอกของดาวเรือง

ชุดการทดลอง	วันที่	จำนวนดอกบาน/ขนาดดอก							
		ต้นที่ 1		ต้นที่ 2		ต้นที่ 3		ต้นที่ 4	
		ดอกบาน	ขนาด (cm)	ดอกบาน	ขนาด (cm)	ดอกบาน	ขนาด (cm)	ดอกบาน	ขนาด (cm)
Control 1 (ดิน)	7	0	-	0	-	0	-	0	-
	14	0	-	0	-	0	-	0	-
	21	1	5	0	-	1	5	1	5
	28	1	5	1	5	1	5	1	5
	35	2	5, 5	1	5	1	5	1	5
	45	2	5, 5	1	5	1	5	2	5, 5
Control 2 (ปุ๋ยเคมี)	7	0	-	0	-	0	-	0	-
	14	0	-	0	-	0	-	0	-
	21	0	-	0	-	0	-	0	-
	28	1	8.5	1	9	1	7.5	1	7.5
	35	2	8.5, 6	1	9	2	7.5, 6	1	7.5
	45	2	8.5, 6	2	9, 5.5	2	7.5, 6	1	7.5
ดิน+ปุ๋ย Aeration 10 dose 1	7	0	-	0	-	0	-	0	-
	14	0	-	0	-	0	-	0	-
	21	1	6	0	-	1	6	1	6
	28	1	6	1	7.5	1	6	1	6
	35	3	6, 6.5, 5.5	1	7.5	2	6, 10	4	6, 10, 5.5, 5.5
	45	5	6, 6.5, 6.5, 5.5, 5.5	1	7.5	4	6, 10, 7.5, 5.5	5	6, 10, 5.5, 5.5, 5

ตารางที่ 40 ขนาดดอกของดาวเรือง (ต่อ)

ชุดการทดลอง	วันที่	จำนวนดอกบาน/ขนาดดอก							
		ต้นที่ 1		ต้นที่ 2		ต้นที่ 3		ต้นที่ 4	
		ดอกบาน	ขนาด (cm)	ดอกบาน	ขนาด (cm)	ดอกบาน	ขนาด (cm)	ดอกบาน	ขนาด (cm)
ดิน+ปุ๋ย Aeration 10 dose 2	7	0	-	0	-	0	-	0	-
	14	0	-	0	-	0	-	0	-
	21	0	-	1	6	0	-	0	-
	28	1	7.5	1	6	0	-	0	-
	35	1	7.5	2	6, 8	1	8.5	1	7
	45	4	7.5, 7.5, 4.5, 4.5	4	6, 8, 6.5, 6.5	2	9, 8.5	2	7, 10.5
ดิน+ปุ๋ย Aeration 10 dose 3	7	0	-	0	-	0	-	0	-
	14	0	-	0	-	0	-	0	-
	21	0	-	0	-	0	-	0	-
	28	1	7	1	8.5	0	-	1	7
	35	1	7	2	8.5, 7	1	7	2	7, 5.5
	45	4	7, 5.5, 5, 5	5	8.5, 7, 8, 7, 6.5	2	7,7	3	7, 5.5, 5
ดิน+ปุ๋ย Aeration 13 dose 1	7	0	-	0	-	0	-	0	-
	14	0	-	0	-	0	-	0	-
	21	0	-	0	-	0	-	0	-
	28	0	-	0	-	0	-	0	-
	35	1	6.5	1	6.5	1	6	0	-
	45	1	6.5	1	6.5	1	6	2	5.5, 5.5

ตารางที่ 40 ขนาดดอกของดาวเรือง (ต่อ)

ชุดการทดลอง	วันที่	จำนวนดอกบาน/ขนาดดอก							
		ต้นที่ 1		ต้นที่ 2		ต้นที่ 3		ต้นที่ 4	
		ดอกบาน	ขนาด (cm)	ดอกบาน	ขนาด (cm)	ดอกบาน	ขนาด (cm)	ดอกบาน	ขนาด (cm)
ดิน+ปุ๋ย Aeration 13 dose 2	7	0	-	0	-	0	-	0	-
	14	0	-	0	-	0	-	0	-
	21	0	-	0	-	0	-	0	-
	28	0	-	0	-	0	-	0	-
	35	1	7	1	7	1	6.5	0	-
	45	2	7, 7.5	1	7	1	6.5	1	6.5
ดิน+ปุ๋ย Aeration 13 dose 3	7	0	-	0	-	0	-	0	-
	14	0	-	0	-	0	-	0	-
	21	0	-	0	-	0	-	0	-
	28	1	7	0	-	0	-	0	-
	35	1	7	2	7, 6.5	1	6	1	7
	45	1	7	2	7, 6.5	2	6, 5.5	2	7, 6

ตารางที่ 41 การเปรียบเทียบลักษณะการเจริญเติบโต ด้านความสูงต้น จำนวนดอก และขนาดดอกของต้นดาวเรือง one-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

		Sum of Squares	**df**	**Mean Square**	**F**	**Sig.**
อัตราความสูง	Between Groups	.275	7	.039	5.782	.001
	Within Groups	.163	24	.007		
	Total	.438	31			
จำนวนดอก	Between Groups	135.000	7	19.286	4.494	.003
	Within Groups	103.000	24	4.292		
	Total	238.000	31			
ขนาดดอก	Between Groups	16.598	7	2.371	4.760	.002
	Within Groups	11.956	24	.498		
	Total	28.554	31			

ตารางที่ 42 การจัดกลุ่มชุดปุ๋ยเปรียบเทียบการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นดอกดาวเรือง ตัวเลขที่แสดงเป็นอัตราเพิ่มขึ้นของความสูงวันสุดท้าย (ปลูกได้ 45 วัน)

Duncan[a]

treatment	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Control 1 (ดิน)	4	.4975		
ปุ๋ย Aeration C/N 13dose 1	4		.6800	
ปุ๋ย Aeration C/N 13 dose 2	4		.6900	
ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 1	4		.7075	.7075
ปุ๋ย Aeration C/N 13dose 3	4		.7225	.7225
ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 2	4		.7600	.7600
ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 3	4		.7825	.7825
Control 2 (ปุ๋ยเคมี)	4			.8300
Sig.		1.000	.133	.070

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางที่ 43 การจัดกลุ่มชุดปุ๋ยเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองด้านจำนวนดอก ตัวเลขที่แสดงเป็นจำนวนดอกเฉลี่ยวันสุดท้าย(ปลูกได้ 45 วัน)

Duncan[a]

treatment	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
ปุ๋ย Aeration C/N 13dose 1	4	2.2500		
Control 1 (ดิน)	4	3.0000	3.0000	
ปุ๋ย Aeration C/N 13dose 2	4	3.2500	3.2500	
Control 2 (ปุ๋ยเคมี)	4	5.5000	5.5000	5.5000
ปุ๋ย Aeration C/N 13dose 3	4		6.0000	6.0000
ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 1	4		6.2500	6.2500
ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 2	4			7.5000
ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 3	4			8.2500
Sig.		.052	.056	.104

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ตารางที่ 44 การจัดกลุ่มชุดปุ๋ยเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นดาวเรืองด้านขนาดดอก ตัวเลขที่แสดงเป็นขนาดดอกเฉลี่ยวันสุดท้าย (ปลูกได้ 45วัน)

Duncan[a]

treatment	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Control 1 (ดิน)	4	5.0000		
ปุ๋ย Aeration C/N 13dose 1	4		6.1250	
ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 3	4		6.4650	6.4650
ปุ๋ย Aeration C/N 13dose 3	4		6.5000	6.5000
ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 1	4		6.7875	6.7875
ปุ๋ย Aeration C/N 13dose 2	4		6.8125	6.8125
Control 2 (ปุ๋ยเคมี)	4		7.1875	7.1875
ปุ๋ย Aeration C/N 10 dose 2	4			7.5625
Sig.		1.000	.071	.062

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

ภาคผนวก ค

อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ

หน้า ๑๕
เล่ม ๑๒๙ ตอนพิเศษ ๑๘๓ ง ราชกิจจานุเบกษา ๓๐ พฤศจิกายน ๒๕๕๕

ประกาศคณะกรรมการค่าจ้าง

เรื่อง อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ (ฉบับที่ ๗)

ด้วยคณะกรรมการค่าจ้างได้มีการประชุมศึกษาและพิจารณาข้อเท็จจริงเกี่ยวกับอัตราค่าจ้างที่ลูกจ้างได้รับอยู่ ประกอบกับข้อเท็จจริงอื่นตามที่กฎหมายกำหนด เมื่อวันที่ ๑๗ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๔ และมีมติเห็นชอบให้กำหนดอัตราค่าจ้างขั้นต่ำเพื่อใช้บังคับแก่นายจ้างและลูกจ้างทุกคน

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๗๙ (๓) และมาตรา ๘๘ แห่งพระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. ๒๕๔๑ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน (ฉบับที่ ๓) พ.ศ. ๒๕๕๑ คณะกรรมการค่าจ้างจึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิกข้อ ๓ ข้อ ๔ ข้อ ๕ ข้อ ๖ ข้อ ๗ ข้อ ๘ ข้อ ๙ ข้อ ๑๐ ข้อ ๑๑ ข้อ ๑๒ ข้อ ๑๓ ข้อ ๑๔ ข้อ ๑๕ ข้อ ๑๖ ข้อ ๑๗ ข้อ ๑๘ ข้อ ๑๙ ข้อ ๒๐ ข้อ ๒๑ ข้อ ๒๒ ข้อ ๒๓ ข้อ ๒๔ ข้อ ๒๕ ข้อ ๒๖ ข้อ ๒๗ ข้อ ๒๘ ข้อ ๒๙ ข้อ ๓๐ ข้อ ๓๑ และข้อ ๓๒ ของประกาศคณะกรรมการค่าจ้าง เรื่อง อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ (ฉบับที่ ๖) ลงวันที่ ๒ พฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๕๔

ข้อ ๒ ให้กำหนดอัตราค่าจ้างขั้นต่ำเป็นเงินวันละสามร้อยบาท ในท้องที่จังหวัดกระบี่ กาญจนบุรี กาฬสินธุ์ กำแพงเพชร ขอนแก่น จันทบุรี ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ชัยนาท ชัยภูมิ ชุมพร เชียงราย เชียงใหม่ ตรัง ตราด ตาก นครนายก นครพนม นครราชสีมา นครศรีธรรมราช นครสวรรค์ นราธิวาส น่าน บึงกาฬ บุรีรัมย์ ประจวบคีรีขันธ์ ปราจีนบุรี ปัตตานี พระนครศรีอยุธยา พังงา พัทลุง พิจิตร พิษณุโลก เพชรบุรี เพชรบูรณ์ แพร่ พะเยา มหาสารคาม มุกดาหาร แม่ฮ่องสอน ยะลา ยโสธร ร้อยเอ็ด ระนอง ระยอง ราชบุรี ลพบุรี ลำปาง ลำพูน เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สงขลา สตูล สมุทรสงคราม สระแก้ว สระบุรี สิงห์บุรี สุโขทัย สุพรรณบุรี สุราษฎร์ธานี สุรินทร์ หนองคาย หนองบัวลำภู อ่างทอง อุดรธานี อุทัยธานี อุตรดิตถ์ อุบลราชธานี และอำนาจเจริญ

ข้อ ๓ ประกาศคณะกรรมการค่าจ้างฉบับนี้ ให้มีผลใช้บังคับตั้งแต่วันที่ ๑ มกราคม พ.ศ. ๒๕๕๖ เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๑๐ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๕
สมเกียรติ ฉายะศรีวงศ์
ปลัดกระทรวงแรงงาน
ประธานกรรมการค่าจ้าง

ภาคผนวก ง

อัตราค่าไฟฟ้า

อัตราค่าไฟฟ้า

ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

สำหรับการใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย รวมทั้งวัด สำนักสงฆ์ และสถานประกอบศาสนกิจของทุกศาสนา ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

1.1 อัตราปกติ		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
1.1.1 ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน			8.19
15 หน่วยแรก	(หน่วยที่ 0 – 15)	1.8632	
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 16 – 25)	2.5026	
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 26 – 35)	2.7549	
65 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 36 - 100)	3.1381	
50 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 101 – 150)	3.2315	
250 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 151 – 400)	3.7362	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	(หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	3.9361	

ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1.1.1 ที่ใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 50 หน่วยต่อเดือน ได้รับสิทธิค่าไฟฟ้าฟรีในเดือนนั้น

1.1.2 ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน			38.22
150 หน่วยแรก	(หน่วยที่ 0 – 150)	2.7628	
250 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 151 – 400)	3.7362	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	(หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	3.9361	

1.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Off Peak	
1.2.1 แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลท์	4.5827	2.1495	312.24
1.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	5.2674	2.1827	38.22

หมายเหตุ 1. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าไม่เกิน 5 แอมป์ 220 โวลท์ 1 เฟส 2 สาย จะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.1 แต่หากมีการใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วย ติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.2 และเมื่อใดที่การใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.1

2. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าเกิน 5 แอมป์ 220 โวลท์ 1 เฟส 2 สาย จะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.2

3. ประเภทที่ 1.2 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

4. ประเภทที่ 1.2 เป็นอัตราเลือก ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด และหากเลือกใช้ไปแล้วไม่น้อยกว่า 12 เดือน สามารถแจ้งความประสงค์ขอเปลี่ยนกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 1.1 ตามเดิมได้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวประไพพรรณ จันทร์ทิพย์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5410920010

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต สาธารณสุขศาสตร์ (อนามัยสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัย หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ	2550

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- ทุนอุดหนุนเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัยปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ปี 2555 - ปัจจุบัน หัวหน้าแผนกควบคุมคุณภาพ
บริษัท เนเจอร์เท็กซ์ จำกัด
45/1 หมู่ 3 ตำบลเขาหัวควาย อำเภอพุนพิน
จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84130

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Chantip, P., Danteravanich, S. And Sutthirak, P. 2015. Co-composting of Sludge from Wastewater Treatment Plants of Concentrated Latex and STR20 Factories with Water Hyacinth. **International Conference on Environment, Livelihood, and Services : Environment for life**. 2-5 November 2015, Bangkok, Thailand.