งานวิจัยเรื่อง

การศึกษาคุณลักษณะของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และปรับปรุงปริมาณโพแทสเซียมและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อผลิตปุ๋ยสูตรเร่งผล : การศึกษาคุณลักษณะของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และหมักทำปุ๋ยเพื่อปรับปรุงปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญ เพื่อผลิตปุ๋ยสูตรเร่งผล

โดย

นางสาวประวรดา โภชนจันทร์และคณะ

ภายใต้แผนงานวิจัย เรื่อง การพัฒนาความเข้มแข็งของชุมชนอย่างยั่งยืน โดยการประยุกต์ใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียระยะที่ 1 เพื่อทำปุ๋ยและผลิตภัณฑ์

โดย

รศ. นิยดา สวัสดิพงษ์

(ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

2551

งานวิจัยเรื่อง

การศึกษาคุณลักษณะของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และปรับปรุงปริมาณโพแทสเซียมและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อผลิตปุ๋ยสูตรเร่งผล : การศึกษาคุณลักษณะของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย และหมักทำปุ๋ยเพื่อปรับปรุงปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญ เพื่อผลิตปุ๋ยสูตรเร่งผล

โดย

นางสาวประวรดา	**โภชนจันทร์**
รศ.นิยดา	**สวัสดิพงษ์**
นางสาวพรธิดา	**เทพประสิทธิ์**
นางสาวพรรณทิพา	**กิจภักดีกุล**
นางสาวเพียงกมล	**ยุวนานนท์**
นายอนิรุทธ์	**ศรีเลขา**
นางสาวสุภาณี	**คูคู่เมือง**

ภายใต้แผนงานวิจัย เรื่อง การพัฒนาความเข้มแข็งของชุมชนอย่างยั่งยืน โดยการประยุกต์ใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียระยะที่ 1 เพื่อทำปุ๋ยและผลิตภัณฑ์

โดย

รศ. นิยดา สวัสดิพงษ์

(ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

2551

(งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551)

หัวข้อวิจัย	:	การศึกษาคุณลักษณะของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและปรับปรุงปริมาณโพแทสเซียม และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อผลิตปุ๋ยสูตรเร่งผล: การศึกษาคุณลักษณะของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและหมักทำปุ๋ยเพื่อปรับปรุงปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญ เพื่อผลิตปุ๋ยสูตรเร่งผล
ผู้ดำเนินการวิจัยวิจัย	:	นางสาวประวรดา โภชนจันทร์ และคณะ
หน่วยงาน	:	ศูนย์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
ปีงบประมาณ	:	2551

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการตามมาตรฐานคุณสมบัติของปุ๋ยหมัก ศึกษาปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหมักทำปุ๋ยและศึกษาถึงอัตราส่วนของวัสดุเหลือใช้และกากตะกอนและระยะเวลาหมักทำปุ๋ยที่มีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมและธาตุอาหารที่เกี่ยวข้องในกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย

ผลการศึกษา พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด พบว่า ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ และพบว่าปริมาณธาตุอาหารทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโดยเฉพาะโพแทสเซียมมีปริมาณค่อนข้างสูง จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก แต่ในส่วนของปริมาณโลหะหนักโดยเฉพาะปริมาณโครเมียมที่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ในกากตะกอนที่ใช้ทำงานวิจัย ซึ่งมีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และจากการศึกษาพบว่า อัตราส่วน C/N ratio ที่เหมาะสมคือ C/N ratio 25 และระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักทำปุ๋ยคือ 60 วัน โดยวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยทั้ง 6 สามารถนำมาใช้ในการหมักทำปุ๋ยเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญแก่พืชได้ทั้งปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 โดยพบว่า วัสดุที่ดีที่สุดในการหมักทำปุ๋ย คือ กก ธูปฤาษี และผักตบชวา โดยควรมีการการศึกษาถึงแนวทางในการกำจัดปริมาณโครเมียมที่มีปริมาณสูงในกากตะกอนก่อนที่จะนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปใช้ประโยชน์ เช่น การปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เป็นต้น และควรนำไปปลูกพืชชนิดหญ้าหรือไม้ประดับ เพื่อใช้เป็นสนามหญ้า สนามกอล์ฟ และสวนสาธารณะ เพราะมีปริมาณธาตุอาหารสูง ทั้ง ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม แต่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก

Research Title	:	Characteristics of Sludge from Wastewater Treatment Plant and Compostion for Developed nutrients for Growth Fertilizer for fruit
Researcher	:	Miss Praworada Pochanajun *et al*.
Organization	:	Environmental Center, Suan Dusit Rajabhat University
Fiscal Year	:	2008

Abstract

The Objectives of this study were to analysis physical and Chemical Characteritic under organic fertilizer standard, Study factors of fertilized process of organic fertilizer and study of suitable ratio of bagasse and period for fertilzed to increased nutients from sludge of wastewater treatment plant

The experimental results showed that 6 fertilized materials are sewage sludge, *Cyerus polystachyos* Roxb., *Typha angustifolia* Linn., *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, straw and garbage have physical and Chemical Characteritic under organic fertilizer standard except chromium is higher than organic fertilizer standard was significantly higher ($p<0.05$), have highest nutrients such as nitrogen, phosphorus and potassium. The suitabled ratio of C/N is 25 with 60 days. The best of fertilized materials are *Cyerus polystachyos* Roxb., *Typha angustifolia* Linn. *and Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. The useful for this organic fertilizer to plant grass for yard and golf course, ornamental plants of botanical gardens by treat heavy metal that contamination.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัย เรื่อง การศึกษาคุณลักษณะของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและปรับปรุงปริมาณโพแทสเซียม และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อผลิตปุ๋ยสูตรเร่งผลสำเร็จได้เนื่องจากบุคคลหลายท่าน ได้กรุณาช่วยเหลือให้ข้อมูลและข้อเสนอแนะ คำปรึกษาแนะนำความคิดเห็นและกำลังใจ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์.ดร.จิตรี โพธิมามกะ และรองศาสตราจารย์นิยดา สวัสดิพงษ์ ที่ช่วยเหลือด้านข้อมูล ตลอดจนคำปรึกษา และข้อเสนอแนะต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ของบริษัทแกรนด์ ยูนิตี้ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์กากตะกอนที่ใช้ในการวิจัย ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิโรจน์ ผลพันธิน อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ที่ได้ช่วยส่งเสริม สนับสนุน และเป็นกำลังใจตลอดมาแก่ผู้วิจัย

นางสาวประวรดา โภชนจันทร์

กันยายน 2551

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ (1)
บทคัดย่อภาษาไทย (2)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (3)
สารบัญ (4)
สารบัญตาราง (6)
สารบัญภาพ (7)

บทที่ 1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญ 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
ขอบเขตของการวิจัย 2
นิยามศัพท์ 3
ประโยชน์ที่ได้รับ 4

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
นิยาม แนวคิด ทฤษฎี เกี่ยวกับการทำปุ๋ยหมัก 5
นิยาม แนวคิด ทฤษฎีเกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์ 21
นิยาม แนวคิด ทฤษฎีเกี่ยวกับวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม 27
กากตะกอนน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย 32
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 38

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 42
การเลือกกากตะกอนน้ำเสียและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย 42
การเตรียมกากตะกอนและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย 43
การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้นำมาทำปุ๋ยหมัก 43

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย (ต่อ)

อัตราส่วนที่เหมาะสมในการหมักทำปุ๋ยจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม 53

แผนการดำเนินงาน 54

วิธีการหมักทำปุ๋ย 55

การวิเคราะห์ข้อมูล 55

บทที่ 4 ผลการวิจัย 56

การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการ
ตามมาตรฐานคุณสมบัติของปุ๋ยหมักของกากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม
และวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก 56

กระบวนการเปลี่ยนแปลงในการหมักทำปุ๋ยหมักของงานวิจัย 60

การศึกษาอิทธิผลของปัจจัยต่างๆ กับชนิดของวัสดุที่ใช้หมักทำปุ๋ยของงานวิจัย 67

การศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย
และระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ย 69

บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ 85

สรุปผลและอภิปรายผล 85

ข้อเสนอแนะ 93

เอกสารอ้างอิง 94

ภาคผนวก 97

ภาคผนวก ก 98

ภาคผนวก ข 104

ภาคผนวก ค 113

ภาคผนวก ง 119

ภาคผนวก จ 128

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1	ชนิดและปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งชนิดต่างๆ ในประเทศไทย	8
2	ปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) โดยเฉลี่ยของวัสดุอินทรีย์ชนิดต่างๆ	10
3	อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์	16
4	ปริมาณแร่ธาตุที่สำคัญในปุ๋ยหมัก	19
5	รายละเอียดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์	24
6	เปรียบเทียบข้อดี ข้อด้อย ของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี	25
7	ปริมาณวัสดุอินทรีย์เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละชนิดในประเทศไทย	27
8	ปริมาณธาตุอาหารและค่าวิเคราะห์ทางเคมีในวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด	28
9	แสดงพารามิเตอร์และวิธีทดสอบที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี	44
10	อัตราส่วนที่เหมาะสมในการหมักทำปุ๋ยของการวิจัย	53
11	การเปรียบเทียบคุณภาพของกากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยกับมาตรฐานปุ๋ยหมัก	57
12	ผลการเปรียบเทียบชนิดของวัสดุหมักทำปุ๋ยต่างๆ ต่อปัจจัยต่างๆ	67

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในการทำปุ๋ยหมัก	16
2	กระบวนการบำบัดของเสียของ บริษัท แกรนด์ ยูนิตี้ ประเทศไทย จำกัด	33
3	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการหมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 25%	61
4	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการหมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 40%	62
5	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในการหมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 25%	64
6	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในการหมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 40%	66
7	การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 25 %	69
8	การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 40 %	71
9	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอน และวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 25 %	73
10	การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอน และวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 40 %	75
11	การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอน และวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 25 %	77
12	การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอน และวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 40 %	79
13	การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอน และวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 25 %	81
14	การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอน และวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 40 %	83

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ โดยใช้แบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria) ซึ่งเป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ก่อให้เกิดกากตะกอน (Sludge) ซึ่งเป็นผลผลิตที่สำคัญและมีปริมาณมากกว่า 7,680 ตัน/ปี (ธงชัย มาลา, 2546) ส่งผลให้เป็นปัญหาที่สำคัญหนึ่ง ทั้งปัญหาการมีกลิ่นเหม็น การเพาะพันธุ์เชื้อโรค ปัญหาการปนเปื้อนของสารพิษ ซึ่งประเทศไทยกำลังประสบกับปัญหาดังกล่าว ดังนั้นการจัดการกับกากตะกอนเหล่านี้ จึงมีความจำเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเป็นการจัดการโดยการนำกากตะกอนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งจัดเป็น Waste Minimization ทำให้ของเสียกลายเป็นสินค้าก็จะเป็นประโยชน์ทั้งต่อโรงงานที่เป็นแหล่งกำเนิดกากตะกอน และประเทศไทยในแง่ของการลดต้นทุนในการผลิตสินค้า

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะเฉพาะของประเทศไทย จะพบว่า ประเทศไทยมีพื้นฐานเป็นประเทศเกษตรกรรม ประเทศไทยมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 321 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ถือครองทางการเกษตรกรรม ประมาณ 313 ล้านไร่หรือประมาณร้อยละ 41 ของพื้นที่ทั้งประเทศ และพื้นที่ป่าไม้เพียง 80.61 ล้านไร่หรือประมาณร้อยละ 25.11 ของพื้นที่ทั้งประเทศเท่านั้น การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรโดยขยายพื้นที่เพาะปลูกด้วยการบุกรุกป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์หรือมีปริมาณธาตุอาหารสูงโดยไม่ต้องใส่ปุ๋ยบำรุงดิน จึงทำให้พบว่าขาดความอุดมสมบูรณ์ถึง 98.7 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 31 ของพื้นที่ทั้งหมด ทำให้ได้ผลผลิตต่ำ ต้นทุนสูง และคุณภาพของผลผลิตไม่ได้มาตรฐาน จากปัญหาดังกล่าวทำให้รัฐบาลต้องกำหนดนโยบายและมาตรการต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การนำเทคโนโลยีการเกษตรด้านต่าง ๆ มาใช้ เช่น การใช้พันธุ์พืชที่ดีให้ได้ผลผลิตสูง มีคุณภาพ และการใช้ปุ๋ยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร มีโครงการรณรงค์การใช้ปุ๋ย เพื่อความปลอดภัยของสินค้าเกษตรและอาหาร โดยการสำรวจในเบื้องต้น พบว่าเกษตรกรมีความต้องการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 543,807 ตัน หรือคิดเป็น 13.6 % ของความต้องการใช้ปุ๋ยทั้งหมดของเกษตรกร แต่ปริมาณการใช้ปุ๋ยอยู่ในปริมาณที่ต่ำ เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์มีธาตุอาหารค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมีในปริมาณที่เท่ากันการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อให้ธาตุอาหารเพียงพอและสมดุลสำหรับพืชหรือเพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีจึงต้องใช้ในปริมาณมาก ทำให้เกษตรกรมีต้นทุนมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งการแก้ไขปัญหาดังกล่าว รัฐบาลได้ดำเนินการอบรมและเผยแพร่ความรู้เพื่อให้เกษตรกร สามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ขึ้นใช้เองจากวัสดุไร่นา รวมทั้งเลือกชนิดของปุ๋ยอินทรีย์

ให้เหมาะสมกับพืชและดินในแต่ละพื้นที่นอกจากนี้การสำรวจภาวะเศรษฐกิจ สังคมครัวเรือนเกษตร พบว่า เกษตรกรใช้จ่ายเงินสดในการซื้อปุ๋ยอินทรีย์ โดยเฉลี่ยประมาณ 250 บาท/ครัวเรือน/ปี โดยซื้อปุ๋ยคอกมากที่สุด คาดว่าปริมาณความต้องการของครัวเรือนเกษตรไทยจะเพิ่มมากขึ้นจากการที่กระทรวงเกษตรฯ มีโครงการการรณรงค์ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ของครัวเรือนเกษตรไทยจะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นหากเราสามารถนำกากตะกอนจากแบบบำบัดน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ เพื่อการเกษตรก็จะเพิ่มมูลค่าของกากตะกอนดังกล่าวได้มากถึง 3.84 ล้านบาท/ปี ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะหาวิธีการนำกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียมาผลิตเป็นปุ๋ยหมัก โดยเน้นที่ปุ๋ยเร่งดอก ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมสูง เพื่อใช้การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ มีค่าใช้จ่ายในการจัดการค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ปุ๋ยหมักสามารถนำไปใช้ปรับปรุงคุณภาพดินให้ดีขึ้น เช่น เพิ่มความร่วนให้แก่ดินและยังลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีได้อีกด้วย ก่อให้เกิดเป็นการเกษตรที่ยังยืนต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการตามมาตรฐานคุณสมบัติของปุ๋ยหมัก รวมทั้งปริมาณโพแทสเซียมในกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย
2. เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหมักทำปุ๋ยที่ใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย
3. เพื่อศึกษาถึงอัตราส่วนของวัสดุเหลือใช้และกากตะกอน และระยะเวลาหมักทำปุ๋ยที่มีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมและธาตุอาหารที่เกี่ยวข้องในกากตะกอนที่จะทำปุ๋ยหมัก

ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาคุณลักษณะของกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียและปรับปรุงปริมาณโพแทสเซียม เพื่อผลิตปุ๋ยสูตรเร่งผล การศึกษาโดยใช้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานบำบัดน้ำเสียของบริษัท แกรนด์ยูนิตี้ ประเทศไทย (จำกัด) และใช้เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ขยะเหลือทิ้งและเศษวัชพืชต่างๆ ได้แก่ ฟางข้าว, ขยะสด, ผักตบชวา, ธูปฤาษี และกก เพื่อนำมาหมักทำปุ๋ยหมักในอัตราส่วน C/N ratio ที่ 25 % และ 40 % ที่ระยะเวลา 7, 15, 30, 45 และ 60 วัน แล้วทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมัก ได้แก่ ความชื้น, อุณหภูมิ, ความเป็นกรดเป็นด่าง,

ค่าการนำไฟฟ้า, ปริมาณอินทรียวัตถุ, ค่า C/N ratio, ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด, ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด และปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ As, Cr, Cd, Cu, Pb, Hg โดยหาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่าง อัตราส่วน C/N ratio และระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักทำปุ๋ยหมัก และเปรียบเทียบคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ได้กับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

นิยามศัพท์

กากตะกอน หมายถึง เมื่อน้ำเสียผ่านเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย จะมีกากตะกอนส่วนเกินที่ต้องนำไปกำจัด ซึ่งการจัดการกากตะกอน มีหลายวิธี เช่น ฝังกลบ ย่อยสลาย หรือเผา แต่ก่อนที่จะทำการบำบัดกากตะกอนโดยวิธีการดังกล่าว ต้องนำกากตะกอนไปบำบัดเบื้องต้นโดยวิธีการทำให้ข้น (Thickening) ไล่น้ำ (Dewatering) หรือปรับสภาพ (Conditioning) ก่อน กากตะกอนส่วนใหญ่มีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณ 99-99.5 % โดยน้ำหนัก กากตะกอนที่ถูกปรับสภาพหรือไล่น้ำแล้วจะยังมีน้ำอยู่มากกว่า 6 เท่าของของแข็งที่สามารถเผาได้

ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ต่างๆ มาหมักรวมกัน แล้วปรับสภาพให้เกิดกระบวนการย่อยสลาย โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ จนกระทั่งได้วัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลาย สีน้ำตาลปนดำ ปุ๋ยหมักมีความสำคัญและมีคุณค่าสูงในทางเกษตร

ธาตุโพแทสเซียม หมายถึง ธาตุโพแทสเซียมในดินที่พืชนำเอาไปใช้เป็นประโยชน์ได้มีกำเนิดมาจากการสลายตัวของหินและแร่มากมายหลายชนิดในดิน โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปอนุมูลบวกหรือโพแทสเซียมไอออน (K^+) เท่านั้นที่พืชจะดึงดูดไปใช้เป็นประโยชน์ได้ ถ้าธาตุโพแทสเซียมยังคงอยู่ในรูปของสารประกอบยังไม่แตกตัวออกมาเป็นอนุมูลบวก (K^+) พืชก็ยังดึงดูดไปใช้เป็นประโยชน์อะไรไม่ได้ อนุมูลโพแทสเซียมในดินอาจจะอยู่ในน้ำในดิน หรือดูดยึดอยู่ที่พื้นผิวของอนุภาคดินเหนียวก็ได้

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทำให้ทราบอัตราส่วนและระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมและเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัชพืช

2. สามารถนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร วัชพืช และกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุเหล่านี้ และยังเป็นการช่วยลดปริมาณขยะและมลภาวะที่จะเกิดขึ้น

3. ส่งเสริมการใช้ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร วัชพืช และกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้เกิดเป็นการเกษตรอินทรีย์ที่ยั่งยืน

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นิยาม แนวคิด ทฤษฎี เกี่ยวกับการทำปุ๋ยหมัก

1. ความหมายและความสำคัญของปุ๋ยหมัก

1.1 ความหมายของปุ๋ยหมัก

1.1.1 ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ต่างๆ มาหมักรวมกัน แล้วปรับสภาพให้เกิดกระบวนการย่อยสลาย โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์จนกระทั่งได้วัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลาย สีน้ำตาลปนดำ ปุ๋ยหมักมีความสำคัญและมีคุณค่าสูงในทางเกษตร (ธงชัย มาลา, 2546)

1.1.2 ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากการหมักสารอินทรีย์ให้สลายตัวผุพังตามธรรมชาติ โดยนำสิ่งเหล่านั้นมากองรวมกัน รดน้ำให้ชื้น แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เกิดการย่อยสลายตัว โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ จึงนำไปใช้ปรับปรุงดิน ในการเตรียมกองปุ๋ยหมักอาจใส่ปุ๋ยเคมีเพื่อช่วยเร่งกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน และเป็นการเพิ่มคุณค่าด้านธาตุอาหารของปุ๋ยหมักด้วย (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2545)

1.1.3 ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ทำขึ้น โดยเลียนแบบธรรมชาติในป่าได้จากเศษพืช มูลสัตว์มากองรวมกันแล้วเกิดการย่อยสลาย โดยกระบวนการทางจุลินทรีย์จนกระทั่งได้วัสดุที่มีความคงทนต่อการย่อยสลาย ซึ่งมีสีน้ำตาลดำมีคุณสมบัติในการปรับปรุงดินทำให้ดินโปร่ง เพิ่มความพรุนให้แก่ดิน ทำให้การระบายน้ำและอากาศในดินดีขึ้น ทั้งช่วยให้ดินอุ้มน้ำและดูดซึมธาตุอาหารพืชดีขึ้น (ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์, 2542)

1.1.4 ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ทำขึ้น โดยการนำเอาวัสดุเหลือทิ้ง เช่น ใบไม้ ฟางข้าว เศษหญ้า หรือ ขยะตามบ้านเรือนมากองรวมกัน แล้วปรับความชื้นให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดกระบวนการหมักจากจุลินทรีย์หลายชนิดที่ปะปนและอาศัยอยู่ในกองปุ๋ยช่วยกันแปรสภาพของเศษพืชหรือวัสดุต่างๆ ให้กลายเป็นวัสดุชนิดใหม่ที่มีสีดำ ลักษณะพรุน ร่วนซุย (นัยนา คุณลักษณ์, 2542)

1.2 ความสำคัญและประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

ประโยชน์ของปุ๋ยหมักอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1.2.1 การปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของดิน

ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการปรับปรุงสภาพของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ถ้าเป็นดินเนื้อละเอียด อัดตัวกันแน่น เช่น ดินเหนียว ปุ๋ยหมักก็จะช่วยให้ดินนั้นมีสภาพร่วนซุยมากขึ้น ไม่อัดตัวกันแน่นทึบ ทำให้การระบายน้ำและการระบายอากาศดีขึ้น ช่วยให้ดินมีความสมารถในการอุ้มน้ำหรือดูดซับน้ำที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชไว้ได้มากขึ้น ทำให้รากพืชเจริญเติบโตได้รวดเร็ว แข็งแรง แตกแขนงได้มาก มีระบบรากที่สมบูรณ์ จึงดูดซับแร่ธาตุต่างๆ และน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทรายและดินร่วนปนทราย ส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีสารอินทรีย์อยู่น้อย ไม่อุ้มน้ำ การใส่ปุ๋ยหมักก็จะช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และทำให้ดินเหล่านั้นสามารถดูดซับน้ำไว้ให้พืชได้มากขึ้น ในดินเนื้อหยาบจึงควรต้องใส่ปุ๋ยหมักให้มากกว่าปกติ นอกจากคุณสมบัติต่างๆ ดังกล่าวแล้ว ปุ๋ยหมักยังสามารถช่วยปรับปรุงดินในแง่อื่นๆ อีก เช่น ช่วยลดการจับตัวเป็นแผ่นแข็งของหน้าดิน (Soil Crust) ทำให้การงอกของเมล็ดและการซึมของน้ำลงไปในดินสะดวกขึ้น ช่วยลดการไหลบ่าของน้ำขณะฝนตก เป็นการลดการพัดพาหน้าดินที่สมบูรณ์ไป (จุฑามาศ รัตนศรีบัวทอง, 2548)

1.2.2 การปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ปุ๋ยหมักเป็นแหล่งแร่ธาตุอาหารที่จะปลดปล่อยออกมาให้แก่ต้นพืชอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ โดยทั่วไปแล้วปุ๋ยหมักจะมีแร่ธาตุอาหารพืชที่สำคัญครบถ้วน กล่าวคือ มีไนโตรเจนทั้งหมดประมาณร้อยละ 0.4-2.5 ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชประมาณร้อยละ 0.2-2.5 และโพแทสเซียมในรูปที่ละลายน้ำได้ร้อยละ 0.5-1.8 ปริมาณแร่ธาตุอาหารดังกล่าวจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเศษพืชที่นำมาหมักและวัสดุอื่นๆ ที่ใส่ลงไปในกองปุ๋ย

นอกจากธาตุอาหาร 3 ธาตุ ที่กล่าวมาแล้ว ปุ๋ยหมักยังมีธาตุอาหารพืชชนิดอื่นๆ อีก เช่น แคลเซียม กำมะถัน แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี แมงกานีส ทองแดง โบรอน โมลิบดีนัม คลอรีน และธาตุอื่นๆ ซึ่งปกติแล้วปุ๋ยเคมีจะไม่มีหรือมีเพียงบางธาตุเท่านั้น ธาตุเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่น้อยกว่าธาตุอาหารหลัก เพียงแต่ต้องการปริมาณน้อยเท่านั้น นอกจากจะเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชแล้ว ปุ๋ยหมักยังมีคุณค่าในแง่การปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินอีกหลายประการ เช่น ช่วยทำให้แร่ธาตุอาหารพืชในดินแปรสภาพไปอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดซึมได้ง่าย ช่วยดูดซับธาตุอาหารพืชเอาไว้มาให้ถูกน้ำฝนหรือน้ำชลประทานชะล้างสูญหายไปได้ง่าย เป็นการช่วยถนอมแร่ธาตุอาหารหรือความอุดมสมบูรณ์ของดินไว้อีกทางหนึ่ง

จะเห็นได้ว่า แม้ปุ๋ยหมักจะมีปริมาณแร่ธาตุอาหารในปุ๋ยไม่เข้มข้นเหมือนปุ๋ยเคมี แต่ก็มีลักษณะดีอื่นๆ ที่ช่วยรักษา และปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้อย่างดี (จุฑามาศ รัตนศรีบัวทอง, 2548)

1.2.3 การปรับปรุงสภาพแวดล้อม

ประโยชน์ของปุ๋ยหมักในด้านการปรับปรุงสภาพแวดล้อมสรุปได้ดังนี้

1) เป็นการกำจัดขยะทั่วไป ทำให้บริเวณที่อยู่อาศัย ถูกสุขลักษณะน่าอยู่ สะอาด

2) ช่วยลดอุบัติเหตุซึ่งเกิดจากการทำลายเศษพืชโดยการเผา เช่น ตอซัง ข้าว เศษหญ้า เศษขยะข้างถนน ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ถูกต้อง ทำให้เกิดอุบัติเหตุ การจราจรติดขัด ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน และยังทำให้เกิดอากาศเป็นพิษ รวมทั้งทำลายสิ่งแวดล้อมของโลกด้วย การนำเศษพืชเหล่านั้นมาทำปุ๋ยหมักจะช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ได้

3) ลดปัญหาทางด้านกลิ่นจากการเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร ของเหลือต่างๆ หากปล่อยทิ้งไว้นานๆ เข้า จะเกิดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ เมื่อได้นำมาทำเป็นปุ๋ยหมักแล้ว จะเป็นการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีก และยังเป็นการลดปัญหาทางด้านกลิ่นได้ด้วย

4) เป็นการกำจัดวัชพืชน้ำต่างๆ ทำให้สัตว์น้ำได้รับออกซิเจน และแสงแดดเต็มที่ เกิดสภาพสมดุลในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ

5) ช่วยให้การสัญจรทางน้ำสะดวกขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกำจัดผักตบชวา ซึ่งมักมีมากเกินความต้องการตามแม่น้ำ ห้วย หนอง คลอง บึง และแหล่งน้ำทั่วไป (จุฑามาศ รัตนศรีบัวทอง, 2548)

2. การผลิตปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ซึ่งได้จากการนำชิ้นส่วนของพืชมาหมักในรูปของการกองซ้อนกันบนพื้นดินหรืออยู่ในหลุม เศษชิ้นส่วนของพืชที่นำมาหมักนั้นจะต้องผ่านกระบวนการย่อยสลาย จนแปรสภาพไปจากรูปเดิม โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์จนกระทั่งได้สารอินทรียวัตถุที่มีความคงทน ไม่มีกลิ่น มีสีน้ำตาลปนดำ และมีอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ เมื่อกระบวนการย่อยสลายเศษพืชและวัสดุเสร็จสมบูรณ์ก็จะได้ปุ๋ยหมักสำหรับใช้ในการปรับปรุงดิน วิธีการทำปุ๋ยหมัก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักนั้นส่วนใหญ่มักจะเป็นวัสดุเหลือใช้ประเภทต่างๆ และมีปริมาณเหลือทิ้งในแต่ละปีสูงมาก ดังแสดงในตารางที่ 1 สามารถจำแนกเป็นแหล่งใหญ่ ดังนี้ คือ

ตารางที่ 1 ชนิดและปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งชนิดต่างๆ ในประเทศไทย

ชนิดของวัสดุเหลือทิ้ง	ปริมาณ (1,000 ตัน/ปี)
1. วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	
ฟางข้าว	43,000
เศษและซังข้าวโพด	1,000
เศษต้นถั่วต่างๆ	500
เศษจากต้นอ้อย	2,000
2. วัสดุเหลือทิ้งทางอุตสาหกรรม	1,000
ชานอ้อย	6,000
ขี้เลื่อย	30
ขุยมะพร้าว	30
แกลบ	5,000
อื่นๆ	30
3. วัสดุเหลือทิ้งจากบ้านเรือน	
ขยะเทศบาล (ในเขต กรุงเทพมหานครและหลักเมือง)	3,000
4. วัสดุอื่นๆ และวัชพืช	
ผักตบชวา	1,000
มูลสัตว์ต่างๆ	65,000

ที่มา : ธงชัย มาลา (2546)

1) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ดังนั้นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจึงมีอยู่ทั่วไปและหลายรูปแบบ จะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่ใช้ในการปลูกข้าวจะมีอยู่สูงถึง 73 ล้านไร่ ในขณะที่เนื้อที่อีกประมาณ 47 ล้านไร่ ใช้ในการเพาะปลูกพืชอื่นๆ ดังนั้นฟางข้าวจึงน่าจะเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและเหมาะสมที่จะนำมาทำปุ๋ยหมัก นอกจากนั้นก็จะเป็นส่วนของลำต้น ใบ และเปลือกของพืชชนิดอื่นๆ ที่สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ เช่น ต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด เปลือกถั่วชนิดต่างๆ และเศษต้นอ้อย เป็นต้น (ธงชัย มาลา, 2546)

2) วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม ประเทศไทยจัดเป็นประเทศหนึ่งที่กำลังพัฒนา เพื่อเพิ่มผลผลิตทางอุตสาหกรรมให้สอดคล้องกับผลผลิตทางด้านการเกษตรกรรม โดยการ

แปรรูปผลผลิตเหล่านี้ให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป จึงก่อให้เกิดวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรมากมายหลายชนิด เช่น กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล แกลบจากโรงงานสีข้าว ขี้เลื่อยจากโรงเลื่อย ขุยมะพร้าวจากโรงงานบางประเภท ไส้ปอและขุยไผ่จากโรงงานผลิตกระดาษ เปลือกและกากผลไม้จากโรงงานบรรจุผลไม้กระป๋อง และกากตะกอนน้ำเสีย เป็นต้น อย่างไรก็ตามวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรมที่นิยมใช้ในการผลิตปุ๋ยหมักระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ ชานอ้อย เนื่องจากมีปริมาณมากกว่าวัสดุประเภทอื่นและมีคุณสมบัติต่างๆ เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิต นอกจากวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งแล้ว ยังมีน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด ที่สามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักได้ โดยใช้แทนน้ำในการรักษาระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมัก และยังเป็นแนวทางในการกำจัดน้ำทิ้งเหล่านี้ด้วย เช่น กากน้ำส่าจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์ น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตผงชูรส น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง และน้ำทิ้งจากโรงงานประกอบอาหารและผลไม้กระป๋อง เป็นต้น หลายชนิดสามารถนำมาผลิตปั้นปุ๋ยหมักได้ เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นแนวทางในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าว (ธงชัย มาลา, 2546)

3) วัสดุเหลือใช้จากบ้านเรือน ในเขตชุมชนที่มีประชากรอยู่รวมกันอย่างหนาแน่น มักจะมีปัญหาในด้านวัสดุเหลือใช้ ซึ่งได้แก่ ขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากบ้านเรือน ซึ่งปัจจุบันมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่สามารถนำขยะเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์ได้ คือ การนำมาทำปุ๋ยหมักซึ่งมักเรียกกันว่า ปุ๋ยอินทรีย์ ในเขตกรุงเทพมหานคร ได้นำแนวทางนี้ไปใช้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์มานานแล้ว แต่มีปัญหาอยู่บ้างในการแยกวัสดุที่ปะปนมา เช่น เศษแก้ว เศษโลหะ และเศษพลาสติก ปัจจุบันกำลังผลิตปุ๋ยอินทรีย์ กรุงเทพมหานคร ไม่สามารถที่จะรองรับทันต่อปริมาณของขยะที่เพิ่มขึ้นทุกวัน จึงเหลือขยะอยู่มาก และเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและแหล่งก่อกำเนิดพาหะนำโรคมาสู่คน ดังนั้นการทำปุ๋ยหมักโดยใช้เศษขยะจากครัวเรือน รวมทั้งใบไม้ เศษหญ้า และมูลสัตว์เลี้ยงมาเป็นวัสดุทำปุ๋ยหมัก นอกจากจะได้ปุ๋ยหมักไว้ใช้ในครัวเรือนแล้ว ยังเป็นการช่วยลดมลพิษอีกด้วย (ธงชัย มาลา, 2546)

4) วัสดุอื่นๆ และวัชพืช วัชพืชบกและวัชพืชน้ำหลายชนิดที่สามารถนำมาทำปุ๋ยหมัก เช่น หญ้ายาง หญ้าดอกขาว ต้นกกชนิดต่างๆ สะเดาดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผักตบชวาที่เป็นปัญหาในการกำจัดอยู่ขณะนี้ ซึ่งเป็นวัชพืชที่เจริญได้อย่างรวดเร็ว จนก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ มากมาย การนำผักตบชวามาทำปุ๋ยหมักจึงเป็นแนวทางในการกำจัดที่ดี โดยเปลี่ยนให้เป็นปุ๋ยหมักที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงดินและยังช่วยทำลายแหล่งของศัตรูพืชได้เป็นอย่างดี เป็นการช่วยรัฐบาลให้ประหยัดงบประมาณที่จะใช้ในการกำจัดได้ (ธงชัย มาลา, 2546)

จากวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักดังกล่าว ส่วนใหญ่เป็นเศษซากพืช วัสดุอินทรีย์และมูลสัตว์ต่างๆ ซึ่งมีทั้งวัตถุดิบที่สลายตัวง่าย และวัตถุดิบที่สลายตัวยาก มีปริมาณธาตุอาหารมากน้อยแตกต่างกัน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) โดยเฉลี่ยของวัสดุอินทรีย์ชนิดต่างๆ

วัสดุอินทรีย์	C (%)	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	C/N
ฟางข้าว	38.57	0.84	0.22	1.58	59
แกลบ	48.46	0.84	0.22	1.58	97
ขุยมะพร้าว	64.21	0.38	0.07	1.34	185
ตอซังข้าวโพด	26.27	0.88	0.28	0.56	37
ซังข้าวโพด	44.60	0.64	0.21	0.75	112
ทลายปาล์ม	50.60	0.92	0.10	1.00	55
กากอ้อย	52.77	01.40	0.81	0.20	132
เปลือกสับปะรด	49.46	0.99	0.22	1.73	50
ใบสับปะรด	50.32	1.00	0.23	1.50	54

ที่มา : จุฑามาศ รัตนศรีบัวทอง, 2548

2.2 ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก

กระบวนการย่อยสลายเศษพืชภายในกองปุ๋ยหมักนั้น เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ประสิทธิภาพของการย่อยสลายวัสดุเศษพืชนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยของสภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยหมักหลายประการ ปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายนั้น อาจส่งเสริมหรือลดอัตราย่อยสลายของวัสดุได้ แต่โดยจุดมุ่งหมายหลักได้เน้นถึงคุณสมบัติของวัสดุเศษพืชและหลักการปฏิบัติที่ถูกต้อง เพื่อเพิ่มอัตราการย่อยสลายในระหว่างการผลิตปุ๋ยหมักเป็นประการสำคัญ ดังนั้นสภาพแวดล้อมต่างๆ ภายในกองปุ๋ยหมักจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์และมีผลต่อไปถึงอัตราย่อยสลายด้วย สำหรับปัจจัยสภาพแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการย่อยสลายวัสดุเศษพืชในกองปุ๋ยหมักสามารถแบ่งออกได้ดังนี้ (ประกาศิต อินทรสำอางค์, 2549) คือ

2.2.1 ลักษณะของเศษวัสดุ ได้แก่ ชนิดของเศษวัสดุ, ขนาดของเศษวัสดุ และความสดของเศษวัสดุ เป็นต้น

1) ชนิดของเศษวัสดุ วัสดุที่สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักมีหลายประเภท แต่ละปีจะมีปริมาณมากมาย วัสดุเหล่านี้บางชนิดก็ย่อยสลายได้ง่าย รวดเร็ว บางชนิดก็ย่อยสลายได้ช้า ขึ้นอยู่กับเนื้อของวัสดุเหล่านั้น ว่ามีส่วนที่จุลินทรีย์ใช้เป็นอาหารได้ยากหรือง่าย และมีแร่ธาตุอยู่เพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์หรือไม่ ดังนั้นจึงอาจแบ่งวัสดุเหล่านี้ออกเป็น 2 พวก คือ

(1) เศษพืชสลายตัวง่าย เช่น ผักตบชวา ต้นกล้วย ใบตอง เศษหญ้าสด เศษพืชที่อวบน้ำ เศษผัก กากเมล็ดข้าวฟ่าง พืชวงศ์ถั่วต่างๆ เป็นต้น

(2) เศษพืชสลายตัวได้ยาก เช่น ฟางข้าว แกลบ ชานอ้อย ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว ต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง เป็นต้น

2) ขนาดของเศษพืช ก็เป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญ ถ้าเศษพืชที่นำมาหมักมีขนาดใหญ่เกินไป ภายในกองจะมีช่องว่างอยู่มาก กองปุ๋ยจะแห้งได้ง่าย ความร้อนที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยกระจายหายไปอย่างรวดเร็ว ทำให้กองปุ๋ยไม่ร้อนเท่าที่ควร การย่อยสลายพืชจะช้า ศัตรูต่างๆ ที่ติดมาก็ไม่ถูกทำลายไป ดังนั้นควรสับหรือหั่นให้มีขนาดเล็กประมาณ 2-3 นิ้ว จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตในชิ้นส่วนของพืชได้ทั่วถึง เมื่อเศษพืชอยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้น การแพร่ขยายของจุลินทรีย์ก็เป็นไปอย่างรวดเร็ว และกองปุ๋ยจะอุดีขึ้น อย่างไรก็ตาม ในการทำปุ๋ยหมักเป็นปริมาณมาก การหั่นหรือสับเศษพืชก็เป็นไปอย่างสิ้นเปลืองแรงงานมาก อาจเปลี่ยนไปใช้วิธีการอื่นได้ตามความเหมาะสม เช่น ถ้ามีรถแทรกเตอร์ก็โรยชิ้นส่วนพืชลงบนพื้นแข็ง แล้วใช้รถบดทับไปมา หรือใช้วิธีหาเศษพืชขนาดเล็ก เช่น เศษหญ้าผสมคลุกเคล้าเข้าไปในกอง เพื่อลดช่องว่างที่มีอยู่ แต่ถ้ามีเศษหญ้าไม่พอ ก็อาจใช้ดินหรือเลี่ยงไปใช้วิธีกองปุ๋ยหมักในหลุมหรือบ่อหมักแทน

3) ความสดของพืช โดยปกติจะทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชที่แห้ง เนื่องจากความสะดวกในการกองและการควบคุมสภาพแวดล้อม ภายในกองปุ๋ยหมักในด้านความชื้นและการระบายอากาศ ในบางกรณีอาจใช้เศษพืชสด ซึ่งก็สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ แต่ต้องระมัดระวังในเรื่องความชื้น เพราะการใช้เศษพืชสด จะมีปริมาณน้ำมากและการระบายอากาศไม่ดี อาจเกิดกระบวนการเน่าเสียภายในกองปุ๋ยจนเกิดกลิ่นเหม็นได้ ดังนั้นในกรณีที่เป็นเศษวัสดุพืชสด เช่น ผักตบชวา อาจจะนำผักตบชวานั้นมากองตากแดดประมาณ 2-3 วัน เพื่อให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ ผักตบชวามาผสมกับวัสดุอื่นๆ เช่น ฟางข้าว ในระหว่างการทำปุ๋ยหมักซึ่งจะเป็นการลดความชื้นให้กับกองปุ๋ยหมักด้วย

4) มูลสัตว์ ในการตั้งกองปุ๋ยหมักนั้น ถ้าใส่มูลสัตว์ต่างๆ เช่น มูลวัว มูลสุกร มูลเป็ด มูลไก่ ผสมคลุกเคล้าลงไปด้วยแล้ว กองปุ๋ยหมักจะร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดการย่อยสลายได้ดีกว่าการใช้เศษพืชอย่างเดียว ทั้งนี้เพราะมูลสัตว์มีสารประกอบและแร่ธาตุต่างๆ ที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์อยู่มากมายหลายชนิด จึงเป็นการเร่งให้จุลินทรีย์ย่อยเศษพืชได้อย่างรวดเร็ว และ

มูลสัตว์มีจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่มีความสามารถย่อยเศษพืชได้ดีอย่างมากมายด้วย จึงเป็นการใส่เชื้อจุลินทรีย์เป็นจำนวนมากลงไปในกองปุ๋ยนั่นเอง จุลินทรีย์เหล่านี้จะไปสมทบกับจุลินทรีย์ที่ติดมากับเศษพืช ช่วยย่อยและแปรสภาพเศษพืชให้กลายเป็นปุ๋ยหมักเร็วขึ้น

ปริมาณมูลสัตว์ที่ต้องใช้ในการทำปุ๋ยหมักนั้นไม่คงที่ตายตัว ถ้ามีมากก็ใส่มากตามที่ต้องการ เพราะถ้ายิ่งใส่มากก็ยิ่งเป็นการเร่งให้เศษพืชแปรสภาพได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตามไม่ควรใส่น้อยกว่า 1 ส่วน ต่อเศษพืช 10 ส่วน ถ้ามีมูลสัตว์น้อยกว่านี้ และเศษพืชที่ใช้เป็นเศษพืชที่สลายตัวได้ยาก ก็ควรหาเศษวัสดุอื่นๆ ที่มีไนโตรเจนมากๆ เช่น ปุ๋ยเคมีมาเสริมแทนได้

5) ปุ๋ยเคมี เศษพืชประเภทที่สลายตัวได้ยากจะมีแร่ธาตุอาหารอยู่น้อยไม่เพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์ แร่ธาตุตัวสำคัญที่ปกติมักจะขาดแคลนมากที่สุดในเศษพืชพวกนี้ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ดังนั้นจึงเน้นเฉพาะการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นหลัก เช่น ปุ๋ยแอมโมเนีย ซัลเฟต ปุ๋ยยูเรีย สำหรับแร่ธาตุอื่นๆ นอกเหนือไปจากไนโตรเจนนั้น ปกติเศษพืชจะมีอยู่มากพอสมควร แม้ว่าจะไม่ค่อยเพียงพอ แต่การใส่แร่ธาตุเหล่านั้นเพิ่มเติมลงไป ก็มักไม่ทำให้เศษพืชสลายตัวได้รวดเร็วขึ้นเท่าใดนัก ปริมาณของปุ๋ยไนโตรเจนที่ต้องใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของเศษพืชที่นำมาหมัก

(1) ถ้าเป็นพวกที่ย่อยสลายได้ง่าย ก็ไม่จำเป้นต้องใส่ปุ๋ยเคมีลงไปอีก หรืออาจใส่ในปริมาณเล็กน้อยเพียงเสริมหรือกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เท่านั้น

(2) ถ้าเป็นเศษพืชที่ย่อยสลายได้ยาก ก็ควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนด้วย ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนในกรณที่เป็นเศษพืชพวกที่สลายตัวได้ยากนั้น อาจประมาณได้ว่าถ้าใช้ปุ๋ยยูเรีย ควรใส่ในอัตรา 1.5 - 2.0 กิโลกรัมต่อขนาดของกองที่เสร็จแล้ว 2 ลูกบาศก์เมตร หรือถ้าเป็นปุ๋ยแอมโมเนียซัลเฟตก็ใช้ประมาณ 3 -4 กิโลกรัมต่อกองปุ๋ยขนาด 2 ลูกบาศก์เมตร

6) การระบายอากาศของกองปุ๋ย ในการตั้งกองปุ๋ยหมักนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึงสภาพการระบายอากาศภายในกองปุ๋ย เพราะถ้าไม่มีอากาศให้จุลินทรีย์ใช้หายใจแล้วการย่อยสลายของกองปุ๋ยหมักจะเปลี่ยนไปเป็นการย่อยสลายแบบอับอากาศ ทำให้การสลายตัวเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และมักเกิดกลิ่นเหม็น ความร้อนที่จะช่วยกำจัดสิ่งไม่พึงประสงค์ในกองปุ๋ยก็ไม่เกิดขึ้น ลักษณะเช่นนี้ พบได้เสมอกับกองปุ๋ยที่แน่นทึบหรือรดน้ำจนเปียกแฉะ ถ้าหากหมักเศษพืชในสภาพนี้ จะใช้เวลานาน ถ้าต้องการให้เศษพืชสลายตัวอย่างรวดเร็ว ไม่มีกลิ่นเหม็นและเกิดความร้อนในกองปุ๋ยมากพอที่จะกำจัดเชื้อโรค เมล็ดวัชพืช ตัวอ่อนหรือไข่แมลงวันที่มีอยู่แล้ว จำเป็นต้องปฏิบัติดูแลให้กองปุ๋ยมีสภาพการระบายอากาศภายในกองปุ๋ยที่ดีอยู่เสมอ

7) ขนาดของกองปุ๋ย ไม่ควรตั้งกองปุ๋ยให้สูงมากนัก ถ้ากองปุ๋ยสูงมากส่วนล่างของกองจะถูกน้ำหนักจากส่วนบนกดทับ ทำให้อัดตัวแน่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเศษพืช

สลายตัวไประยะหนึ่งแล้ว จะมีเนื้อละเอียดขึ้น กองปุ๋ยจะยุบตัวลง เนื้อปุ๋ยด้านล่างของกองก็ถูกกดจนแน่นทึบไม่สามารถระบายอากาศได้ ความสูงของกองปุ๋ยที่เหมาะสมอยู่ที่ 1.50 – 1.80 เมตร ความกว้างของกองปุ๋ยก็ไม่ควรมากจนเกินไป เพราะมีผลต่อการระบายของอากาศด้านข้างของกองปุ๋ยเช่นกัน ถ้ากว้างมากเกินไปการกลับกองปุ๋ยอาจทำได้ไม่สะดวก ปกติควรกว้างประมาณ 2.0- 3.0 เมตร ในทางตรงกันข้าม กองปุ๋ยไม่ควรเตี้ยหรือแคบเกินไป เพราะจะทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นกระจายออกไปได้ง่าย ควรมีด้านกว้าง ยาว และสูง ด้านละไม่ต่ำกว่า 1 เมตร

8) การรดน้ำของปุ๋ยขณะตั้งกองปุ๋ยหมัก จะต้องรดน้ำจนเศษพืชชื้นพอที่จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ และต้องไม่รดมากเกินไปจนกระทั่งการระบายอากาศของกองปุ๋ยไม่ดี ถ้าเศษพืชนั้นแห้งและมีขนาดใหญ่ เช่น ซังข้าวโพด ต้นข้าวโพด เศษวัชพืชแห้ง ไม่ควรมีปัญหาเรื่องการระบายอากาศในกองปุ๋ย แต่อาจจะมีปัญหาเรื่องเศษพืชไม่ค่อยเปียกน้ำ ต้องรดน้ำจำนวนมากเศษพืชจึงจะชื้นพอ แต่ถ้าเศษพืชมีขนาดเล็ก จะดูดซับน้ำได้ดี เช่น ชานอ้อย ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว กากตะกอนน้ำน่า กากส่าเหล้า ต้องรดน้ำเล็กน้อยแค่ทำให้วัสดุเหล่านั้นเปียก ชื้นเสมอเท่านั้น อย่าให้แฉะขณะรดน้ำ ควรหลีกเหลี่ยงการขึ้นไปเหยียบย่ำบนกองวัสดุ เพราะจะทำให้กองปุ๋ยแน่นทึบเกินไป เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญได้ไม่ดีเท่าที่ควร ในกรณีของเศษพืชที่อวบน้ำ เช่น ผักตบชวา หลังจากนำขึ้นมาจากน้ำ จะอมน้ำไว้มาก ถ้านำมากองปุ๋ยทันทีจะอัดตัวกันแน่น ควรปล่อยทิ้งไว้ให้เหี่ยวพอสมควร แล้วค่อยนำไปกอง จะช่วยให้กองปุ๋ยมีการระบายอากาศดีขึ้น

9) การระบายอากาศ ถ้าวัสดุมีขนาดค่อนข้างเล็ก คาดว่าเมื่อกองปุ๋ยไปแล้วระยะหนึ่งกองปุ๋ยจะมีลักษณะค่อนข้างทึบ หรือเมื่อหมักเศษพืชไประยะหนึ่งแล้วเห็นว่าเศษพืชอัดตัวกันแน่นมากขึ้น เกรงว่าการระบายอากาศภายในกองปุ๋ยไม่เพียงพอ ก็อาจช่วยระบายอากาศในกองปุ๋ยได้โดยวิธีง่ายๆ คือ เมื่อเริ่มตั้งกองปุ๋ยใหม่หลังจากการกลับกอง ก็หาไม้ไผ่หรือท่อพีวีซีมาหลายๆ ลำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3-6 นิ้ว มาปักตั้งไว้บนพื้นดินที่จะตั้งกองปุ๋ย โดยกะว่าเมื่อตั้งกองไปแล้ว ลำไผ่จะกระจายอยู่ทั่วๆ กอง แล้วจึงทำการตั้งกองปุ๋ย

เมื่อตั้งกองปุ๋ยเรียบร้อยแล้วก็ถอนลำไผ่ออก กองปุ๋ยก็จะมีช่องระบายอากาศตามที่ต้องการก่อนถอนลำไม้ไผ่ ควรโยกไม้ไปมารอบๆ จะทำให้ช่องระบายอากาศคงรูปได้ดีขึ้น ไม่ยุบตัว ควรทำช่องระบายอากาศเช่นนี้ทุกครั้งที่มีการกลับกองปุ๋ย

10) การกลับกองปุ๋ย หลังจากตั้งกองปุ๋ยไประยะหนึ่งแล้ว ควรกลับกองปุ๋ยโดยการคุ้ยกองลงมาทั้งหมด เกลี่ยผสมคลุกเคล้ากัน แล้วนำวัสดุทั้งหมดกลับตั้งเป็นกองใหม่ในรูปทรงเดิม โดยพยายามกลับเอาเศษพืชที่เคยอยู่ด้านนอกของกองให้กลับเข้าไปอยู่ด้านในของกอง

การกลับของกองปุ๋ยจะทำให้สภาพของกองปุ๋ยโปร่งขึ้น การระบายอากาศดีขึ้น รวมทั้งเป็นการหมุนเวียนเอาวัสดุด้านนอกของกองที่ยังไม่ย่อยสลายตัวให้เข้าไปรับความร้อน

ภายในกอง และช่วยกำจัดหนอน ตัวอ่อนของแมลงวันทีอาจเกิดขึ้นบริเวณขอบนอกของกอง ขณะเดียวกันก็เป็นการผสมคลุกเคล้าวัสดุให้เข้ากัน มีความชื้นสม่ำเสมอทั้งกอง

การกลับกองมีความสำคัญมากต่อการแปรสภาพของกองปุ๋ย ยิ่งสามารถกลับกองได้บ่อยครั้งจะยิ่งช่วยให้เศษพืชแปรสภาพไปเป็นปุ๋ยหมักได้เร็วขึ้น เช่น การกลับกองทุกๆ 3- 5 วัน หรือทุกสัปดาห์ จะทำให้เศษพืชสลายตัวได้รวดเร็ว แต่การกลับกองเป็นขั้นตอนที่สิ้นเปลืองแรงงานอย่างมาก ถ้าไม่มีความจำเป็นต้องรีบใช้ปุ๋ยหมัก ก็สามารถลดจำนวนครั้งในการกลับกองปุ๋ยลงได้ตามเวลา หรือแรงงานที่มีอยู่ แต่อย่างน้อยที่สุดก็ควรจะมีการกลับกองประมาณ 3-4 ครั้ง คือ กลับกองครั้งแรกประมาณ 10 วัน หลังจากเริ่มตั้งกองปุ๋ย ครั้งที่สองประมาณ 15 วัน หลังจากกลับกองครั้งแรก จากนั้นก็อาจกลับกองทุกๆ 20 วัน จนสามารถนำไปใช้ได้

11) ความชื้นของกองปุ๋ย จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ให้กลายเป็นปุ๋ยนั้นต้องอาศัยน้ำหรือความชื้นในการดำรงชีพ วัสดุที่นำมากองจึงต้องเปียกชื้น การรดน้ำต้องระมัดระวังพอสมควร คือ รดน้ำแค่พอให้เศษพืชในกองเปียกชื้นพอสมควร ไม่ให้แฉะ ส่วนใหญ่แล้วเศษพืชไม่ค่อยดูดซับน้ำ จึงอาจต้องรดน้ำให้มากเป็นพิเศษในวันแรก จากนั้นก็เพียงคอยตรวจตราเป็นระยะๆ ดูแลให้กองปุ๋ยชื้นอยู่เสมอ ความชื้นที่พอดีของกองปุ๋ยอยู่ช่วงร้อยละ 40 – 60 โดยน้ำหนัก กะคร่าวๆ ได้โดยวิธีใช้มือหยิบเอาเศษพืชในกองออกมา แล้วกำบีบให้แน่น ถ้ามีน้ำไหลซึมออกมาตามซอกนิ้วไหลเป็นทาง แสดงว่ากองปุ๋ยแฉะเกินไป ไม่ควรรดน้ำ แต่ควรทำการกลับกองปุ๋ยบ่อยขึ้น ถ้าบีบแล้วน้ำซึมออกมาตามซอกนิ้ว แต่ไม่ถึงกับไหลเป็นทางแสดงว่าความชื้นพอดีแล้ว แต่เมื่อบีบแล้วไม่มีน้ำซึมออกมาเลย แสดงว่าเศษพืชนั้นแห้งเกินไป ต้องรดน้ำเพิ่มเติม

12) อุณหภูมิ หลังจากกองปุ๋ยหมักแล้วประมาณ 2-4 วัน อุณหภูมิภายในจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึง 50-60 องศาเซลเซียส เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการย่อยสลาย และคุณสมบัติการเก็บความร้อนของวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นไม่ค่อยแพร่กระจายออกจากกองปุ๋ยหมัก การที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นดังกล่าว ทำให้สภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยเปลี่ยนแปลงไป ชนิดของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ก็เปลี่ยนแปลงไปเช่นเดียวกัน ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ พบว่าจุลินทรีย์ที่มีทบบาทสำคัญได้แก่ พวกที่ทนต่ออุณหภูมิสูง และพวกที่ชอบอุณหภูมิสูง หลังจากที่อุณหภูมิสูงสุดแล้วจะค่อยๆ ลดลง จนถึงที่ระดับจุลินทรีย์พวกที่ชอบจุลินทรีย์ปานกลางสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนมากขึ้น

ระดับของอุณหภูมิในกองปุ๋ยจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ชนิดของวัสดุเหลือทิ้ง และขนาดของกองปุ๋ยหมักด้วย สำหรับชนิดและลักษณะของวัสดุเศษพืชนั้น มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักด้วย โดยวัสดุที่เป็นเส้นขนาด

ใหญ่ได้แก่ ฟางข้าว และผักตบชวา จะมีอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูงระหว่าง 45-50 องศาเซลเซียส แต่วัสดุที่มีขนาดเล็ก ได้แก่ ชานอ้อย แกลบ และเศษปอ จะมีอุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายโดยเชื้อรา และแอคติโนมัยซีส อยู่ในช่วง 45-55 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่ามีบทบาทมากในการย่อยสลายสารประกอบพวก Long Chain Polymers ต่างๆ ของสารเซลลูโลสและลิกนิน

ในกรณีที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปประมาณ 70 องศาเซลเซียส จะมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ย ทำให้การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ลดลงและกิจกรรมของจุลินทรีย์จะลดลงตามไปด้วย ทำให้อุณหภูมิค่อยๆ ลดลงถึงระดับที่เหมาะสม เชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือรอดอยู่จะเริ่มกิจกรรมในการย่อยสลายต่อไป

13) ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง วัสดุที่มีค่า pH อยู่ในช่วง 3-11 สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ แต่อย่างไรก็ตามค่า pH ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 5.5-8 เนื่องจากแบคทีเรียชอบ pH ในช่วงที่เป็นกลาง ส่วนเชื้อราสามารถปรับตัวให้อยู่ในสภาพที่ค่อนข้างเป็นกรดได้ แต่โดยปกติแล้ว pH เริ่มต้นในการหมักมักจะค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อย คือ อยู่ในช่วงประมาณ 6.0 ซึ่งถือเป็น pH ที่พบในเซลล์ของพืช เป็นส่วนใหญ่

14) อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ของวัตถุดิบที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก เป็นค่าที่บ่งบอกความยากหรือง่ายต่อการย่อยสลายและใช้เป็นตัวกำหนดระดับความเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ กล่าวคือ ถ้าวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก มีค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมากๆ อัตราการย่อยสลายจะเกิดช้า เนื่องจากความไม่สมดุลของสารประกอบคาร์บอนกับไนโตรเจน ในสภาพเช่นนี้จุลินทรีย์จะใช้สารประกอบคาร์บอนในรูปแบบต่างๆ เป็นแหล่งของพลังงานและแหล่งของคาร์บอนในการเจริญ ขณะเดียวกันจุลินทรีย์ก็ต้องใช้สารประกอบไนโตรเจนด้วย แต่สารประกอบไนโตรเจนมีปริมาณน้อย จึงเป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้กิจกรรมในการย่อยสลายเกิดช้า การใช้วัสดุที่มีค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าประมาณ 30-35:1 ค่อนข้างเหมาะสมต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ใช้เป็นตัวกำหนดการเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ คือ 20 ต่อ 1 ซึ่งปุ๋ยหมักดังกล่าวนำไปใส่ในดินจะไม่เกิดผลเสียต่อดินและพืช

3. จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการหมักทำปุ๋ย

การหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศเป็นกระบวนการซึ่งจุลินทรีย์หลายชนิดมีบทบาทเกี่ยวข้องร่วมกัน แต่ละชนิดของจุลินทรีย์จะเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของแต่ละช่วงเวลา และแต่ละเชื้อจะมีกิจกรรมการย่อยสลายในรูปแบบเฉพาะของตัวเอง จากการศึกษาของ Lardinois และคณะ (1993)

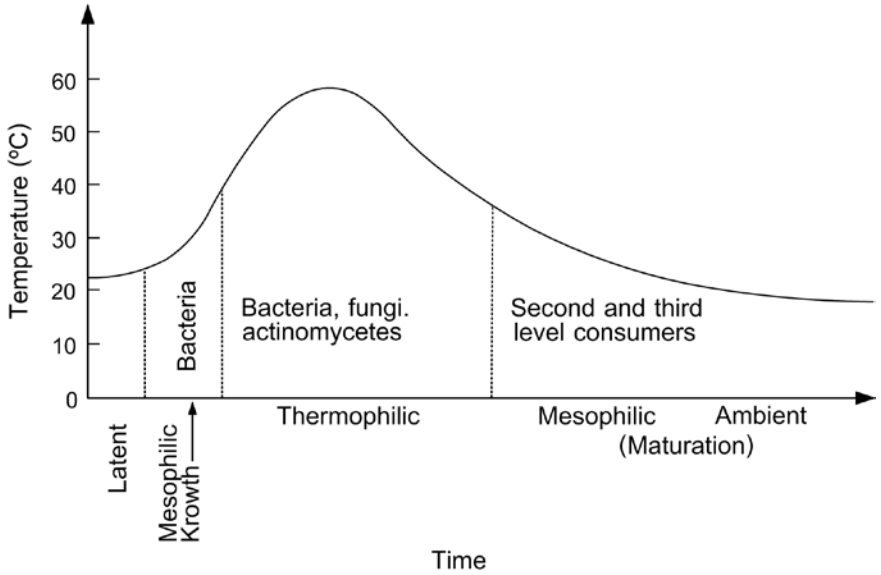
พบว่า จุลินทรีย์ในกองหมักมูลฝอย สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 จำพวก คือ psychrophilic, esophilic และ thermophilic อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแต่ละจำพวกดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

ประเภทจุลินทรีย์	พิสัย (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิที่เหมาะสม (องศาเซลเซียส)
Psychrophilic	0 ถึง 30	15
Mesophilic	20 ถึง 40	32
Thermophilic	40 ถึง 70	55

ที่มา : Lardinois และคณะ (1993)

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างระดับอุณหภูมิกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในการหมักทำปุ๋ย มีรูปแบบดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในการทำปุ๋ยหมัก

ที่มา : Polprasert (1996)

Chino และคณะ (1983) รายงานว่าในระยะเร่งของการหมักตะกอนน้ำทิ้งเป็นปุ๋ยวัสดุหมักจะถูกย่อยด้วย mesophilic fungi และ aerobic bacteria มากกว่าพวก thermophilic actinomyces และพบว่า การออกซิไดซ์สารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ทำให้เกิดความร้อนสูงในกองหมัก

สุมิตรา ภู่วโรดม (2532) ได้กล่าวถึง จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยเซลลูโลสในกองปุ๋ยหมักว่าแบ่งได้เป็น 3 พวกใหญ่ๆ ดังนี้

1) พวกที่ต้องการออกซิเจนและชอบอุณหภูมิปานกลาง (aerobic mesophilic microorganisms) มีทั้งแบคทีเรีย ราและแอคติโนมัยซีส ซึ่งในแต่ละกลุ่มประกอบไปด้วยจุลินทรีย์ในสกุล (genus) ต่อไปนี้

(1) เชื้อรา ได้แก่ *Aspergillus, Chaetomium, Curvularia, Phoma, Fuasium, Memnoniella และ Trichoderma* เป็นต้น

(2) แบคทีเรีย ได้แก่ *Cytophage, Bacillus, Vibrio, Pseudomonas,Celluiutomonas, Sporcyotophage* เป็นต้น

(3) แอคติโนมัยซีส ได้แก่ *Streptomyces, Micromonospora, Nocardia* จุลินทรีย์เหล่านี้เจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 15 ถึง 45 องศาเซลเซียส และเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง 35 องศาเซลเซียส

2) พวกที่ไม่ต้องการออกซิเจนและชอบอุณหภูมิปานกลาง (Anaerobic meso ถึง philic microorganisms) จุลินทรีย์ที่สำคัญในกลุ่มนี้ ได้แก่ แบคทีเรีย genus Clostridium ส่วนเชื้อราและแอคติโนมัยซีสมีความสำคัญน้อยมาก เพราะไม่สามารถเจริญอยู่ในสภาพที่ขาดออกซิเจนได้

3) พวกที่เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 45 ถึง 65 องศาเซลเซียส (Thermophilic microorganisms) จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีบทบาทในการย่อยสลายที่อุณหภูมิสูง จุลินทรีย์ที่สำคัญ ได้แก่ *Clostridium thermocellum* และ *Clostridium thermocellulaseum*

สำหรับพวก Facultative aerobes นั้นสามารถหายใจและทำกิจกรรมการย่อยสลายได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไร้ออกซิเจนตราบใดที่ยังคงมี Electron acceptors อยู่ในกองหมัก (ไพบูลย์ ประพฤติธรรมและคณะ, 2542)

4. การดูแลรักษากองปุ๋ยหมัก

ต้องคอยควบคุมให้กองปุ๋ยหมักมีความชื้นอย่างเหมาะสม โดยการใช้ไม้ไผ่เสียบเข้าไปในกองปุ๋ยหมัก ถ้ามีละอองน้ำเกาะแสดงว่ามีความชื้นพอเหมาะ แต่ถ้าไม้ไผ่เปียกแสดงว่ามีน้ำมากเกินไป ต้องทำการกลับกองปุ๋ยเพื่อช่วยทำให้น้ำระเหยออกไป และทำให้อากาศถ่ายเทได้ดี ในระยะ 2 สัปดาห์แรก เนื่องจากอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยจะสูงเกิน 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าจุลินทรีย์ มีการเจริญเติบโตและทำกิจกรรมในการย่อยสลายวัสดุในกองปุ๋ยหมัก นอกจากนี้การกลับกองปุ๋ยหมักยังช่วยทำให้เศษวัสดุรอบนอกที่ยังไม่ถูกย่อยสลายให้พลิกกลับไว้ในกองปุ๋ย ในกรณีที่ไม่สามารถกลับกองปุ๋ยได้บ่อยๆ รวมทั้งมีน้ำในปริมาณจำกัด ควรใช้วิธีการกองปุ๋ยแบบไม่ต้องกลับกอง โดยใช้ไม้ไผ่ที่ทะลุปล้องมีรูตลอดลำ หรือท่อพีวีซีเสียบผ่านเข้าไปในกองปุ๋ย โดยให้มีรู

ระบายอากาศผ่านเข้าออกภายในกองปุ๋ย และใช้ดินคลุมกองโดยให้ไม้ไผ่หรือท่อน้ำโผล่ทะลุหลังจากดินที่ใช้พอกรอบกองปุ๋ยแห้ง ให้ดึงไม้ไผ่หรือท่อน้ำออก จำทำให้เกิดช่องระบายอากาศและไม่ต้องรดน้ำ แต่ต้องทำให้เศษพืชชุ่มน้ำอย่างเพียงพอในขณะเริ่มทำกองปุ๋ย (จุฑามาศ รัตนศรีบัวทอง, 2548)

5. หลักในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์

โดยทั่วไปมักจะมีปัญหาอยู่เสมอว่าวัสดุเหลือใช้ที่นำมาทำปุ๋ยหมักนั้นย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์พร้อมที่จะใส่ลงในดินแล้วหรือยัง ข้อกำหนดในการที่จะบ่งบอกว่าปุ๋ยหมักเสร็จสมบูรณ์ คือ ค่าอัตราส่วนสารประกอบของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุควรมีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า 20:1 (ต้องทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ) ซึ่งค่าของอัตราส่วนสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ระดับดังกล่าว เมื่อนำปุ๋ยหมักใส่ลงในดินแล้วจะไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อพืช สำหรับหลักเกณฑ์ในการพิจารณา ปุ๋ยหมักที่มีการย่อยสลายที่สมบูรณ์แล้วสังเกตได้ดังนี้ (กองปฐพีวิทยา, 2540)

1) สีของวัสดุเศษพืช หลังจากเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์จะมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ โดยปกติเมื่อใช้เศษพืชในการทำปุ๋ยหมักจะเห็นความแตกต่างของสีอย่างชัดเจน

2) ลักษณะของวัสดุเศษพืช ที่เป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์จะมีลักษณะอ่อนนุ่ม ยุ่ย และขาดออกจากกันได้ง่าย ไม่แข็งกระด้างเหมือนวัสดุเริ่มแรก

3) กลิ่นของวัสดุปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ จะไม่มีกลิ่นเหม็น ในกรณีที่มีกลิ่นเหม็นหรือกลิ่นฉุน แสดงว่ากระบวนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยยังไม่สมบูรณ์

4) ความร้อนในกองปุ๋ย หลังจากกองปุ๋ยหมักประมาณ 2-3 วัน อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยจะสูงประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจะสูงอยู่ในระดับนี้ระยะหนึ่งแล้ว จึงค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกกองปุ๋ยจึงถือว่าเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ แต่ควรพิจารณาปัจจัยอื่นประกอบด้วย เพราะในกรณีที่มีความชื้นน้อยหรือมากเกินไป อาจจะทำให้ระดับอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักลดลงได้เช่นกัน

5) ลักษณะพืชที่เจริญบนกองปุ๋ยหมัก เมื่อกองปุ๋ยหมักเกือบใช้ได้แล้ว บางครั้งอาจจะมีพืชเจริญบนกองปุ๋ยหมักได้ แสดงว่ากองปุ๋ยหมักดังกล่าวนำไปใส่ในดินโดยไม่เป็นอันตรายต่อพืช

6. ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมัก

ธาตุอาหาร หมายถึง ธาตุอาหารเคมีที่พืชต้องการนำไปใช้บำรุงส่วนต่างๆ เพื่อดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม เป็นต้น แต่ในธรรมชาติธาตุต่างๆไม่ได้อยู่ในรูปลักษณะเดี่ยวๆ มักจะทำปฏิกริยารวมกับธาตุอื่นๆ อยู่ในรูปสารประกอบ เรียกว่า วัสดุปุ๋ย ปุ๋ยยังสามารถผลิตได้จากสิ่งของที่เกิดจากธรรมชาติ เรียกว่า

ปุ๋ยอินทรีย์หรือจากการสังเคราะห์ทางเคมี ซึ่งทั้งสองประเภทนั้นปริมาณธาตุอาหารจะมีมากน้อยขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ในการทำปุ๋ย (เรียมสงวน วรรณยะลา, 2544)

กรมพัฒนาที่ดินได้กำหนดคุณภาพและมาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมักไว้ ดังนี้ (ปรัชญา ธัญญาดีและคณะ, 2540)

1) มีอัตราส่วนสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N ratio)ไม่เกิน20:1

2) เกรดปุ๋ยไม่ควรต่ำกว่า 0.5 ถึง 1.0 (ร้อยละN, P_2O_5,K_2O ตามลำดับ)

3) ความชื้นของปุ๋ยหมักไม่ควรมากกว่าร้อยละ 25 ถึง50 (โดยน้ำหนัก)

4) ปริมาณอินทรียวัตถุ ประมาณ ร้อยละ 25 ถึง50 โดยน้ำหนัก

5) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ประมาณ 6.0 ถึง 7.5

6) ไม่ควรมีวัสดุเจือปนอื่นๆ

จากการศึกษาของ Htay (1995) ในการหมักกากตะกอนน้ำเสียกับกากตะกอนอุจจาระและวัสดุอื่นๆ โดยหมักแบบ windrow การหมักย่อยสลายสมบูรณ์ระหว่าง 75 ถึง 117วัน ปุ๋ยหมักที่ได้พบ fecal coliform มีปริมาณอาหารหลัก ดังนี้ ไนโตรเจน (N) ร้อยละ 1.0 ถึง 2.1 ฟอสฟอรัส (P) ร้อยละ 0.48 ถึง1.0 โพแทสเซียม (K) 0.41 ถึง 0.81และอรลัดดา บุญแสน (2537) พบว่า ในปุ๋ยหมักมีปริมาณแร่ธาตุที่สำคัญแตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณแร่ธาตุที่สำคัญในปุ๋ยหมัก

สารอาหาร	ระดับที่พบต่ำที่สุด (ร้อยละ)
ไนโตรเจน (N)	0.06
ฟอสฟอรัส (P)	0.50
โพแทสเซียม (K_2O)	0.30
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	2.00
แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)	3.05
แมกนีเซียมมออกไซด์ (MgO)	0.30

ที่มา : อรลัดดา บุญแสน (2537)

7. การใช้ปุ๋ยหมัก

การใช้ปุ๋ยหมักกับพืชไร่นั้น ควรใส่ปริมาณเท่าที่สามารถจัดหาเองได้ การใส่ในปริมาณมากๆ นั้นอาจจะไม่คุ้มทุน เนื่องจากราคาปุ๋ยหมักหรือแม้แต่ปุ๋ยมูลสัตว์มีราคาค่อนข้างแพง ส่วนราคาผลผลิตพืชไร่ต่างๆ นั้นอยู่ในระดับต่ำ การใส่ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยมูลสัตว์กับพืชไร่ควรใช้กับดินที่มีปัญหา เช่น ดินจอมปลวก ดินเกลือ หรือดินที่ได้มีการปรับหน้าดินไปที่อื่น การปลูกพืชหมุนเวียนกับพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ถั่วมะแฮะ จะเหมาะสมกว่าปลูกพืชเดียวติดต่อกัน การปลูกพืชตระกูลถั่วเป็นปุ๋ยพืชสดแล้วไถกลบลงไปในดินในไร่ จะสามารถช่วยเพิ่มไนโตรเจนแก่ดินอย่างน้อย 5 – 10 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่ การปลูกพืชปุ๋ยสดควรจะปลูกก่อนพืชไร่ (พืชหลัก) แล้วทำการไถกลบเมื่อมีอายุได้ 50-60 วัน ก่อนปลูกพืชหลักอย่างน้อย 10-15 วัน ปอเทือง ถั่วพุ่มและถั่วพร้า เหมาะที่จะปลูกในดินทราย ดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียว (กองปฐพีวิทยา, 2540)

นอกจากใช้ปุ๋ยพืชสดแล้ว เศษซากพืช เช่น ตอซังข้าวโพด ถั่วลิสง ข้าวฟ่าง และถั่วเหลืองที่เหลือทิ้งอยู่ในแปลง ควรไถกลบลงในดินหรือปล่อยคลุมดินไว้ตามเดิมจะมีคุณค่ามากกว่าเผาทิ้ง อย่างไรก็ดีมีข้อควรระวังในการไถกลบตอซังข้าวโพด ถ้ามีปริมาณมากเกินไปและต้องการปลูกพืชตามทันทีควรเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนในอัตรา 5-10 กิโลกรัมไนโตรเจน/ไร่ กับพืชที่ปลูก ทั้งนี้เพราะตอซังเหล่านี้มีปริมาณไนโตรเจนต่ำ และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 40 หรือมีไนโตรเจนต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างขบวนการย่อยสลายตัวของเศษซากพืชเหล่านี้ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่มีอยู่แล้วในดินจะถูกจุลินทรีย์ที่อาศัยในดินแย่งนำไปใช้ในกระบวนการสลายตัว เป็นผลให้พืชได้รับไนโตรเจนไม่เพียงพอและจะแสดงอาการเหลืองซีด แต่ไถกลบก่อนปลูก 15 วัน ก็ไม่มีปัญหา เพราะไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการสลายตัวของตอซังพืชแล้ว (กองปฐพีวิทยา, 2540)

ไม้ผล ใช้รองก้นหลุมก่อนปลูกไม้ผลอัตรา 1-2 กิโลกรัม/หลุม ขึ้นอยู่กับขนาดของหลุมปลูก และความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมทั้งใช้หว่านใส่เพิ่มการเจริญเติบโตให้กับไม้ผล อัตรา 1-2 กิโลกรัม/ตารางเมตร/ครั้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอายุและขนาดทรงพุ่มไม้ผล (กองปฐพีวิทยา, 2540)

พืชผัก ใช้ปุ๋ยหมักผสมดินในช่วงเตรียมแปลงปลูกพืชผัก อัตราปุ๋ยหมัก 1-2 กิโลกรัม/ตารางเมตร ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดินและใช้รองก้นหลุมก่อนปลูกพืชผักที่มีอายุเกิน 2 เดือน เช่น กะหล่ำปลี แตงกวา ฟักทอง ฯลฯ ประมาณ 1 กำมือ/หลุม รวมทั้งใช้ใส่เพิ่มความเจริญเติบโตให้กับพืชผักที่ปลูกอยู่ในแปลง (กองปฐพีวิทยา, 2540)

ปุ๋ยที่หมักแล้วเมื่อใช้ไม่หมด สามารถใส่กระสอบเก็บไว้ในที่ร่มไม่ถูกแสงแดดและฝนจะเก็บได้นานประมาณ 1 ปี (กองปฐพีวิทยา, 2540)

นิยาม แนวคิด ทฤษฎีเกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์

การเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตให้กับพืชที่เกษตรกรปลูก จะต้องมีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องอยู่หลายปัจจัย ทั้งปัจจัยภายในพืช ซึ่งได้แก่ พันธุกรรม และปัจจัยภายนอก ซึ่งได้แก่ ดิน ธาตุอาหาร แสงแดด อุณหภูมิ และอากาศ เป็นต้น ดังนั้นในการปลูกพืชและเพิ่มผลผลิตพืชผลทางการเกษตร เกษตรกรจึงต้องคำนึงถึงและให้ความสำคัญกับปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวนี้ ซึ่งปัจจัยที่สำคัญอันดับแรกๆ ได้แก่ ดิน และปริมาณธาตุอาหารในดิน ซึ่งดินที่เหมาะสมในการเพาะปลูกโดยทั่วไปแล้วจะมีส่วนประกอบที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช สามารถแบ่งได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ คือ (ธงชัย มาลา, 2546)

1. อนินทรียวัตถุ ได้แก่ ส่วนที่เกิดจากการสลายตัวของแร่และหินเป็นชิ้นเล็ก หรือเป็นอนุภาคเล็กๆ ประมาณ 45% โดยปริมาตร ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดของธาตุอาหารพืช เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ดิน รวมทั้งสัดส่วนของอนุภาคอนินทรียวัตถุชนิดต่างๆ จะเป็นตัวบอกถึงประเภทของเนื้อดินในสวนของเกษตรกรว่าเป็นดินเหนียว ดินทราย หรือดินร่วน ฯลฯ

2. อินทรียวัตถุ เป็นส่วนที่เกิดจากการเน่าเปื่อยผุพัง หรือการสลายตัวของเศษเหลือของพืชและสัตว์ที่ทับถมกันอยู่บนดิน รวมถึงเซลล์จุลินทรีย์ทั้งที่ยังมีชีวิตอยู่และส่วนที่ตายแล้ว แต่ไม่รวมถึงซากพืชหรือเศษซากพืชหรือสัตว์ที่ยังไม่ย่อยสลาย เป็นส่วนประกอบอยู่ในดินประมาณ 5% โดยปริมาตร

3. น้ำ น้ำที่อยู่ในดินนั้นพบอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินหรืออนุภาคดิน เพื่อให้น้ำไปเลี้ยงต้นพืช และน้ำช่วยในการละลายธาตุอาหารต่างๆ ในดิน และช่วยในการดูดและขนย้ายอาหารพืช น้ำควรประกอบอยู่ในดินประมาณ 25% โดยปริมาตร

4. อากาศ พบอยู่ในที่ว่างในดินระหว่างก้อนดินหรืออนุภาคดิน ซึ่งก๊าซที่พบโดยทั่วไปในส่วนของอากาศในดินนั้นมี ไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ มีประโยชน์ในการให้ออกซิเจนแก่รากพืชและจุลินทรีย์ในการหายใจ ประกอบอยู่ในดินประมาณ 25% โดยปริมาตร

5. สิ่งมีชีวิตในดิน พบอยู่ในที่ว่างในดินระหว่างก้อนดินหรืออนุภาคดิน นอกจากจะบรรจุน้ำและอากาศแล้ว ยังมีสิ่งมีชีวิตในระดับต่างๆ อาศัยอยู่ด้วย เช่น จุลินทรีย์ดินพวกเห็ด รา แบคทีเรีย และแอคทิโนมัยซีท จำพวกสัตว์ที่อาศัยอยู่ในดิน ได้แก่ แมลงต่างๆ ไส้เดือนดิน กิ้งกือ หนู และตุ่น รวมทั้งรากพืชที่แทรกตัวชอนไชทั่วในดิน เพื่อแสวงหาน้ำ และธาตุอาหาร เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช

ดังนั้นในการปรับปรุงบำรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตที่ดีของต้นพืช จึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้ครอบคลุมส่วนประกอบทั้งหมดดังกล่าว ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของดิน ทั้งทางด้านเคมี (ธาตุอาหารในดิน ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน) ทางด้านชีวภาพ (สิ่งมีชีวิตต่างๆ ในดิน) และทางด้านกายภาพของดิน คือ การทำให้ดินโปร่ง ร่วน ซุย เพื่อให้มีการระบายน้ำได้ดี มีอากาศอยู่ในดินในปริมาณที่เพียงพอต่อการหายใจของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในดิน และการหายใจของรากพืช ซึ่งในการปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าวของดิน วิธีการทำได้ดีที่สุดวิธีหนึ่ง คือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (ธงชัย มาลา, 2546)

ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง ปุ๋ยที่มีส่วนประกอบเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิต เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ซากพืช หรือสัตว์ที่ไถกลบดิน รวมถึงพวกอินทรียสารที่เป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร เช่น กากตะกอนอ้อย (Filter Cake) ทะลายปาล์ม เป็นต้น (ธงชัย มาลา, 2546)

หน้าที่หลักของปุ๋ยอินทรีย์ คือ การปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การทำให้ดินโปร่ง ร่วน ซุย ให้ธาตุอาหารพืชค่อนข้างครบถ้วนและสมดุลดี ทั้งธาตุอาหารหลักและจุลธาตุหรือธาตุอาหารเสริม แต่ส่วนใหญ่จะมีธาตุอาหารหลักอยู่ในปริมาณต่ำ เกษตรกรจำเป็นต้องใช้ในปริมาณค่อนข้างสูงมาก เมื่อใช้แต่ปุ๋ยอินทรีย์เพียงชนิดเดียว โดยไม่มีการใส่รวมกับปุ๋ยเคมี และหน้าที่ที่สำคัญมากอีกประการหนึ่ง ก็คือทำให้ดินมีอินทรียวัตถุเพิ่มมากขึ้น

1. หน้าที่ของอินทรียวัตถุในดิน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง 3 ประการ ดังนี้ (ธงชัย มาลา, 2546)

1) การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของดิน โดยช่วยทำให้ดินโปร่งพรุน อากาศในดินถ่ายเทได้สะดวก น้ำไม่ขัง ลดการไหลบ่าของหน้าดิน และช่วยลดการสูญเสียของหน้าดิน รวมทั้งช่วยทำให้จุลินทรีย์ดินมีการเจริญเติบโตและมีกิจกรรมต่อเนื่อง ทำให้รากเจริญเติบโตได้ดี ทำให้ดินไม่แน่นทึบ และดินไม่ร้อน

2) การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดิน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางด้านธาตุอาหารและความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โดยช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนธาตุประจุบวก (CEC) ให้แก่ดิน อินทรียวัตถุช่วยเพิ่มความสามารถในการสรรหาและปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืช ช่วยควบคุมหรือลดการละลายได้ของแร่ธาตุบางชนิดในดิน เช่น อะลูมินั่ม (Al) และเหล็ก (Fe) โดยเฉพาะในดินที่เป็นกรดจัด ช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ได้ของธาตุอาหารพืชที่สำคัญ เช่น ฟอสฟอรัส (P) และโมลิบดีนั่ม (Mo) หรือช่วยลดการถูกตรึงยึดติดไว้ของดินกับธาตุอาหารพืชบางตัว ทำให้พืชนำธาตุอาหารไปใช้ไม่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อดินมีสภาพเป็นกรดจัด อินทรียวัตถุช่วยเปลี่ยนแปลง ทำให้ธาตุอาหารพืชอยู่ในสภาพที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

3) การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ (การเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตในดิน) โดยอินทรียวัตถุช่วยกระตุ้นการทำงานหรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินหรือสัตว์เล็กๆ ในดิน ช่วงระหว่างขบวนการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ ทำให้การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในดินดีขึ้น เนื่องจากกิจกรรมที่เกิดจากการกระทำของจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตในดินดีขึ้น รวมทั้งช่วยทำให้สภาพทางกายภาพและทางเคมีของดินดีขึ้นด้วย (ธงชัย มาลา, 2546)

คุณสมบัติของอินทรียวัตถุที่เกิดขึ้นในดินทั้ง 3 ประการนี้ จะเกิดขึ้นอย่างผสมกลมกลืนและต่อเนื่องกันตลอดเวลา อย่างไรก็ตามอัตราเร่งของการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ หรือประโยชน์ที่จะได้จากอินทรียวัตถุในดินจะขึ้นกับชนิดและปริมาณของวัสดุอินทรีย์และสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ จุลินทรีย์ดิน และอุณหภูมิของดินต่างๆ เป็นต้น (กองปฐพีวิทยา, 2540)

ในการเลือกซื้อปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพ (ตารางที่ 5) เกษตรกรต้องดูรายละเอียดบนภาชนะหรือกระสอบบรรจุปุ๋ย ดังรายการต่อไปนี้

1. ชื่อการค้า และเครื่องหมายการค้า
2. ชนิดของผลิตภัณฑ์
3. ปริมาณบรรจุเป็นน้ำหนักสุทธิ (ในระบบเมตริก เช่น กิโลกรัม)
4. ชื่อผู้ผลิตและสถานที่ผลิต
5. ระบุวัสดุที่ใช้ผลิตและอัตราส่วนที่ใช้
6. ระบุวันที่ผลิต และวันที่หมดอายุ
7. ระบุวิธีการใช้ การเก็บรักษา และข้อควรระวัง

จากคุณสมบัติและประโยชน์ดังที่ได้กล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นว่าปุ๋ยอินทรีย์มีประโยชน์และควรส่งเสริมให้มีการใช้อย่างกว้างขวาง ดังได้แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบข้อดีข้อด้อยของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 รายละเอียดคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร
2	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
3	ปริมาณหินและกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
6	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5-8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20 : 1
8	ค่านำไฟฟ้า (EC : Electrical Conductivity)	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก	- ไนโตรเจน (Total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก - ฟอสฟอรัส (Total P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก - โพแทสเซียม (Total K_2O) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์
11	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

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบข้อดี ข้อด้อย ของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี

รายการ	ปุ๋ยอินทรีย์	ปุ๋ยเคมี
1. ปริมาณธาตุอาหาร	มีธาตุอาหารหลักต่ำกว่า แต่มีธาตุรองและธาตุอาหารเสริมครบถ้วน มีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างช้าๆ จึงควบคุมให้เกิดประโยชน์หรือตรงเวลาที่พืชต้องการได้ยาก	มีธาตุอาหารหลักสูงกว่า มีคุณสมบัติละลายเป็นประโยชน์แก่พืชได้เร็วทันเวลาที่พืชต้องการ
2. การให้ผลผลิต	ในระยะสั้นให้ผลผลิตต่ำกว่า แต่ในระยะยาวอาจให้ผลผลิตสูงกว่า เพราะการใช้ปุ๋ยนี้ติดต่อกันทำให้คุณสมบัติของดินดีขึ้นเรื่อยๆ	ในระยะสั้นให้ผลผลิตสูงกว่า เพราะมีธาตุอาหารหลักมากกว่า แต่ระยะยาวผลผลิตอาจตกต่ำลง เพราะปุ๋ยเคมีบางชนิดทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ
3. ผลต่อสมบัติทางเคมีของดิน	ไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อคุณสมบัติทางเคมีของดิน จะช่วยต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่าง ช่วยดูดซึมธาตุอาหารไม่ให้สูญเสียและลดความเป็นพิษของแร่ธาตุบางชนิดในดินกรดจัด	ปุ๋ยบางชนิด เช่น แอมโมเนียซัลเฟต (21-0-0) แอมโมเนียคลอไรด์ (25-0-0) จะทำให้ดินเป็นกรด ความรุนแรงของความเป็นกรดจะมากขึ้นหากใช้อัตราสูงหรือติดต่อกันนานๆ
4. ผลต่อสมบัติกายภาพของดิน	ทำให้อนุภาคของดินจับตัวกันเป็นก้อนหรือเป็นเม็ดดินไม่อัดแน่น ซึ่งทำให้การถ่ายเทอากาศ การอุ้มน้ำและการไหลซึมของน้ำดี ส่วนของอินทรียวัตถุมีลักษณะคล้ายๆ ฟองน้ำ สามารถอุ้มน้ำและให้อากาศผ่านเข้าออกได้ดี	ปุ๋ยเคมีบางชนิดที่มีสารอื่นปะปน สารที่ปนมาจะทำให้ดินอัดตัวกันแน่นเมื่อดินแห้ง และเหนียวจัดเมื่อเปียก ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบข้อดี ข้อด้อย ของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี (ต่อ)

รายการ	ปุ๋ยอินทรีย์	ปุ๋ยเคมี
5. ผลต่อสมบัติทางชีวเคมีของดิน	เป็นอาหารที่ดีของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กหรือจุลินทรีย์ในดิน ทำให้จุลินทรีย์เจริญมีกิจกรรมดี ช่วยเปลี่ยนธาตุอาหารพืชให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างต่อเนื่อง	เป็นอาหารของจุลินทรีย์เช่นเดียวกัน ทำให้อินทรียวัตถุในดินหมดไปอย่างรวดเร็ว เพราะเป็นตัวเร่งกิจกรรมการสลายตัวของอินทรียวัตถุ
6. ราคา	เรียบเทียบจากปริมาณธาตุอาหารจะมีราคาแพงกว่าปุ๋ยเคมี แต่ถ้าคิดคุณค่าอื่นๆ เช่น การช่วยปรับปรุงดิน การอุ้มน้ำ การถ่ายเทอากาศ การรักษาคุณสมบัติของดินระยะยาวแล้ว นับว่ามีราคาถูก	มีราคาไม่แน่นอนตามราคาตลาด แต่มีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามราคาน้ำมัน เนื่องจากปัจจุบันต้องใช้น้ำมันในกระบวนการผลิต
7. การขนส่ง	ถ้ามีการขนส่งระยะไกลทำได้ยากกว่า และเสียค่าขนส่งมากกว่า แต่โดยทั่วไปมักมีการขนส่งระยะใกล้ภายในท้องถิ่นหรืออยู่ในไร่นา	การขนส่งง่ายกว่า ค่าขนส่งถูกกว่า แต่มักจะมีการขนส่งระยะไกล
8. การใช้	ส่วนใหญ่ใช้แรงงานครั้งเดียวต่อการปลูก 1 ครั้ง แต่อาจใช้แรงงานมากกว่า เพราะใส่ปริมาณมากกว่าปุ๋ยเคมี วิธีใส่ไม่ยุ่งยาก	ใช้แรงงานหลายครั้ง เพราะต้องแบ่งใส่เป็นช่วงตามลักษณะอายุของพืชและชนิดของดิน ดังนั้นวิธีใส่ยุ่งยากมากกว่า ต้องมีความรู้ในการใช้
9. โอกาสสูญเสีย	เมื่อใส่ลงไปในดินแล้วโอกาสที่ธาตุอาหารจะสูญเสียน้อย เพราะธาตุอาหารบางส่วนเป็นองค์กอบในปุ๋ยอินทรีย์และบางส่วนถูกดูดยึดอยู่อย่างเหนียวแน่น	มีโอกาสสูญเสียมาก ขึ้นกับชนิดของดินที่ใส่ ชนิดของปุ๋ย วิธีการและเวลาในการใส่ปุ๋ย การสูญเสียในดินทรายจะมากกว่าในดินเหนียว
10. ธาตุโลหะหนักหรือสารพิษ	ปุ๋ยอินทรีย์บางชนิดมีธาตุโลหะหนักหรือสารพิษปนเปื้อน เช่น ปุ๋ยหมักจากขยะที่รวบรวมจากเมืองใหญ่ หรือวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	ในปุ๋ยเคมีไม่มีธาตุโลหะหนักหรือสารพิษ ไม่มีโอกาสในการสะสมของโลหะหนักหรือสารพิษในดิน

ที่มา : กองปฐพีวิทยา, 2540

นิยาม แนวคิด ทฤษฎีเกี่ยวกับวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรในประเทศไทยเป็นจำนวนมากแต่ละปีจึงมีวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมดังกล่าวเป็นปริมาณมาก วัสดุเหล่านี้หากมีการจัดการที่ดีและเหมาะสมแล้ว ก็สามารถนำมาปรับปรุงบำรุงดินได้ดีทีเดียว ในตารางที่ 7 เป็นส่วนหนึ่งของวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการเกษตร หลายชนิดได้ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงบำรุงดินอยู่แล้ว เช่น ชานอ้อย ขี้เลื่อย ขุยมะพร้าว รวมทั้งฮิวมัสซึ่งเป็นของเหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตผงชูรสและกากตะกอนน้ำทิ้งต่างๆ วัสดุเหล่านี้มีปริมาณธาตุอาหารคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกันดังตารางที่ 8 หลายชนิดมีปริมาณมาก และคุณลักษณะเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดินได้โดยตรง แต่บางชนิดต้องปรับสภาพบางประการให้เหมาะสมเสียก่อน จึงจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น pH ให้เหมาะสม การนำมากองเป็นปุ๋ยหมัก และการทำให้แห้ง เป็นต้น (ธงชัย มาลา, 2546)

ตารางที่ 7 ปริมาณวัสดุอินทรีย์เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละชนิดในประเทศไทย

โรงงาน	วัสดุอินทรีย์เหลือใช้		
	จำนวนโรงงาน	ประเภท	ปริมาณ (ตัน/ปี)
สุรา	34	Activated sludge	1,300
เบียร์	2	Activated sludge	10,800
น้ำอัดลม	8	Activated sludge	782
ผงชูรส	3	GML	35,000
		Humus	13,00
		Activated sludge	1,000
น้ำตาลทราย	47	Bagasse	13,530,000
		Filter cake	604,658
เยื่อกระดาษ	44	Activated sludge	16,200
กำจัดน้ำเสียของการเคหะแห่งชาติ	3	Activated sludge	7,680
สกัดน้ำมันละหุ่ง	1	กากเมล็ดละหุ่ง	197,100
สกัดน้ำมันรำ	3	รำข้าว	139,678

ตารางที่ 7 ปริมาณวัสดุอินทรีย์เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละชนิดในประเทศไทย (ต่อ)

โรงงาน	วัสดุอินทรีย์เหลือใช้		
	จำนวนโรงงาน	ประเภท	ปริมาณ (ตัน/ปี)
สกัดน้ำมันปาล์ม	4	กากเมล็ดปาล์ม	51,037
สกัดน้ำมันถั่วเหลือง	21	กากถั่วเหลือง	131,400
สกัดน้ำมันมะพร้าว	76	กากมะพร้าว	9,855
สกัดน้ำมันเมล็ดฝ้าย	1	กากเมล็ดฝ้าย	27,375
การกะเทาะข้าวโพด	-	ซังข้าวโพด	1,260,000
แป้งมันสำปะหลัง	-	เปลือกมันสำปะหลัง	4,500,000
โรงสีข้าว	-	แกลบ	3,160,000
โรงเลื่อย	-	ขี้เลื่อย	1,440,000

ที่มา : ธงชัย มาลา, 2546

ตารางที่ 8 ปริมาณธาตุอาหารและค่าวิเคราะห์ทางเคมีในวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด

ชนิดของวัสดุ	N (%)	P_2O_2 (%)	K_2O (%)	Ca (%)	Mg (%)	Org.C (%)	C/N	pH
1. กากตะกอน								
โรงงานเป๊ปซี่	4.10	2.33	0.30	-	-	-	-	-
โรงงานเบียร์	4.49	1.59	0.31	2.18	0.29	33	7	7.1
โรงงานสุรามหาราษฎร์	5.94	0.56	0.50	0.18	-	33	6	6.6
โรงงานผงชูรส	4.8	0.63	-	-	-	-	-	-
2. ขี้เลื่อย								
ไม้เบญจพรรณ	0.32	0.16	2.45	-	-	62.70	196	5.4
ไม้ยางเก่า	0.25	0.15	0.53	-	-	56.37	225	7.4
ไม้ยางใหม่	0.19	0.36	0.40	-	-	58.41	307	7.5

ตารางที่ 8 ปริมาณธาตุอาหารและค่าวิเคราะห์ทางเคมีในวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด (ต่อ)

ชนิดของวัสดุ	N (%)	P_2O_2 (%)	K_2O (%)	Ca (%)	Mg (%)	Org.C (%)	C/N	pH
3. ชานอ้อย	0.40	0.15	0.44	-	-	57.69	146	6.05
4. ขุยมะพร้าว	0.36	0.05	2.45	-	-	60.13	167	6.15
5. แกลบ	0.36	0.09	1.08	-	-	54.72	152	6.18
6. ต้นปอกระเจาจากโรงงาน	0.45	-	-	-	-	51.83	115	5.30
7. เปลือกเมล็ดปาล์มบด	0.52	0.03	0.30	-	-	60.95	117	5.49
8. กากเมล็ดละหุ่ง	5.37	0.87	0.98	0.41	-	27.23	5.07	6.34
9.เปลือกมันสำปะหลังแห้ง	0.59	0.19	0.77	-	-	31.52	53	4.45
10. เปลือกสับปะรด	1.79	0.85	5.46	-	-	48.60	26	7.60
11.เปลือกถั่วโลโปโกเนียม	2.30	0.54	2.46	-	-	53.60	42	5.70
12.เปลือกเมล็ดกาแฟ	0.93	0.14	2.94	-	-	65.49	70	6.30
13.เปลือกเมล็ดถั่วลิสง	0.73	-	6.22	-	-	58.36	75	6.40
14. เปลือกทุเรียน	0.83	0.19	2.15	-	-	50.63	81	5.50

ที่มา : ธงชัย มาลา, 2546

1. ข้อจำกัดของวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

เนื่องจากแต่ละชนิดของอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มีคุณสมบัติแตกต่างกันมากการใช้ปรับปรุงบำรุงดินจึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ ยิ่งถ้าเป็นเศษเหลือที่ยังสดอยู่ยิ่งต้องมีความระมัดระวังมาก เพราะอาจเป็นอันตรายต่อพืชได้ กล่าวโดยรวมแล้ว ข้อจำกัดต่างๆ ของวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งอาจมีปัญหาบางประการดังนี้ (ธงชัย มาลา, 2546)

1.1 กลิ่น บางชนิดมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ กล่าวคือมีกลิ่นเหม็น ฉุน จากกการบูดเน่าเสีย

1.2 บางชนิดอาจมีสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่กว้างมาก บางชนิดอาจผ่านการย่อยสลายมาน้อยมาก เมื่อใส่ดินในปริมาณมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใส่ลงดินในบริเวณที่ใกล้รากพืชมาก อาจเกิดอิมโมไลเซชัน (Immobilization) ของธาตุอาหาร บางกรณีอาจทำให้พืชไหม้ แห้งตายเนื่องจากการย่อยสลายในบริเวณใกล้เขตรากพืชมาก เกิดความร้อน ซึ่งเป็นอันตรายต่อพืช

1.3 อาจมีการปะปนของเชื้อสาเหตุโรคพืชติดมาได้ ในกรณีที่เป็นวัสดุอินทรีย์ที่ค่อนข้างสด เช่น เศษพืช อาจมีเชื้อสาเหตุของโรคพืชอาศัยอยู่ ซึ่งเป็นอันตรายต่อไปได้

1.4 มี pH ไม่เหมาะสม เช่น เป็นกรดหรือด่างมากเกินไป ต้องใช้ให้ถูกต้องตามสภาพของดิน หรืออาจต้องปรับ pH วัสดุอินทรีย์เสียก่อน แล้วจึงนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างปลอดภัย

1.5 วัสดุเหลือใช้บางชนิดย่อยสลายได้ช้ามาก เช่น ขี้เลื่อย แกลบ แต่ถ้าพิจารณาไปอีกทางหนึ่งจะพบว่ากลับเป็นสิ่งที่ดี เพราะการย่อยสลายได้ยาก จะทำให้เกิดความคงทนอยู่ในดินได้นาน อีกทั้งเกิด CO_2 ได้น้อย เป็นผลดีต่อการรักษาสภาพแวดล้อมของโลกได้ทางหนึ่งด้วย

1.6 อยู่ในสถานะที่แตกต่างกันมาก มีทั้งที่เป็นของเหลว ของแข็ง หรือแม้แต่เปียกแฉะและแห้ง การเลือกใช้ควรพิจารณาให้เหมาะสม

นอกจากนี้แล้ว ยังมีข้อจำกัดอื่น ๆ อีก อาทิ ส่วนใหญ่มีปริมาณธาตุอาหารพืชในปริมาณที่ต่ำ แต่ถ้าเป็นของเหลือจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ เช่น ฮิวมัส และกากตะกอนต่าง ๆ จะมีปริมาณธาตุอาหารชนิดต่างๆ ค่อนข้างสูง แต่ก็อาจต้องซื้อในราคาที่แพงขึ้นไปอีก

2. การจัดการวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

หลักการใช้วัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งอย่างปลอดภัยควรดำเนินการดังนี้ (ธงชัย มาลา, 2546)

2.1 ควรปล่อยทิ้งไว้หรือหมักไว้ระยะหนึ่งเพื่อให้อินทรียวัตถุสลายตัว จนกระทั่งสัดส่วนของ C/N ต่ำลงประมาณ 20 ถึง 25 ก็สามารถนำไปใช้ได้อย่างปลอดภัย

2.2 ถ้าวัสดุเหลือทิ้งเป็นของเหลว ก็ควรเจือจางให้พอเหมาะเสียก่อนแล้วจึงนำไปฉีดพ่นหรือละลายไปกับน้ำชลประทาน ถ้าเข้มข้นเกินไปอาจทำให้ใบพืชไหม้แห้งตายได้

2.3 ถ้าวัสดุนั้นเปียกแฉะ ก็ควรพึงให้แห้งพอประมาณเสียก่อน หรืออาจใช้วัสดุอินทรีย์อื่นๆ เช่น ชานอ้อย ขี้เลื่อย เป็นต้น เข้าไปผสมให้อยู่ในสภาพที่พอเหมาะ แล้วจึงนำไปใช้หรืออาจหมักไปต่ออีกระยะหนึ่ง จนเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ มีคุณภาพดีแล้วจึงนำไปใช้

2.4 ถ้า pH ของวัสดุอินทรีย์ที่ไม่เหมาะสม เช่น เป็นกรดมากเกินไป ควรใช้หินปูนหรือหินโดโลไมต์ หรือหินฟอสเฟตบด ปรับ pH เสียก่อน หรือ ถ้า pH เป็นกรดแต่ไม่มากนัก แต่ถ้าต้องการใช้ทันทีควรใช้กับดินที่เป็นด่างเพื่อแก้ปัญหาดินด่างได้ แต่ต้องผสมคลุกเคล้าให้เข้ากับดินเป็นอย่างดี ในกรณีที่วัสดุอินทรีย์เป็นด่าง ควรลดระดับ pH ลงมาระดับหนึ่งด้วยวัสดุอินทรีย์ที่มีระดับ pH เป็นกรด หรือแม้แต่การใส่กำมะถันผงเข้าไปผสม ถ้าต้องการใช้ทันทีโดยไม่ต้องปรับ pH ก็ควรใช้กับดินที่เป็นกรด โดยการคลุกเคล้าให้ดี ก็สามารถลดความเป็นกรดของดินได้ระดับหนึ่ง

2.5 ในกรณีที่กองวัสดุอินทรีย์มีกลิ่นเหม็น ก็ควรกองเป็นปุ๋ยหมักในระบบที่มีอากาศถ่ายเทดี คือ กองบนพื้น และมีการกลับกองอยู่อย่างสม่ำเสมอ ใส่กากน้ำตาล (Molass) และเชื้อจุลินทรีย์เร่งการสลายตัวก็จะเร่งการย่อยสลายให้เร็วขึ้นได้ จะลดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ลงได้มาก

ดังที่กล่าวแล้วว่าวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มีมากมาย การเลือกใช้ที่เหมาะสมจะเป็นวิธีการที่ประหยัดค่าใช้จ่าย และยังเป็นการนำวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้อีก เป็นการรักษาสภาพแวดล้อมของโลกให้ดีขึ้นด้วย

3. การผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

การผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จะเป็นการช่วยลดต้นทุนในการกำจัดของเสียจากโรงงาน เป็นการช่วยป้องกันมลพิษที่เกิดจากวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และเป็นการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งให้มีประโยชน์และมีมูลค่าทางการค้าอีกด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้วัตถุดิบจากสารอินทรีย์จะมีระบบการกำจัดของเสียที่ถูกต้อง และจะมีการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้แล้วมีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้หลายวิธี และ วิธีการหนึ่งที่พบว่าเหมาะสำหรับการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นสารอินทรีย์ คือ การทำปุ๋ยหมัก (ธงชัย มาลา, 2546)

ปุ๋ยหมักที่ได้จากกากสารอินทรีย์เหลือทิ้งจากการผลิตในระบบอุตสาหกรรม อาจแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ตามประเภทของวัสดุอินทรีย์ที่เอามาใช้ได้ทั้งหมด 4 กลุ่ม คือ

3.1 ปุ๋ยอินทรีย์จากสัตว์ ผลิตจากมูลสัตว์ในฟาร์มขนาดใหญ่ เช่น มูลวัว ควาย ไก่ หมู คน เป็ด และค้างคาว สำหรับมูลไก่และหมูมีการพัฒนาการผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพมากขึ้น โดยเพิ่มธาตุอาหารพืชและเติมปุ๋ยเคมีเพื่อให้ย่อยสลายเร็วขึ้น หรือมีการอัดเม็ดทำให้มีความสะดวกในการใช้ยิ่งขึ้น เป็นปุ๋อินทรีย์ที่ดี

3.2 ปุ๋ยอินทรีย์จากพืช ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารพืชหรือการแปรรูปสินค้าเกษตร เช่น ชานอ้อย ชังข้าวโพด กากมัน แกลบ กากถั่ว กากละหุ่ง กากงา จากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น โรงงานน้ำตาล โรงสี และโรงเลื่อย ซึ่งมีวัสดุตามธรรมชาติอยู่จำนวนมาก สามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหมักได้อย่างมีคุณภาพ โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมร่วมกับจำนวนวัสดุอินทรีย์ที่โรงงานเหล่านั้น หากรวบรวมมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด เป็นการคืนธรรมชาติสู่ดินอย่างมีระบบ

3.3 ปุ๋ยจากขยะชุมชนเมือง โดยนำเอาขยะเก่าที่กองทิ้งไว้มาคัดร่อนด้วยตะแกรงชนิดละเอียดจนได้สารอินทรีย์ออกมา และสามารถใช้ได้กับการปลูกไม้ประดับ ทำสนามหญ้าหรือใช้ขยะใหม่มาบดแล้วหมักด้วยระยะเวลาสั้นๆ หลังการคัดร่อนเศษวัสดุที่มีพิษออกก่อนทำการหมัก หรือเป็นการหมักเศษขยะที่ผ่านการคัดแยกก่อนทิ้งลงถังจากชุมชน

3.4 ปุ๋ยเหลือทิ้งจากขยะอุตสาหกรรม มีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหลายชนิดที่มีกากอุตสาหกรรมเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต แล้วมีลักษณะคล้ายสารอินทรีย์ที่มีสารเคมีปนเปื้อนมาจากกระบวนการผลิตทิ้งรวมมาด้วย ดังนั้นปุ๋ยหมักที่ได้จากวัสดุเหลือใช้จากโรงงานนี้จะมีทั้งรูปของแข็งและของเหลว รูปของแข็งนั้นจะสะดวกในการขนส่ง แต่มักจะมีน้ำหนักเบาง่ายต่อการฟุ้งกระจาย ซึ่งจะเปลืองค่าขนส่ง ถ้าใส่ในปริมาณมากต้องไถกลบแล้วปล่อยทิ้งให้นานจนแปรสภาพถึงขั้นสุดท้าย มิฉะนั้นพืชจะขาดธาตุไนโตรเจนได้ ส่วนในรูปของเหลวก็ยากในการปฏิบัติเช่นกัน ควรใช้พร้อมกับการใช้น้ำชลประทาน

กากตะกอนน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย

กากตะกอนที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจาก บริษัท แกรนด์ ยูนิตี้ ประเทศไทย จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 77/1 ถนนห้วยโป่ง-หนองบอน ตำบลห้วยโป่ง อำเภอเมืองฯ จังหวัดระยอง โดยบริษัท แกรนด์ ยูนิตี้ ประเทศไทย จำกัด ดำเนินการในการบำบัดของเสียที่มีอันตรายและของเสียที่ไม่มีอันตราย โดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และได้นำทรัพยากรกลับมาใช้ประโยชน์หมุนเวียนและฟื้นฟู บริษัท แกรนด์ ยูนิตี้ ประเทศไทย จำกัด มีกิจกรรม ดังนี้

1. ให้คำแนะนำและปรึกษาที่เป็นประโยชน์ถึงวิธีที่ถูกต้อง ในการกำจัดของเสียที่เสียค่าใช้จ่ายอย่างต่อเนื่อง

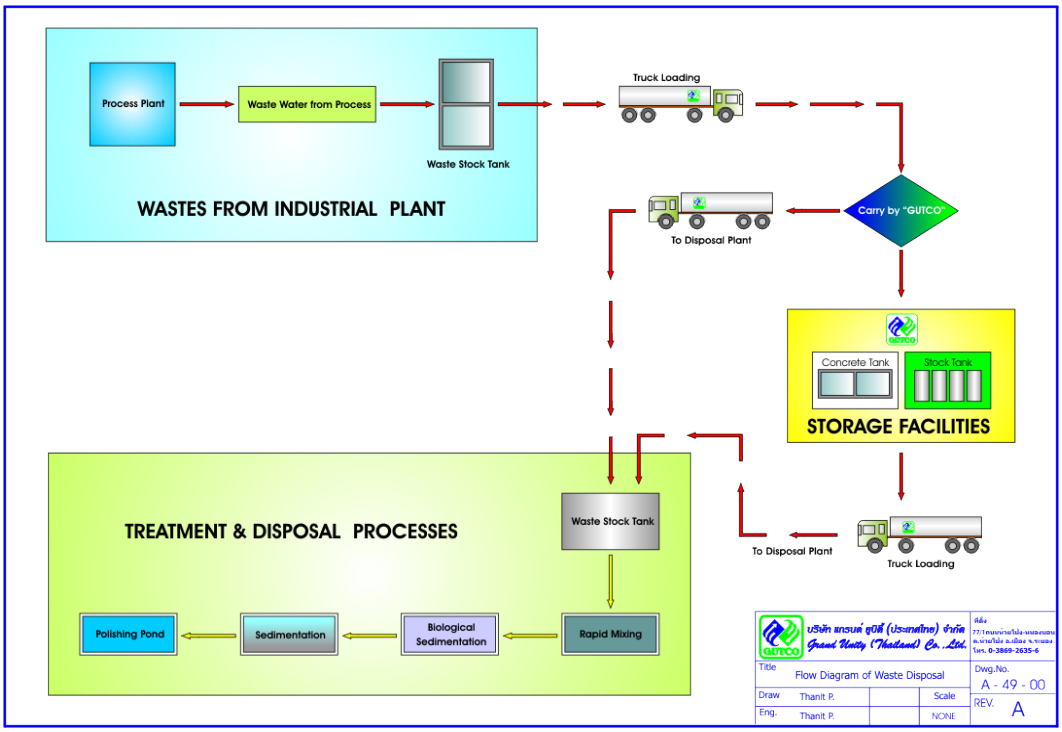
2. ให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ถึงถูกวิธีที่ถูกต้อง ในการกำจัดของเสียที่ค่าใช้จ่ายอย่างเหมาะสม

3. จัดให้บริการควบคุม ขนส่งของเสียที่ผ่านการใช้งานไปยังที่ที่ถูกกำหนด โดยกระบวนการหมุนเวียนพร้อมประสานต่อไปยังแหล่งอื่นๆ เพื่อกำจัดตามกรรมวิธีการสุดท้ายที่ถูกต้อง

4. แก้ไขและพัฒนาในการนำกลับผลิตภัณฑ์เอามาใช้ใหม่ หรือใช้ทดแทนวัตถุดิบที่เป็นของใหม่

โดยได้รับของประเภทของเสียที่เป็นอันตราย และไม่เป็นอันตราย จากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆในเขตจังหวัดระยองมาบำบัด ได้แก่ ตัวทำละลายที่ใช้งานแล้ว, ของเสียประเภทน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันหล่อเย็น, ของเสียประเภทโลหะ โลหะผสม, เศษจากการบดจากโรงงาน, เถ้าลอยจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า, น้ำเสียจากกระบวนการผลิต และกากตะกอน, ของเสียประเภทที่ประกอบ หรือ มีสารเคมีที่ไม่ได้คุณภาพตามที่กำหนดหรือหมดอายุ, ของเสียประเภทยาง พลาสติก ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) ดังภาพที่ 2

FLOW DIAGRAM



ภาพที่ 2 กระบวนการบำบัดของเสียของ บริษัท แกรนด์ ยูนิตี้ ประเทศไทย จำกัด

ความสำคัญของคุณลักษณะต่างๆที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่ใช้ในการวิจัย

1. ความชื้น

ความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำภายในกองหมัก ถ้าความชื้นภายในกองหมักต่ำกว่า 40 % อินทรียวัตถุจะย่อยสลายได้ช้าและถ้าเกิน 60 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้กระบวนการหมักเปลี่ยนแปลงไป ในทางปฏิบัติปริมาณความชื้นที่เหมาะสม มีค่าระหว่าง 50-60เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากระดับความชื้น 50-60 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณออกซิเจนอย่างพอเพียง อัตราการย่อยสลายจะเกิดได้สูงสุด (จุฑามาศ รัตนศรีบัวทอง, 2548)

2. อินทรียวัตถุ

ดินส่วนใหญ่จะประกอบด้วยอินทรียวัตถุ น้อยกว่า 5% โดยน้ำหนัก ประกอบด้วยซากพืชและซากสัตว์ และซากจุลินทรีย์ในดินปริมาณของอินทรียวัตถุที่พบในดินทั่วไป อินทรียวัตถุประกอบด้วยธาตุหลายชนิด แต่ที่สำคัญที่สุดคือธาตุคาร์บอน (C) นอกจากนี้มีธาตุ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ กำมะถัน ถึงแม้ว่าอินทรียวัตถุอาจได้มา จากสิ่งที่มีชีวิต

ทั้งพืชและสัตว์ และพบว่าส่วนใหญ่จะมาจากรากพืช และเศษซากพืช โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยพวกสารประกอบที่มีโครงสร้างของโมเลกุลไม่ซับซ้อนจะถูกย่อยสลายก่อน จากนั้นจึงเป็นการย่อยสลายของสารที่มีความซับซ้อนมากขึ้นตามลำดับ ผลของการสลายตัวดังกล่าวนี้จะได้สารซึ่งเรียกว่า ฮิวมัส (Humus) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนคงทนต่อการสลายตัวสูงจึงสลายตัวได้ช้ามาก มีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ ประกอบด้วยธาตุอาหารพืชที่สำคัญหลายชนิด เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน นอกจากนี้ฮิวมัสยังช่วยให้ดินมีคุณสมบัติทางการภาพที่ดี สามารถอุ้มน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี (จุฑามาศ รัตนศรีบัวทอง, 2548)

3. ความเป็นกรดเป็นด่าง

ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินจะบอกเป็นค่าตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 14 ถ้าดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างน้อยกว่า 7 ดินนั้นจะเป็นกรด ยิ่งน้อยกว่า 7 มากก็จะเป็นกรดมาก ถ้าดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างมากกว่า 7 จะเป็นดินด่าง ดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7 พอดี แสดงว่าดินเป็นกลาง ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน จะเป็นตัวควบคุมความมากน้อยของธาตุอาหาร ที่จะละลายออกมาอยู่ในน้ำในดิน การละลายได้มากน้อยของธาตุอาหารพืชที่ช่วงความเป็นกรดเป็นด่างต่าง ๆ พืชแต่ละชนิดจะเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีช่วงความเป็นกรดเป็นด่างต่างกัน แต่พืชทั่วๆ ไปจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงความเป็นกรดเป็นด่าง 6.0 - 7.0 ช่วงความเป็นกรดเป็นด่างของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชแสดงไว้ในตารางที่ ช่วงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (เรียมสงวน วรรณยะลา, 2544)

4. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการใช้ทั้งคาร์บอนและไนโตรเจนในการเจริญเติบโตและสร้างเซลล์ต่างๆ โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนจะอยู่ในช่วง 8-23 ค่าอัตราส่วนดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้แล้วแต่กรณี อินทรียวัตถุแต่ละชนิดประกอบด้วยสารประกอบคาร์บอน และไนโตรเจน (C/N ratio) แตกต่างกัน มีอัตราส่วนระหว่าง คาร์บอนต่อไนโตรเจน มากกว่า 20 ก่อนที่ใช้ปลูกต้นพืชต้องนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักเสียก่อน เพื่อให้เกิดการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์จนกระทั่งเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ซึ่งมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับหรือต่ำกว่า 20 แล้วนำไปใส่ในดิน ซึ่งจะทำให้เกิดกระบวนการมิเนอรัลไลเซชันทำให้ธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมักปลดปล่อยมาเป็นประโยชน์ต่อพืชในดินได้ (เรียมสงวน วรรณยะลา, 2544)

5. ค่าการนำไฟฟ้า

ในน้ำบริสุทธิ์จะมีค่าความนำไฟฟ้าเป็นศูนย์ แต่เมื่อน้ำมีเกลือละลายอยู่ เกลือเหล่านี้จะแตกตัวเป็นประจุบวก (Cation) และประจุลบ (Anion) ซึ่งประจุบวกและลบที่เกิดขึ้น จะเป็นตัวนำไฟฟ้าทำให้สารละลายที่มีเกลือที่แตกตัวได้มีค่าความนำไฟฟ้า (Electric Conductivity) ซึ่งค่านำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำ ดังนั้น จึงสามารถใช้ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเป็นตัวบอกปริมาณเกลือที่ละลายในสารละลาย เช่น เมื่อเกลือแกงละลายในน้ำจะแตกตัวได้ น้ำตาล และยูเรีย สามารถละลายน้ำได้เหมือนกัน แต่เมื่อละลายแล้วจะไม่แตกตัว ดังนั้นก็จะไม่เพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย จึงไม่สามารถวัดความเข้มข้นด้วยค่าการนำไฟฟ้าได้ แต่เนื่องจากปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ ส่วนใหญ่เป็นสารที่สามารถแตกตัวได้ สารที่มีประจุบวก และประจุลบทุกตัวจึงสามารถวัดความเข้มข้นโดยการวัดค่าการนำไฟฟ้าได้ (เรียมสงวน วรรณยะลา, 2544)

6. ไนโตรเจนทั้งหมด

ไนโตรเจนทั้งหมดปกติจะมีอยู่ในอากาศในรูปของก๊าซไนโตรเจนเป็นจำนวนมาก แต่ไนโตรเจนในอากาศในรูปของก๊าซนั้น พืชนำเอาไปใช้ประโยชน์อะไรไม่ได้ (ยกเว้นพืชตระกูลถั่วเท่านั้นที่มีระบบรากพิเศษสามารถแปรรูปก๊าซไนโตรเจนจากอากาศเอามาใช้ประโยชน์ได้) ธาตุไนโตรเจนที่พืชทั่วๆ ไปดึงดูดขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้นั้น จะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลของสารประกอบ เช่น แอมโมเนียมไอออน (NH^{4+}) และไนเทรตไอออน (NO^{3-}) ธาตุไนโตรเจนในดินที่อยู่ในรูปเหล่านี้จะมาจากการสลายตัวของสารอินทรียวัตถุในดิน โดยจุลินทรีย์ในดินจะเป็นผู้ปลดปล่อยให้ นอกจากนั้นก็ได้มาจากการที่เราใส่ปุ๋ยเคมีลงไปในดินด้วย พืชเมื่อขาดไนโตรเจนจะแคระแกร็น โตช้า ใบเหลือง โดยเฉพาะใบล่างๆ จะแห้ง ร่วงหล่นเร็วทำให้แลดูต้นโกร๋น การออกดอกออกผลจะช้าและไม่ค่อยสมบูรณ์นัก ดินโดยทั่วๆ ไปมักจะมีไนโตรเจนไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช ดังนั้นเวลาปลูกพืชจึงควรใส่ปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยเคมีเพิ่มเติมให้กับพืชด้วย (เรียมสงวน วรรณยะลา, 2544)

7. โพแทสเซียมทั้งหมด

โพแทสเซียมทั้งหมดในดินที่พืชนำเอาไปใช้เป็นประโยชน์ได้ มีกำเนิดมาจากการสลายตัวของหินและแร่มากมายหลายชนิดในดิน โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปอนุมูลบวกหรือโพแทสเซียมไอออน (K^+) เท่านั้นที่พืชจะดึงดูดไปใช้เป็นประโยชน์ได้ ถ้าธาตุโพแทสเซียมยังคงอยู่ในรูปของสารประกอบยังไม่แตกตัวออกมาเป็นอนุมูลบวก (K^+) พืชก็ยังดึงดูด ไปใช้เป็นประโยชน์อะไรไม่ได้ อนุมูลโพแทสเซียมในดินอาจจะอยู่ในน้ำในดิน หรือดูดยึดอยู่ที่พื้นผิวของอนุภาคดินเหนียวก็ได้ เนื่องจากเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่า ธาตุไนโตรเจน(N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ดินมักจะมีไม่พอ ประกอบกับพืชดึงดูดจากดินขึ้นมาใช้แต่ละ

ครั้งเป็นปริมาณมาก จึงทำให้ดินสูญเสีย ธาตุเหล่านี้ หรือที่เรียกว่าเสียปุ๋ยในดินไปมาก ซึ่งเป็นผลทำให้ดินที่เราเรียกว่า "ดินจืด" เพื่อเป็นการปรับปรุงระดับธาตุอาหารพืช N P และ K ที่สูญเสียไป เราจึงต้องใช้ปุ๋ย (เรียมสงวน วรรณยะลา, 2544)

8. ฟอสฟอรัสทั้งหมด

ฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีกำเนิดมาจากการสลายตัวผุพังของแร่บางชนิดในดิน การสลายตัวของสารอินทรียวัตถุในดินก็จะสามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกได้ ดังนั้น การใช้ปุ๋ยคอกนอกจากจะได้ธาตุไนโตรเจนแล้วก็ยังได้ฟอสฟอรัสอีกด้วย ธาตุฟอสฟอรัสในดินที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้จะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลของสารประกอบที่เรียกว่า ฟอสเฟตไอออน (H_2PO^{4-}) และ (HPO^{4-}) ซึ่งจะต้องละลายอยู่ในน้ำในดิน สารประกอบของฟอสฟอรัสในดินมีอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่ละลายน้ำยาก (เรียมสงวน วรรณยะลา, 2544)

9. สารหนู

สารหนูเป็นธาตุกึ่งโลหะ เป็นสารที่มีลักษณะเป็นผงโลหะสีเทา มีมากเป็นอันดับที่ 20 ของธาตุที่พบมากบนโลก โดยจะพบในสิ่งที่มีชีวิตพืชและสัตว์ ตลอดจนพบธรรมชาติ สำหรับพืชบนพื้นดิน ตรวจพบว่าในพืชไร่มีปริมาณสารหนู 0-20 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งทั้งนี้ขึ้นกับพื้นที่เพาะปลูก ถ้าหากปลูกใกล้แหล่งอุตสาหกรรม หรือในพื้นดินที่มีปริมาณสารหนูสูง พืชดังกล่าวก็จะมีการดูดซึมสารชนิดนี้ได้ดีมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในข้าว ตรวจพบสารหนู สูงมากคือมีปริมาณสูงถึง 150-250 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งทั้งนี้ขึ้นกับพื้นที่เพาะปลูก นอกจากนี้เห็ดที่บริโภคได้บางชนิดที่ปลูกในดินที่มีสารหนูก็จะพบสารชนิดนี้เช่นกัน ในใบยาสูบ ปริมาณสารหนูที่คนกินแล้วเป็นพิษ ถึงขั้นเสียชีวิตนั้นอยู่ในช่วง 1.5 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (Arsenic triocidde) ถึง 500 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (Diethy1 arsenic acid) (เรียมสงวน วรรณยะลา, 2544)

10. แคดเมียม

แคดเมียมเป็น โลหะทรานสิชัน สีขาว-ฟ้า เป็นธาตุมีพิษ ในธรรมชาติพบอยู่ในแร่สังกะสี แคดเมียมใช้ประโยชน์ในการทำแบตเตอรี่ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปลอดภัยที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก ที่กำหนดไว้ว่าคนปกติไม่ควรได้รับแคดเมียมเกินสัปดาห์ละ 0.40-0.50 มิลลิกรัม สำหรับคนไทยได้รับสัปดาห์ละ 0.105-0.113 มิลลิกรัม ซึ่งยังต่ำกว่าค่าที่องค์การอนามัยโลกกำหนดแต่ถ้าหากกินอาหารที่มีอาหารทะเลประเภทหอยแมลงภู่และหอยนางรม เป็นประจำบ่อยๆ ก็จะได้รับแคดเมียมจากอาหารสูง และถ้ายิ่งสูบบุหรี่ด้วยแล้วยิ่งทำให้ได้รับแคดเมียมเข้าในร่างกายได้มาก (เรียมสงวน วรรณยะลา, 2544)

11. โครเมียม

โครเมียมเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายเพื่อการเจริญเติบโตที่มีสุขภาพที่ดี มันมีความจำเป็นต่อขบวนการแตกของโมเลกุลโปรตีนไขมันและ คาร์โบไฮเดรต รองจากแคลเซียม แล้ว โครเมียม เป็นแร่ธาตุที่ได้รับความนิยมมากสำหรับคนอเมริกันที่รับประทานเป็นประจำ และยังเป็นที่ร่างกายต้องการโครเมียม ในปริมาณ 50 – 200 ไมโครกรัมต่อวัน โครเมียมมีส่วนในการช่วยรักษาปริมาณน้ำตาลในร่างกายให้คงที่ (ในขบวนการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต) ในงานวิจัยพบว่า โครเมียม เป็นส่วนประกอบของสารที่เรียกว่า GTF (Glucose tolerance factor) โดยทำงานร่วมกับ ไนอาซิน และ กรดอะมิโน อีกหลายชนิด นอกจากนั้น โครเมียม อาจมีบทบาทในการเพิ่ม HDL หรือ คลอเรสเตอรอล ชนิดดี และ ลดระดับ คลอเรสเตอรอล ทั้งหมด (เรียมสงวน วรรณยะลา, 2544)

12. ทองแดง

ทองแดงเป็นสารอาหารที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง เนื่องจากเป็นส่วนประกอบในเอนไซม์หลายตัวในร่างกาย เช่น การสร้างพลังงานให้แก่ร่างกาย การกำจัดอนุมูลอิสระ การสร้างความยืดหยุ่นกับผิวหนัง (Collagen และ Elastin) การสร้างสีผิวให้คล้ำเพื่อป้องกันแสงแดด การสร้างสีตา และสีผม เป็นต้น ร่างกายคนมีทองแดงประมาณ 75-150 มิลลิกรัม ทองแดงส่วนใหญ่อยู่ในตับ สมอง หัวใจ และไต ส่วนน้อยอยู่ในม้ามและไขกระดูก (เรียมสงวน วรรณยะลา, 2544)

13. ตะกั่ว

ตะกั่ว เป็นโลหะสีเทาเงิน หรือแกมน้ำเงินเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ในเปลือกโลก ตะกั่วในพื้นดิน อาจเกิดตามธรรมชาติหรืออาจเกิดจาก ภาวะมลพิษดินที่มีสภาพเป็นกรด จะมีสารตะกั่วน้อยกว่าดินที่เป็นด่าง เนื่องจากอินทรีย์สารในดินอาจทำปฏิกิริยา กับสารตะกั่ว ที่มีอยู่ สารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ด้วยการบริโภคอาหาร น้ำ หรือหายใจ เอาอากาศที่มีสารตะกั่วเจือปนเข้าไป ในบางกรณีร่างกาย อาจดูดซึมตะกั่วอินทรีย์ที่ไม่ใช่สารตะกั่ว ในบรรยากาศเข้าทางผิวหนังได้ สารตะกั่วมีพิษมาก โดยเฉพาะในเด็ก ซึ่งอาจมีผลทำให้สมอง พิการส่วนในผู้ใหญ่อาจมีผลต่อระบบทางเดินอาหาร และระบบประสาท สำหรับอันตรายโดยทั่วไปนั้นทำให้เม็ดเลือดแดงอายุ สั้นลง ทำให้เป็นโรคโลหิตจาง ซึ่งเป็นอันตรายต่อเด็กในครรภ์ และเป็นอันตรายต่อระบบประสาทไตทางเดินอาหาร ตับ และหัวใจ สารตะกั่วพบได้ทั่วไปทั้งในดิน หิน น้ำ พืช และอากาศ โดยเฉลี่ยในหินจะมีตะกั่วอยู่ 13 มิลลิกรัมต่อหิน 1 กิโลกรัม (เรียมสงวน วรรณยะลา, 2544)

14. ปรอท

ปรอท มนุษย์นำปรอทไปใช้ผสมหรือเจือโลหะต่างๆ เช่น ทองคำ เงิน และทองแดงที่เรียกว่า "อะมัลกัม" นำไปใช้ในการอุดตัน ใช้เป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์และเป็นองค์ประกอบของยาปราบศัตรูพืชและสัตว์ พิษของปรอทเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ ทำลายเนื้อเยื่อปอด ทำลายระบบขับถ่ายและระบบประสาท ส่วนกลาง ปรอทเป็นสารที่มีพิษร้ายแรงมาก สามารถดูดซึมผ่านระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร และซึมผ่านทางผิวหนังถ้ามีแผลหรือรอยแตกและสะสมพิษเอาไว้ เนื่องจากปรอทเป็นธาตุที่ระเหยได้และสามารถอิ่มตัวในอากาศจึงเป็นสารที่มีอันตรายมาก ได้มีมาตรฐานกำหนดปริมาณสารปรอทในอากาศหายใจ ซึ่งกำหนดโดย Envirnmental Protection Agency (EPA) ของประเทศสหรัฐอเมริกาให้อากาศมีสารปรอทได้ไม่เกิน 100 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร สารประกอบปรอทที่มีพิษมากที่สุดได้แก่ เมทธิลเมอร์คิวรี่ เมอร์คิวริกคลอไรด์ ซึ่งสามารถระเหิดได้และมีพิษกัดกร่อนสูง ก๊าซธรรมชาติบางแหล่งในโลกพบว่ามีไอของปรอท และสารประกอบเจือปนมาด้วย เช่น ที่โปแลนด์ รัสเซีย อัลจีเรีย และอินโดนีเซีย เป็นต้น โดยเฉพาะก๊าซธรรมชาติในแหล่งอรุณ ประเทศอินโดนีเซีย พบว่ามีปริมาณสูงถึง 300 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ปรอทเป็นอันตรายแก่ร่างกาย เมื่อได้รับสารปรอท สารปรอทจะกระจายเข้าสู่เซลล์สมอง เริ่มแรกจะชาที่เท้าและมือจากนั้นลามไปถึงแขน ขา ริมฝีปาก ต่อมา 2-3 อาทิตย์ม่านตาหรี่เล็กลง จิตใจหงุดหงิด ไม่สบายใจ กระวนกระวายพูดช้าและไม่เป็นภาษา การใช้มือและเท้า กล้ามเนื้อไม่สัมพันธ์กัน ช่วยเหลือตัวเองไม่ได้ ยกแขนขาไปมาอย่างสั่นๆ และชักกระตุก เห็นได้ชัด หมดสติผู้ป่วยตายในระยะสั้น บางส่วนที่เหลือพิการและทรมานทางร่างกายและจิตใจ ร่างกายสามารถได้รับปรอทโดยเข้าทางจมูก ปอด ปาก ผิวหนัง โดยซึมผ่านทางกระแสเลือดไปสู่เนื้อเยื่อต่างๆ (เรียมสงวน วรรณยะลา, 2544)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กันยมาส คงรอด (2546) ได้ทำการศึกษาโดยการนำกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนและชานอ้อยในอัตราส่วน 1.1:1.5 เพื่อให้มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเป็น 25 และควบคุมความชื้นที่ร้อยละ 50 แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 5, 50 และ55 องศาเซลเซียส ซึ่งมีการพลิกกลับทุก 3, 7, 10 วัน และไม่มีการพลิกกลับ ระยะเวลาการทดลอง 60 วัน แล้วนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ตามวิธีมาตรฐานพบว่า อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียล มีผลทำให้ค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงใกล้เคียงค่า 20 เร็วกว่าการทดลองที่อุณหภูมิ 45 และ 55 องศาเซลเซียส และเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญและการผลิตเอนไซม์

ไซลาเนสของจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมัก โดยพบว่า ในช่วง 10-20 วันของการหมักทดลองจะมีปริมาณแบคทีเรียและปริมาณเชื้อราเพิ่มมากขึ้น หลังจากนั้นจะมีปริมาณลดลงและค่อนข้างจะคงที่ตลอดระยะเวลาการหมัก ส่วนปริมาณแอคติโนมัยซีสจะมีปริมาณลดลง เมื่อหมักได้ 10 วัน และเมื่อทำการหมักทดลองต่อไปจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อนและลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

รพีพร จรดล (2539) ได้ทำการศึกษากากตะกอนน้ำเสียจากโรงงาน 5 โรงงาน คือ โรงงานอาหาร 2 โรงงาน ได้แก่ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานผงชูรส และโรงงานเครื่องดื่ม 3 โรงงาน ได้แก่ โรงงานน้ำอัดลม โรงงานเบียร์ โรงงานสุรา โดยทำการคัดเลือกทดลองบริเวณเขตหนองแขม กรุงเทพฯ และใช้ผักกาดหอมเป็นพืชทดสอบ จากผลการทดลอง พบว่า กากตะกอนน้ำเสีย 5 โรงงาน มีคุณสมบัติทางเคมีที่มีความเหมาะสมและมีปริมาณธาตุอาหารหลักเพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งช่วยเพิ่มผลผลิต และปริมาณไนโตรเจนในผักกาดหอม โดยเฉพาะกากตะกอนโรงงานผงชูรสและโรงงานน้ำอัดลมให้ผลผลิตสูงสุด ซึ่งให้ปริมาณผลผลิตเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 20-10-10 อัตรา 100 กิโลกรัม/ไร่ และเมื่อใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ รวมกับกากตะกอน พบว่า ไม่มีผลทำให้ผลผลิตและปริมาณไนโตรเจนในผักกาดหอมเพิ่มขึ้นกว่าการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียว

สุดใจ สุขช่วย (2533) ได้ศึกษาการใช้อินทรีย์วัตถุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยพืชไร่ในดินเปรี้ยวชุดดินรังสิต โดยการทดลองใช้อินทรีย์วัสดุเหลือใช้ 4 ชนิด ได้แก่ ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเบียร์อมฤต กากละหุ่งจากโรงงานสยามน้ำมันละหุ่ง ฮิวมัสจากโรงงานผงชูรส บริษัทไทยชูรส จำกัด และปุ๋ยหมักฟางข้าวจากสถานีทดลองข้าว จังหวัดสุรินทร์โดยใช้ในแง่ปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับพืชไร่ ได้ทำการทดลองในดินเปรี้ยวชุดดินรังสิต และใช้พันธุ์ข้าว กข.7 เป็นพืชทดสอบ โดยมีอัตราการใส่อินทรีย์วัสดุอย่างเดียวเป็น 200 ppm N และอัตราที่ใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีแอมโมเนียมซัลเฟตอย่างละ 100 ppm N ซึ่งผลการทดลองพบว่า การใช้อินทรีย์วัสดุทั้ 4 ชนิด ทำให้ข้าวเจริญเติบโตและให้ผลผลิตแตกต่างกัน ดังนี้ กากละหุ่ง > ฮิวมัส > ตะกอนน้ำเสีย > ปุ๋ยหมักฟางข้าว

อานุภาพ แก้วกรอง (2541) ทำการศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหญ้า เศษใบไม้แห้งและกากตะกอนน้ำเสีย ด้วยวิธีกองแบบมีการระบายอากาศ พบว่า ความสูง 1.0 เมตร ของกองปุ๋ยหมักที่มีการพลิกกลับ จะให้ปุ๋ยที่มีคุณภาพสูงและปุ๋ยหมักที่ได้มีองค์ประกอบแร่ธาตุอาหารได้แก่ N, P, K ที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และมีค่าของปริมาณโลหะหนักได้แก่ แคดเมียม คอปเปอร์ นิเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ที่ผ่านมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาและกลุ่มประเทศในทวีปยุโรป

Leemaharoungruang (1988) ศึกษาการหมักมูลฝอยเทศบาลร่วมกับสารตัวเร่งประเภทจุลินทรีย์โดยการเติมอากาศให้แก่กองหมักมูลฝอย พบว่า คุณภาพปุ๋ยที่ได้มีค่าของไนโตรเจน (N) 1.3 ถึง 2.5 ฟอสฟอรัส (P) 2.0 และโพแทสเซียม (K) 1.0 การหมักมูลฝอยโดยใช้ตัวเร่งประเภทจุลินทรีย์ต้องใช้เวลา 17 ถึง 19 วัน จึงจะทำให้ค่าของสัดส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจนลดลงมาเป็น 20 ต่อ 1 ธาตุอาหารที่ได้ มีค่าของไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ดังนี้ 1.23, 0.95 ถึง 0.97, 1.48 ถึง 1.53 ตามลำดับ

วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์ และคณะ (2535) รายงานเกี่ยวกับปริมาณธาตุอาหารพืชที่ได้จากการหมักฟางข้าว พบว่า มีปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ร้อยละ 1.02, 0.43, และ 3.85 ตามลำดับ ส่วนการหมักซังข้าวโพด มีธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ร้อยละ 1.07, 0.51, และ 1.19 ตามลำดับ ส่วนการหมักมูลฝอยจากเทศบาล พบว่า มีปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ร้อยละ 0.98, 1.04, และ 1.06 ตามลำดับ

ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์และคณะ (2535) รายงานเกี่ยวกับปริมาณธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักวัสดุชนิดต่างๆ ที่ย่อยสลายได้ง่ายและยาก พบว่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ร้อยละ 1..00, 0.35 และ 1.50 มีธาตุรองคือ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) ร้อยละ 1.12, 0.35 และ 0.05 ตามลำดับ ปุ๋ยหมักสูตร 1 และ 2 พบว่า ปุ๋ยสูตร 1 มีปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ร้อยละ 1.63, 1.30 และ 1.53 ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยสูตร 2 มีปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ร้อยละ 1.70, 2.54 และ 1.05 ตามลำดับ

เสียงแจ๋ว พิริยพฤนต์ (2543)ได้ศึกษาการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เพื่อผลิตปุ๋ยหมัก ประกอบด้วยวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้แก่ ละอองข้าว กากและเปลือกมันสำปะหลัง กากอ้อยเปลือกข้าวโพดหวาน เปลือกมะม่วง กากสับปะรด กากมะเขือเทศ และซังข้าวโพดหวาน โดยเปรียบเทียบกับวัสดุฟางข้าว มีการใส่มูลสัตว์ ร้อยละ 20 และยูเรีย ร้อยละ 0.2 ทำการบ่มในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ทำการกลับกองวัสดุและให้น้ำทุกๆ 7 วัน จนกระทั่งเป็นปุ๋ยหมัก พบว่า กากอ้อยย่อยสลายนานที่สุดใช้ระยะเวลา 168 วัน ค่า C/N ratio ลดลงจาก 161 เป็น 29 สำหรับค่า ความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นจากระหว่าง 5.0-7.2-8.7 ซึ่งอยู่ในระดับเป็นกลางและด่าง

จุฑามาศ รัตนศรีบัวทอง (2548) ได้ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างกากตะกอนน้ำทิ้งของชุมชนและชานอ้อยในการผลิต จากการศึกษาพบว่า ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 25 เป็นค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนและ

ชานอ้อย และเมื่อสิ้นสุดการทดลองปลูกต้นกวางตุ้งไต้หวัน พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยและความสูงเฉลี่ยไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยเคมี

ประกาศิต อินทรสำอาง (2549) ได้ศึกษาการแปรสภาพและคุณภาพของปุ๋ยหมักจากฟางข้าวชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย การเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยหมักในการปรับปรุงดินและการย่อยสลายในดินเป็นระยะเวลา 56 วัน ในสภาพมีพืชและไม่มีพืช พบว่า การใส่ปุ๋ยหมักทุกชนิดในสภาพไม่มีพืชทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเพิ่มขึ้น แต่ความหนาแน่นรวมลดลง การย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินเกิดขึ้นช้าได้ช้าในช่วง 0-56 วัน ปริมาณอินทรียวัตถุในดินลดลงจาก 1.83-2.44 % เป็น 1.73-191% ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นจาก 17.35-91.09 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เป็น 49.83-94.91 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ค่อยข้างคงที่

เรียมสงวน วรรณยะลา (2544) ประสิทธิภาพการย่อยสลายมูลฝอยเป็นปุ๋ยโดยวิธีเติมอากาศจากมูลฝอยชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี จากการศึกษาพบว่า รูปแบบ C มีประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงสุด ร้อยละ 68.03 ได้น้ำหนักเนื้อปุ๋ยสูงสุด ร้อยละ 68.80 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและของแข็งระเหยแต่ละรูปแบบการทดลองลดลงใกล้เคียงกันอยู่ระหว่างร้อยละ 21.93 ถึง 27.52 รูปแบบ C ใช้ระยะเวลาการย่อยสลายสั้นที่สุดเฉลี่ย 54.67 วัน รูปแบบ A ใช้ในระยะเวลาย่อยสลายนานที่สุดเฉลี่ย 78 วัน ปริมาณธาตุอาหารหลัก (N-P-K) ของปุ๋ยหมักทุกรูปแบบการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ปริมาณไนโตรเจนอยู่ระหว่างร้อยละ 1.04 ถึง 1.19 ปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ระหว่างร้อยละ 0.32 ถึง 0.47 ปริมาณโพแทสเซียมอยู่ระหว่าง 0.52 ถึง 0.58 ค่า C/N ratio ของปุ๋ยหมักมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 19.44 /1 ถึง 21.76/1 และค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 8.20 ถึง 8.70 ในแต่ละรูปแบบการทดลอง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การเลือกกากตะกอนน้ำเสียและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1. กากตะกอนน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย

กากตะกอนน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยเป็นกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมของบริษัทแกรนด์ ยูนิตี้ ประเทศไทย จำกัด ตั้งอยู่เลขที่ 77/1 ถนนห้วยโป่ง-หนองบอน ตำบลห้วยโป่ง อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ซึ่งมาจากการบำบัดของเสียที่เป็นอันตรายและของเสียที่ไม่เป็นอันตราย จากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ในเขตจังหวัดระยอง ได้แก่ ตัวทำละลายที่ใช้งานแล้ว, ของเสียประเภทน้ำ น้ำมันหล่อลื่น น้ำมันหล่อเย็น, ของเสียประเภทโลหะ โลหะผสม, เศษจากการบดจากโรงงาน, เถ้าลอยจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า, น้ำเสียจากกระบวนการผลิต และกากตะกอน, ของเสียประเภทที่ประกอบหรือมีสารเคมีที่ไม่ได้คุณภาพตามที่กำหนดหรือหมดอายุ, ของเสียประเภทยาง พลาสติกโดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) ซึ่งมีปริมาณเป็นจำนวนมากและไม่ได้ถูกใช้ประโยชน์ บริษัทดังกล่าวได้วางกองทิ้งไว้เฉยๆ

2. วัสดุที่ใช้หมักทำปุ๋ย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการคัดเลือกวัสดุจากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 แล้วเลือกวัสดุที่ใช้หมักทำปุ๋ย โดยมีปัจจัยในการคัดเลือก คือ มีปริมาณไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมค่อนข้างสูง สามารถพบได้ง่ายและมีทั่วไปในพื้นที่ และไม่มีราคาหรือต้นทุนมาก จากปัจจัยดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้เลือกวัสดุดังกล่าวทั้ง 5 ชนิด ดังนี้คือ

2.1 ฟางข้าว เป็นอินทรียวัตถุที่มาจากสิ่งที่เหลืออยู่ จากการที่เกษตรกรเก็บเกี่ยวข้าว

2.2 ขยะสด เป็นขยะเศษอาหารและขยะทั่วไปจากบ้านเรือน ร้านอาหารและชุมชน

2.3 ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) เป็นพืชน้ำล้มลุกอายุหลายฤดู เป็นมีลำต้นสั้นแตกใบเป็นกอลอยไปตามน้ำ มีไหล ซึ่งเกิดตามซอกใบแล้วเจริญเป็นต้นอ่อนที่ปลายไหล ถ้าน้ำตื้นก็จะหยั่งรากลงดิน ใบเป็นใบเดี่ยวรูปไข่หรือเกือบกลม ก้านใบกลมอวบน้ำ ตรงกลางพองออกภายในเป็นช่องอากาศคล้ายฟองน้ำช่วยให้ลอยน้ำได้ ดอกเกิดเป็นช่อที่ปลายยอด มีดอกย่อย 3-25 ดอก สีม่วงอ่อน มีกลีบดอก 6 กลีบ กลีบบนสุดขนาดใหญ่กว่ากลีบอื่นๆ และมีจุดเหลืองที่กลางกลีบ สามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ

2.4 ธูปฤาษี (*Typha angustifolia* Linn.) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว เป็นไม้ล้มลุกอายุหลายปี ส่วนมากอยู่ในน้ำ มีเหง้าแตกแขนง ลำต้นแข็ง ใบออกจากโคนลำต้น มีกาบใบ ใบเรียงสลับในระนาบเดียวกัน รูปแถบ ช่อดอกแบบช่อเชิงลดรูปทรงกระบอก พบได้ทั่วไปในทุกภูมิภาค ขึ้นตามหนองน้ำ ทะเลสาบ หรือริมคลอง ตามที่โล่งทั่วไป สามารถนำใบใช้สานเสื่อหรือตะกร้า ช่อดอกแห้งใช้เป็นไม้ประดับ

2.5 กก เป็นกกขี้หมา (*Cyerus polystachyos* Roxb.) ลำต้นตั้งตรง ลำต้นตันเป็นสามเหลี่ยม บางครั้งก็กลม ใบเหมือนใบหญ้า ใบที่อยู่แถบโคนต้นจะเปลี่ยนเป็นเกล็ดหรือแน่นห่อหุ้มโคนต้นและไหล ช่อดอกเกิดที่ปลายต้นเป็นหลายแบบ ดอกรวม (spikeltet) ประกอบด้วยดอกย่อย (floret) ดอกเดียวหรือหลายดอกและเป็นดอกที่สมบูรณ์เพศ มีเกสรเพศผู้ 1-3 อัน เกสรเพศเมีย 2-3 แฉก พืชสกุลนี้มีหลายชนิดเป็นวัชพืช เป็นสมุนไพร ประกอบยารักษาโรค เป็นอาหารและใช้ทำภาชนะเครื่องใช้ต่างๆได้ พบทั่วไปในท้องนาและบริเวณที่ลุ่มน้ำตื้น

การเตรียมกากตะกอนและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

นำกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้นำไปอบ จากนั้นนำไปบดให้เข้ากัน ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ส่วนเศษวัสดุ ได้แก่ ฟางข้าว, ขยะสด, ผักตบชวา, ธูปฤาษี และกก นำมาสับย่อยให้มีขนาด 1-2 นิ้ว แล้วนำไปอบ จากนั้นนำไปปั่นให้ละเอียด แล้วนำกากตะกอนและเศษวัสดุทั้ง 5 ชนิด ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเพื่อใช้ในการวิจัยต่อไป

การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้นำมาทำปุ๋ยหมัก

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของกากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการทำวิจัย ได้แก่ ฟางข้าว, ขยะสด, ผักตบชวา, ธูปฤาษี และกก โดยนำส่วนหนึ่งของกากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ที่เตรียมไว้ไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการก่อนทำการหมักทำปุ๋ย โดยวิเคราะห์สมบัติดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงพารามิเตอร์และวิธีทดสอบที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

พารามิเตอร์	วิธีทดสอบ
ปริมาณความชื้น	Oven-dried method
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH meter
ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	Elcctrical Ccnductivity Meter
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)	Kjeldahl method
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5)	Colorimetric method
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O)	Atomic Absorption method
C/N ratio	การคำนวณ (Walkley และ Black, 1947)
อินทรียวัตถุ	การคำนวณ (Walkley และ Black, 1947)
Hg	Atomic Absorption method
Pb	Atomic Absorption method
As	Atomic Absorption method
Cu	Atomic Absorption method
Cr	Atomic Absorption method
Cd	Atomic Absorption method

1. การเตรียมตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการทำวิจัยเพื่อการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1.1.1 Beaker ขนาด 250 ml

1.1.2 กระจกนาฬิกา

1.1.3 Hot plate

1.1.4 กรวยกรอง (Buchner funnel)

1.1.5 กระดาษกรอง (เบอร์ 5)

1.1.6 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 100 ml

1.1.7 ปิเปตต์ (Pipette)

1.2 สารเคมี

1.2.1 กรดไนตริกเข้มข้น (Conc. HNO_3)

1.2.2 กรดเปอร์คลอริกเข้มข้น (Conc. $HClO_4$)

1.3 วิธีการ

1.3.1 ตัวอย่าง 1 กรัม (ใส่ Beaker ขนาด 250 ml)

1.3.2 เติมกรดไนตริกเข้มข้น 10 ml (Conc. HNO_3)

1.3.3 เติมกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น 5 ml (Conc. $HClO_4$)

1.3.4 ตั้งบน Hot plate ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ปิดด้วยกระจกนาฬิกา (ในตู้ดูดควัน) รอจนควันสีน้ำตาลกลายเป็นควันสีขาวแล้วเร่งอุณหภูมิเป็น 220 องศาเซลเซียส (ถ้าเกือบจะแห้งให้ยกลงทิ้งไว้ให้เย็นใน Hoot แล้วเติมกรดเล็กน้อย แล้วย่อยต่อ)

1.3.5 ย่อยประมาณ 3-4 ชั่วโมง จนเป็นสารละลายใสและมีตะกอนขาวขุ่นของ Silica ยกลงจาก Hot plate รอจนควันหมด

1.3.6 กรองเอาสารละลายตัวอย่างโดยฉีดน้ำกลั่นล้าง Beaker ที่ย่อยรวมทั้งกระจกนาฬิกาให้ได้สารละลายตัวอย่างประมาณ 80-90 ml แล้วปรับปริมาตรเป็น100 ml

1.3.7 นำไปวิเคราะห์หาสมบัติต่างๆ ต่อไป

2. การหาปริมาณความชื้น

2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

2.1.1 เครื่อง Oven

2.1.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก

2.2 วิธีการ

2.2.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (น้ำหนักสด)

2.2.2 นำตัวอย่างที่ชั่งแล้ว เข้า Oven อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

2.2.3 นำตัวอย่างที่อบแล้วมาชั่งน้ำหนักหลังอบ (น้ำหนักแห้ง)

2.3 การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ-น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

3. การหาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.3.1 pH meter

3.3.2 เครื่อง Shaker

3.3.3 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml)

3.3.4 กรวยกรอง (Buchner funnel)

3.3.5 กระดาษกรอง (เบอร์ 5)

3.2 วิธีการ

3.2.1 ตัวอย่าง 1 กรัม (ใส่ขวดรูปชมพู่ Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml)

3.2.2 เติมน้ำกลั่น 10 ml

3.2.3 เขย่าด้วยเครื่อง Shaker (1ชั่วโมง)

3.2.4 กรองเอาน้ำตัวอย่าง (กระดาษกรองเบอร์ 5)

3.2.5 นำตัวอย่างที่ได้ไปวัดด้วยเครื่อง pH meter

3.2.6 อ่านค่าจากเครื่องและบันทึกผลที่วัดได้จากเครื่อง

4. การหาค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity, EC)

4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

4.1.1 Electrical conductivity bridge

4.1.2 Specific conductance cell

4.2 สารเคมี

Standard potassium chloride solution 0.01 N ละลาย 0.7456 กรัม ของ Anhydrous potassium chloride (อบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน Desiccater ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น ปรับสารละลายให้อยู่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) จะวัดค่าการนำไฟฟ้าได้ 1.4118 dS m^{-1}

4.3 วิธีการ

4.3.1 ต่อ Specific conductance cell กับ Electrical conductivity bridge เพื่อให้ครบวงจรอุ่นเครื่องประมาณ 30 นาที ตรวจ cell ด้วยน้ำยา Standard potassium chloride solution 0.01 N ที่ 25 องศาเซลเซียส จะได้ค่าเท่ากับ 1.4118 dS m^{-1} แสดงว่าเครื่องถูกต้องและใช้งานได้

4.3.2 วัดค่า EC จากตัวอย่าง

4.3.3 อ่านค่าจากเครื่องและบันทึกผล

5. การหาค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)

5.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

5.1.1 เครื่องชั่งไฟฟ้า

5.1.2 ชุดเครื่องย่อยและชุดเครื่องกลั่น

5.1.3 หลอดแก้ว

5.1.4 ขวดรูปชมพู

5.1.5 บิวเรตต์

5.1.6 ปิเปตต์

5.2 สารเคมี

5.2.1 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น Conc. H_2SO_4

5.2.2 กรดบอริก (Boric acid)

5.3 วิธีการ

5.3.1 การย่อยสลาย (digestion)

1) ชั่งตัวอย่างที่อบและบดละเอียดแล้ว 0.5-1.00 กรัม (ผ่านการอบที่ 65-70 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) บนกระดาษกรองและห่อใส่ใน Kjeldahl flask ขนาด 800 มิลลิลิตร หรือหลอดย่อย digestion tube ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารสำเร็จรูปจำนวน 2 เม็ด

2) เติมกรด H_2SO_4 ความเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ลงใน Kjeldahl flask หรือ 15 มิลลิลิตร ลงในหลอดแก้ว

3) ทำ blank และตัวอย่างอ้างอิง โดยวิธีเดียวกัน

4) นำไปย่อยใน Kjeldahl digestion apparatus เปิดเตาหมุนเบอร์ 2 ใช้อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส - 250 องศาเซลเซียส - 400 องศาเซลเซียส

5) จนได้สารละลายใส ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นเติมน้ำบริสุทธ์ประมาณ 400 มิลลิลิตร ลงในหลอดแก้วที่ย่อยจนได้สารละลายใสที่กำลังอุ่นอยู่

5.3.2 การกลั่น (distillation)

1) เครื่อง Kjeldahl ใส่สารละลายกรดบอริก 50 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร หยด mixed indicaior 4-5 หยด นำไปวางรับ diatillate จากเครื่องกลั่นโดยให้ปลายหลอดแก้วจุ่มอยู่ในสาละลายบอริก แล้วนำ Kjeldahl flask ที่มีสารละลายตัวอย่าง (ข้อ 1.) มาเติมสารละลายเกลือโซดาไฟ (1:1) จำนวน 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปไตเตรต

2) เครื่องกลั่นสำหรับ block ใช้สารละลายกรดบอริก 25 มิลลิลิตรในขวดแก้วรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร หยด mixed indicaior 4-5 หยดในทำนองเดียวกันในหลอดแก้วที่มี

สารละลายตัวอย่าง (ข้อ 1.) มาเติมสารละลายด่าง (NaOH) 40 ปริมาตรประมาณ 50 มิลลิลิตร จากเครื่องทำการกลั่นได้ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ใช้เวลาประมาณ 7-10 นาที แล้วนำไปไตเตรต

3) การไตเตรต

(1) ไตเตรตของเหลวที่กลั่นด้วยกรดเกลือมาตรฐาน

(2) สีของน้ำยาจะเปลี่ยนจากเขียวเป็นสีม่วง คือ จุด end point

(3) ไตเตรต blank ในทำนองเดียวกัน

5.4 การคำนวณ

$$\%N = \frac{(a - b)c \times 1.401}{g}$$

a = mL ของกรดที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

b = mL ของกรดที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง blank

c = ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ (molar)

g = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ (g)

6. การหาค่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total P_2O_5)

6.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

6.1.1 เครื่อง Spectrophotometer

6.1.2 Hot plate

6.1.3 บิกเกอร์ (Beaker ขนาด 250 ml)

6.1.4 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask ขนาด 25 ml และ 1000 ml)

6.1.5 แท่งแก้ว (Stirring rod)

6.1.6 ปิเปตต์ (Pipette)

6.1.7 กระบอกตวง (Cylinder)

6.1.8 กระดาษกรอง (เบอร์ 5)

6.1.9 กรวยกรอง (Buchner funnel)

6.2 สารเคมี

6.2.1 น้ำยาที่ทำให้เกิดสี Ammonium vanadomolybdate หรือ Barton's reagent ประกอบด้วย

1) น้ำยา A เตรียมจากสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต Ammonium molybdate $(NH_4)_6No_7O_{24}4H_2O$) 25 กรัม ในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร

2) น้ำยา B เตรียมจากแอมโมเนียมเมตาวานาเดต (Ammonium meta vanadate (NH_4VO_3)) 1.25 กรัม ในน้ำกลั่น 300 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็นแล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้น (Conc. HNO_3) 250 มิลลิลิตร

3) นำ A และ B มาผสมกันแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

6.2.2 สารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน (Standard shosphorus หรือ Stock standard solution)

6.3 วิธีการ

6.3.1 เตรียม Working standard โดยปิเปตต์ 0, 1, 2, 3 และ 4 มิลลิลิตร จากสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน 50 มิลลิกรัม/ลิตร ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำยา Borton 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากัน เพื่อเตรียมความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเป็น 0, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิกรัม/ลิตร

6.3.2 สารละลายตัวอย่างที่ได้จากการ Digest 5 มิลลิลิตร (ใส่ Volumetric flask ขนาด 25 มิลลิลิตร) เติม Borton 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ให้เกิดสีสมบูรณ์อย่างน้อย 30 นาที

6.3.3 วัดความเข้มข้นของสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร โดยทำ Standard curve จาก Working standard 0, 2, 4, 6 และ 8 มิลลิกรัม/ลิตร ก่อนแล้วจึงวัด Blank พร้อมทั้งสารละลายตัวอย่าง

6.4 การคำนวณ

$$\% P = \frac{r \times 100 \times d.f \times 100}{10^6 \times S}$$

r = ค่า mgL^{-1}ที่อ่านได้จากเครื่องจะต้องหักลบจาก Blank

d.f = dilution facter

S = น้ำหนักตัวอย่างที่นำมา Digest (กรัม) แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml

7. การหาค่าปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (Total K_2O)

7.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

7.1.1 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง

7.1.2 Hoot

7.1.3 Hot plate

7.1.4 บิกเกอร์ (Beaker ขนาด 250 ml)

7.1.5 กระจกนาฬิกา

7.1.6 กรวยกรอง (Buchner funnel)

7.1.7 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask ขนาด 100 ml)

7.1.8 กระดาษกรองเบอร์ 5

7.1.9 เครื่อง Atommic Absorption Spectrometer

7.2 สารเคมี

7.2.1 กรดไนตริกเข้มข้น (Conc. HNO_3)

7.2.2 กรดเปอร์คลอริกเข้มข้น (Conc. $HClO_4$)

7.3 วิธีการ

7.3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน ดังนี้คือ

1) Stock Standard Sodium Solution 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ละลาย 2.5418 กรัม ของ NaCl (อบ NaCl ที่อุณหภูมิ 105 – 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำให้เย็นใน desiccator) ด้วยน้ำกลั่นจนเป็น 1 ลิตร

2) Stock Standard Potassium Solution 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ละลาย 1.9070 กรัม ของ KCl (อบ KCl ที่อุณหภูมิ 105 – 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทำให้เย็นใน desiccator) ด้วยน้ำกลั่นจนเป็น 1 ลิตร

3) Working Standard Potassium Solution เตรียมสารละลายโพแทสเซียม 0, 2, 4, 6, 8, และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเตรียมสารละลายข้อ (2) และทำกราฟมาตรฐานทุกครั้งที่ทำการวิเคราะห์

7.3.2 ฉีดตัวอย่างด้วยเครื่อง Atommic Absorption Spectrometer (วิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด)

7.3.3 อ่านค่าจากเครื่องและบันทึกผล

7.4 การคำนวณ

$$\% K = \frac{r \times 100 \times d.f \times 100}{10^6 \times S}$$

r = ค่า mgL^{-1}ที่อ่านได้จากเครื่องจะต้องหักลบจาก Blank

d.f = dilution facter

S = น้ำหนักตัวอย่างที่นำมา Digest (กรัม) แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 ml

8. การหาค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

เป็นการคำนวณสัดส่วน Organic carbon กับ Total nitrogen โดยใช้สูตรดังนี้

$$\% \text{ C/N ratio} = \frac{\% \text{ Organic carbon}}{\% \text{ N}}$$

9. การหาค่าอินทรียวัตถุ (OM) % Organic meter

9.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

9.1.1 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml)

9.1.2 ปิเปตต์ (Pipette ขนาด 10 ml)

9.1.3 กระบอกตวง (Cylinder ขนาด 25 ml และ 50 ml)

9.1.4 บิวเรตต์ ขนาด 50 ml

9.2 สารเคมี

9.2.1 สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 1 N

9.2.2 สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 N

9.2.3 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

9.2.4 สารละลายออร์โทฟีแนนโทรลีน

9.3 วิธีการ

9.3.1 ตัวอย่าง 1 กรัม (ใส่ขวดรูปชมพู่ Erlenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร)

9.3.2 เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 1 นอร์มัล 10 มิลลิลิตร

9.3.3 เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร (เขย่าเบาๆ 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที)

9.3.4 เติมน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น

9.3.5 หยดอินดิเคเตอร์ ออร์โทฟีแนนโทรลีน 5 หยด

9.3.6 ไตเตรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 นอร์มัล เพื่อหาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือจากปฏิกิริยาจนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ

9.3.7 บันทึกปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมต และเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ (Blank ก็ทำเช่นเดียวกัน)

9.4 คำนวณ

$$\% \text{ Organic carbon} = \frac{(B-T)\,N}{B} \times \frac{100}{77} \times 3 \times \frac{100}{10^3} \times \frac{10}{W}$$

% Organic matter = % Organic carbon x 1.724

N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมต

B = ปริมาณของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับ Blank (ml)

T = ปริมาณของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไตเตรตกับตัวอย่าง (ml)

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

10. การหาค่าปริมาณโลหะหนัก คือ แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) ปรอท (Hg) โครเมียม (Cr)

10.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

10.1.1 เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง

10.1.2 Hoot

10.1.3 Hot plate

10.1.4 บิกเกอร์ (Beaker ขนาด 250 ml)

10.1.5 กระจกนาฬิกา

10.1.6 กรวยกรอง (Buchner funnel)

10.1.7 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask ขนาด 100 ml)

10.1.8 กระดาษกรองเบอร์ 5

10.1.9 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

10.2 สารเคมี

10.2.1 กรดไนตริกเข้มข้น (Conc. HNO_3)

10.2.2 กรดเปอร์คลอริกเข้มข้น (Conc. $HClO_4$)

10.3 วิธีการ

10.3.1 สารละลายตัวอย่างที่ได้จากการ Digest

10.3.2 ฉีดตัวอย่างด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) ปรอท (Hg) โรเมียม (Cr))

10.3.3 อ่านค่าจากเครื่องและบันทึกผล

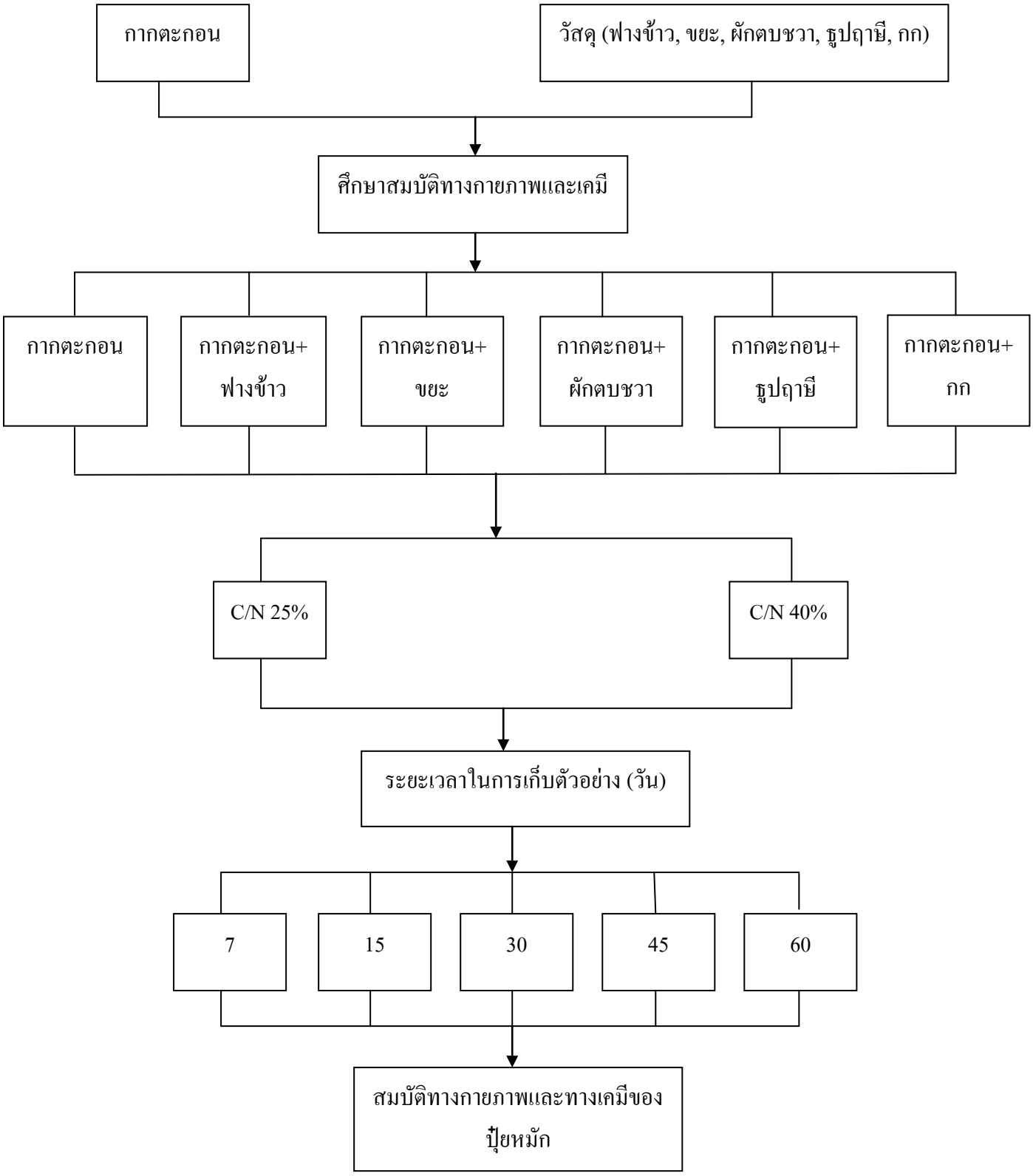
อัตราส่วนที่เหมาะสมในการหมักทำปุ๋ยจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม

อัตราส่วนที่ผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมัก ได้แก่ ฟางข้าว, ขยะสด, ผักตบชวา, ธูปฤาษี และกก โดยใช้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 20% และ 40% ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมของปุ๋ยหมักตามการทบทวนเอกสารในบทที่ 2 (มีรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ก) โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการหมักทำปุ๋ยของการวิจัย

คาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 25%		คาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 40%	
วัสดุ	อัตราส่วน (kg)	วัสดุ	อัตราส่วน (kg)
กากตะกอน:กากตะกอน	0.25:0.25	กากตะกอน:กากตะกอน	0.40:0.40
กากตะกอน:ฟางข้าว	0.25:0.23	กากตะกอน:ฟางข้าว	0.40:0.78
กากตะกอน:ขยะสด	0.25:0.53	กากตะกอน:ขยะสด	0.40:0.93
กากตะกอน:ผักตบชวา	0.25:1.45	กากตะกอน:ผักตบชวา	0.40:0.60
กากตะกอน:ธูปฤาษี	0.25:0.23	กากตะกอน:ธูปฤาษี	0.40:0.80
กากตะกอน:กก	0.25:0.25	กากตะกอน:กก	0.40:0.98

แผนการดำเนินงาน



วิธีการหมักทำปุ๋ย

1. นำกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการหมัก ได้แก่ ฟางข้าว, ขยะสด, ผักตบชวา, ธูปฤาษี และกก ตามอัตราส่วนดังตารางที่ 10 มาผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันโดยใช้ถังขนาด 2.5 แกลลอน เป็นภาชนะในการหมักปุ๋ย (หมักเป็นเวลา 60 วัน)

2. รดน้ำและพลิกกลับกองปุ๋ยหมักในถังหมักทุกวันเพื่อให้อากาศได้ถ่ายเท

3. ตรวจวัดอุณหภูมิ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่วัดปุ๋ยหมักและค่าความเป็นกรดเป็นด่างทุกวัน แล้วทำการบันทึกผล เพื่อศึกษากระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของการหมักทำปุ๋ย

4. เก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักมาตรวจวิเคราะห์ทาง ห้องปฏิบัติการ หลังการหมัก 7, 15, 30, 45, 60 วัน ตามลำดับ นำปุ๋ยหมักที่ได้ไปวิเคราะห์ตามวันที่กำหนดไว้เพื่อวิเคราะห์หาสมบัติต่างๆ ดังตารางที่ 9

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การศึกษาสมบัติของกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ได้แก่ ฟางข้าว, ขยะสด, ผักตบชวา, ธูปฤาษี และกก วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) โดยใช้ค่าเฉลี่ย นำเสนอในรูปตาราง และคำบรรยาย และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของเปรียบเทียบมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2540 (ปรัชญา ธัญญาดีและคณะ, 2540), มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (กรมวิชาการเกษตร, 2548) และมาตรฐานปุ๋ยหมัก (เมธี มณีวรรณ, 2542)

2. การศึกษาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการหมักทำปุ๋ยและการเปลี่ยนปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นของกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ได้แก่ อุณหภูมิและค่าความเป็นกรดเป็นด่าง วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) โดยใช้ค่าเฉลี่ย นำเสนอในรูปกราฟ ตาราง และคำบรรยาย

3. การทดสอบอิทธิผลของปัจจัยต่างๆกับชนิดของวัสดุที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 1 ทาง (One Way Analysis of Variance)

4. การทดสอบอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วน C/N, N, P และ K ต่างกันของค่า C/N ratio 2 อัตราส่วน คือ 25 % และ 40 % และระยะเวลาหมัก โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (Two Way Analysis of Variance)

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการตามมาตรฐานคุณสมบัติของปุ๋ยหมักของกากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

การศึกษาคุณลักษณะของกากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก ดังแสดงในตารางที่ 11 มีรายละเอียดดังนี้คือ

1. ความชื้นของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ฐูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 59.68, 58.79, 56.62, 59.75, 48.70 และ 58.58 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นที่ได้จากการทดลองกับมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2540 (ไม่เกิน ร้อยละ 35.40) มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 35% โดยน้ำหนัก) และมาตรฐานปุ๋ยหมัก 0-35 ดีมาก และ36-40 ดี พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณค่าความชื้นเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2540 และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

2. อินทรียวัตถุของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ฐูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 44.83, 53.38, 58.38, 59.011, 56.19 และ 60.58 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าอินทรียวัตถุที่ได้จากการทดลองกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่น้อยกว่า 30% โดยน้ำหนัก) พบว่าวัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

3. ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ฐูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 6.44, 6.30, 5.68, 5.95, 4.81 และ 6.34 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดเป็นด่างของกากตะกอน กก ผักตบชวา และฟางข้าว ที่ได้จากการทดลองกับมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2540 (6.0 - 7.5) และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (5.5-8.5) พบว่าวัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีเพียงขยะสดที่เกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2540 (6.0 - 7.5) และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (5.5-8.5)

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบคุณภาพของกากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยกับมาตรฐานปุ๋ยหมัก

พารามิเตอร์	รูปแบบการทดลอง						ค่ามาตรฐานปุ๋ยหมัก 1/	ค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ 2/	ค่ามาตรฐานปุ๋ยหมัก 3/
	กากตะกอน	ธูปฤาษี	กก	ผักตบชวา	ฟางข้าว	ขยะสด			
ความชื้น (%)	59.68	58.79	56.62	59.75	48.70	58.58	ไม่เกิน 35.40	ไม่เกิน 35% โดยน้ำหนัก	0-35 ดีมาก 36-40 ดี
อินทรียวัตถุ (%)	53.38	44.83	58.38	59.011	56.19	60.58	-	ไม่น้อยกว่า 30% โดยน้ำหนัก	-
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	6.44	6.30	5.68	5.95	6.34	4.81	6.0 ถึง 7.5	5.5-8.5	7.0-8.0 เหมาะสมมาก 8.1-8.5 และ 6.5-6.9 เหมาะสม
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	10.92	28.60	24.18	27.49	28.78	32.43	ไม่เกิน 20:1	ไม่เกิน 20::1	-
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	7.43	6.86	7.45	8.46	6.72	7.25		ไม่เกิน 6 dS/ m	-
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	3.74	3.62	3.19	2.87	3.12	2.43	0.5	ไม่น้อยกว่า 1.0% โดยน้ำหนัก	>1.0 ดีมาก 0.8-0.9 ดี
โพแทสเซียสทั้งหมด (%)	6.01	8.19	6.41	7.04	7.26	5.02	1.0	ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก	>0.5 ดีมาก < 0.3 – 0.4 ดี
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	2.48	3.97	5.60	3.57	3.59	5.57	0.5	ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก	>1.0 ดีมาก 0.8-0.9 ดี
สารหนู (mg/kg)	32.40	6.15	3.43	3.98	4.98	3.54	-	ไม่เกิน 50 mg/kg	-
แคดเมียม (mg/kg)	0.78	0.67	0.63	0.80	0.58	0.69	-	ไม่เกิน 5 mg/kg	-
โครเมียม (mg/kg)	579.45	52.07	49.49	51.50	37.53	47.91	-	ไม่เกิน 300 mg/kg	-
ทองแดง (mg/kg)	53.84	48.04	35.59	42.90	30.69	50.22	-	ไม่เกิน 500 mg/kg	-
ตะกั่ว (mg/kg)	197.71	16.38	14.68	19.70	12.88	18.26	-	ไม่เกิน 500 mg/kg	-
ปรอท (mg/kg)	1.40	0.55	0.35	0.90	0.16	0.57	-	ไม่เกิน 2 mg/kg	-

หมายเหตุ 1/ คือ มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2540 (ปรัชญา ธัญญาดีและคณะ,2540)

2/ คือ มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

3/ คือ มาตรฐานปุ๋ยหมัก (เมธี มณีวรรณ, 2542)

4. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 10.92:1, 28.60:1, 24.18:1, 27.49:1, 28.78:1 และ 32.43:1 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ได้จากการทดลองของกากตะกอนกับมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2540 (ไม่เกิน 20:1) มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 20:1) พบว่า กากตะกอนมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนของธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2540 และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

5. ค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 7.43, 6.86, 7.45, 8.46, 6.72 และ 7.25 dS/m ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 6 dS/m) พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีค่าการนำไฟฟ้าเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

6. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวาฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 3.74, 3.62, 3.19, 2.87, 3.12 และ 2.43 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่น้อยกว่า 1.0% โดยน้ำหนัก) และมาตรฐานปุ๋ยหมัก (เมธี มณีวรรณ, 2542) (>1.0 ดีมาก) อยู่ในช่วงดีมาก พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีค่าไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าว

7. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 6.01, 8.19, 6.41, 7.04, 7.26 และ 5.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก) พบว่าวัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมัก (เมธี มณีวรรณ, 2542) ปี 2542 (>0.5 ดีมาก) อยู่ในช่วงดีมาก โดยธูปฤาษี มีค่าโพแทสเซียมทั้งหมดสูงที่สุด

8. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 2.48, 3.97, 5.60, 3.57, 3.59 และ 5.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดกับมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2540 (ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก) พบว่าวัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด

มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และมาตรฐานปุ๋ยหมัก (เมธี มณีวรรณ, 2542) (>1.0 ดีมาก) อยู่ในช่วงดีมาก

9. ปริมาณสารหนูของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 32.40, 6.15, 3.43, 3.98, 4.98 และ 3.54 mg/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารหนูกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 50 mg/kg) พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณสารหนูไม่เกินมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

10. ปริมาณแคดเมียมของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 0.78, 0.67, 0.63, 0.80, 0.58 และ 0.69 mg/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 5 mg/kg) พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณแคดเมียมไม่เกินมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

11. ปริมาณโครเมียมของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวาฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 579.45, 52.07, 49.49, 51.50, 37.53 และ 47.91 mg/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโครเมียมกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของ กรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 300 mg/kg) พบว่า มีเพียงกากตะกอนที่มีปริมาณโครเมียมเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 ส่วนวัสดุที่ใช้ อีก 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีปริมาณโครเมียมไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

12. ปริมาณทองแดงของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 53.84, 48.04, 35.59, 42.90, 30.69 และ 50.22 mg/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณทองแดงกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 500 mg/kg) พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณทองแดงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

13. ปริมาณตะกั่วของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 197.71, 16.38, 14.68, 19.70, 12.88 และ 18.26 mg/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 500 mg/kg) พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณตะกั่วอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

14. ปริมาณปรอทของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 1.40, 0.55, 0.35, 0.90, 0.16, 0.57 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณปรอทกับมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 2 mg/kg) พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณปรอทเกินมาตรฐานของมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

กระบวนการเปลี่ยนแปลงในการหมักทำปุ๋ยหมักของงานวิจัย

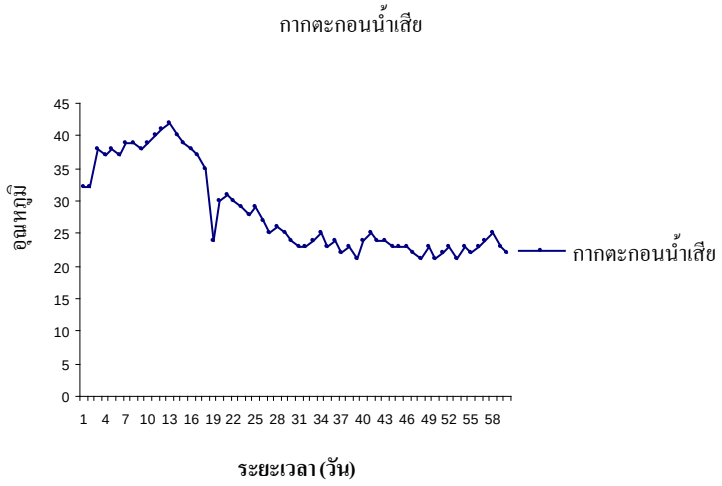
1. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่นและขนาดของวัสดุในการหมักทำปุ๋ย

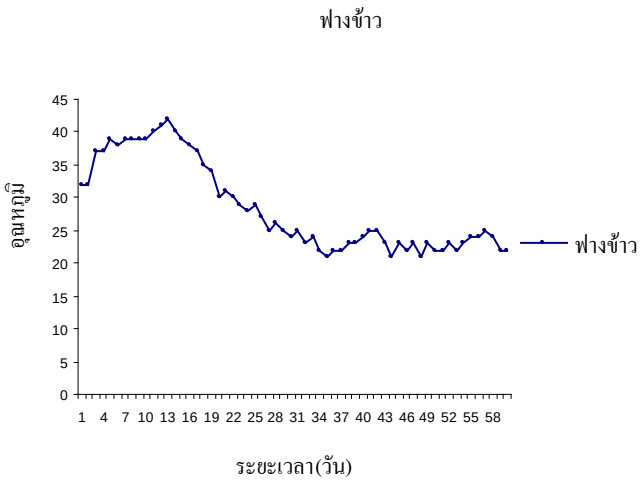
สี กลิ่นและขนาดของวัสดุ เมื่อสิ้นสุดการทดลองสีของกากตะกอนจะเป็นสีดำเข้มขึ้นกว่าเมื่อเริ่มการทดลอง กลิ่นไม่เหม็นมากและมีขนาดเล็กลง ส่วนวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ได้แก่ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสด มีสีน้ำตาลดำ เปลี่ยนจากสีเขียวและเหลืองก่อนเริ่มการทดลอง มีขนาดเล็กลง และเปื่อยยุ่ยแยกออกจากกันได้ง่าย ไม่เป็นเหมือนเมื่อเริ่มการทดลอง

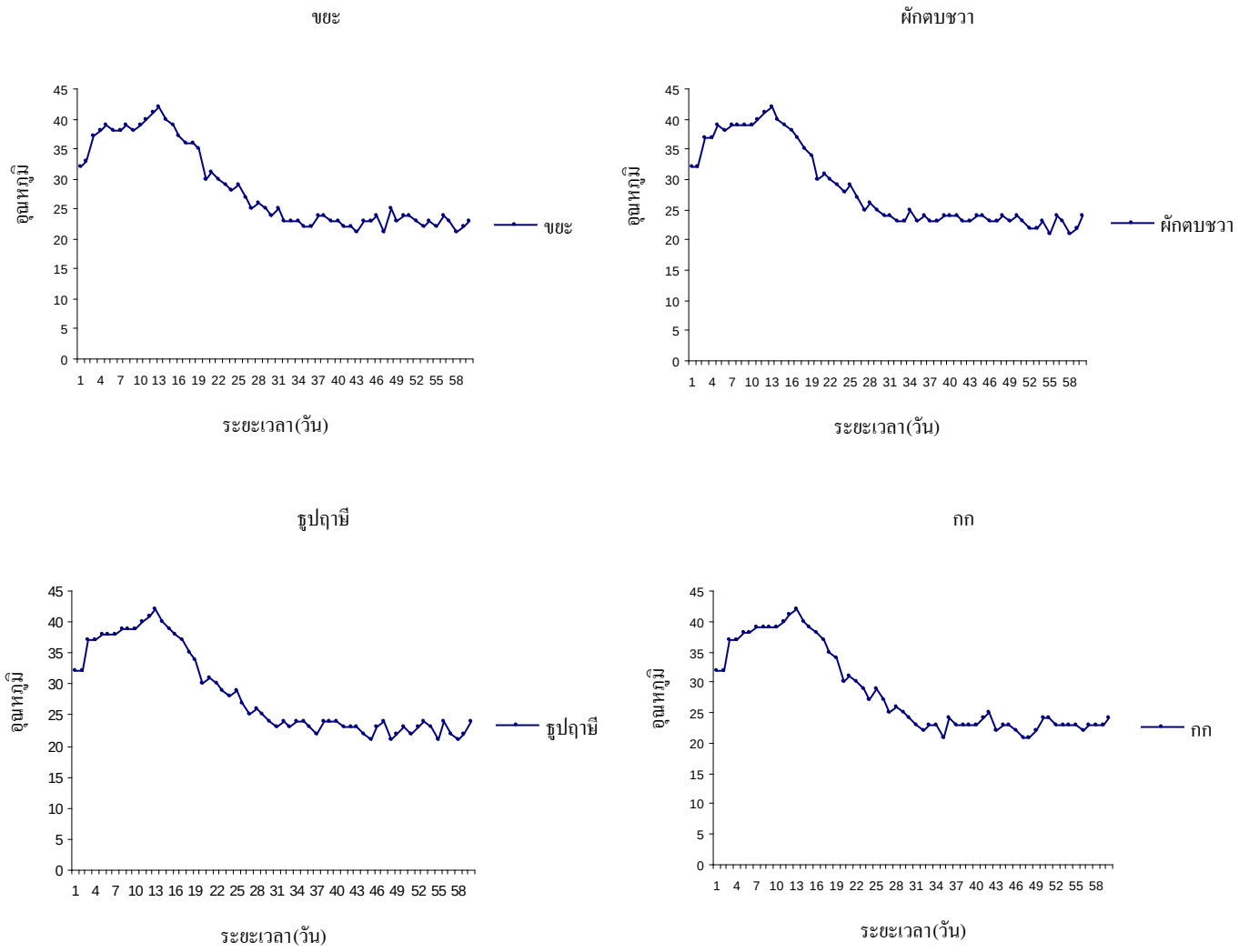
2. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในการหมักทำปุ๋ย

2.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในการหมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 25%

อุณหภูมิในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดที่มีอัตราส่วน C/N 25% มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 35-40 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 11 วัน และมีอุณหภูมิสูงสุดถึง 42 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 13 วัน จากนั้นอุณหภูมิลดลงเรื่อย ๆ จนเมื่อหมักไปได้ 33 วัน จะอยู่ในช่วง 20-25 องศาเซลเซียส เมื่อครบระยะเวลาของการหมัก สาเหตุที่บางช่วงของกราฟมีความไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากสภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงบ่อย ดังแสดงในภาพที่ 2 และภาคผนวก ข.



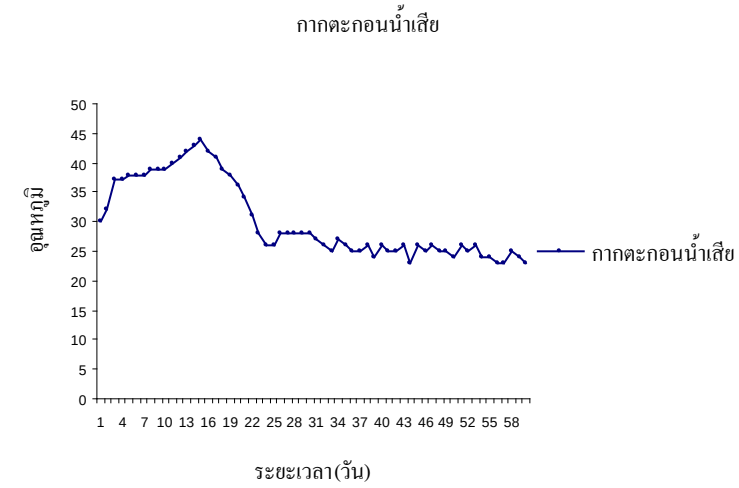


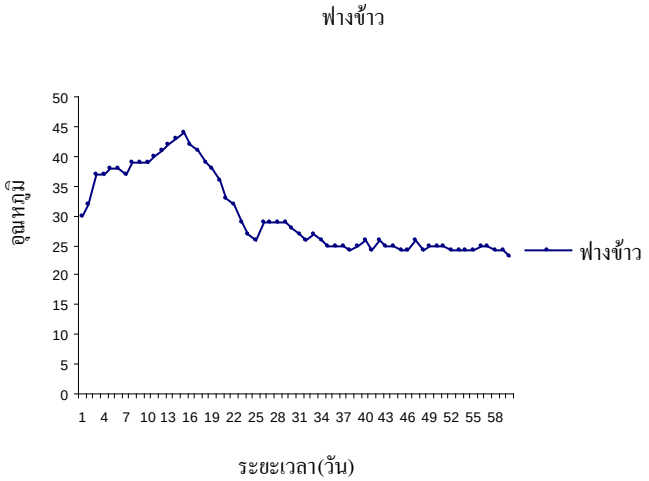


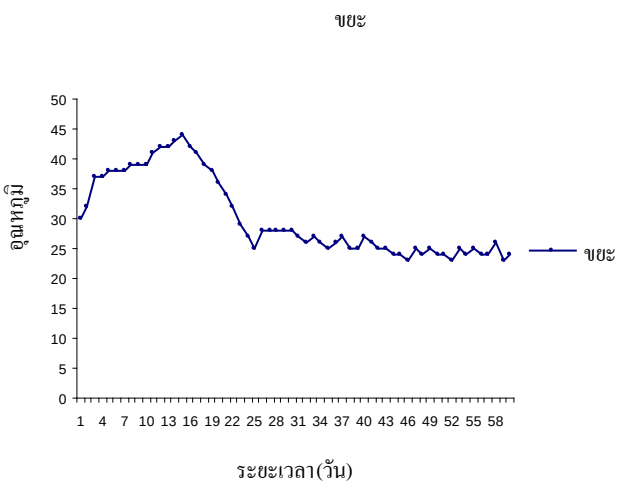
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการหมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 25%

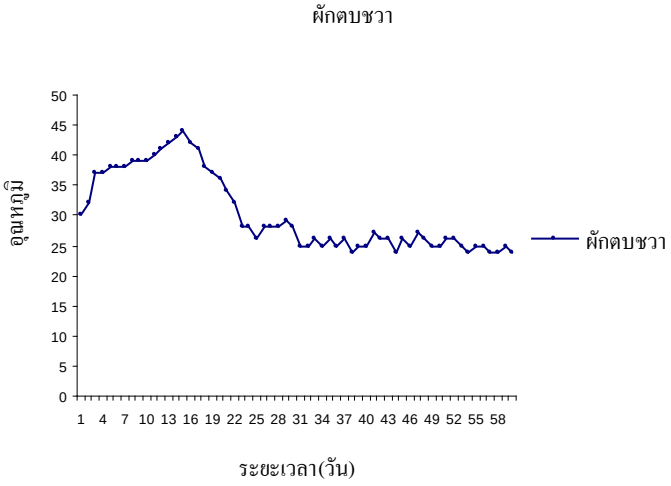
2.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในการหมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 40%

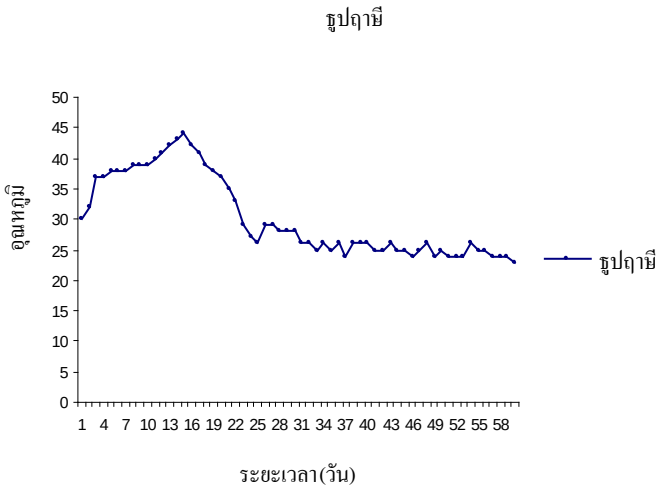
อุณหภูมิในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดที่มีอัตราส่วน C/N 40% มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 35-40 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 11 วัน และมีอุณหภูมิสูงสุดถึง 44 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 15 วัน จากนั้นอุณหภูมิลดลงเรื่อย ๆ จากนั้นเมื่อหมักไปได้ 36 วัน จะอยู่ในช่วง 20-30 องศาเซลเซียส เมื่อครบระยะเวลาของการหมัก สาเหตุที่บางช่วงของกราฟมีความไม่สม่ำเสมอเนื่องจากสภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงบ่อย ดังแสดงในภาพที่ 3 และภาคผนวก ข.

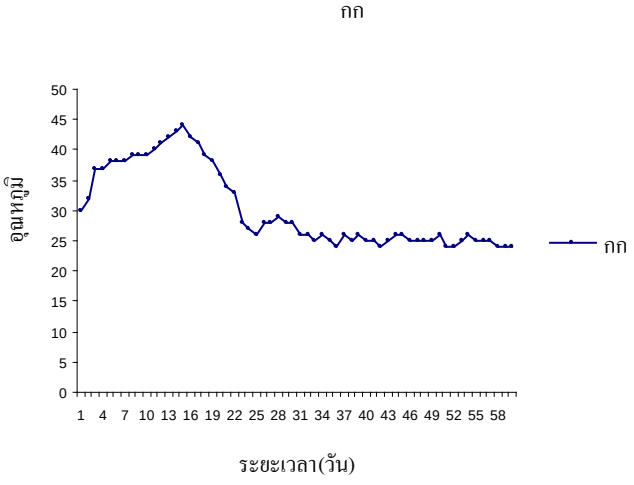










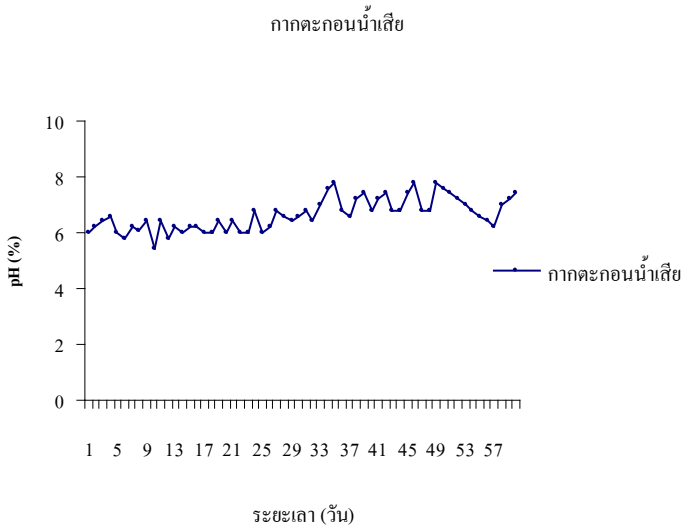


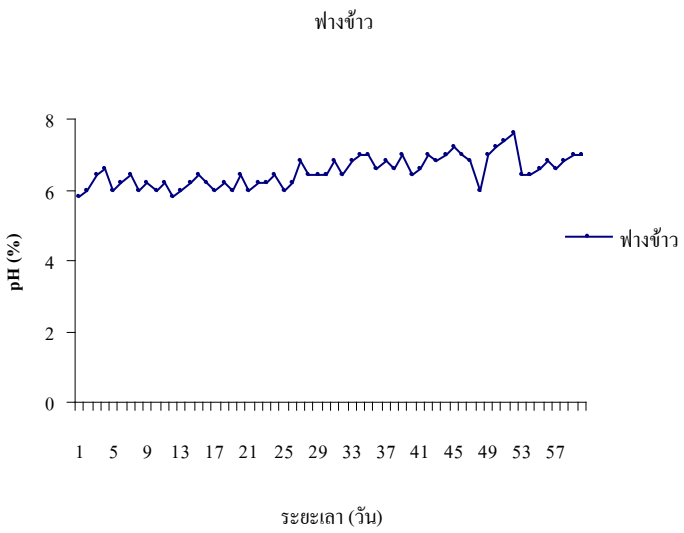
ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการหมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 40%

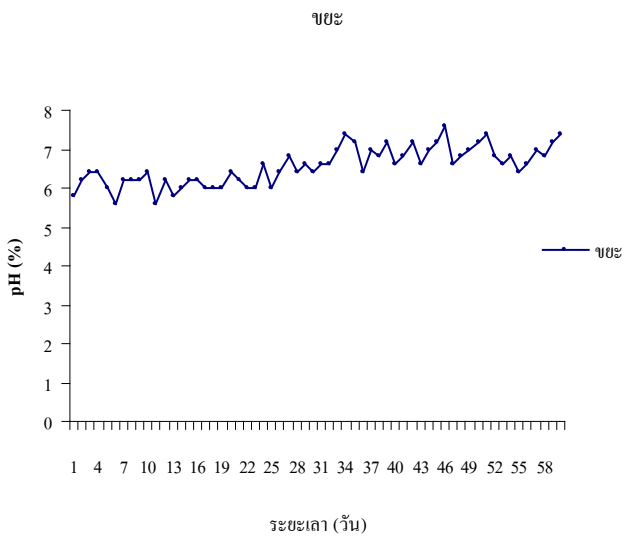
3. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างในการหมักทำปุ๋ย

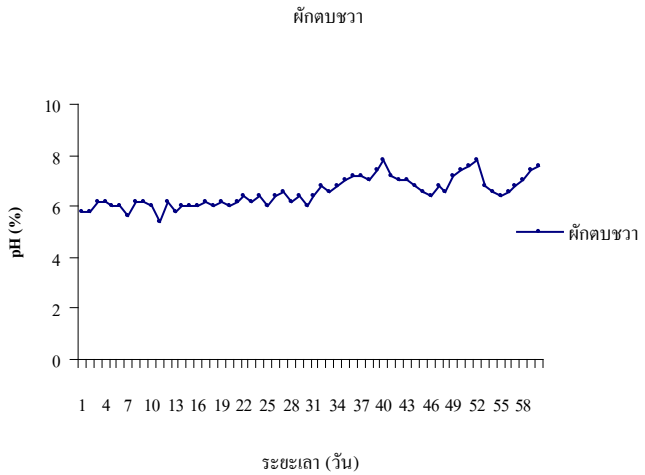
3.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างในการหมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 25%

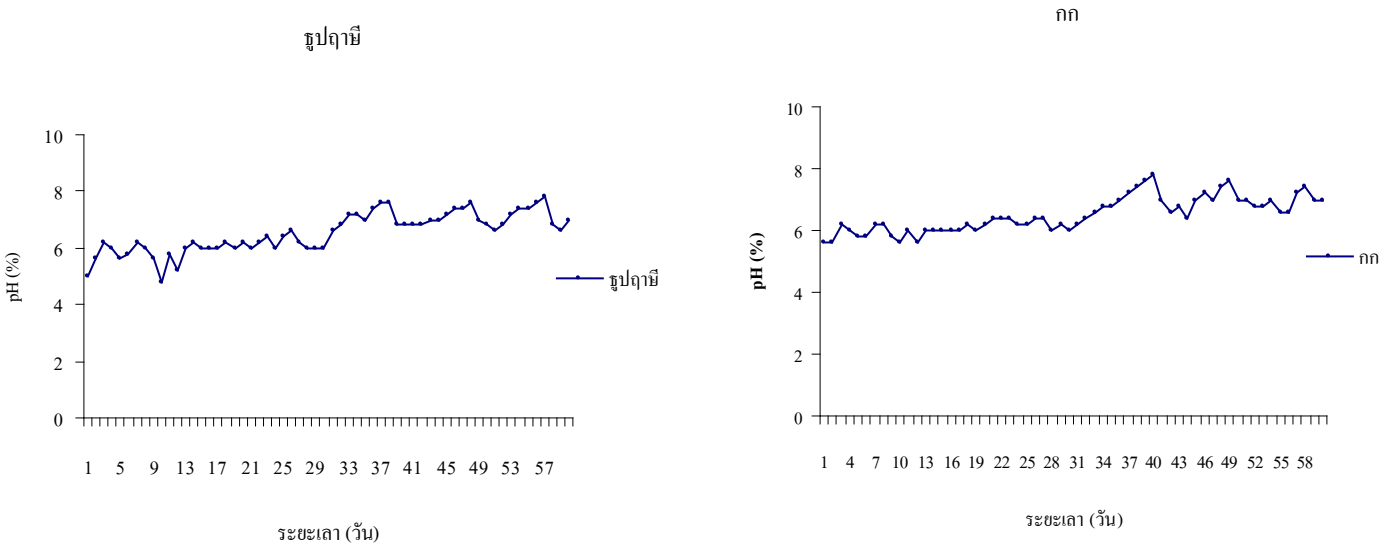
ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดที่มีอัตราส่วน C/N 25% ดังแสดงในภาพที่ 4 และภาคผนวก ข. ในส่วนของกากตะกอนที่เป็นชุดควบคุม พบว่าในช่วงแรกมีค่าเพิ่มขึ้น 5-6 เมื่อหมักไปได้ 32 วัน และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงสุดที่ 7.8 เมื่อหมักไปได้ 49 วัน จากนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากนั้นเมื่อหมักไปได้ 50 วัน จะอยู่ในช่วง 6-8 เมื่อครบระยะเวลาของการหมัก











ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในการหมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 25%

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถังหมักกากตะกอนกับธูปฤาษี ช่วงแรกมีค่าเพิ่มขึ้น 5-6 เมื่อหมักไปได้ 32 วัน และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงสุดที่ 7.8 เมื่อหมักไปได้ 57 วัน จากนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากนั้นจะอยู่ในช่วง 6-8 เมื่อครบระยะเวลาของการหมัก

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถังหมักกากตะกอนกับกก ช่วงแรกมีค่าเพิ่มขึ้น 5-6 เมื่อหมักไปได้ 32 วัน และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงสุดที่ 7.8 เมื่อหมักไปได้ 40 วัน จากนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากนั้นเมื่อหมักไปได้ 41 วัน จะอยู่ในช่วง 6-8 เมื่อครบระยะเวลาของการหมัก

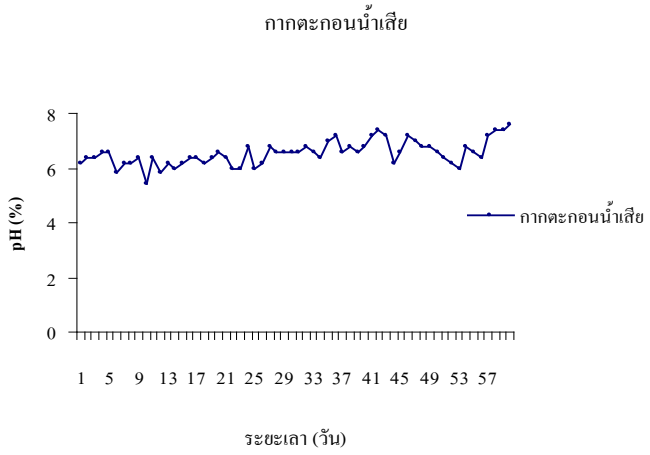
ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถังหมักกากตะกอนกับผักตบชวา ช่วงแรกมีค่าเพิ่มขึ้น 5-6 เมื่อหมักไปได้ 32 วัน และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงสุดที่ 7.8 เมื่อหมักไปได้ 40 วัน จากนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากนั้นเมื่อหมักไปได้ 41 วัน จะอยู่ในช่วง 6-8 เมื่อครบระยะเวลาของการหมัก

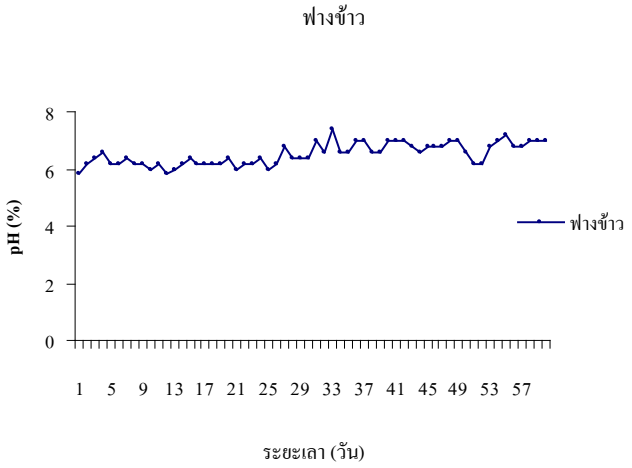
ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถังหมักกากตะกอนกับฟางข้าว ช่วงแรกมีค่าเพิ่มขึ้น 5-6 เมื่อหมักไปได้ 32 วัน และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงสุดที่ 7.6 เมื่อหมักไปได้ 52 วัน จากนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากนั้นเมื่อหมักไปได้ 53 วัน จะอยู่ในช่วง 6-8 เมื่อครบระยะเวลาของการหมัก

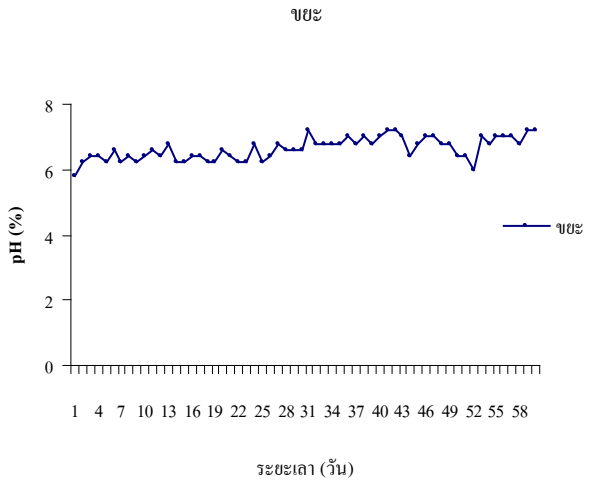
ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถังหมักกากตะกอนกับขยะสด ช่วงแรกมีค่าเพิ่มขึ้น 5-6 เมื่อหมักไปได้ 32 วัน และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงสุดที่ 7.6 เมื่อหมักไปได้ 46 วัน จากนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากนั้นเมื่อหมักไปได้ 47 วัน จะอยู่ในช่วง 6-8 เมื่อครบระยะเวลาของการหมัก

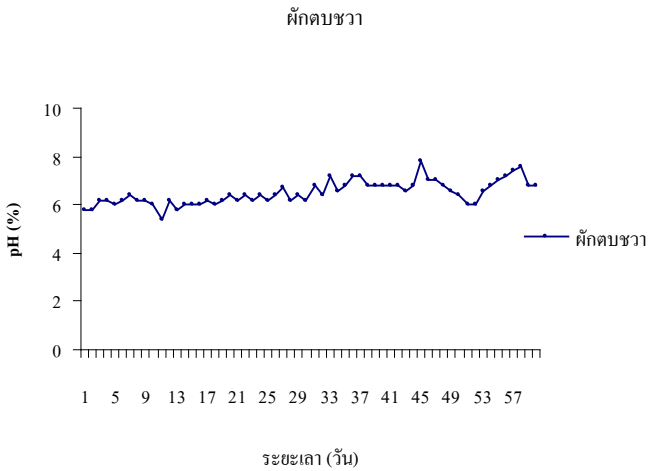
3.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างในการหมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 40%

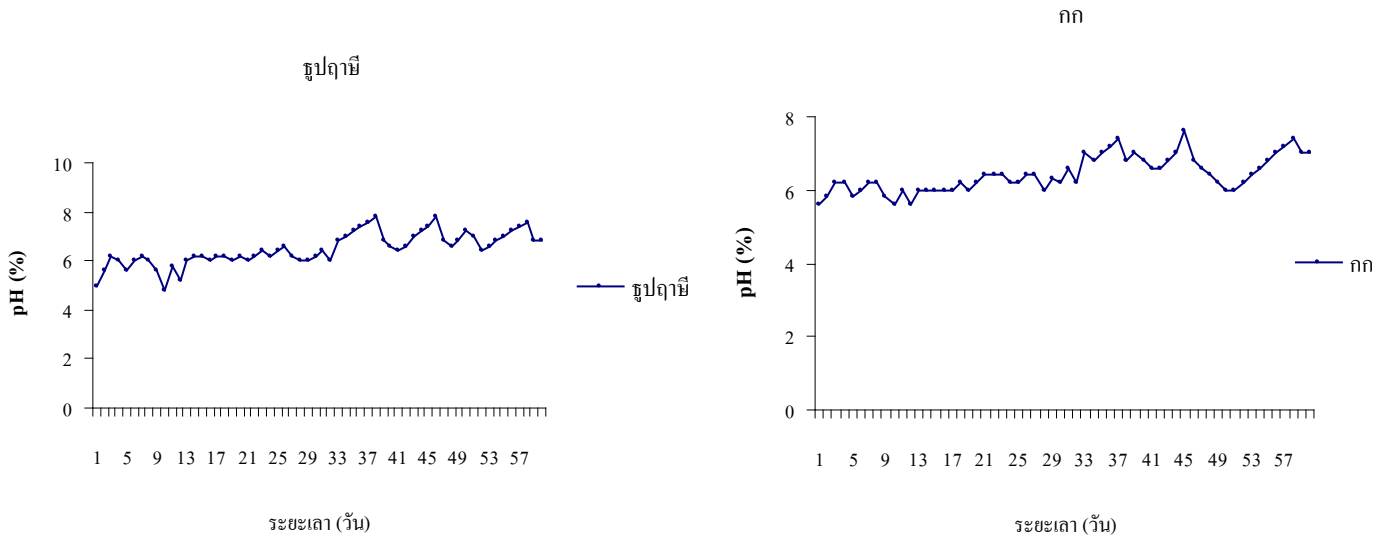
ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดที่มีอัตราส่วน C/N 40% ดังแสดงในภาพที่ 5 และภาคผนวก ข. ในส่วนของกากตะกอนที่เป็นชุดควบคุม พบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถังหมักกากตะกอน ช่วงแรกมีค่าเพิ่มขึ้น 5-6 เมื่อหมักไปได้ 30 วัน และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงสุดที่ 7.6 เมื่อหมักไปได้ 60 วัน เมื่อครบระยะเวลาของการหมัก











ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในการหมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 40%

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถังหมักกากตะกอนกับธูปฤาษี ช่วงแรกมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 5-6 เมื่อหมักไปได้ 30 วัน และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงสุดที่ 7.8 เมื่อหมักไปได้ 38 วัน จากนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากนั้นเมื่อหมักไปได้ 40 วัน จะอยู่ในช่วง 6-8 เมื่อครบระยะเวลาของการหมัก

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถังหมักกากตะกอนกับกก ช่วงแรกมีค่าเพิ่มขึ้น 5-6 เมื่อหมักไปได้ 30 วัน และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงสุดที่ 7.6 เมื่อหมักไปได้ 45 วัน จากนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากนั้นเมื่อหมักไปได้ 46 วัน จะอยู่ในช่วง 6-8 เมื่อครบระยะเวลาของการหมัก

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถังหมักกากตะกอนกับกับผักตบชวา ช่วงแรกมีค่าเพิ่มขึ้น 5-6 เมื่อหมักไปได้ 30 วัน และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงสุดที่ 7.8 เมื่อหมักไปได้ 45 วัน จากนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากนั้นเมื่อหมักไปได้ 46 วัน จะอยู่ในช่วง 6-8 เมื่อครบระยะเวลาของการหมัก

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถังหมักกากตะกอนกับฟางข้าว ช่วงแรกมีค่าเพิ่มขึ้น 5-6 เมื่อหมักไปได้ 30 วัน และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงสุดที่ 7.4 เมื่อหมักไปได้ 33 วัน จากนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากนั้นเมื่อหมักไปได้ 40 วัน จะอยู่ในช่วง 6-8 เมื่อครบระยะเวลาของการหมัก

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างในถังหมักกากตะกอนกับขยะสด ช่วงแรกมีค่าเพิ่มขึ้น 5-6 เมื่อหมักไปได้ 30 วัน และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงสุดที่ 7.2 เมื่อหมักไปได้ 41 วัน จากนั้นค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากนั้นเมื่อหมักไปได้ 42 วัน จะอยู่ในช่วง 6-8 เมื่อครบระยะเวลาของการหมัก

การศึกษาอิทธิผลของปัจจัยต่างๆ กับชนิดของวัสดุที่ใช้หมักทำปุ๋ยของงานวิจัย

การศึกษาอิทธิผลของปัจจัยต่างๆ กับชนิดของวัสดุที่ใช้หมักทำปุ๋ยของงานวิจัย ในตารางที่ 12 พบว่า ผลการเปรียบเทียบสมมติฐานของชนิดวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ กากตะกอน : กากตะกอน, กากตะกอน : กากตะกอน : ฐูปฤาษี, กากตะกอน : กก, กากตะกอน : ผักตบชวา, กากตะกอน : ฟางข้าว และกากตะกอน : ขยะสด มีผลต่อปัจจัยต่างๆ ที่เป็นตัวแปรควบคุม โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งพบว่า ชนิดวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยนี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ต่อตัวแปรควบคุมเกือบทั้งหมดทุกพารามิเตอร์ ได้แก่ ความชื้น, ปริมาณอินทรียวัตถุ, ค่าความเป็นกรด-ด่าง, C/N ratio, ค่าการนำไฟฟ้า, ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด, ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด, ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด, สารหนู, แคดเมียม, ตะกั่ว, ทองแดง และปรอท ยกเว้นปริมาณโครเมียม ซึ่งพบว่าชนิดของวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยทั้ง 6 ชนิด มีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ตารางที่ 12 ผลการเปรียบเทียบชนิดของวัสดุหมักทำปุ๋ยต่างๆ ต่อปัจจัยต่างๆ

ปัจจัยต่างๆ	แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.*
ความชื้น (%)	Between Groups	212.094	5	42.419	0.216	0.954
	Within Groups	10623.543	54	196.732		
	Total	10835.636	59			
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%)	Between Groups	314.574	5	62.915	1.201	0.321
	Within Groups	2829.806	54	52.404		
	Total	3144.380	59			
ค่าความเป็นกรด - ด่าง	Between Groups	0.081	5	0.016	0.024	1.000
	Within Groups	36.620	54	0.678		
	Total	36.701	59			
C/N ratio	Between Groups	25.032	5	5.006	0.057	0.998
	Within Groups	4733.907	54	87.665		
	Total	4758.939	59			
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	Between Groups	6.377	5	1.275	2.075	0.083
	Within Groups	33.186	54	0.615		
	Total	39.563	59			

ตารางที่ 12 ผลการเปรียบเทียบชนิดของวัสดุหมักทำปุ๋ยต่างๆ ต่อปัจจัยต่างๆ (ต่อ)

ปัจจัยต่างๆ	แหล่งความแปรปรวน	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.*
Nitrogen (%)	Between Groups	2.005	5	0.401	1.493	0.207
	Within Groups	14.505	54	0.269		
	Total	16.510	59			
Phosphorus (%)	Between Groups	2.266	5	0.453	1.011	0.420
	Within Groups	24.212	54	0.448		
	Total	26.478	59			
Potassium (%)	Between Groups	4.754	5	0.951	.226	0.950
	Within Groups	227.448	54	4.212		
	Total	232.203	59			
สารหนู (mg/kg)	Between Groups	165450.104	5	33090.021	2.282	0.059
	Within Groups	783164.726	54	14503.050		
	Total	948614.830	59			
แคดเมียม (mg/kg)	Between Groups	25.449	5	5.090	2.361	0.052
	Within Groups	116.407	54	2.156		
	Total	141.856	59			
	Total	1506436.860	58			
ตะกั่ว (mg/kg)	Between Groups	31439.896	5	6287.979	1.991	0.095
	Within Groups	85568.982	54	1584.611		
	Total	117008.878	59			
ปรอท (mg/kg)	Between Groups	59246.734	5	11849.347	0.948	0.458
	Within Groups	662275.860	53	12495.771		
	Total	721522.594	58			

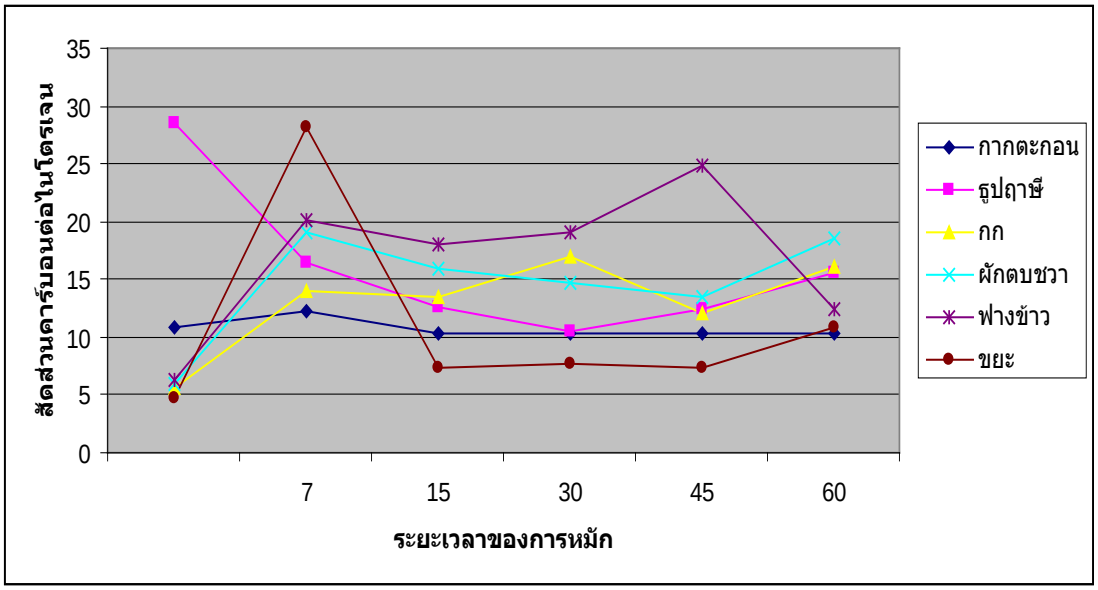
หมายเหตุ : * ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

การศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ย

1. การศึกษาปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ย

1.1 การศึกษาปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 25%

การศึกษาปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดที่มีอัตราส่วน C/N 25% ดังแสดงในภาพที่ 6 และภาคผนวก ค. ในส่วนของปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกากตะกอน มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 12.31:1 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 10.25:1 ตามระยะเวลาของการหมัก



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 25 %

ปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อธูปฤาษี มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 16.43:1 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 15.55:1 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกก มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 14.07 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 16.15 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อผักตบชวา มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 19.10:1 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 18.50:1 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อฟางข้าว มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 20.20:1 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 12.50:1 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อขยะสด มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 28.16:1 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 10.80:1 ตามระยะเวลาของการหมัก

จากผลการศึกษา พบว่า ปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของทั้ง 6 วัสดุที่ใช้ในการหมัก ที่อัตราส่วน C/N 25% อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่ไม่เกิน 20:1 ในระยะเวลาที่เหมาะสม 60 วัน (ภาพที่ 6)

1.2 การศึกษาปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 40%

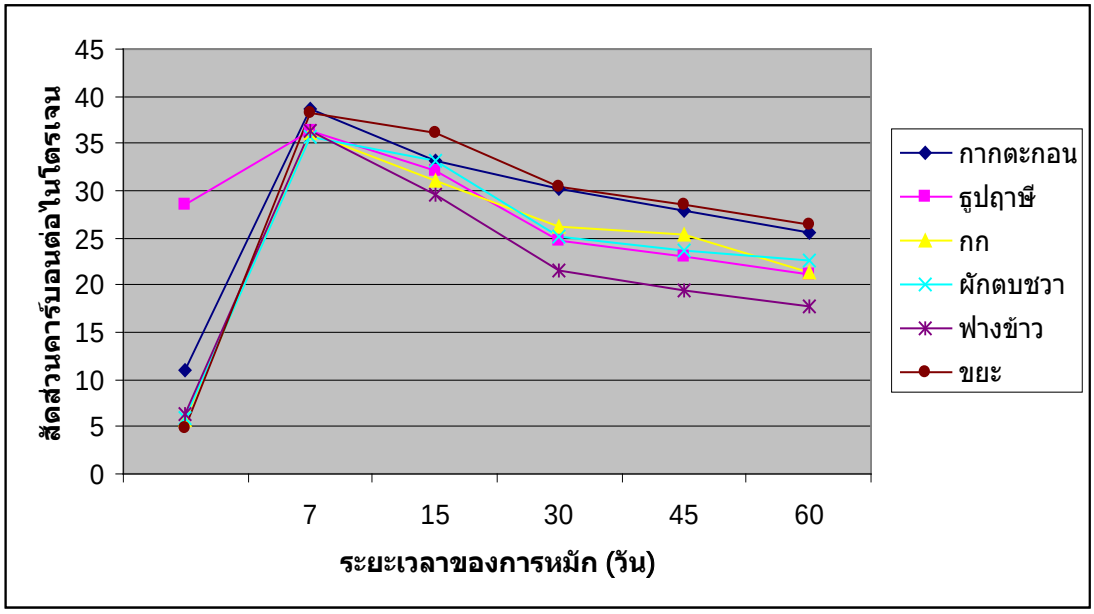
การศึกษาปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดที่มีอัตราส่วน C/N 40% ดังแสดงในภาพที่ 7 และภาคผนวก ค. ในส่วนของปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกากตะกอน มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ

38.56:1 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีค่าปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 25.66:1 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อธูปฤาษี มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 36.41:1 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 21.08:1 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกก มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 36.23:1 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 21.30:1 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อผักตบชวา มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 35.67:1 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 22.63:1 ตามระยะเวลาของการหมัก



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 40 %

ปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อฟางข้าว มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 36.28:1 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 17.84:1 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อขยะสด มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 38.22:1 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 26.36:1 ตามระยะเวลาของการหมัก

จากผลการศึกษา พบว่า ปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของวัสดุที่ใช้ในการหมัก คือ กากตะกอนต่อฟางข้าว ที่อัตราส่วน C/N 40% อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่ไม่เกิน 20:1 ในระยะเวลาที่เหมาะสม 60 วัน (ภาพที่ 7)

1.3 การศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่ระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ40%

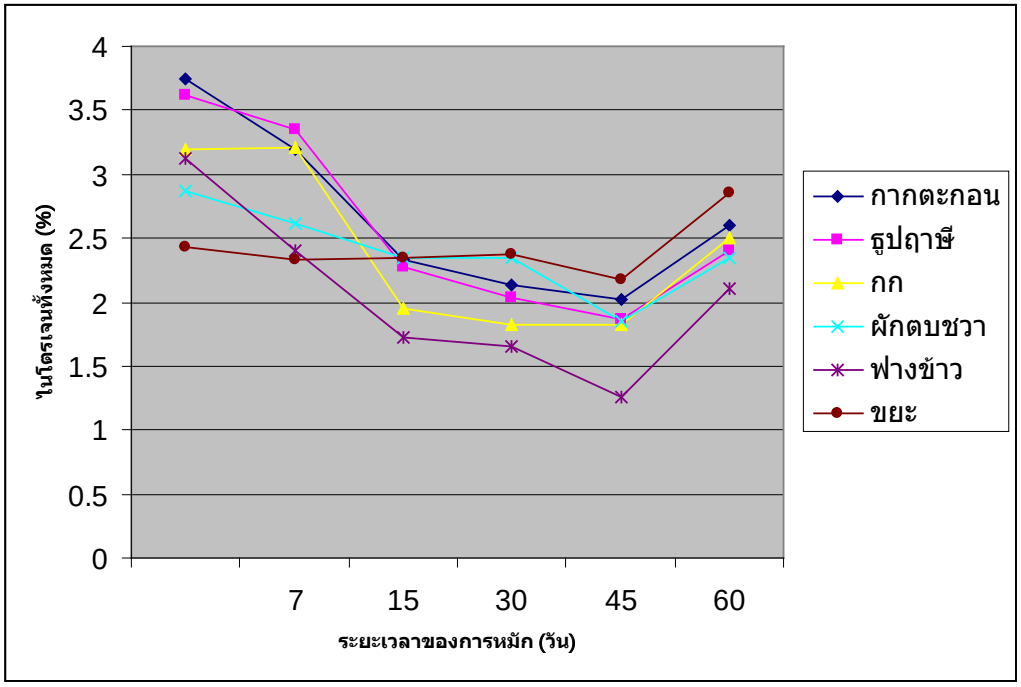
จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ 40% ดังแสดงในภาพที่ 6 และ 7 ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลง จากระยะเริ่มต้นการทดลอง และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (2 Way Analysis of variance) จากตารางแสดงผล Test of between-Subjects Effects (ภาคผนวก ง.) ในส่วนการทดสอบอิทธิพลของค่า C/N ratio เริ่มต้น ที่มีต่อค่า C/N ratio พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.05) ส่วนการทดสอบอิทธิพลต่อระยะเวลาการทดลองที่มีต่อค่า C/N ratio พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.05) ส่วนการทดสอบอิทธิพลของ C/N ratio เริ่มต้น และระยะเวลาการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.05) และจากตาราง Estimated Marginal Mean เป็นการหาค่าประมาณแบบช่วงของค่า C/N ratio เฉลี่ยแยกตาม C/N ratio เริ่มต้น และระยะเวลาการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะพบว่า C/N ratio เริ่มต้นที่ 25 % ทุกระยะเวลาการทดลองค่า C/N ratio เฉลี่ยจะต่ำกว่าค่า C/N ratio เริ่มต้นที่ 40 % ทุกระยะเวลาการทดลอง

2. การศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ย

2.1 การศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 25%

การศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสด ที่มีอัตราส่วน C/N 25% ดังแสดงในภาพที่ 8 และภาคผนวก ค.ในส่วนของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกากตะกอน มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 3.20 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.60 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อธูปฤาษี มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 3.35 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.40 ตามระยะเวลาของการหมัก



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 25 %

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกก มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 3.21 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.50 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อผักตบชวา มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.62 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.35 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อฟางข้าว มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.40 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.10 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อขยะสด มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.33 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.85 ตามระยะเวลาของการหมัก

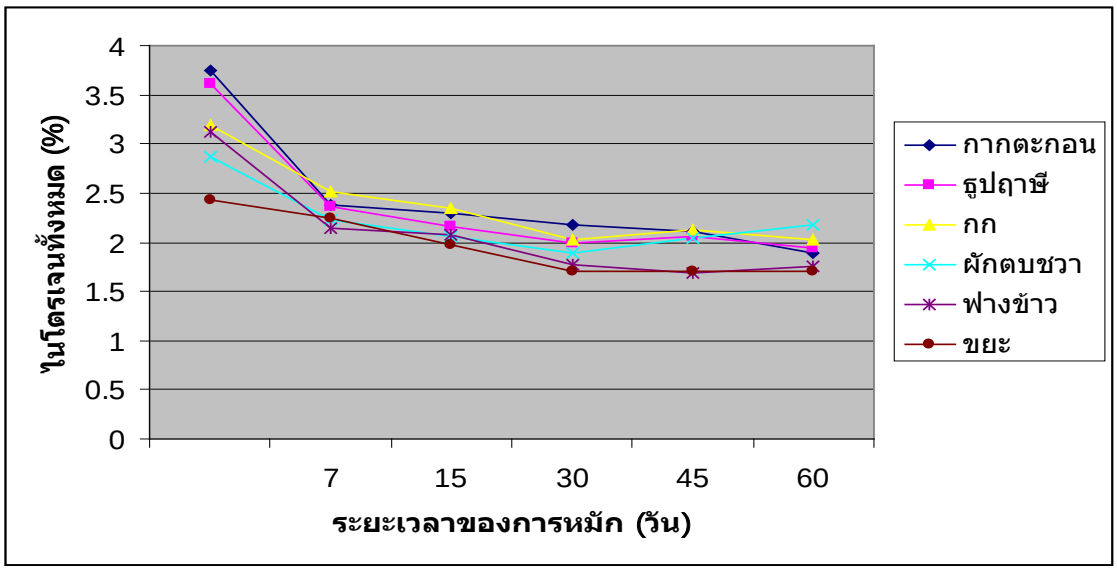
จากภาพที่ 9 จะเห็นได้ว่าก่อนทำการหมักปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของทั้ง 6 ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย มีค่าสูง หลังทำการหมักไปได้ 7 วันค่าลดลงมา เนื่องมาจากระหว่างการพลิกกับกองปุ๋ยหมัก หลังทำการหมักครบ 60 วัน ปุ๋ยหมักมีค่าเพิ่มขึ้น และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่ไม่น้อยกว่า 1 % ในระยะเวลาที่เหมาะสม 60 วัน โดยปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อขยะสด มีไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ สาเหตุที่ปุ๋ยหมักแต่ละชนิดมีไนโตรเจนทั้งหมดมากน้อยแตกต่างกัน เนื่องมาจากวัสดุหมักแต่ละชนิดมีไนโตรเจนทั้งหมดและอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน

2.2 การศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 40%

การศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดที่มีอัตราส่วน C/N 40% ดังแสดงในภาพที่ 9 และภาคผนวก ค.ในส่วนของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกากตะกอน มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.38 จากนั้นมีค่าลดลงและ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 1.89 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อธูปฤาษี มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.37 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 1.94 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกก มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.52 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.02 ตามระยะเวลาของการหมัก



ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 40 %

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อผักตบชวา มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.23 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.17 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อฟางข้าว มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.15 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 1.76 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อขยะสด มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.25 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 1.71 ตามระยะเวลาของการหมัก

จากภาพที่ 10 จะเห็นได้ว่าก่อนทำการหมักปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของทั้ง 6 ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย มีค่าสูง หลังทำการหมักไปได้ 7 วันค่าลดลงมา เนื่องมาจากระหว่างการพลิกกับกองปุ๋ยหมัก หลังทำการหมักครบ 60 วัน ปุ๋ยหมักมีค่าเพิ่มขึ้น และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่ไม่น้อยกว่า 1 % ในระยะเวลาที่เหมาะสม 60 วันโดยปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อผักตบชวา มีไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ สาเหตุที่ปุ๋ยหมักแต่ละชนิดมีไนโตรเจนทั้งหมดมากน้อยแตกต่างกัน เนื่องมาจากวัสดุหมักแต่ละชนิดมีไนโตรเจนทั้งหมดและอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน

2.3 การศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่ระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ40%

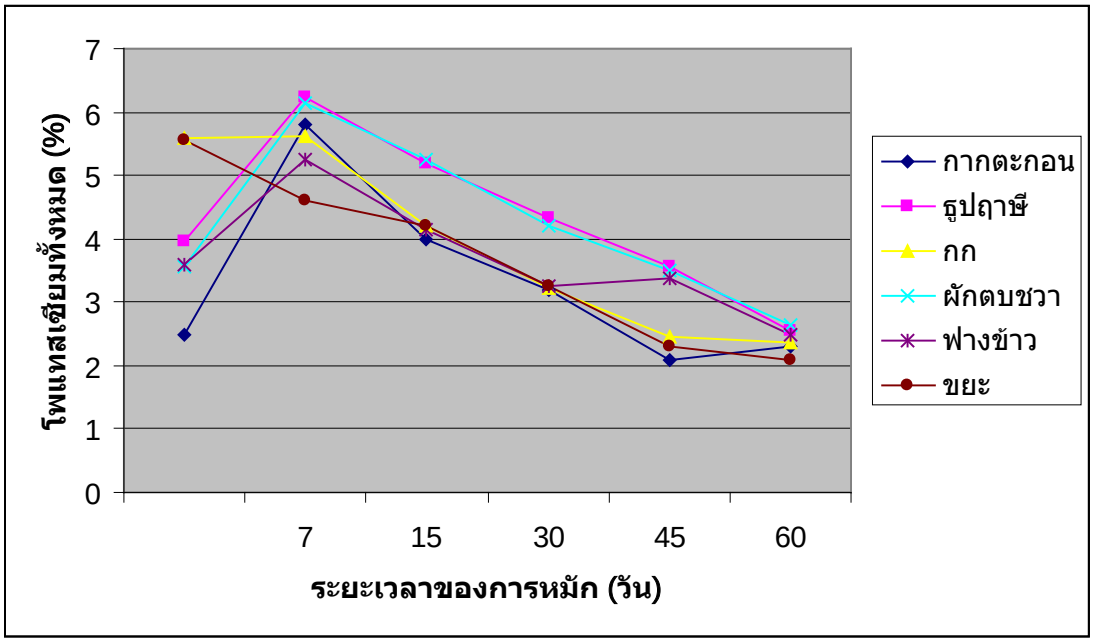
จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ 40% ดังแสดงในภาพที่ 8 และ 9 ค่าไนโตรเจนทั้งหมด มีแนวโน้มลดลงจากระยะเวลาเริ่มต้นในการทดลอง และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (2 Way Analysis of variance) ดังแสดงในภาคผนวก ง. จากตารางแสดงผล Test of between-Subjects Effects ในส่วนการทดสอบอิทธิพลของค่า C/N ratio เริ่มต้น ที่มีต่อค่าไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.05) ส่วนการทดสอบอิทธิพลต่อระยะเวลาการทดลองที่มีต่อค่าไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า มีความแตกต่างอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.05) ส่วนการทดสอบอิทธิพลของค่า C/N ratio เริ่มต้นและระยะเวลาการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05) และจากตาราง Estimated Marginal Mean เป็นการหาค่าประมาณแบบช่วงของค่าไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย แยกตามค่า C/N ratio เริ่มต้น และระยะเวลาการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะพบว่าไนโตรเจนทั้งหมดเริ่มต้นที่ C/N ratio 25 % ทุกระยะเวลาการทดลองค่าไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยจะสูงกว่าค่าไนโตรเจนเริ่มต้นที่ C/N ratio 40 %

3. การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ย

3.1 การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 25%

การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสด ที่มีอัตราส่วน C/N 25% ดังแสดงในภาพที่ 10 และภาคผนวก ค.ในส่วนของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกากตะกอน มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 5.80 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.30 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อธูปฤาษี มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 6.23 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.55 ตามระยะเวลาของการหมัก



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 25 %

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกก มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 5.61 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.35 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อผักตบชวา มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 6.14 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.65 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อฟางข้าว มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 5.25 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.50 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อขยะสด มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 4.62 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.10 ตามระยะเวลาของการหมัก

จากภาพที่ 11 พบว่า ก่อนทำการหมักปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของ ทั้ง 6 ชนิด ของวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก หลังทำการหมักไปได้ 7 วัน ค่าลดลงมาตามระยะเวลาของการหมัก และมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่ไม่น้อยกว่า 0.5 % ในระยะเวลาที่เหมาะสม 60 วัน โดยพบว่ากากตะกอนต่อผักตบชวามีค่าโพแทสเซียมสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรืออาจเนื่องมาจากผักตบชวามีการย่อยสลายได้ง่ายกว่าวัสดุอื่น ๆ

3.2 การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 40%

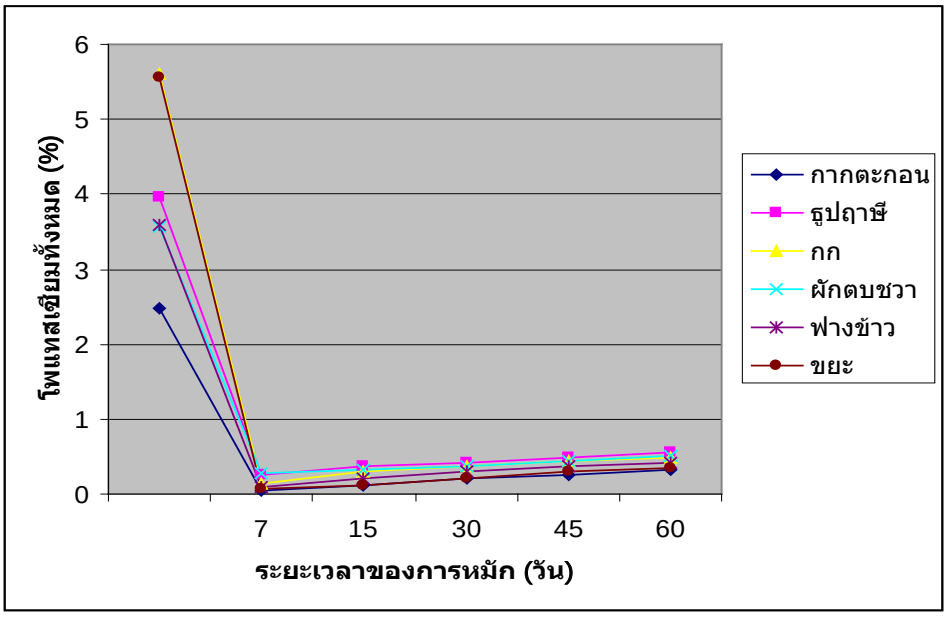
การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสด ที่มีอัตราส่วน C/N 40% ดังแสดงในภาพที่ 11 และภาคผนวก ค.ในส่วนของปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกากตะกอน มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีเปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.04 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีค่าเปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.33 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อธูปฤาษี มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.26 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.55 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกก มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.14 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.49 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อผักตบชวา มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.28 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.51 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อฟางข้าว มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.10 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.41 ตามระยะเวลาของการหมัก



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 40 %

ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อขยะสด มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.07 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.35 ตามระยะเวลาของการหมัก

จากภาพที่ 12 พบว่า ก่อนทำการหมักปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของ ทั้ง 6 ชนิด ของวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก หลังทำการหมักไปได้ 7 วันค่าลดลงมาตามระยะเวลาของการหมัก และมีปริมาณอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่ไม่น้อยกว่า 0.5 %

3.3 การศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่ระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ40%

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ 40% ดังแสดงในภาพที่ 10 และ 11 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด มีแนวโน้มสูงขึ้น จากระยะเวลาเริ่มการทดลองจนถึงระยะเวลาสิ้นสุดการทดลองโดยกากตะกอนต่อธูปฤาษีมีค่าโพแทสเซียมสูงสุดและกากตะกอนต่อกากตะกอนมีค่าโพแทสเซียมต่ำสุด และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (2 Way Analysis of variance) ดังแสดงในภาคผนวก ง. จากตารางแสดงผล Test of between-Subjects Effects ในส่วนการทดสอบอิทธิพลของค่าC/N ratio เริ่มต้น ที่มีต่อค่าโพแทสเซียมทั้งหมดพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$) ส่วนการทดสอบอิทธิพลต่อระยะเวลาการทดลองที่มีต่อค่าโพแทสเซียม พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$) ส่วนการทดสอบอิทธิพลของ C/N ratio เริ่มต้น และระยะเวลาการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่าง ($P > 0.05$) และจากตาราง Estimated Marginal Mean เป็นการหาค่าประมาณแบบช่วงของค่าโพแทสเซียมทั้งหมดเฉลี่ยแยกตาม C/N ratio เริ่มต้น และระยะเวลาการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะพบว่า C/N ratio เริ่มต้นที่ 25 % ทุกระยะเวลาการทดลองของปริมาณโพแทสเซียม เฉลี่ยจะสูงกว่าค่า C/N ratio เริ่มต้นที่ 40 %

4. การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ย

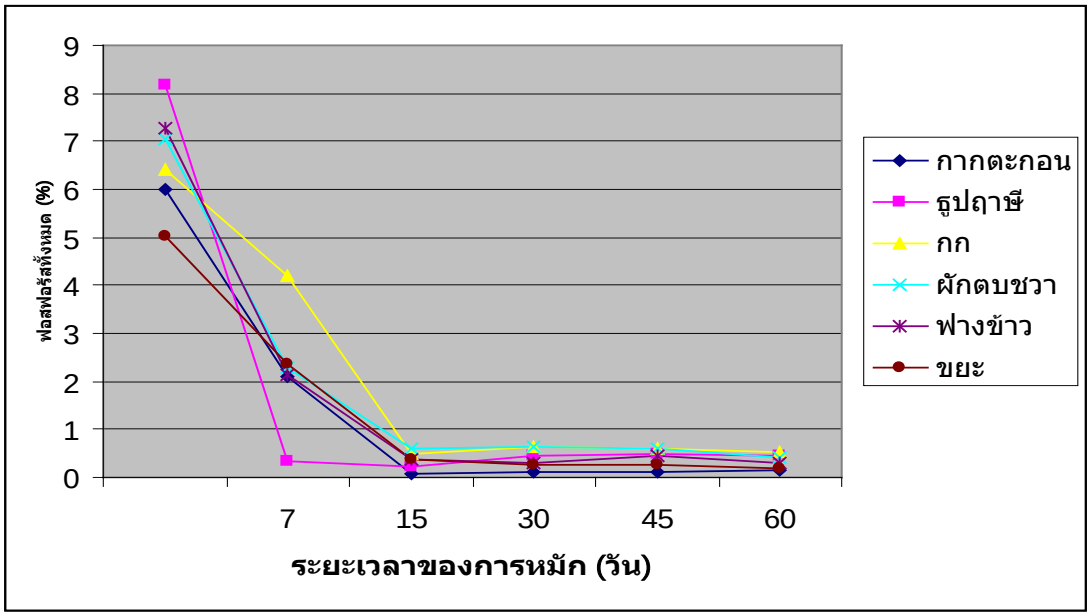
4.1 การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 25%

การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสด

ที่มีอัตราส่วน C/N 25% ดังแสดงในภาพที่ 12 และภาคผนวก ค.ในส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกากตะกอน มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.10 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.15 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อธูปฤาษี มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.33 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.45 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกก มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.42 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.53 ตามระยะเวลาของการหมัก



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 25 %

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อผักตบชวา มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.28 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.40 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อฟางข้าว มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.15 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.30 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อขยะสด มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 2.38 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.20 ตามระยะเวลาของการหมัก

จากภาพที่ 13 พบว่า ก่อนทำการหมักปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของ ทั้ง 6 ชนิด ของวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก หลังทำการหมักไปได้ 7 วัน ค่าลดลงมาตามระยะเวลาของการหมัก และมีปริมาณอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่ไม่น้อยกว่า 0.5 % ในระยะเวลาที่เหมาะสม 60 วัน และกากตะกอนต่อธูปฤาษีและกากตะกอนต่อกก มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ

4.2 การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่อัตราส่วน C/N 40%

การศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสด ที่มีอัตราส่วน C/N 40% ดังแสดงในภาพที่ 13 และภาคผนวก ค.ในส่วนของปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกากตะกอน มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.14 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีค่าเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.42 ตามระยะเวลาของการหมัก

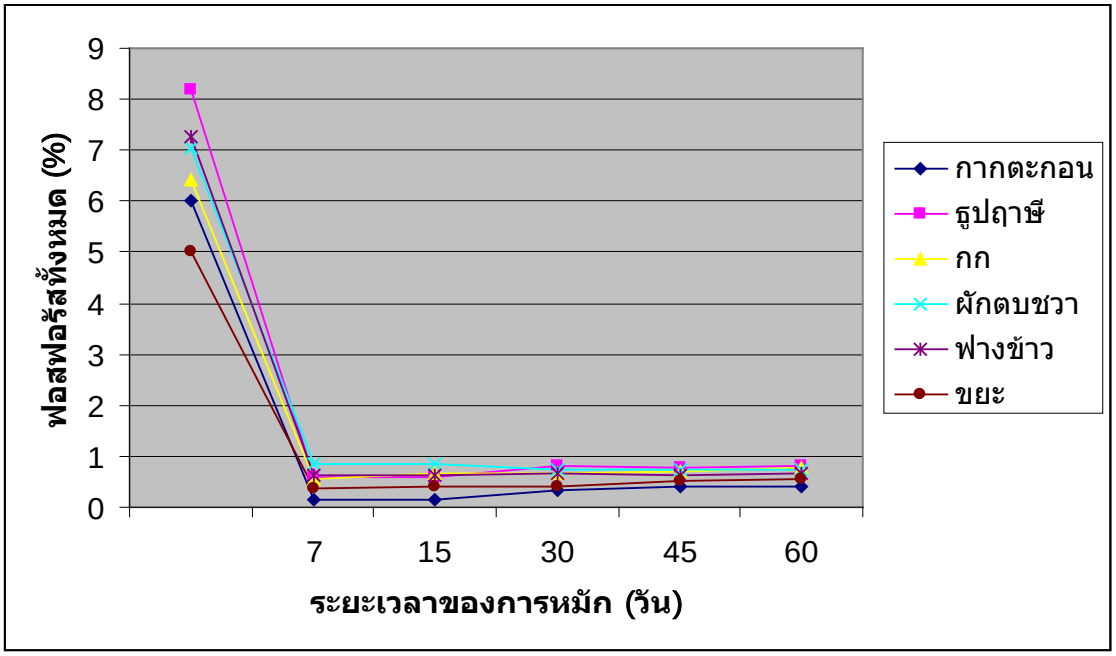
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อธูปฤาษี มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.59 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.82 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อกก มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ0.56 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.79 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อผักตบชวา มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.84 จากนั้นมีค่าลดลงและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.75 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อฟางข้าว มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.63 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.66 ตามระยะเวลาของการหมัก

ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนต่อขยะสด มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 7 ของการหมัก มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.36 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 60 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ ร้อยละ 0.54 ตามระยะเวลาของการหมัก



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากกากตะกอนและวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ตามระยะเวลาของการหมัก เริ่มต้นที่ C/N 40 %

จากภาพที่ 14 พบว่า ก่อนทำการหมักปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของ ทั้ง 6 ชนิด ของวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก หลังทำการหมักไปได้ 7 วัน ค่าลดลงมาตามระยะเวลาของการหมัก และมีปริมาณอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ที่ไม่น้อยกว่า 0.5 % ในระยะเวลาที่เหมาะสม 60 วัน และกากตะกอนต่อธูปฤาษีและกากตะกอนต่อผักตบชวา มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ

4.3 การศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่ระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ40%

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ 40% ดังแสดงในภาพที่ 12 และ 13 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด มีแนวโน้มลดลงจากระยะเวลาเริ่มต้นในการทดลอง และมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อสิ้นสุดระยะเวลา เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (2 Way Analysis of variance) ดังแสดงในภาคผนวก ง. จากตารางแสดงผล Test of between-Subjects Effects ในส่วนการทดสอบอิทธิพลของค่า C/N ratio เริ่มต้นที่มีต่อค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนการทดสอบอิทธิพลต่อระยะเวลาการทดลองที่มีต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) ส่วนการทดสอบอิทธิพลของ C/N ratio เริ่มต้น และระยะเวลาการทดลองพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) และจากตาราง Estimated Marginal Mean เป็นการหาค่าประมาณแบบช่วงของปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ยแยกตาม C/N เริ่มต้น และระยะเวลาการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะพบว่า C/N ratio เริ่มต้นที่ 25 % ค่า C/N ratio เฉลี่ยจะต่ำกว่าค่า C/N เริ่มต้นที่ 40 %

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผลและอภิปรายผล

1. การวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการตามมาตรฐานคุณสมบัติของปุ๋ยหมักของกากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก

การศึกษาคุณลักษณะของกากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งศึกษาวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน, ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสด ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ความชื้น, อินทรียวัตถุ, ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง, อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน, ค่าการการนำไฟฟ้า, ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด, ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด, ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด, สารหนู, แคดเมียม, โครเมียม, ทองแดง, ตะกั่ว และปรอท สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ความชื้นของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 59.68, 58.79, 56.62, 59.75, 48.70 และ58.58 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าความชื้นที่ได้จากการทดลองกับมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2540 (ไม่เกิน ร้อยละ 35.40) มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรปี 2548 (ไม่เกิน 35%โดยน้ำหนัก) และมาตรฐานปุ๋ยหมัก 0-35 ดีมาก และ 36-40 ดี พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณค่าความชื้นเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดินปี 2540 และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

2. อินทรียวัตถุของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับร้อยละ 44.83, 53.38, 58.38, 59.011, 56.19 และ60.58 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าอินทรียวัตถุที่ได้จากการทดลองกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่น้อยกว่า 30% โดยน้ำหนัก) พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

3. ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 6.44, 6.30, 5.68, 5.95, 4.81 และ 6.34 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดเป็นด่างของกากตะกอน กก ผักตบชวา และฟางข้าว ที่ได้จากการทดลองกับมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2540 (6.0 - 7.5) และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (5.5-8.5) พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษา ทั้ง 6 ชนิด มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีเพียงขยะสดที่เกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2540 (6.0 - 7.5) และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (5.5-8.5)

4. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 10.92:1, 28.60:1, 24.18:1, 27.49:1, 28.78:1 และ 32.43:1 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ได้จากการทดลองของกากตะกอนกับมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2540 (ไม่เกิน 20:1)มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 20:1) พบว่า กากตะกอนมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนของธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2540 และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

5. ค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 7.43, 6.86, 7.45, 8.46, 6.72 และ 7.25 dS/m ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 6 dS/m) พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีค่าการนำไฟฟ้าเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

6. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวาฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 3.74, 3.62, 3.19, 2.87, 3.12 และ 2.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่น้อยกว่า 1.0% โดยน้ำหนัก) และมาตรฐานปุ๋ยหมัก (เมธี มณีวรรณ, 2542) (>1.0 ดีมาก) อยู่ในช่วงดีมาก พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีค่าไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าว

7. ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอนธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 6.01, 8.19, 6.41, 7.04, 7.26 และ 5.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก) พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรปี 2548 และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมัก (เมธี มณีวรรณ, 2542) ปี 2542 (>0.5 ดีมาก) อยู่ในช่วงดีมาก โดยธูปฤาษี มีค่าโพแทสเซียมทั้งหมดสูงที่สุด

8. ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 2.48, 3.97, 5.60, 3.57, 3.59 และ 5.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดกับมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2540 (ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก) พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และมาตรฐานปุ๋ยหมัก (เมธี มณีวรรณ, 2542) (>1.0 ดีมาก) อยู่ในช่วงดีมาก

9. ปริมาณสารหนูของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 32.40, 6.15, 3.43, 3.98, 4.98 และ 3.54 mg/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารหนูกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 50 mg/kg) พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณสารหนูไม่เกินมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

10. ปริมาณแคดเมียมของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 0.78, 0.67, 0.63, 0.80, 0.58 และ 0.69 mg/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคดเมียมกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 5 mg/kg) พบว่า วัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณแคดเมียมไม่เกินมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

11. ปริมาณโครเมียมของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 579.45, 52.07, 49.49, 51.50, 37.53 และ 47.91 mg/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโครเมียมกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 300 mg/kg) พบว่า มีเพียงกากตะกอนที่มีปริมาณโครเมียมเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 ส่วนวัสดุที่ใช้ อีก 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีปริมาณโครเมียมไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

12. ปริมาณทองแดงของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 53.84, 48.04, 35.59, 42.90, 30.69 และ 50.22 mg/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณทองแดงกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 500 mg/kg) พบว่าวัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณทองแดงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

13. ปริมาณตะกั่วของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 197.71, 16.38, 14.68, 19.70, 12.88 และ 18.26 mg/kg ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกั่วกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 500 mg/kg) พบว่าวัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณตะกั่วอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

14. ปริมาณปรอทของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด คือ กากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด มีค่าเท่ากับ 1.40, 0.55, 0.35, 0.90, 0.16, 0.57 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณปรอทกับมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 (ไม่เกิน 2 mg/kg) พบว่าวัสดุที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณปรอทเกินมาตรฐานของมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548

จากการศึกษาคุณลักษณะของกากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมัก ซึ่งศึกษาวัสดุที่ใช้ในการศึกษา มี 6 ชนิด พบว่า ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ และพบว่าปริมาณธาตุอาหารทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโดยเฉพาะโพแทสเซียม มีปริมาณค่อนข้างสูง จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก แต่ในส่วนของปริมาณโลหะหนักโดยเฉพาะปริมาณโครเมียมที่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ในกากตะกอนที่ใช้ทำงานวิจัย ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมได้มาจากของประเภทของเสียที่เป็นอันตรายและไม่เป็นอันตราย จากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ในเขตจังหวัดระยองมาบำบัด ได้แก่ ตัวทำละลายที่ใช้งานแล้ว, ของเสียประเภทน้ำ น้ำมันหล่อลื่น น้ำมันหล่อเย็น, ของเสียประเภทโลหะ โลหะผสม, เศษจากการบดจากโรงงาน, เถ้าลอยจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า, น้ำเสียจากกระบวนการผลิต และกากตะกอน,ของเสียประเภทที่ประกอบ หรือ มีสารเคมีที่ไม่ได้คุณภาพตามที่กำหนดหรือหมดอายุ, ของเสียประเภทยาง พลาสติกด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge)

2. กระบวนการเปลี่ยนแปลงในการหมักทำปุ๋ยหมักของงานวิจัย

2.1. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่นและขนาดของวัสดุในการหมักทำปุ๋ย

สี กลิ่นและขนาดของวัสดุ เมื่อสิ้นสุดการทดลองสีของกากตะกอนจะเป็นสีดำเข้มขึ้นกว่าเมื่อเริ่มการทดลอง กลิ่นไม่เหม็นมากและมีขนาดเล็กลง ส่วนวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ได้แก่ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสด มีสีน้ำตาลดำ เปลี่ยนจากสีเขียวและเหลืองก่อนเริ่มการทดลอง มีขนาดเล็กลง และเปื่อยยุ่ยแยกออกจากกันได้ง่าย ไม่เป็นเหมือนเมื่อเริ่มการทดลอง

2.2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในการหมักทำปุ๋ย

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในการหมักทำปุ๋ยในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดที่มีอัตราส่วน C/N 25% และ C/N 40% มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 35-40 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 11 วัน และมีอุณหภูมิสูงสุดถึง 42 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 13 วัน จากนั้นอุณหภูมิลดลงเรื่อยๆ จนเมื่อหมักไปได้ 33 วัน จะอยู่ในช่วง 20-25 องศาเซลเซียส เมื่อครบระยะเวลาของการหมัก สาเหตุที่บางช่วงของกราฟมีความไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากสภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงบ่อย

2.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างในการหมักทำปุ๋ย

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างในการหมักทำปุ๋ยในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดที่มีอัตราส่วน C/N 25% และ C/N 40% พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของกากตะกอน ธูปฤาษี กก ผักตบชวา ฟางข้าว และขยะสด เริ่มต้นอยู่ในช่วง 5-6 จากนั้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างภายในถังหมักแต่ละชนิดไม่มีความแตกต่างกันมากนัก

3. การศึกษาอิทธิผลของปัจจัยต่างๆ กับชนิดของวัสดุที่ใช้หมักทำปุ๋ยของงานวิจัย

การศึกษาอิทธิผลของปัจจัยต่างๆ กับชนิดของวัสดุที่ใช้หมักทำปุ๋ยของงานวิจัย พบว่า ผลการเปรียบเทียบสมมติฐานของชนิดวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย ทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ กากตะกอน : กากตะกอน, กากตะกอน : กากตะกอน : ธูปฤาษี, กากตะกอน : กก, กากตะกอน : ผักตบชวา, กากตะกอน : ฟางข้าว และกากตะกอน : ขยะสด มีผลต่อปัจจัยต่างๆ ที่เป็นตัวแปรควบคุม ซึ่งพบว่า ชนิดวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยนี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ต่อตัวแปรควบคุมเกือบทั้งหมดทุกพารามิเตอร์ ได้แก่ ความชื้น, ปริมาณอินทรียวัตถุ, ค่าความเป็นกรด-ด่าง, C/N ratio, ค่าการนำไฟฟ้า, ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด, ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด, ปริมาณ

โพแทสเซียมทั้งหมด, สารหนู, แคดเมียม, โครเมียม, ทองแดง และปรอท ยกเว้นปริมาณตะกั่ว ซึ่งพบว่าชนิดของวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยทั้ง 6 ชนิด มีผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

4. การศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ย

4.1 การศึกษาปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่ระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ40%

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ 40% ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลง ในส่วนการทดสอบอิทธิพลของค่า C/N ratio เริ่มต้น ที่มีต่อค่า C/N ratio พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนการทดสอบอิทธิพลต่อระยะเวลาการทดลองที่มีต่อค่า C/N ratio พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนการทดสอบอิทธิพลของ C/N ratio เริ่มต้น และระยะเวลาการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) เป็นการหาค่าประมาณแบบช่วงของค่า C/N ratio เฉลี่ยแยกตาม C/N ratio เริ่มต้น และระยะเวลาการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะพบว่า C/N ratio เริ่มต้นที่ 25 % ทุกระยะเวลาการทดลอง ค่า C/N ratio เฉลี่ยจะต่ำกว่าค่า C/N ratio เริ่มต้นที่ 40 % ทุกระยะเวลาการทดลอง เนื่องมาจากปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนที่มีอยู่ในวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยจะเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของจุลินทรีย์ จะใช้คาร์บอนเพื่อเป็นแหล่งพลังงานและสร้างเซล ดังนั้นจุลินทรีย์จะต้องได้รับคาร์บอนและไนโตรเจนในสัดส่วนที่พอเหมาะในการดำรงชีวิตและขยายพันธุ์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีความสำคัญมากต่อ nutrient balance ของจุลินทรีย์ทุกชนิด คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานสำคัญสำหรับจุลินทรีย์ และไนโตรเจนมีความจำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์โปรโตพลาสซึม ของเซล ถ้าสัดส่วนคาร์บอนสูงกว่าไนโตรเจนมากจะมีผลทำให้กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ช้าลง จากผลการศึกษาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ในระยะเริ่มต้นของการทดลอง พบว่า มีค่าสูงทุกอัตราส่วน อดิศักดิ์ ทองไข่มุกต์และคณะ (2541) กำหนดอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25-35:1 และ Gotass (1956) กำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมว่ามีค่า 30:1 ถ้ามีค่าสูงกว่านี้จุลินทรีย์จะใช้คาร์บอนเป็นแหล่งอาหารอย่างรวดเร็วและจำเป็นต้องใช้ไนโตรเจนในเวลาเดียวกันด้วย ถ้าหากไนโตรเจนมีน้อยจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ไม่ดีและใช้เวลาหมักนาน แต่ถ้าหากไนโตรเจนมากเกินไปจะทำให้เกิดกลิ่นจากกระบวนการหมักได้ เนื่องจากไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ดังนั้นถ้า

พิจารณาจากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของการทดลองนี้ จะพบว่ามีความเหมาะสม เพราะอยู่ในช่วง 24.18-28.78:1

4.2 การศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่ระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ40%

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ 40% ค่าไนโตรเจนทั้งหมด มีแนวโน้มลดลงจากระยะเวลาเริ่มต้นในการทดลอง ในส่วนการทดสอบอิทธิพลของค่า C/N ratio เริ่มต้นที่มีต่อค่าไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) ส่วนการทดสอบอิทธิพลต่อระยะเวลาการทดลองที่มีต่อค่าไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) ส่วนการทดสอบอิทธิพลของค่า C/N ratio เริ่มต้นและระยะเวลาการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เป็นการหาค่าประมาณแบบช่วงของค่าไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ย แยกตามค่า C/N ratio เริ่มต้น และระยะเวลาการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะพบว่าไนโตรเจนทั้งหมดเริ่มต้นที่ C/N ratio 25 % ทุกระยะเวลาการทดลองค่าไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยจะสูงกว่าค่าไนโตรเจนเริ่มต้นที่ C/N ratio 40 % เนื่องมาจากสารประกอบไนโตรเจนในวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ย จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ เพื่อนำไนโตรเจนไปสร้างส่วนประกอบของเซล เช่น สารโปรตีนและกรดนิวคลีอิค เป็นต้น ไนโตรเจนจึงเป็นธาตุที่สำคัญในการเจริญเติบโต และเพิ่มประชากรของจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนแต่ละรูปแบบการทดลองทางเคมี พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในระยะเริ่มต้นอยู่ระหว่าง ร้อยละ 0.49-0.66 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนในมูลฝอยชุมชนทั่วไปตามที่เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2539) กล่าวว่า ปริมาณไนโตรเจนในมูลฝอยชุมชนทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.2-1.0

4.3 การศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่ระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ40%

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในถังหมักกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ 40% ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด มีแนวโน้มสูงขึ้นจากระยะเวลาเริ่มการทดลองจนถึงระยะเวลาสิ้นสุดการทดลอง โดยกากตะกอนต่อธูปฤาษีมีค่าโพแทสเซียมสูงสุดและกากตะกอนต่อกากตะกอนมีค่าโพแทสเซียมต่ำสุด ในส่วนการทดสอบอิทธิพล

ของค่า C/N ratio เริ่มต้น ที่มีต่อค่าโพแทสเซียมทั้งหมด พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.05) ส่วนการทดสอบอิทธิพลต่อระยะเวลาการทดลองที่มีต่อค่าโพแทสเซียม พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.05) ส่วนการทดสอบอิทธิพลของ C/N ratio เริ่มต้น และระยะเวลาการทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05) การหาค่าประมาณแบบช่วงของค่าโพแทสเซียมทั้งหมดเฉลี่ย แยกตาม C/N ratio เริ่มต้น และระยะเวลาการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะพบว่า C/N ratio เริ่มต้นที่ 25 % ทุกระยะเวลาการทดลองของปริมาณโพแทสเซียม เฉลี่ยจะสูงกว่าค่า C/N ratio เริ่มต้นที่ 40 % เนื่องมาจากโพแทสเซียมไม่ได้เป็นองค์ประกอบใดๆในพืชแต่ทำหน้าที่เป็นประจุบวกที่ไปกระตุ้นการทำงานของน้ำย่อยหลายชนิด โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแป้ง น้ำตาลและโปรตีน ทำหน้าที่เช่นเดียวกับธาตุประจุบวกอื่นๆ ในการดึงน้ำให้มาสู่พืชมากยิ่งขึ้น และลดความเป็นกรดของกรดอินทรีย์ที่พืชผลิตขึ้นมา (ถวิล ครุฑกุล, 2540) โพแทสเซียมในมูลฝอยส่วนใหญ่มาจากพืช มักอยู่ในรูปส่วนที่เป็นของเหลวในพืชผักซึ่งถูกย่อยสลายได้ง่าย เมื่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยถูกย่อยสลายก็จะปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาปนกับน้ำชะปุ๋ยหมัก เมื่อปล่อยน้ำชะปุ๋ยหมักออกจากถังหมัก จึงอาจทำให้สูญเสียโพแทสเซียมออกจากระบบ ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมในปุ๋ยหมักลดลง

4.4 การศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดที่มีผลต่อวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยและระยะเวลาที่ใช้หมักทำปุ๋ยที่ระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ40%

จากการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในถังหมัก กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกับวัสดุที่ใช้ในการหมักทั้ง 5 ชนิด คือ ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว และขยะสดระหว่างอัตราส่วน C/N 25 % และ 40% ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด มีแนวโน้มลดลงจากระยะเวลาเริ่มต้นในการทดลอง และมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อสิ้นสุดระยะเวลา ในส่วนการทดสอบอิทธิพลของค่า C/N ratio เริ่มต้นที่มีต่อค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05) ส่วนการทดสอบอิทธิพลต่อระยะเวลาการทดลองที่มีต่อปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.05) ส่วนการทดสอบอิทธิพลของ C/N ratio เริ่มต้น และระยะเวลาการทดลองพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.05) การหาค่าประมาณแบบช่วงของปริมาณฟอสฟอรัสเฉลี่ย แยกตามC/N เริ่มต้น และระยะเวลาการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จะพบว่า C/N ratio เริ่มต้นที่ 25 % ค่า C/N ratio เฉลี่ยจะต่ำกว่าค่า C/N เริ่มต้นที่ 40 % เนื่องมาจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหนึ่งที่มีความสำคัญต่อจุลินทรีย์ เพราะ ฟอสฟอรัสเกี่ยวข้องกับการสร้างสารประกอบที่ให้พลังงานแก่จุลินทรีย์ เช่น การสร้างสารพลังงานสูง ATP (Adenosine triphosphate)

ในขบวนการหายใจ เป็นต้น ฟอสฟอรัสสามารถพบได้ในพืช จุลินทรีย์ และสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในพืชโดยทั่วไปมีปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 0.05-0.50 ส่วนใหญ่เป็นองค์ประกอบพวก phytin, phospholipids, nucleic acid, nucleoprotein, phosphorylate sugar, co-enzyme และสารอื่นๆ ในซากสัตว์นั้นความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัส คาร์บอนและไนโตรเจน มีค่าประมาณ 100-300:1 และอัตราส่วนของอินทรีย์ไนโตรเจนต่ออินทรีย์ฟอสฟอรัส ประมาณ 5-20:1 นอกจากนี้ พบว่า การแปรสภาพของอินทรีย์ฟอสฟอรัสในสารอินทรีย์ต่างๆ จะแตกต่างกัน คือ nucleic acid จะแปรสภาพได้ง่ายที่สุดและ phytin ยากที่สุด ส่วน lecitin ซึ่งเป็นพวก phospholipids อยู่ในระดับปานกลาง (สมศักดิ์ วังใน, 2528)

จากผลการศึกษาดังกล่าวจะพบว่า อัตราส่วน C/N ratio ที่เหมาะสมคือ C/N ratio 25 % และระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักทำปุ๋ยคือ 60 วัน โดยวัสดุที่ใช้ในการหมักทำปุ๋ยทั้ง 6 สามารถนำมาใช้ในการหมักทำปุ๋ยเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญแก่พืชได้ทั้งปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ปี 2548 โดยพบว่าวัสดุที่ดีที่สุดในการหมักทำปุ๋ย คือ กก ธูปฤาษี และผักตบชวา

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาถึงแนวทางในการกำจัดปริมาณโครเมียมที่มีปริมาณสูงในกากตะกอนก่อนที่จะนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปใช้ประโยชน์ เช่น การปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เป็นต้น

2. ควรมีการนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชชนิดหญ้าหรือไม้ประดับ เพื่อใช้เป็นสนามหญ้า สนามกอล์ฟ และสวนสาธารณะ เพราะมีปริมาณธาตุอาหารสูง ทั้ง ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม แต่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2548. **ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร.

กองปฐพีวิทยา. 2540. **พัฒนาการใช้ปุ๋ยเพื่อพัฒนาการเกษตรอย่างยั่งยืน**. เอกสารวิชาการ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร.

กันยมาส คงรอด. 2546. **ภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนและชานอ้อย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพมหานคร.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. **วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม**. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพมหานคร.

จุฑามาศ รัตนศรีบัวทอง. 2548. **อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนและชานอ้อยในการผลิตปุ๋ยหมัก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารสุขศาสตรมหาบัณฑิต แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. กรุงเทพมหานคร.

ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิโรจน์, พิทยากร ลิ่มทอง, เสียงแจ๋ว วิริยะพฤนต์ และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์. 2535. **ระดับธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมัก**. รายงานวิชาการเรื่องการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ พ.ศ. 2535. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร.

ถวิล ครุฑกุล. 2540. **เกษตรยั่งยืน การใช้ที่ดิน-ปุ๋ย**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์. 2542. **ปุ๋ยหมัก ดินหมัก และปุ๋ยน้ำชีวภาพ:เพื่อการปรับปรุงดินโดยวิธีเกษตรธรรมชาติ**. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพมหานคร.

ธงชัย มาลา. 2546. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ:เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.

นัยนา คุณลักษณ์. 2542. **การใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนในการปรับปรุงคุณภาพดินเปรี้ยวจัด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเอกอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพมหานคร.

ประกาศิต อินทรสำอางค์. 2549. **การแปรสภาพและคุณภาพของปุ๋ยหมักจากฟางข้าวชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษ.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญา ธัญญาดี, พิทยากร ลิ่มทอง และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิโรจน์. 2540. **การผลิตปุ๋ยหมักแบบอุตสาหกรรม**. คู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐ เรื่อง การปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร.

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม, สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์ และอรอนงค์ ผิวนิล. 2542. **การพัฒนาเทคโนโลยีกล่องคอนกรีตเปิดและปิดฝาทำปุ๋ยหมักขยะด้วยวัสดุเสริมและการใช้ดินเป็นตัวรับอิเล็คตรอนช่วยการย่อยสลาย**. โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. เพชรบุรี.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2545. **ปุ๋ยอินทรีย์**. สำนักพิมพ์บ้านและสวน. กรุงเทพมหานคร.

เมธี มณีวรรณ. 2542. **มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก)**. วารสารพัฒนาที่ดิน 36 (374) กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร.

รพีพร จรดล. 2539. **การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มเพื่อเป็นปุ๋ยอินทรีย์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบริหารสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพมหานคร.

เรียมสงวน วรรณยะลา. 2544. **ประสิทธิภาพการย่อยสลายมูลฝอยเป็นปุ๋ยโดยวิธีเติมอากาศจากมูลฝอยชุมชน เทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์, พิทยากร ลิ่มทอง, เสียงแจ๋ว วิริยะพฤนต์ และฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์. 2535. **การผลิตปุ๋ยหมักแบบไร่นา**. รายงานวิชาการเรื่องการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ พ.ศ. 2535. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร.

สมศักดิ์ วังใน. 2528. **จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน**. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, กรุงเทพมหานคร.

เสียงแจ๋ว วิริยะพฤนต์. 2543. **ระดับธาตุอาหารพืชในปุ๋ยหมัก**. รายงานวิชาการเรื่องการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ พ.ศ. 2543. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร.

สุดใจ สุขช่วย. 2533. **การใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยพืชไร่ในดินเปรี้ยวชุดดินรังสิต**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

สุมิตรา ภู่วโรดม. 2532. **ปุ๋ยชีวภาพเพื่อการเกษตร**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร.

อดิศักดิ์ ทองไข่มุกต์, สุณี ปิยะพันธุ์พงศ์, นภวัส บัวสรวง และอิมราน หะยีบากา. 2541. **การจัดการมูลฝอยและสิ่งแวดล้อม**. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร.

อรลัดดา บุญแสน. 2537. **การศึกษาการสร้างเอนไซม์จากจุลินทรีย์อุณหภูมิสูงแยกได้จากปุ๋ยหมักขยะชุมชน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร.

อานุภาพ แก้วกรอง. 2541. **การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหญ้า เศาใบไม้แห้ง และกากตะกอนน้ำเสียด้วยวิธีกองแบบมีการระบายอากาศ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่.

Alexander, M. 1977. **Introduction to Soil Microbiology**. 2nd ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, London.

Chino, M., S. Kanazawa, T. Mori, M. Araragi and B. Kanke. 1983. **Biochemical study on Composting of Municipal Sewage Sludge Mixed with Rice Hull**. Soil Sci. and Plant Nutri.

Htay, R. T. 1980. **Compost Engineering : Principle and Practice**. Technomic Publ. Co. Inc., Lancaster, Pensylvania.

Lardinois, I., Klundert, A. Van.D. 1993. **Organnic Waste**. Amsterdam and Waste Consultants, Gouda.

Leemaharoungruang, S. 1988. **Composting of Municipal Solid Waste by Force Air Aeration**. M.S. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok.

Polprasert, C. 1996. **Organic Waste Recycling**. 2 nd ed., John Wiley and Sons, Inc., Newyork.

Gotass, H. B. 1956. **Composting**. Dept. of Engineering. Univ. of California, Berkelry.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การคำนวณหาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการหมักทำปุ๋ยจากกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1. การคำนวณหาสัดส่วนของกากตะกอนน้ำเสียโรงงานและเศษวัสดุ(ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว, ขยะสด) เพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเป็น 25 และ 40 %

วิธีการคำนวณ

ใช้กากตะกอน = 1 กิโลกรัมต่อน้ำหนักแห้ง

ใช้เศษวัสดุ(ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว, ขยะสด) = X กิโลกรัมต่อน้ำหนักแห้ง

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น = 25 และ 40 %

ข้อมูลสมบัติทางเคมีของกากตะกอนน้ำเสียโรงงานและเศษวัสดุ(ธูปฤาษี, กก, ผักตบชวา, ฟางข้าว, ขยะสด) ได้แสดงดังนี้

ชนิดของวัสดุ	องค์ประกอบไนโตรเจน N (%)	คาร์บอนต่อไนโตรเจน C/N ratio
กากตะกอน	2.11	10.61
ธูปฤาษี	0.82	65
กก	0.8	54
ผักตบชวา	1.6	27
ฟางข้าว	0.8	59
ขยะสด	1.6	32

กากตะกอน C/N = 10.59 , %N = 2.11

สำหรับไนโตรเจน กากตะกอน 100 กิโลกรัม มีไนโตรเจน 2.11 กิโลกรัม

กากตะกอน 1 กิโลกรัม มีไนโตรเจน 2.11/100 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีไนโตรเจน = 0.02 กิโลกรัม

สำหรับคาร์บอน C/N = 10.59/1 = C/0.02 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีคาร์บอน = 0.21 กิโลกรัม

ธูปฤาษี C/N = 58.60 , %N = 0.82

สำหรับไนโตรเจนธูปฤาษี 100 กิโลกรัม มีไนโตรเจน 0.82 กิโลกรัม

ธูปฤาษี X กิโลกรัม มีไนโตรเจน 0.82/100 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีไนโตรเจน = 0.01X กิโลกรัม

สำหรับคาร์บอน C/N = 58.60/1 = C/0.01X กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีคาร์บอน = 0.59X กิโลกรัม

จากเงื่อนไขอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น คือ 25

ดังนั้น (ผลรวมคาร์บอน) / (ผลรวมไนโตรเจน) = (0.21+0.55X) / (0.02+0.01X) = 25

เพราะฉะนั้น X = 0.9 กิโลกรัมต่อน้ำหนักแห้ง

เพราะฉะนั้นเพื่อให้ได้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 25 ต้องใช้อัตราส่วนกากตะกอนต่อธูปฤาษีดังนี้ (100%) ใช้ 1:0.9 , (50%) ใช้ 0.5:0.45 , (25%) ใช้ 0.25:0.23

จากเงื่อนไขอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น คือ40

ดังนั้น (ผลรวมคาร์บอน) / (ผลรวมไนโตรเจน) = (0.21+0.59X) / (0.02+0.01X) 40

เพราะฉะนั้น X = 3.1 กิโลกรัมต่อน้ำหนักแห้ง

เพราะฉะนั้นเพื่อให้ได้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 40 ต้องใช้อัตราส่วนกากตะกอนต่อธูปฤาษีดังนี้ (100%) ใช้ 1:3.1 , (50%) ใช้ 0.5:1.55 , (25%) ใช้ 0.25:0.8

กากตะกอน C/N = 10.59 , %N = 2.11

สำหรับไนโตรเจนกากตะกอน 100 กิโลกรัม มีไนโตรเจน 2.11 กิโลกรัม

กากตะกอน 1 กิโลกรัม มีไนโตรเจน 2.11/100 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้น มีไนโตรเจน = 0.02 กิโลกรัม

สำหรับคาร์บอน C/N = 10.59/1 = C/0.02 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีคาร์บอน = 0.21 กิโลกรัม

กก C/N = 54.65 , %N = 0.8

สำหรับไนโตรเจนกก 100 กิโลกรัม มีไนโตรเจน 0.8 กิโลกรัม

กก X กิโลกรัม มีไนโตรเจน 0.8/100 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีไนโตรเจน = 0.01X กิโลกรัม

สำหรับคาร์บอน C/N = 54.65/1 = C/0.01X กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีคาร์บอน = 0.55X กิโลกรัม

จากเงื่อนไขอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น คือ 25

(ผลรวมคาร์บอน) / (ผลรวมไนโตรเจน) = (0.21+0.55x) / (0.02+0.01x) = 25

เพราะฉะนั้น X = 1 กิโลกรัมต่อน้ำหนักแห้ง

เพราะฉะนั้นเพื่อให้ได้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 40 ต้องใช้อัตราส่วนกากตะกอนต่อกกดังนี้ (100%) ใช้ 1:1 , (50%) ใช้ 0.5:0.5 , (25%) ใช้ 0.25:0.25

จากเงื่อนไขอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น คือ40

(ผลรวมคาร์บอน) / (ผลรวมไนโตรเจน) = (0.21+0.55x) / (0.02+0.01x) = 40

เพราะฉะนั้น X = 3.93 กิโลกรัมต่อน้ำหนักแห้ง

เพราะฉะนั้นเพื่อให้ได้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 40 ต้องใช้อัตราส่วนกากตะกอนต่อกกดังนี้ (100%) ใช้ 1:3.93 , (50%) ใช้ 0.5:1.97 , (25%) ใช้ 0.25:0.98

กากตะกอน C/N = 10.59 , %N = 2.11

สำหรับไนโตรเจน กากตะกอน 100 กิโลกรัม มีไนโตรเจน 2.11 กิโลกรัม

กากตะกอน 1 กิโลกรัม มีไนโตรเจน 2.11/100 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีไนโตรเจน = 0.02 กิโลกรัม

สำหรับคาร์บอน C/N = 10.59/1 = C/0.02 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีคาร์บอน = 0.21 กิโลกรัม

ผักตบชวา C/N 27.36 , %N 1.6

สำหรับไนโตรเจนผักตบชวา 100 กิโลกรัม มีไนโตรเจน 1.6 กิโลกรัม

ผักตบชวา X กิโลกรัม มีไนโตรเจน 1.6/100 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีไนโตรเจน = 0.02X กิโลกรัม

สำหรับคาร์บอน C/N = 27.36/1 = C/0.02X กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีคาร์บอน = 0.55X กิโลกรัม

จากเงื่อนไขอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น คือ 25

(ผลรวมคาร์บอน) / (ผลรวมไนโตรเจน) = (0.21+0.55X) / (0.02+0.02X) = 25

เพราะฉะนั้น X = 5.8 กิโลกรัมต่อน้ำหนักแห้ง

เพราะฉะนั้นเพื่อให้ได้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 25 ต้องใช้อัตราส่วนกากตะกอนต่อผักตบชวาดังนี้ (100%) ใช้ 1:5.8 , (50%) ใช้ 0.5:2.9 , (25%) ใช้ 0.25:1.45

จากเงื่อนไขอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น คือ40

(ผลรวมคาร์บอน) / (ผลรวมไนโตรเจน) = (0.21+0.55x) / (0.02+0.02x) = 40

เพราะฉะนั้น X = 2.4 กิโลกรัมต่อน้ำหนักแห้ง

เพราะฉะนั้นเพื่อให้ได้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 40 ต้องใช้อัตราส่วนกากตะกอนต่อผักตบชวาดังนี้ (100%) ใช้ 1:2.4 , (50%) ใช้ 0.5:1.2 , (25%) ใช้ 0.25:0.6

กากตะกอน C/N 10.59 , %N 2.11

สำหรับไนโตรเจน กากตะกอน 100 กิโลกรัม มีไนโตรเจน 2.11 กิโลกรัม

กากตะกอน 1 กิโลกรัม มีไนโตรเจน 2.11/100 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีไนโตรเจน = 0.02 กิโลกรัม

สำหรับคาร์บอน C/N = 10.59/1 = C/0.02 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีคาร์บอน = 0.21 กิโลกรัม

ฟางข้าว C/N 59.03 , %N 0.08

สำหรับไนโตรเจนฟางข้าว 100 กิโลกรัม มีไนโตรเจน 0.8 กิโลกรัม

ฟางข้าว X กิโลกรัม มีไนโตรเจน 0.8/100 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีไนโตรเจน = 0.01X

สำหรับคาร์บอน C/N = 59.03/1 = C/0.01X กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีคาร์บอน = 0.59X กิโลกรัม

จากเงื่อนไขอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น คือ 25

(ผลรวมคาร์บอน) / (ผลรวมไนโตรเจน) = (0.21+0.59x) / (0.02+0.01x) = 25

เพราะฉะนั้น X = 0.9 กิโลกรัมต่อน้ำหนักแห้ง

เพราะฉะนั้นเพื่อให้ได้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 25 ต้องใช้อัตราส่วนกากตะกอนต่อฟางข้าวดังนี้ (100%) ใช้ 1:0.9 , (50%) ใช้ 0.5:0.45 , (25%) ใช้ 0.25:0.23

จากเงื่อนไขอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น คือ 40

(ผลรวมคาร์บอน) / (ผลรวมไนโตรเจน) = (0.21+0.59x) / (0.02+0.01x) 40

เพราะฉะนั้น X = 3.1 กิโลกรัมต่อน้ำหนักแห้ง

เพราะฉะนั้นเพื่อให้ได้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 40 ต้องใช้อัตราส่วนกากตะกอนต่อฟางข้าวดังนี้ (100%) ใช้ 1:3.1 , (50%) ใช้ 0.5:1.55 , (25%) ใช้ 0.25:0.78

กากตะกอน C/N 10.59 , %N 2.11

สำหรับไนโตรเจน กากตะกอน 100 กิโลกรัม มีไนโตรเจน 2.11 กิโลกรัม

กากตะกอน 1 กิโลกรัม มีไนโตรเจน 2.11/100 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีไนโตรเจน = 0.02 กิโลกรัม

สำหรับคาร์บอน C/N = 10.59/1 = C/0.02 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีคาร์บอน = 0.21 กิโลกรัม

ขยะสด C/N 32.11 , %N 1.6

สำหรับไนโตรเจนขยะสด 100 กิโลกรัม มีไนโตรเจน 1.6 กิโลกรัม

ฟางข้าว X กิโลกรัม มีไนโตรเจน 1.6/100 กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีไนโตรเจน = 0.02X

สำหรับคาร์บอน C/N = 32.1/1 = C/0.02X กิโลกรัม

เพราะฉะนั้นมีคาร์บอน = 0.64X กิโลกรัม

จากเงื่อนไขอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น คือ 25

(ผลรวมคาร์บอน) / (ผลรวมไนโตรเจน) = (0.21+0.64x) / (0.02+0.02x) 25

เพราะฉะนั้น X = 2.1 กิโลกรัมต่อน้ำหนักแห้ง

เพราะฉะนั้นเพื่อให้ได้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 25 ต้องใช้อัตราส่วนกากตะกอนต่อขยะสดดังนี้ (100%) ใช้ 1:2.1 , (50%) ใช้ 0.5:1.05 , (25%) ใช้ 0.25:0.53

จากเงื่อนไขอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น คือ 40

(ผลรวมคาร์บอน) / (ผลรวมไนโตรเจน) = (0.21+0.64x) / (0.02+0.02x) 40

เพราะฉะนั้น X = 3.7 กิโลกรัมต่อน้ำหนักแห้ง

เพราะฉะนั้นเพื่อให้ได้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 40 ต้องใช้อัตราส่วนกากตะกอนต่อขยะสดดังนี้ (100%) ใช้ 1:3.7 , (50%) ใช้ 0.5:1.85 , (25%) ใช้ 0.25:0.93

ภาคผนวก ข

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดเป็นด่างในการหมักทำปุ๋ย

ตารางภาคผนวก ที่ 1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังหมักเริ่มต้นที่ 25 : 1

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	องศาเซลเซียส (^{0}C)					
	กากตะกอนน้ำเสีย	ฟางข้าว	ขยะ	ผักตบชวา	ธูปฤาษี	กก
1	32	32	32	32	32	32
2	32	32	33	32	32	32
3	38	37	37	37	37	37
4	37	37	38	37	37	37
5	38	39	39	39	38	38
6	37	38	38	38	38	38
7	39	39	38	39	38	39
8	39	39	39	39	39	39
9	38	39	38	39	39	39
10	39	39	39	39	39	39
11	40	40	40	40	40	40
12	41	41	41	41	41	41
13	42	42	42	42	42	42
14	40	40	40	40	40	40
15	39	39	39	39	39	39
16	38	38	37	38	38	38
17	37	37	36	37	37	37
18	35	35	36	35	35	35
19	24	34	35	34	34	34
20	30	30	30	30	30	30
21	31	31	31	31	31	31
22	30	30	30	30	30	30
23	29	29	29	29	29	29
24	28	28	28	28	28	27
25	29	29	29	29	29	29
26	27	27	27	27	27	27
27	25	25	25	25	25	25
28	26	26	26	26	26	26
29	25	25	25	25	25	25

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	องศาเซลเซียส (^{0}C)					
	กากตะกอนน้ำเสีย	ฟางข้าว	ขยะ	ผักตบชวา	ธูปฤาษี	กก
30	24	24	24	24	24	24
31	23	25	25	24	23	23
32	23	23	23	23	24	22
33	24	24	23	23	23	23
34	25	22	23	25	24	23
35	23	21	22	23	24	21
36	24	22	22	24	23	24
37	22	22	24	23	22	23
38	23	23	24	23	24	23
39	21	23	23	24	24	23
40	24	24	23	24	24	23
41	25	25	22	24	23	24
42	24	25	22	23	23	25
43	24	23	21	23	23	22
44	23	21	23	24	22	23
45	23	23	23	24	21	23
46	23	22	24	23	23	22
47	22	23	21	23	24	21
48	21	21	25	24	21	21
49	23	23	23	23	22	22
50	21	22	24	24	23	24
51	22	22	24	23	22	24
52	23	23	23	22	23	23
53	21	22	22	22	24	23
54	23	23	23	23	23	23
55	22	24	22	21	21	23
56	23	24	24	24	24	22
57	24	25	23	23	22	23
58	25	24	21	21	21	23
59	23	22	22	22	22	23
60	22	22	23	24	24	24

ตารางภาคผนวกที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังหมักเริ่มต้นที่ 40 : 1

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	องศาเซลเซียส (^{0}C)					
	กากตะกอนน้ำเสีย	ฟางข้าว	ขยะ	ผักตบชวา	ธูปฤาษี	กก
1	30	30	30	30	30	30
2	32	32	32	32	32	32
3	37	37	37	37	37	37
4	37	37	37	37	37	37
5	38	38	38	38	38	38
6	38	38	38	38	38	38
7	38	37	38	38	38	38
8	39	39	39	39	39	39
9	39	39	39	39	39	39
10	39	39	39	39	39	39
11	40	40	41	40	40	40
12	41	41	42	41	41	41
13	42	42	42	42	42	42
14	43	43	43	43	43	43
15	44	44	44	44	44	44
16	42	42	42	42	42	42
17	41	41	41	41	41	41
18	39	39	39	38	39	39
19	38	38	38	37	38	38
20	36	36	36	36	37	36
21	34	33	34	34	35	34
22	31	32	32	32	33	33
23	28	29	29	28	29	28
24	26	27	27	28	27	27
25	26	26	25	26	26	26
26	28	29	28	28	29	28
27	28	29	28	28	29	28
28	28	29	28	28	28	29
29	28	29	28	29	28	28

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	องศาเซลเซียส (^{0}C)					
	กากตะกอนน้ำเสีย	ฟางข้าว	ขยะ	ผักตบชวา	ฐูปฤาษี	กก
30	28	28	28	28	28	28
31	27	27	27	25	26	26
32	26	26	26	25	26	26
33	25	27	27	26	25	25
34	27	26	26	25	26	26
35	26	25	25	26	25	25
36	25	25	26	25	26	24
37	25	25	27	26	24	26
38	26	24	25	24	26	25
38	24	25	25	25	26	26
40	26	26	27	25	26	25
41	25	24	26	27	25	25
42	25	26	25	26	25	24
43	26	25	25	26	26	25
44	23	25	24	24	25	26
45	26	24	24	26	25	26
46	25	24	23	25	24	25
47	26	26	25	27	25	25
48	25	24	24	26	26	25
49	25	25	25	25	24	25
50	24	25	24	25	25	26
51	26	25	24	26	24	24
52	25	24	23	26	24	24
53	26	24	25	25	24	25
54	24	24	24	24	26	26
55	24	24	25	25	25	25
56	23	25	24	25	25	25
57	23	25	24	24	24	25
58	25	24	26	24	24	24
59	24	24	23	25	24	24
60	23	23	24	24	23	24

ตารางภาคผนวกที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ยแต่ละวันภายในถังหมักเริ่มต้นที่ 25 : 1

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง					
	กากตะกอนน้ำเสีย	ฟางข้าว	ขยะ	ผักตบชวา	ธูปฤาษี	กก
1	6	5.8	5.8	5.8	5	5.6
2	6.2	6	6.2	5.8	5.6	5.6
3	6.4	6.4	6.4	6.2	6.2	6.2
4	6.6	6.6	6.4	6.2	6	6
5	6	6	6	6	5.6	5.8
6	5.8	6.2	5.6	6	5.8	5.8
7	6.2	6.4	6.2	5.6	6.2	6.2
8	6.1	6	6.2	6.2	6	6.2
9	6.4	6.2	6.2	6.2	5.6	5.8
10	5.4	6	6.4	6	4.8	5.6
11	6.4	6.2	5.6	5.4	5.8	6
12	5.8	5.8	6.2	6.2	5.2	5.6
13	6.2	6	5.8	5.8	6	6
14	6	6.2	6	6	6.2	6
15	6.2	6.4	6.2	6	6	6
16	6.2	6.2	6.2	6	6	6
17	6	6	6	6.2	6	6
18	6	6.2	6	6	6.2	6.2
19	6.4	6	6	6.2	6	6
20	6	6.4	6.4	6	6.2	6.2
21	6.4	6	6.2	6.2	6	6.4
22	6	6.2	6	6.4	6.2	6.4
23	6	6.2	6	6.2	6.4	6.4
24	6.8	6.4	6.6	6.4	6	6.2
25	6	6	6	6	6.4	6.2
26	6.2	6.2	6.4	6.4	6.6	6.4
27	6.8	6.8	6.8	6.6	6.2	6.4
28	6.6	6.4	6.4	6.2	6	6
29	6.4	6.4	6.6	6.4	6	6.2

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง					
	กากตะกอนน้ำเสีย	ฟางข้าว	ขยะ	ผักตบชวา	ฐูปฤาษี	กก
30	6.6	6.4	6.4	6	6	6
31	6.8	6.8	6.6	6.4	6.6	6.2
32	6.4	6.4	6.6	6.8	6.8	6.4
33	7	6.8	7	6.6	7.2	6.6
34	7.6	7	7.4	6.8	7.2	6.8
35	7.8	7	7.2	7	7	6.8
36	6.8	6.6	6.4	7.2	7.4	7
37	6.6	6.8	7	7.2	7.6	7.2
38	7.2	6.6	6.8	7	7.6	7.4
39	7.4	7	7.2	7.4	6.8	7.6
40	6.8	6.4	6.6	7.8	6.8	7.8
41	7.2	6.6	6.8	7.2	6.8	7
42	7.4	7	7.2	7	6.8	6.6
43	6.8	6.8	6.6	7	7	6.8
44	6.8	7	7	6.8	7	6.4
45	7.4	7.2	7.2	6.6	7.2	7
46	7.8	7	7.6	6.4	7.4	7.2
47	6.8	6.8	6.6	6.8	7.4	7
48	6.8	6	6.8	6.6	7.6	7.4
49	7.8	7	7	7.2	7	7.6
50	7.6	7.2	7.2	7.4	6.8	7
51	7.4	7.4	7.4	7.6	6.6	7
52	7.2	7.6	6.8	7.8	6.8	6.8
53	7	6.4	6.6	6.8	7.2	6.8
54	6.8	6.4	6.8	6.6	7.4	7
55	6.6	6.6	6.4	6.4	7.4	6.6
56	6.4	6.8	6.6	6.6	7.6	6.6
57	6.2	6.6	7	6.8	7.8	7.2
58	7	6.8	6.8	7	6.8	7.4
59	7.2	7	7.2	7.4	6.6	7
60	7.4	7	7.4	7.6	7	7

ตารางภาคผนวกที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ยแต่ละวันภายในถังหมักเริ่มต้นที่ 40 : 1

ระยะเวลาการหมัก (วัน)	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง					
	กากตะกอนน้ำเสีย	ฟางข้าว	ขยะ	ผักตบชวา	ธูปฤาษี	กก
1	6.2	5.8	5.8	5.8	5	5.6
2	6.4	6.2	6.2	5.8	5.6	5.8
3	6.4	6.4	6.4	6.2	6.2	6.2
4	6.6	6.6	6.4	6.2	6	6.2
5	6.6	6.2	6.2	6	5.6	5.8
6	5.8	6.2	6.6	6.2	6	6
7	6.2	6.4	6.2	6.4	6.2	6.2
8	6.2	6.2	6.4	6.2	6	6.2
9	6.4	6.2	6.2	6.2	5.6	5.8
10	5.4	6	6.4	6	4.8	5.6
11	6.4	6.2	6.6	5.4	5.8	6
12	5.8	5.8	6.4	6.2	5.2	5.6
13	6.2	6	6.8	5.8	6	6
14	6	6.2	6.2	6	6.2	6
15	6.2	6.4	6.2	6	6.2	6
16	6.4	6.2	6.4	6	6	6
17	6.4	6.2	6.4	6.2	6.2	6
18	6.2	6.2	6.2	6	6.2	6.2
19	6.4	6.2	6.2	6.2	6	6
20	6.6	6.4	6.6	6.4	6.2	6.2
21	6.4	6	6.4	6.2	6	6.4
22	6	6.2	6.2	6.4	6.2	6.4
23	6	6.2	6.2	6.2	6.4	6.4
24	6.8	6.4	6.8	6.4	6.2	6.2
25	6	6	6.2	6.2	6.4	6.2
26	6.2	6.2	6.4	6.4	6.6	6.4
27	6.8	6.8	6.8	6.7	6.2	6.4
28	6.6	6.4	6.6	6.2	6	6
29	6.6	6.4	6.6	6.4	6	6.3

ระยะเวลา	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง					
การหมัก (วัน)	กากตะกอนน้ำเสีย	ฟางข้าว	ขยะ	ผักตบชวา	ฐูปฤาษี	กก
30	6.6	6.4	6.6	6.2	6.2	6.2
31	6.6	7	7.2	6.8	6.4	6.6
32	6.8	6.6	6.8	6.4	6	6.2
33	6.6	7.4	6.8	7.2	6.8	7
34	6.4	6.6	6.8	6.6	7	6.8
35	7	6.6	6.8	6.8	7.2	7
36	7.2	7	7	7.2	7.4	7.2
37	6.6	7	6.8	7.2	7.6	7.4
38	6.8	6.6	7	6.8	7.8	6.8
39	6.6	6.6	6.8	6.8	6.8	7
40	6.8	7	7	6.8	6.6	6.8
41	7.2	7	7.2	6.8	6.4	6.6
42	7.4	7	7.2	6.8	6.6	6.6
43	7.2	6.8	7	6.6	7	6.8
44	6.2	6.6	6.4	6.8	7.2	7
45	6.6	6.8	6.8	7.8	7.4	7.6
46	7.2	6.8	7	7	7.8	6.8
47	7	6.8	7	7	6.8	6.6
48	6.8	7	6.8	6.8	6.6	6.4
49	6.8	7	6.8	6.6	6.8	6.2
50	6.6	6.6	6.4	6.4	7.2	6
51	6.4	6.2	6.4	6	7	6
52	6.2	6.2	6	6	6.4	6.2
53	6	6.8	7	6.6	6.6	6.4
54	6.8	7	6.8	6.8	6.8	6.6
55	6.6	7.2	7	7	7	6.8
56	6.4	6.8	7	7.2	7.2	7
57	7.2	6.8	7	7.4	7.4	7.2
58	7.4	7	6.8	7.6	7.6	7.4
59	7.4	7	7.2	6.8	6.8	7
60	7.6	7	7.2	6.8	6.8	7

ภาคผนวก ค

ข้อมูลของปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องในการหมักทำปุ๋ยกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และวัสดุที่ใช้ของอัตราส่วน C/N 25% และ 40 % ที่ระยะเวลา 7,15 ,30, 45 และ 60 วัน

ตารางภาคผนวกที่ 5 ค่าอัตราสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 25 : 1 ระยะเวลา 7 วัน

สมบัติต่างๆ	ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 25 : 1 ระยะเวลา 7 วัน																		มาตรฐาน
	กากตะกอน:กากตะกอน			กากตะกอน:ชูปฤาษี			กากตะกอน:กก			กากตะกอน:ผักตบชวา			กากตะกอน:ฟางข้าว			กากตะกอน:ขยะ			
ความชื้น (%)	-	-	71.00	-	-	72.30	-	-	74.20	-	-	68.90	-	-	63.70	-	-	76.00	ไม่เกิน 35 % โดยน้ำหนัก
OM	50.14	50.13	50.20	40.14	40.13	40.20	56.90	57.01	56.10	58.90	58.11	58.10	55.12	55.16	55.14	57.90	58.11	58.00	³ 30 % โดยน้ำหนัก
pH	4.01	4.01	4.01	4.62	4.66	4.64	4.68	4.68	4.68	4.02	4.02	4.02	4.10	4.10	4.10	4.14	4.16	4.15	ระหว่าง 5.5 – 8.5
C : N	12.30	12.01	12.31	16.21	16.22	16.43	14.03	14.09	14.07	19.10	19.10	19.10	20.18	20.22	20.20	28.17	28.15	28.16	ไม่เกิน 20:1
การนำไฟฟ้า	7.00	7.00	7.00	6.11	6.12	6.12	6.03	6.07	6.05	7.21	7.25	7.23	6.17	6.13	6.15	6.00	6.00	6.00	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
% N	3.10	3.00	3.20	3.32	3.29	3.35	3.20	3.22	3.21	2.61	2.63	2.62	2.40	2.40	2.40	2.34	2.32	2.33	³ 1.0 % โดยน้ำหนัก
% P	2.00	2.10	2.10	0.31	0.32	0.33	4.20	4.22	4.21	2.27	2.29	2.28	2.13	2.17	2.15	2.38	2.38	2.38	³0.5 % โดยน้ำหนัก
% K	5.70	5.80	5.80	6.21	6.25	6.23	5.60	5.62	5.61	6.15	6.13	6.14	5.28	5.22	5.25	4.60	4.61	4.62	³ 0.5 % โดยน้ำหนัก

ตารางภาคผนวกที่ 6 ค่าอัตราสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 25 : 1 ระยะเวลา 15วัน

สมบัติต่างๆ	ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 25 : 1 ระยะเวลา 15 วัน																		มาตรฐาน
	กากตะกอน:กากตะกอน			กากตะกอน:ชูปฤาษี			กากตะกอน:กก			กากตะกอน:ผักตบชวา			กากตะกอน:ฟางข้าว			กากตะกอน:ขยะ			
ความชื้น (%)	-	-	75.68	-	-	68.99	-	-	62.97	-	-	75.30	-	-	70.62	-	-	61.38	ไม่เกิน 35 % โดยน้ำหนัก
OM	43.30	41.20	42.30	36.50	35.60	36.10	42.30	41.20	41.80	38.60	36,80	38.60	31.20	34.00	32.60	43.30	42.30	42.80	³ 30 % โดยน้ำหนัก
pH	6.80	6.60	6.71	6.60	6.30	6.46	6.20	6.60	6.40	6.30	6.40	6.37	6.20	6.50	6.35	6.80	7.10	6.92	ระหว่าง 5.5 – 8.5
C : N	10.48	10.31	10.40	12.65	12.43	12.54	13.89	13.07	13.48	15.23	16.69	15.96	18.44	17.60	18.02	7.58	7.09	7.34	ไม่เกิน 20:1
การนำไฟฟ้า	5.56	5.36	5.46	4.12	4.20	4.16	4.06	4.07	4.07	4.25	4.18	4.22	3.97	3.89	3.93	5.02	5.11	5.07	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
% N	2.30	2.35	2.33	2.15	2.40	2.28	1.96	1.94	1.95	2.54	2.47	5.01	1.65	1.78	1.72	2.26	2.42	2.34	³ 1.0 % โดยน้ำหนัก
% P	0.11	0.02	0.06	0.23	0.22	0.23	0.43	0.50	0.47	0.62	0.58	0.60	0.37	0.35	0.36	0.32	0.40	0.36	³0.5 % โดยน้ำหนัก
% K	3.78	4.54	4.00	4.65	5.55	5.20	4.02	4.56	4.20	4.78	5.34	5.25	4.11	4.17	4.14	4.21	4.23	4.22	³ 0.5 % โดยน้ำหนัก

ตารางภาคผนวกที่ 7 ค่าอัตราสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 25 : 1 ระยะเวลา 30 วัน

สมบัติต่างๆ	ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 25 : 1 ระยะเวลา 30 วัน																		มาตรฐาน
	กากตะกอน:กากตะกอน			กากตะกอน:ธูปฤาษี			กากตะกอน:กก			กากตะกอน:ผักตบชวา			กากตะกอน:ฟางข้าว			กากตะกอน:ขยะ			
ความชื้น (%)	-	-	50.64	-	-	66.34	-	-	75.49	-	-	78.04	-	-	69.25	-	-	53.10	ไม่เกิน 35 % โดยน้ำหนัก
OM	50.80	59.3	55.05	56.5	50.3	53.4	57.3	56.6	56.95	53.6	58.6	56.1	43.6	42.7	43.15	49.6	48.5	49.05	³ 30 % โดยน้ำหนัก
pH	6.70	6.60	6.60	6.70	6.70	6.70	6.50	6.60	6.50	6.80	6.60	6.70	6.90	6.90	6.90	7.00	7.00	7.00	ระหว่าง 5.5 – 8.5
C : N	10.14	10.48	10.31	11.17	9.75	10.46	17.08	16.9	16.99	10.46	18.79	14.62	18.79	19.42	19.10	7.70	7.86	7.78	ไม่เกิน 20:1
การนำไฟฟ้า	5.41	5.39	5.40	4.08	4.02	4.05	3.98	4.03	4.00	4.14	4.11	4.125	4.01	3.95	3.98	4.87	4.76	4.82	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
% N	2.17	2.10	2.14	2.10	1.98	2.04	1.81	1.83	1.82	2.33	2.35	2.34	1.68	1.62	1.65	2.41	2.36	2.38	³ 1.0 % โดยน้ำหนัก
% P	0.12	0.10	0.11	0.45	0.47	0.46	0.62	0.68	0.65	0.66	0.58	0.62	0.3	0.28	0.29	0.24	0.26	0.25	³0.5 % โดยน้ำหนัก
% K	2.90	3.10	3.20	3.45	4.01	4.32	2.98	3.01	3.23	3.99	4.30	4.20	0.13	0.21	0.17	3.26	3.27	3.26	³ 0.5 % โดยน้ำหนัก

ตารางภาคผนวกที่ 8 ค่าอัตราสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 25 : 1 ระยะเวลา 45 วัน

สมบัติต่างๆ	ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 25 : 1 ระยะเวลา 45 วัน																		มาตรฐาน
	กากตะกอน:กากตะกอน			กากตะกอน:ธูปฤาษี			กากตะกอน:กก			กากตะกอน:ผักตบชวา			กากตะกอน:ฟางข้าว			กากตะกอน:ขยะ			
ความชื้น (%)	-	-	60.78	-	-	53.40	-	-	70.34	-	-	66.17	-	-	46.20	-	-	47.80	ไม่เกิน 35 % โดยน้ำหนัก
OM	48.90	49.20	49.05	53.40	54.80	54.10	52.70	51.30	52.00	54.30	52.20	53.25	53.40	52.60	53.00	52.30	51.10	51.70	³ 30 % โดยน้ำหนัก
pH	6.81	7.04	6.92	6.70	6.99	6.84	6.93	6.81	6.87	6.86	6.77	6.82	7.09	6.99	7.04	6.33	6.90	6.62	ระหว่าง 5.5 – 8.5
C : N	10.44	10.19	10.32	12.15	12.61	12.38	12.17	12.03	12.10	14.09	12.96	13.52	24.96	24.59	24.78	7.62	7.21	7.42	ไม่เกิน 20:1
การนำไฟฟ้า	4.74	4.78	4.76	3.69	3.71	3.70	3.78	3.72	3.75	3.81	3.75	3.78	3.63	3.71	3.67	4.15	4.23	4.19	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
% N	2.00	2.05	2.02	1.88	1.84	1.86	1.81	1.83	1.82	1.71	1.86	1.78	1.25	1.27	1.26	2.18	2.18	2.18	³ 1.0 % โดยน้ำหนัก
% P	0.09	0.12	0.10	0.48	0.47	0.48	0.57	0.61	0.59	0.63	0.60	0.62	0.47	0.45	0.46	0.25	0.26	0.26	³0.5 % โดยน้ำหนัก
% K	1.98	2.09	2.10	2.76	3.45	3.55	1.99	2.48	2.45	3.54	3.47	3.51	3.36	3.41	3.38	2.28	2.35	2.32	³ 0.5 % โดยน้ำหนัก

ตารางภาคผนวกที่ 9 ค่าอัตราสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 25 : 1 ระยะเวลา 60 วัน

สมบัติต่างๆ	ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 25 : 1 ระยะเวลา 60 วัน																		มาตรฐาน
	กากตะกอน:กากตะกอน			กากตะกอน:ธูปฤาษี			กากตะกอน:กก			กากตะกอน:ผักตบชวา			กากตะกอน:ฟางข้าว			กากตะกอน:ขยะ			
ความชื้น (%)	-	-	51.40	-	-	52.30	-	-	48.15	-	-	46.20	-	-	41.00	-	-	43.20	ไม่เกิน 35 % โดยน้ำหนัก
OM	40.12	40.08	40.10	42.00	51.00	46.50	45.40	50.90	48.15	46.15	46.25	46.20	39.15	42.85	41.00	42.59	43.81	43.20	³ 30 % โดยน้ำหนัก
pH	6.50	6.50	6.50	6.40	6.30	6.40	6.50	6.60	6.58	6.05	6.03	6.04	6.90	7.00	6.90	6.90	6.90	6.98	ระหว่าง 5.5 – 8.5
C : N	9.96	10.54	10.25	14.88	16.22	15.55	14.23	18.07	16.15	17.90	19.10	18.50	11.88	13.12	12.50	8.93	12.67	10.80	ไม่เกิน 20:1
การนำไฟฟ้า	3.20	55.80	4.50	4.85	4.35	4.60	3.60	4.50	4.05	3.40	4.90	4.15	4.93	4.69	4.81	4.97	4.83	4.90	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
% N	2.35	2.85	2.60	2.78	2.02	2.40	2.60	2.40	2.50	1.89	2.81	2.35	1.96	2.24	2.10	2.93	2.77	2.85	³ 1.0 % โดยน้ำหนัก
% P	0.25	0.05	0.15	0.36	0.54	0.45	0.54	0.52	0.53	0.36	0.44	0.40	0.29	0.31	0.30	0.23	0.17	0.20	³0.5 % โดยน้ำหนัก
% K	1.94	2.66	2.30	2.89	2.21	2.55	1.79	2.91	2.35	2.48	2.82	2.65	2.40	2.60	2.50	2.01	2.19	2.10	³ 0.5 % โดยน้ำหนัก

ตารางภาคผนวกที่ 10 ค่าอัตราสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 40 : 1 ระยะเวลา 7 วัน

สมบัติต่างๆ	ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 40 : 1 ระยะเวลา 7 วัน																		มาตรฐาน
	กากตะกอน:กากตะกอน			กากตะกอน:ธูปฤาษี			กากตะกอน:กก			กากตะกอน:ผักตบชวา			กากตะกอน:ฟางข้าว			กากตะกอน:ขยะ			
ความชื้น (%)	-	-	65.88	-	-	26.64	-	-	65.93	-	-	66.74	-	-	78.31	-	-	60.61	ไม่เกิน 35 % โดยน้ำหนัก
OM	45.85	45.66	45.76	55.78	55.60	55.71	54.78	54.66	54.72	52.45	52.32	52.40	42.33	42.24	42.29	48.64	48.59	48.62	³ 30 % โดยน้ำหนัก
pH	6.60	6.40	6.50	6.10	6.20	6.20	6.30	6.30	6.30	6.50	6.50	6.50	6.60	6.60	6.60	6.20	6.30	6.30	ระหว่าง 5.5 – 8.5
C : N	38.56	38.54	38.56	36.39	36.42	36.41	36.22	36.24	36.23	35.66	35.68	35.67	36.25	36.30	36.28	38.20	38.24	38.22	ไม่เกิน 20:1
การนำไฟฟ้า	6.01	6.01	6.01	5.33	5.34	5.34	5.12	5.12	5.12	5.01	5.04	5.03	4.97	4.97	4.97	5.66	5.66	5.66	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
% N	2.36	2.40	2.38	2.27	2.46	2.37	2.54	2.49	2.52	2.22	2.24	2.23	2.17	2.13	2.15	2.23	2.26	2.25	³ 1.0 % โดยน้ำหนัก
% P	0.13	0.14	0.14	0.61	0.56	0.59	0.57	0.54	0.56	0.85	0.83	0.84	0.63	0.62	0.63	0.37	0.34	0.36	³0.5 % โดยน้ำหนัก
% K	0.03	0.04	0.04	0.24	0.27	0.26	0.12	0.15	0.14	0.27	0.28	0.28	0.09	0.11	0.10	0.08	0.06	0.07	³ 0.5 % โดยน้ำหนัก

ตารางภาคผนวกที่ 11 ค่าอัตราสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 40 : 1 ระยะเวลา 15 วัน

สมบัติต่างๆ	ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 40 : 1 ระยะเวล 15 วัน																		มาตรฐาน
	กากตะกอน:กากตะกอน			กากตะกอน:ธูปฤาษี			กากตะกอน:กก			กากตะกอน:ผักตบชวา			กากตะกอน:ฟางข้าว			กากตะกอน:ขยะ			
ความชื้น (%)	-	-	50.69	-	-	75.5	-	-	76.23	-	-	74.99	-	-	74.41	-	-	56.13	ไม่เกิน 35 % โดยน้ำหนัก
OM	40.63	40.42	40.525	45.23	45.33	45.28	43.76	43.63	43.695	45.36	45.21	45.28	39.65	39.37	39.51	46.44	46.26	46.35	³ 30 % โดยน้ำหนัก
pH	6.70	6.70	6.70	6.30	6.30	6.30	6.40	6.40	6.40	6.50	6.60	6.55	6.90	6.90	6.90	6.50	6.40	6.45	ระหว่าง 5.5 – 8.5
C : N	33.17	33.16	33.15	32.14	32.14	32.14	31.06	31.08	31.07	33.22	33.29	33.26	29.53	29.55	29.54	36.08	36.07	36.08	ไม่เกิน 20:1
การนำไฟฟ้า	5.87	5.90	5.89	5.03	5.05	5.04	4.61	4.61	4.61	4.95	4.99	4.97	4.68	4.69	4.68	4.80	4.85	4.82	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
% N	2.28	2.32	2.30	2.18	2.13	2.16	2.28	2.39	2.34	2.04	2.08	2.06	2.08	2.06	2.07	1.97	1.98	1.98	³ 1.0 % โดยน้ำหนัก
% P	0.14	0.14	0.14	0.60	0.58	0.59	0.66	0.67	0.67	0.84	0.82	0.83	0.61	0.62	0.62	0.38	0.40	0.39	³0.5 % โดยน้ำหนัก
% K	0.12	0.11	0.12	0.38	0.35	0.37	0.29	0.29	0.29	0.31	0.32	0.32	0.23	0.21	0.22	0.12	0.12	0.12	³ 0.5 % โดยน้ำหนัก

ตารางภาคผนวกที่ 12 ค่าอัตราสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 40 : 1 ระยะเวลา 30 วัน

สมบัติต่างๆ	ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 40 : 1 ระยะเวลา 30 วัน																		มาตรฐาน
	กากตะกอน:กากตะกอน			กากตะกอน:ธูปฤาษี			กากตะกอน:กก			กากตะกอน:ผักตบชวา			กากตะกอน:ฟางข้าว			กากตะกอน:ขยะ			
ความชื้น (%)	-	-	50.00	-	-	51.90	-	-	32.07	-	-	42.73	-	-	43.69	-	-	71.44	ไม่เกิน 35 % โดยน้ำหนัก
OM	37.21	35.24	36.23	45.46	46.02	45.74	41.24	42.07	41.66	43.41	43.12	43.27	33.65	34.85	34.25	37.83	37.60	37.72	³ 30 % โดยน้ำหนัก
pH	6.90	7.00	7.00	7.10	6.90	70	6.90	6.90	6.90	7.00	7.00	7.00	6.70	6.80	6.75	6.70	6.70	6.70	ระหว่าง 5.5 – 8.5
C : N	30.14	30.18	30.16	24.6	24.65	24.62	26.21	26.24	26.23	25.17	25.18	25.17	21.45	21.49	21.47	30.41	30.45	30.43	ไม่เกิน 20:1
การนำไฟฟ้า	5.22	5.21	5.22	4.62	4.61	4.61	4.77	4.80	4.79	5.04	5.04	5.04	3.93	4.00	3.97	4.22	4.30	4.28	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
% N	2.21	2.16	2.18	2.04	1.97	2.00	2.05	1.99	2.02	1.85	1.92	1.89	1.78	1.76	1.77	1.63	1.77	1.70	³ 1.0 % โดยน้ำหนัก
% P	0.32	0.35	0.34	0.81	0.79	0.80	0.68	0.68	0.68	0.74	0.71	0.73	0.68	0.64	0.66	0.42	0.41	0.42	³0.5 % โดยน้ำหนัก
% K	0.21	0.21	0.21	0.41	0.41	0.41	0.38	0.36	0.37	0.37	0.35	0.36	0.30	0.30	0.30	0.20	0.19	0.20	³ 0.5 % โดยน้ำหนัก

ตารางภาคผนวกที่ 13 ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 40 : 1 ระยะเวลา 45 วัน

สมบัติต่างๆ	ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 40 : 1 ระยะเวลา 45 วัน																		มาตรฐาน
	กากตะกอน:กากตะกอน			กากตะกอน:ฐูปฤาษี			กากตะกอน:กก			กากตะกอน:ผักตบชวา			กากตะกอน:ฟางข้าว			กากตะกอน:ขยะ			
ความชื้น (%)	-	-	47.23	-	-	48.67	-	-	46.43	-	-	49.18	-	-	38.77	-	-	49.62	ไม่เกิน 35 % โดยน้ำหนัก
OM	34.67	34.63	34.65	41.27	41.27	41.27	39.50	38.58	39.54	39.61	39.63	39.62	37.19	37.26	37.23	36.04	36.04	36.04	³ 30 % โดยน้ำหนัก
pH	6.70	6.80	6.75	7.00	7.00	7.00	7.20	7.20	7.20	7.10	7.00	7.05	6.80	6.80	6.80	6.80	6.70	6.75	ระหว่าง 5.5 – 8.5
C : N	27.90	27.93	27.92	23.10	23.12	23.11	25.27	25.27	25.27	23.56	23.59	23.58	19.45	19.51	19.48	28.56	28.56	28.56	ไม่เกิน 20:1
การนำไฟฟ้า	4.77	4.77	4.77	4.36	4.39	4.38	3.97	3.97	3.97	4.10	4.14	4.12	3.55	3.61	3.58	4.05	4.04	4.05	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
% N	2.13	2.08	2.11	2.06	2.06	2.06	2.09	2.17	2.13	2.03	2.08	2.05	1.67	1.68	1.68	1.73	1.68	1.71	³ 1.0 % โดยน้ำหนัก
% P	0.41	0.42	0.41	0.74	0.78	0.76	0.69	0.69	0.69	0.72	0.76	0.74	0.63	0.62	0.63	0.5	0.52	0.51	³0.5 % โดยน้ำหนัก
% K	0.24	0.25	0.25	0.48	0.50	0.49	0.44	0.44	0.44	0.42	0.44	0.43	0.36	0.37	0.37	0.29	0.31	0.30	³ 0.5 % โดยน้ำหนัก

ตารางภาคผนวกที่ 14 ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 40 : 1 ระยะเวลา 60 วัน

สมบัติต่างๆ	ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 40 : 1 ระยะเวลา 60 วัน																		มาตรฐาน
	กากตะกอน:กากตะกอน			กากตะกอน:ฐูปฤาษี			กากตะกอน:กก			กากตะกอน:ผักตบชวา			กากตะกอน:ฟางข้าว			กากตะกอน:ขยะ			
ความชื้น (%)	-	-	45.08	-	-	44.31	-	-	41.27	-	-	43.52	-	-	36.43	-	-	48.31	ไม่เกิน 35 % โดยน้ำหนัก
OM	31.87	32.20	32.25	36.97	37.78	37.89	37.55	38.62	38.61	39.67	40.11	40.16	32.54	33.40	33.32	36.89	37.20	37.25	³ 30 % โดยน้ำหนัก
pH	6.90	6.90	6.90	7.10	7.10	7.10	7.20	7.20	7.20	7.00	7.00	7.00	6.90	6.80	6.85	6.70	6.70	6.70	ระหว่าง 5.5 – 8.5
C : N	24.89	25.66	25.66	21.01	21.07	21.08	21.01	21.24	21.30	22.33	22.57	22.63	16.67	17.79	17.84	26.12	26.23	26.36	ไม่เกิน 20:1
การนำไฟฟ้า	3.93	4.56	4.68	4.11	4.21	4.22	3.88	4.29	4.37	3.67	4.14	4.10	3.07	3.66	3.69	3.44	4.04	4.11	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
% N	1.43	1.76	1.89	1.54	1.89	1.94	2.00	2.10	2.02	1.77	2.14	2.17	1.45	1.67	1.76	1.33	1.78	1.71	³ 1.0 % โดยน้ำหนัก
% P	0.11	0.56	0.42	0.56	0.88	0.82	0.66	0.7	0.79	0.75	0.75	0.75	0.22	0.47	0.66	0.44	0.55	0.54	³0.5 % โดยน้ำหนัก
% K	0.32	0.34	0.33	0.57	0.53	0.55	0.49	0.48	0.49	0.52	0.50	0.51	0.41	0.41	0.41	0.33	0.36	0.35	³ 0.5 % โดยน้ำหนัก

ภาคผนวก ง

ผลวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS for Windows

การทดสอบอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของ C/N ต่างกัน

Descriptive Statistics

Dependent Variable: C/N

อัตราส่วน C:N เริ่มต้น	จำนวนวันที่หมัก	Mean	Std. Deviation	N
อัตราส่วน C:N ที่ 25:1	7 วัน	18.3783	5.63387	6
	15 วัน	12.9567	3.82592	6
	30 วัน	13.2117	4.39315	6
	45 วัน	13.4183	5.95772	6
	60 วัน	13.9583	3.28076	6
	Total	14.3847	4.85145	30
อัตราส่วน C:N ที่ 40:1	7 วัน	36.8950	1.19031	6
	15 วัน	32.5400	2.22454	6
	30 วัน	26.3467	3.44606	6
	45 วัน	24.6533	3.36484	6
	60 วัน	22.4783	3.16453	6
	Total	28.5827	6.02475	30
Total	7 วัน	27.6367	10.42021	12
	15 วัน	22.7483	10.65343	12
	30 วัน	19.7792	7.82455	12
	45 วัน	19.0358	7.46360	12
	60 วัน	18.2183	5.40757	12
	Total	21.4837	8.98109	60

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: C/N

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4001.374(a)	9	444.597	29.344	.000
Intercept	27692.876	1	27692.876	1827.756	.000
CN_START	3023.748	1	3023.748	199.570	.000
DAY	708.221	4	177.055	11.686	.000
CN_START * DAY	269.405	4	67.351	4.445	.004
Error	757.565	50	15.151		
Total	32451.815	60			
Corrected Total	4758.939	59			

a R Squared = .841 (Adjusted R Squared = .812)

Cnstart * Day

อัตราส่วน C:N เริ่มต้น * จำนวนวันที่หมัก

Dependent Variable: C/N

อัตราส่วน C:N เริ่มต้น	จำนวนวันที่หมัก	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
อัตราส่วน C:N ที่ 25:1	7 วัน	18.378	1.589	15.187	21.570
	15 วัน	12.957	1.589	9.765	16.148
	30 วัน	13.212	1.589	10.020	16.403
	45 วัน	13.418	1.589	10.227	16.610
	60 วัน	13.958	1.589	10.767	17.150
อัตราส่วน C:N ที่ 40:1	7 วัน	36.895	1.589	33.703	40.087
	15 วัน	32.540	1.589	29.348	35.732
	30 วัน	26.347	1.589	23.155	29.538
	45 วัน	24.653	1.589	21.462	27.845
	60 วัน	22.478	1.589	19.287	25.670

การทดสอบอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของ P ต่างกัน

Descriptive Statistics

Dependent Variable: P

อัตราส่วน C:N เริ่มต้น	จำนวนวันที่หมัก	Mean	Std. Deviation	N
อัตราส่วน C:N ที่ 25:1	7 วัน	5.6083	.60184	6
	15 วัน	4.5017	.56577	6
	30 วัน	3.0642	1.50531	6
	45 วัน	2.8842	.66438	6
	60 วัน	2.4083	.19854	6
	Total	3.6933	1.42973	30
อัตราส่วน C:N ที่ 40:1	7 วัน	.1483	.10008	6
	15 วัน	.2400	.10488	6
	30 วัน	.3083	.08750	6
	45 วัน	.3800	.09121	6
	60 วัน	.4400	.09011	6
	Total	.3033	.13662	30
Total	7 วัน	2.8783	2.88091	12
	15 วัน	2.3708	2.25914	12
	30 วัน	1.6863	1.76202	12
	45 วัน	1.6321	1.38371	12
	60 วัน	1.4242	1.03839	12
	Total	1.9983	1.98385	60

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: P

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	214.832(a)	9	23.870	68.707	.000
Intercept	239.600	1	239.600	689.659	.000
CN_START	172.382	1	172.382	496.179	.000
DAY	17.692	4	4.423	12.731	.000
CN_START * DAY	24.758	4	6.190	17.816	.000
Error	17.371	50	.347		
Total	471.803	60			
Corrected Total	232.203	59			

a R Squared = .925 (Adjusted R Squared = .912)

CNSTART * DAY

Dependent Variable: P

อัตราส่วน C:N เริ่มต้น	จำนวนวันที่หมัก	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
อัตราส่วน C:N ที่ 25:1	7 วัน	5.608	.241	5.125	6.092
	15 วัน	4.502	.241	4.018	4.985
	30 วัน	3.064	.241	2.581	3.547
	45 วัน	2.884	.241	2.401	3.367
	60 วัน	2.408	.241	1.925	2.892
อัตราส่วน C:N ที่ 40:1	7 วัน	.148	.241	-.335	.632
	15 วัน	.240	.241	-.243	.723
	30 วัน	.308	.241	-.175	.792
	45 วัน	.380	.241	-.103	.863
	60 วัน	.440	.241	-.043	.923

การทดสอบอิทธิพลของปัจจัยต่างที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของ N ต่างกัน

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Nitrogen (%)

อัตราส่วน C:N เริ่มต้น	จำนวนวันที่หมัก	Mean	Std. Deviation	N
อัตราส่วน C:N ที่ 25:1	7 วัน	2.8517	.45341	6
	15 วัน	2.6050	1.20397	6
	30 วัน	2.0617	.28835	6
	45 วัน	1.8217	.31242	6
	60 วัน	2.4667	.25232	6
	Total	2.3613	.68605	30
อัตราส่วน C:N ที่ 40:1	7 วัน	2.3167	.13261	6
	15 วัน	2.1517	.14289	6
	30 วัน	1.9283	.17823	6
	45 วัน	1.9567	.20510	6
	60 วัน	1.9150	.16932	6
	Total	2.0537	.22293	30
Total	7 วัน	2.5842	.42367	12
	15 วัน	2.3783	.85101	12
	30 วัน	1.9950	.23892	12
	45 วัน	1.8892	.26165	12
	60 วัน	2.1908	.35351	12
	Total	2.2075	.52900	60

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Nitrogen (%)

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6.310(a)	9	.701	3.437	.002
Intercept	292.383	1	292.383	1433.214	.000
CN_START	1.420	1	1.420	6.960	.011
DAY	3.814	4	.953	4.674	.003
CN_START * DAY	1.076	4	.269	1.319	.276
Error	10.200	50	.204		
Total	308.894	60			
Corrected Total	16.510	59			

a R Squared = .382 (Adjusted R Squared = .271)

CNSTART * DAY

Dependent Variable: Nitrogen (%)

อัตราส่วน C:N เริ่มต้น	จำนวนวันที่หมัก	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
อัตราส่วน C:N ที่ 25:1	7 วัน	2.852	.184	2.481	3.222
	15 วัน	2.605	.184	2.235	2.975
	30 วัน	2.062	.184	1.691	2.432
	45 วัน	1.822	.184	1.451	2.192
	60 วัน	2.467	.184	2.096	2.837
อัตราส่วน C:N ที่ 40:1	7 วัน	2.317	.184	1.946	2.687
	15 วัน	2.152	.184	1.781	2.522
	30 วัน	1.928	.184	1.558	2.299
	45 วัน	1.957	.184	1.586	2.327
	60 วัน	1.915	.184	1.545	2.285

การทดสอบอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของ K ต่างกัน

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Potassium (%)

อัตราส่วน C:N เริ่มต้น	จำนวนวันที่หมัก	Mean	Std. Deviation	N
อัตราส่วน C:N ที่ 25:1	7 วัน	2.2417	1.23109	6
	15 วัน	.3467	.18737	6
	30 วัน	.3967	.21593	6
	45 วัน	.4167	.19896	6
	60 วัน	.3383	.14770	6
	Total	.7480	.92945	30
อัตราส่วน C:N ที่ 40:1	7 วัน	.5200	.24125	6
	15 วัน	.5392	.24130	6
	30 วัน	.6050	.18262	6
	45 วัน	.6233	.13794	6
	60 วัน	.6633	.15655	6
	Total	.5902	.19044	30
Total	7 วัน	1.3808	1.23440	12
	15 วัน	.4429	.22919	12
	30 วัน	.5008	.21952	12
	45 วัน	.5200	.19568	12
	60 วัน	.5008	.22330	12
	Total	.6691	.66991	60

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Potassium (%)

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	17.218(a)	9	1.913	10.330	.000
Intercept	26.860	1	26.860	145.033	.000
CN_START	.374	1	.374	2.018	.162
DAY	7.639	4	1.910	10.312	.000
CN_START * DAY	9.205	4	2.301	12.426	.000
Error	9.260	50	.185		
Total	53.338	60			
Corrected Total	26.478	59			

a R Squared = .650 (Adjusted R Squared = .587)

DNSTART * DAY

Dependent Variable: Potassuim (%)

อัตราส่วน C:N เริ่มต้น	จำนวนวันที่หมัก	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
อัตราส่วน C:N ที่ 25:1	7 วัน	2.242	.176	1.889	2.595
	15 วัน	.347	.176	-.006	.700
	30 วัน	.397	.176	.044	.750
	45 วัน	.417	.176	.064	.770
	60 วัน	.338	.176	-.015	.691
อัตราส่วน C:N ที่ 40:1	7 วัน	.520	.176	.167	.873
	15 วัน	.539	.176	.186	.892
	30 วัน	.605	.176	.252	.958
	45 วัน	.623	.176	.270	.976
	60 วัน	.663	.176	.310	1.016

ภาคผนวก จ
ปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องตามช่วงระยะเวลาที่หมักทำปุ๋ย

ตารางภาคผนวกที่ 15 ปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องตามช่วงระยะเวลาที่หมักทำปุ๋ย

1) ระยะเวลา 7 วัน

คุณสมบัติต่างๆ	อัตราส่วน C/N ratio 25 %						อัตราส่วน C/N ratio 40 %						ค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์
	กากตะกอน: กากตะกอน	กากตะกอน: ธูปฤาษี	กากตะกอน: กก	กากตะกอน: ผักตบชวา	กากตะกอน: ฟางข้าว	กากตะกอน: ขยะ	กากตะกอน: กากตะกอน	กากตะกอน: ธูปฤาษี	กากตะกอน: กก	กากตะกอน: ผักตบชวา	กากตะกอน: ฟางข้าว	กากตะกอน: ขยะ	
1. C/N ratio	12.31	16.43	14.07	19.10	20.20	28.16	38.56	36.41	36.23	35.67	36.28	38.22	ไม่เกิน 20:1
2. ไนโตรเจนทั้งหมด(%)	3.20	3.35	3.21	2.62	2.40	2.33	2.38	2.37	2.52	2.23	2.15	2.25	1.0 % โดยน้ำหนัก
3. ฟอสฟอรัสทั้งหมด(%)	2.10	0.33	4.21	2.28	2.15	2.38	0.14	0.59	0.56	0.84	0.63	0.36	0.5 % โดยน้ำหนัก
4. โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	5.80	6.23	5.61	6.14	5.25	4.62	0.04	0.26	0.14	0.28	0.10	0.07	0.5 % โดยน้ำหนัก

2) ระยะเวลา 15 วัน

คุณสมบัติต่างๆ	อัตราส่วน C/N ratio 25 %						อัตราส่วน C/N ratio 40 %						ค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์
	กากตะกอน: กากตะกอน	กากตะกอน: ธูปฤาษี	กากตะกอน: กก	กากตะกอน: ผักตบชวา	กากตะกอน: ฟางข้าว	กากตะกอน: ขยะ	กากตะกอน: กากตะกอน	กากตะกอน: ธูปฤาษี	กากตะกอน: กก	กากตะกอน: ผักตบชวา	กากตะกอน: ฟางข้าว	กากตะกอน: ขยะ	
1. C/N ratio	10.40	12.54	13.48	15.96	18.02	734	33.15	32.14	31.07	33.26	29.54	36.08	ไม่เกิน 20:1
2. ไนโตรเจนทั้งหมด(%)	2.33	2.28	1.95	5.01	1.72	2.34	2.30	2.16	2.34	2.06	2.07	1.98	1.0 % โดยน้ำหนัก
3. ฟอสฟอรัสทั้งหมด(%)	0.06	0.23	0.47	0.60	0.36	0.36	0.14	0.59	0.67	0.83	0.62	0.39	0.5 % โดยน้ำหนัก
4. โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	4.00	5.20	4.20	5.25	4.14	4.22	0.12	0.37	0.29	0.32	0.22	0.12	0.5 % โดยน้ำหนัก

3) ระยะเวลา 30 วัน

คุณสมบัติต่างๆ	อัตราส่วน C/N ratio 25 %						อัตราส่วน C/N ratio 40 %						ค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์
	กากตะกอน: กากตะกอน	กากตะกอน: ธูปฤาษี	กากตะกอน: กก	กากตะกอน: ผักตบชวา	กากตะกอน: ฟางข้าว	กากตะกอน: ขยะ	กากตะกอน: กากตะกอน	กากตะกอน: ธูปฤาษี	กากตะกอน: กก	กากตะกอน: ผักตบชวา	กากตะกอน: ฟางข้าว	กากตะกอน: ขยะ	
1. C/N ratio	10.31	10.46	16.99	14.62	19.10	7.78	30.16	24.62	26.23	25.17	21.47	30.43	ไม่เกิน 20:1
2. ไนโตรเจนทั้งหมด(%)	2.14	2.04	1.82	2.34	1.65	2.38	2.18	2.00	2.02	1.89	1.77	1.70	1.0 % โดยน้ำหนัก
3. ฟอสฟอรัสทั้งหมด(%)	0.11	0.46	0.65	0.62	0.29	0.25	0.34	0.80	0.68	0.73	0.66	0.42	0.5 % โดยน้ำหนัก
4. โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	3.20	4.32	3.23	4.20	0.17	3.26	0.21	0.41	0.37	0.36	0.30	0.20	0.5 % โดยน้ำหนัก

4) ระยะเวลา 45 วัน

คุณสมบัติต่างๆ	อัตราส่วน C/N ratio 25 %						อัตราส่วน C/N ratio 40 %						ค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์
	กากตะกอน: กากตะกอน	กากตะกอน: ธูปฤาษี	กากตะกอน: กก	กากตะกอน: ผักตบชวา	กากตะกอน: ฟางข้าว	กากตะกอน: ขยะ	กากตะกอน: กากตะกอน	กากตะกอน: ธูปฤาษี	กากตะกอน: กก	กากตะกอน: ผักตบชวา	กากตะกอน: ฟางข้าว	กากตะกอน: ขยะ	
1. C/N ratio	10.32	12.38	12.10	13.52	24.78	7.42	27.92	23.11	25.27	23.58	19.48	28.56	ไม่เกิน 20:1
2. ไนโตรเจนทั้งหมด(%)	2.02	1.86	1.82	1.78	1.26	2.18	2.11	2.06	2.13	2.05	1.68	1.71	1.0 % โดยน้ำหนัก
3. ฟอสฟอรัสทั้งหมด(%)	0.10	0.48	0.59	0.62	0.46	0.26	0.41	0.76	0.69	0.74	0.63	0.51	0.5 % โดยน้ำหนัก
4. โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	2.10	3.55	2.45	3.50	3.39	2.32	0.25	0.49	0.44	0.43	0.37	0.30	0.5 % โดยน้ำหนัก

5) ระยะเวลา 60 วัน

คุณสมบัติต่างๆ	อัตราส่วน C/N ratio 25 %						อัตราส่วน C/N ratio 40 %						ค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์
	กากตะกอน: กากตะกอน	กากตะกอน: ธูปฤาษี	กากตะกอน: กก	กากตะกอน: ผักตบชวา	กากตะกอน: ฟางข้าว	กากตะกอน: ขยะ	กากตะกอน: กากตะกอน	กากตะกอน: ธูปฤาษี	กากตะกอน: กก	กากตะกอน: ผักตบชวา	กากตะกอน: ฟางข้าว	กากตะกอน: ขยะ	
1. C/N ratio	10.25	15.55	16.15	18.50	12.50	10.80	25.66	21.08	21.30	22.63	17.84	26.36	ไม่เกิน 20:1
2. ไนโตรเจนทั้งหมด(%)	2.60	2.40	2.50	2.35	2.10	2.85	1.89	1.94	2.02	2.17	1.76	1.71	1.0 % โดยน้ำหนัก
3. ฟอสฟอรัสทั้งหมด(%)	0.15	0.45	0.53	0.40	0.30	0.20	0.42	0.82	0.79	0.75	0.66	0.54	0.5 % โดยน้ำหนัก
4. โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	2.30	2.55	2.35	2.65	2.50	2.10	0.33	0.55	0.49	0.51	0.41	0.35	0.5 % โดยน้ำหนัก