งานวิจัยเรื่อง
การปรับปรุงปริมาณไนโตรเจนในกากตะกอน จากระบบบำบัดน้ำเสียและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อผลิตปุ๋ยสูตรเร่งใบ

โดย

ดร. สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย

ผศ. ดร.เสรีย์ ตู้ประกาย

ภายใต้แผนงานวิจัย เรื่องการพัฒนาความเข้มแข็งของชุมชนอย่างยั่งยืน โดยการประยุกต์ใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียระยะที่ 1 เพื่อทำปุ๋ยและผลิตภัณฑ์

โดย

รศ. นิยดา สวัสดิพงษ์

(ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

2551

งานวิจัยเรื่อง

การปรับปรุงปริมาณไนโตรเจนในกากตะกอน จากระบบบำบัดน้ำเสีย และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อผลิตปุ๋ยสูตรเร่งใบ

โดย

ดร.สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย
ผศ. ดร.เสรีย์ ตู้ประกาย

ภายใต้แผนงานวิจัย เรื่องการพัฒนาความเข้มแข็งของชุมชนอย่างยั่งยืน โดยการประยุกต์ใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียระยะที่ 1 เพื่อทำปุ๋ยและผลิตภัณฑ์

โดย

รศ. นิยดา สวัสดิพงษ์
(ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
2551

(งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551)

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของงานวิจัยนี้ เกิดขึ้นจากการสนับสนุน และการช่วยเหลือจากหลายฝ่าย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย หัวหน้าฝ่ายอาคารและสถานที่ที่ให้ความอนุเคราะห์เรือนเพาะชำเป็นสถานที่จัดวางถังหมัก รศ. นิยดา สวัสดิพงษ์ ผู้อำนวยการศูนย์สิ่งแวดล้อม และเจ้าหน้าที่ศูนย์สิ่งแวดล้อมที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ บริษัท แกรนด์ยูนิตี้ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์กากตะกอนน้ำเสีย และขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นายทินากร สืบสุนทร นายวัฒนา หวั่งประดิษฐ์ นางสาวเบญจวรรณ น้อยนำนนท์ นางสาวรสสุคนธ์ ผลวัฒนะ นางสาวสุธานิตย์ วงษ์เจียก นายบรรจงศักดิ์ ฟักสมบูรณ์ นางสาวสกุณา ทองขาว และนางสาวธันยธร สินธุฉาย และท้ายสุดนี้ขอขอบคุณบิดา-มารดาของคณะผู้วิจัยที่ให้การสนับสนุน ด้วยดีเสมอมา

ดร.สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย
ผศ. ดร.เสรีย์ ตู้ประกาย
ธันวาคม 2551

หัวข้อวิจัย	การปรับปรุงปริมาณไนโตรเจนในกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อผลิตปุ๋ยสูตรเร่งใบ
ผู้ดำเนินการวิจัย	ดร.สิรวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย ผศ. ดร.เสรีย์ ตู้ประกาย
หน่วยงาน	หลักสูตรวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำปุ๋ยหมักสูตรเร่งใบที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง จากกากตะกอนน้ำเสียโดยใช้ของเสียและเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นวัสดุหมัก ซึ่งได้แก่ มูลค้างคาว หญ้าขน และเปลือกสัปปะรด โดยศึกษาผลของชนิด ปริมาณ และขนาดของวัสดุหมักต่อความเหมาะสมในการเป็นปุ๋ยหมักตามค่ามาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่ากากตะกอน มูลค้างคาว หญ้าขน และเปลือกสัปปะรด มีปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ 2.57 7.40 1.88 และ 0.89 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ปุ๋ยหมัก 10 สูตรที่ศึกษามีค่าปริมาณไนโตรเจน อินทรีย์วัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ค่าความชื้น และค่าความเป็นกรดเป็นด่างได้ตามมาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรมส่งเสริมการเกษตร กรมพัฒนาที่ดิน และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาเกษตร แต่การใช้มูลค้างคาวและเปลือกสัปปะรดเป็นวัสดุผสมทำให้เกิดการย่อยสลายอินทรียวัตถุได้เร็วกว่าการใช้หญ้าขนเป็นวัสดุผสม โดยปุ๋ยที่ใช้มูลค้างคาวและเปลือกสัปปะรดเป็นวัสดุผสมใช้เวลาในการย่อยสลายเท่ากับ 30 และ 25 วัน ส่วนปุ๋ยที่ใช้หญ้าขนเป็นวัสดุผสมใช้เวลาในการย่อยสลายเท่ากับ 50 วัน วัสดุหมักทั้ง 3 ชนิด ช่วยเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้กากตะกอนได้ ปุ๋ยหมักมีค่าปริมาณไนโตรเจนมากกว่ากากตะกอน การใช้มูลค้างคาวเป็นวัสดุผสมทำให้ปุ๋ยหมักมีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด และสูตรที่ใช้มูลค้างคาวมากกว่าจะให้ปุ๋ยหมักที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่า มีความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือใช้ในประเทศไทย ได้แก่ มูลค้างคาว หญ้าขน และเปลือกสัปปะรดมาใช้เป็นวัสดุหมักร่วมกับกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียให้เป็นปุ๋ยหมักที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง

Research Title Development the Quantities of Nitrogen in Sludge from Wastewater Treatment Plant for Leave Fertilizer

Researcher Dr. Sirawan Ruangchuay Tuprakay

Assit. Dr. Seree Tuprakay

Organization Environmental Science Program,

Suan Dusit Rajabhat University

Academic Year 2008

ABSTRACT

The objective of this research is to study the process of fertilizer with high nitrogen from wastewater sludge by the agriculture waste and unused materials to be fertilizing materials such as bat guano, paragrass and pineapple peel. The study focused on proper category, quantity and ratio of materials for standardizing of fertilizer standard requirement. The results show that wastewater sludge, bat guano, paragrass and pineapple peel contain the nitrogen amount of 2.57, 7.40, 1.88 and 0.89 % by weight, respectively. The nitrogen content, organic mater, C/N ratio, moisture content and pH of ten formulas of fertilizer that study are meet standard of ministry of Agriculture, the department of land development and the department of agriculture. But bat guano and pineapple peel as fertilizing materials made the shorter compose time than paragrass. The compose time for bat guano and pineapple peel are 30 and 25 days, respectively. Meantime, paragrass takes 50 days of compose time. All three materials increase amount of nitrogen of fertilizer and left outcome of fertilizer containing nitrogen higher than wastewater sludge. The best formula is materials mixed with bat guano and nitrogen content increased with increasing bat guano. The results proved the good opportunity of waste in Thailand such as bat guano, paragrass and pineapple peel to be fertilizing material with wastewater sludge for high nitrogen content fertilizer.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ…… (1)

บทคัดย่อภาษาไทย…… (2)

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ…… (3)

สารบัญ…… (4)

สารบัญภาพ…… (6)

สารบัญตาราง…… (7)

บทที่ 1 บทนำ…… 1

ความเป็นมาและความสำคัญ…… 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย…… 1

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ…… 2

ขอบเขตการวิจัย…… 2

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…… 3

กากตะกอนน้ำเสีย…… 3

ไนโตรเจน…… 7

หลักการและวิธีการหา Nitrogen (N) ด้วย Kjeldahl Method …… 13

ปุ๋ย…… 21

ปุ๋ยหมัก …… 21

ปัจจัยที่สำคัญในการย่อยสลายอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก…… 26

วัสดุผสมในการผลิตปุ๋ย…… 37

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…… 40

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย…… 45

วัสดุและอุปกรณ์…… 45

ขั้นตอนการเตรียมการ…… 48

แผนการดำเนินการทดลอง…… 50

อัตราส่วนของวัสดุหมัก…..……..…… 51
การเก็บตัวอย่างและพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา…….....…….. 51
วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง……...……..……..……..…. 52

บทที่ 4 ผลการวิจัย……..……..……..…… 53
สมบัติและปริมาณไนโตรเจนของกากตะกอนและวัสดุผสม……...……..… 53
อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก…….....…… 55
ปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก…….....…… 58
ปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมัก…….....…… 60
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก.....……...… 62
ความชื้นของปุ๋ยหมัก..... 63
ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมัก..... 64

บทที่ 5 สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ…….....……..……. 67

บรรณานุกรม.……..…… 73
ภาคผนวก…….……... 79
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์..... 80
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์..... 88

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กระบวนการบำบัดกากตะกอน.....	7
2.2	วัฏจักรไนโตรเจน.....	11
2.3	การวิเคราะห์ NH^{+}_{4} - N ด้วยวิธีการกลั่น.....	16
2.4	วิธีการวิเคราะห์ ไนโตรเจนแบบ Devarda Method.....	17
2.5	วิธีการวิเคราะห์ ไนโตรเจนในรูปของ NH_4^+ - N และ Urea – N.....	18
2.6	วิธีการวิเคราะห์ หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด.....	20
2.7	มูลค้างคาว……..……..…….	38
2.8	สับปะรด.....……..……	40
3.1	กากตะกอนบำบัดน้ำเสีย.....	45
3.2	ถังพลาสติกสำหรับทำถังหมัก.....	46
3.3	เครื่องมือในการย่อย.....	47
3.4	เครื่องมือในการกลั่น.....	47
3.5	ถังหมัก.....	48
3.6	หญ้าขนขนาด 1 นิ้ว……..…….	49
3.7	เปลือกสับปะรดขนาด 1 นิ้ว.....	49
3.8	เปลือกสับปะรดขนาด 2 นิ้ว.....	49
3.9	แผนการดำเนินการทดลอง.....	50
4.1	กากตะกอน….....……	54
4.2	มูลค้างคาวที่ใช้ในการศึกษา.....	55
4.3	อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก (ก) สูตรที่ 1 และ 2 (ข) สูตรที่ 3 4 5 และ 6 และ (ค) สูตรที่ 7 8 9 และ10.....	57
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของปุ๋ยหมัก กับระยะเวลาการหมัก.....	65
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมัก กับระยะเวลาการหมัก....	66

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณของไนโตรเจนที่ผลต่อการเจริญเติบโตของพืช.....	13
2.2	ข้อจำกัดในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนแต่ละขั้นตอน.....	15
2.3	มาตรฐานปุ๋ยหมัก.....	23
2.4	ตารางค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการการตรวจวัดคุณภาพการผลิตปุ๋ยจากกากตะกอน.....	25
2.5	ค่า N และ C/N ratio โดยประมาณจากวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก.....	28
2.6	ตารางแสดงวัสดุต่างๆที่ใช้ในการผลิตปุ๋ย.....	37
3.1	อัตราส่วนของวัสดุหมัก.....	51
3.2	รายละเอียดของการเก็บตัวอย่างและพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์.....	52
3.3	วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละพารามิเตอร์.....	52
4.1	สมบัติของมูลค้างคาว หญ้าขน และเปลือกสัปปะรด.....	53
4.2	ปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก.....	58
4.3	ปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมัก.....	61
4.4	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก.....	63

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

กากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสีย ยังคงเป็นปัญหาหนึ่งที่ประเทศไทยประสบ กากตะกอนบางประเภทไม่มีความเป็นพิษ แต่มีปริมาณมาก ซึ่งกากตะกอนเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาแก่ส่วนรวมเช่นกัน ทั้งในเรื่องกลิ่นเหม็นเมื่อมีการเน่าเสีย การคุ้ยเขี่ยของสัตว์ซึ่งอาจนำมาซึ่งโรคร้ายต่าง ๆ และผลกระทบต่อสุขภาพ รวมถึงปัญหาด้านความสวยงามของอาคารและสถานที่ ดังนั้นการจัดการกับกากตะกอนเหล่านี้จึงมีความจำเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเป็น การจัดการโดยการนำกากตะกอนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งจัดเป็น Waste Minimization ทำให้ของเสียกลายเป็นสินค้า ก็จะเป็นประโยชน์ทั้งต่อโรงงานที่เป็นแหล่งกำเนิดกากตะกอน และ ประเทศในแง่ของการลดต้นทุนในการผลิตสินค้า

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะเฉพาะของประเทศไทย จะพบว่า ประเทศไทยมีพื้นฐานเป็นประเทศเกษตรกรรม ประเทศไทยมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 321 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ถือครองทางการเกษตรประมาณ 131 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 41 ของพื้นที่ทั้งประเทศ และพื้นที่ป่าไม้เพียง 80.61 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 25.11 ของพื้นที่ทั้งประเทศเท่านั้น การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรโดยขยายพื้นที่เพาะปลูกด้วยการบุกรุกป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์หรือมีปริมาณธาตุอาหารสูงโดยไม่ต้องใส่ปุ๋ยบำรุงดิน จึงทำให้พบว่าดินขาดความอุดมสมบูรณ์ถึง 98.7 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 31 ของพื้นที่ทั้งหมด ทำให้ได้ผลผลิตต่ำ ต้นทุนสูง และคุณภาพของผลผลิตไม่ได้มาตรฐาน จากปัญหาดังกล่าวทำให้รัฐบาลต้องกำหนดนโยบายและมาตรการต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยการนำเทคโนโลยีการเกษตรด้านต่าง ๆ มาใช้ เช่น การใช้พันธุ์พืชที่ดีให้ผลผลิตสูง มีคุณภาพ และการใช้ปุ๋ย กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร มีโครงการรณรงค์การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อความปลอดภัยของสินค้าเกษตรและอาหาร โดยการสำรวจในเบื้องต้นพบว่า เกษตรกรมีความต้องการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 543,807 ตัน หรือคิดเป็น 13.6% ของความต้องการใช้ปุ๋ยทั้งหมดของเกษตรกร แต่ปริมาณการใช้ปุ๋ยอินทรีย์อยู่ในปริมาณต่ำ เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์มีธาตุอาหารค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมีในปริมาณที่เท่ากัน การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อให้ธาตุอาหารเพียงพอและสมดุลสำหรับพืชหรือเพื่อทดแทนปุ๋ยเคมีจึงต้องใช้ในปริมาณมาก ทำให้เกษตรกรมีต้นทุนมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งการแก้ไขปัญหาดังกล่าว รัฐบาลได้ดำเนินการอบรมและเผยแพร่ความรู้ เพื่อให้เกษตรกร สามารถผลิตปุ๋ย

อินทรีย์ขึ้นใช้เองจากวัสดุไร่นา รวมทั้งเลือกชนิดของปุ๋ยอินทรีย์ที่จะใช้ให้เหมาะสมกับพืชและดินในแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้จากการสำรวจภาวะเศรษฐกิจ สังคมครัวเรือนเกษตร พบว่าเกษตรกรใช้จ่ายเงินสดในการซื้อปุ๋ยอินทรีย์ โดยเฉลี่ยประมาณ 250 บาท/ครัวเรือน/ปี โดยซื้อปุ๋ยคอกมากที่สุด และคาดว่าปริมาณความต้องการของครัวเรือนเกษตรไทยจะเพิ่มมากขึ้น จากการที่กระทรวงเกษตร ฯ มีโครงการรณรงค์การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ของครัวเรือนเกษตรไทยจะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นหากเราสามารถผลิตปุ๋ยที่มีคุณภาพ เหมาะสมกับพืชชนิดต่าง ๆ ได้เอง ก็จะสามารถลดการนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศได้ นอกจากนี้หากสามารถผลิตปุ๋ยจากของเหลือทิ้งจากโรงงาน เช่นกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียก็จะเป็นประโยชน์ยิ่ง งานวิจัยนี้จึงจะหาวิธีการนำกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียมาผลิตเป็นปุ๋ยโดยเน้นที่ปุ๋ยเร่งใบที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนของกากตะกอนที่เกิดจากโรงงานกำจัดของเสีย
2. เพื่อศึกษาสภาวะทางกายภาพ และเคมีบางประการของการหมัก
3. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในกากตะกอนกับปุ๋ยหมัก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ในหลายด้าน ดังนี้คือ ผลสรุปหรือข้อมูลที่ได้จากการวิจัยสามารถนำไปเผยแพร่ในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ และเผยแพร่ในวารสารวิชาการ ซึ่งนอกจากจะเป็นการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันทางวิชาการของมหาวิทยาลัยแล้ว ยังเป็นการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ข้อเสนอแนะในกลุ่มนักวิชาการ เพื่อการพัฒนาการวิจัยที่เป็นประโยชน์ต่อประเทศต่อไปในอนาคต นอกจากนี้ผลสรุปหรือข้อมูลที่ได้ ยังใช้ในการวางแผนจัดการสิ่งแวดล้อม อย่างถูกหลักวิชาการ เหมาะสม และสอดคล้องกับศักยภาพของชุมชนอีกทั้ง รวมถึงการเผยแพร่ระบบการจัดการสู่ชุมชน หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และบุคคลทั่วไปที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นการสร้างความเข้มแข็งของชุมชนและสังคมให้เป็นรากฐานที่มั่นคงของประเทศ อีกทั้งเป็นการเสริมสร้างศักยภาพของชุมชนในการอยู่ร่วมกันกับทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างสันติและเกื้อกูล

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษากากตะกอนจาก บริษัท แกรนด์ยูนิตี้ (ประเทศไทย) จำกัด จังหวัดระยอง ที่เกิดจากกระบวนการกำจัดทางชีวภาพ ซึ่งไม่มีสารอันตราย หรือโลหะหนักเจือปน
2. ศึกษาวัสดุเหลือใช้ 3 ชนิด คือ มูลค้างคาว หญ้าขน และเปลือกสัปปะรด

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย ข้อมูลเกี่ยวกับ กากตะกอน ไนโตรเจน และปุ๋ย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กากตะกอนน้ำเสีย

1. ความหมาย

กากตะกอนน้ำเสีย (sludge) หมายถึง ของแข็งที่แยกออกจากน้ำเสีย และจมอยู่เบื้องล่าง หรือของแข็งซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการบำบัดโดยวิธีการทางเคมี การตกตะกอน หรือกลุ่มจุลชีพในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยา กากตะกอนจะเกิดขึ้นเสมอในทุกกระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่ว่าจะเป็นกระบวนการใด ๆ จะมีกากตะกอนเกิดขึ้นเฉลี่ยแล้วประมาณ 60 กรัมกากตะกอนแห้งต่อคนต่อวัน (อภิชาต, 2536)

2. ประเภทของกากตะกอน

กากตะกอนที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.1 กากตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ กากตะกอนน้ำเสียที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยา เช่น ในระบบบ่อผึ่งบำบัดน้ำเสีย (oxidation pond) ระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) เป็นต้น

2.2. กากตะกอนที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น กากตะกอนที่เกิดจากการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเคมี โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โรงงานชุบโลหะ เป็นต้น ซึ่งปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน พบว่า แปรผันตามจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น (อภิชาต, 2536)

3. ลักษณะสมบัติของกากตะกอน

ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่มีทั้งสารอินทรีย์และสารประกอบนินทรีย์ โดยที่องค์ประกอบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ กากตะกอนมักจะมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณที่อาจเป็นปุ๋ยได้ นอกจากนั้นก็ประกอบด้วยจุลธาตุอาหารและโลหะหนัก ทั้งนี้ปริมาณจุลธาตุอาหารและปริมาณโลหะหนักจะผันแปรกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของระบบบำบัดน้ำเสีย ลักษณะองค์ประกอบทางเคมีของน้ำเสีย ลักษณะสมบัติของกากตะกอนหากเปรียบเทียบกับลักษณะ

สมบัติของปุ๋ยมูลสัตว์ พบว่า กากตะกอนมีปริมาณธาตุอาหารหลักในปริมาณที่ใกล้เคียงกับปุ๋ยมูลสัตว์ และน่าจะเป็นวัสดุเพิ่มแร่ธาตุอาหารให้แก่ดินได้เช่นเดียวกัน (วรกาย, 2541)

4. ที่มาของกากตะกอน

กากตะกอนน้ำทิ้งเป็นมูลฝอยประเภทหนึ่งซึ่งเกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งซึ่งเกิดจากน้ำเสียจากแห่งชุมชน โรงงานอุตสาหกรรมและกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ถูกระบายลงสู่ท่อระบายน้ำไปสู่ระบบบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งในกระบวนการบำบัดน้ำเสียไม่ว่าจะโดยวิธีการใดย่อมจะมีกากตะกอนเกิดขึ้นเสมอ ต้นกำเนิดของกากตะกอนจึงเป็นของแข็ง สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ เกลือแร่ต่าง ๆ และจุลินทรีย์หลายชนิด โดยการบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ตามกลไกที่ใช้ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสีย ได้ดังนี้

4.1 การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment) เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ กระดาษ พลาสติก เศษอาหาร กรวด ทราย ไขมันและน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์ในการบำบัดทางกายภาพ คือ ตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก

4.2 การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมี เพื่อทำปฏิกิริยากับสิ่งเจือปนในน้ำเสีย วิธีการนี้จะใช้สำหรับน้ำเสียที่มีส่วนประกอบอย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ ค่าพีเอชสูงหรือต่ำเกินไป มีสารพิษ มีโลหะหนัก มีของแข็งแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก มีไขมันและน้ำมันที่ละลายน้ำ มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสที่สูงเกินไป และมีเชื้อโรค ทั้งนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี ได้แก่ ถังกวนเร็ว ถังกวนช้า ถังตกตะกอน ถังกรอง และถังฆ่าเชื้อโรค

4.3 การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทาง ชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรกเหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหารและเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโต ทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลง โดยจุลินทรีย์เหล่านี้อาจเป็นแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Organisms) หรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Organisms) ก็ได้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยหลักการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบ แอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activate Sludge, AS) ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor, RBC) ระบบคลอง วนเวียน (Oxidation Ditch, OD) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon, AL) ระบบโปรยกรอง(Trickling Filter) ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย (Stabilization Pond) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) และ ระบบกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter, AF) เป็นต้น (กันยมาศ,2546 และ รพีพร,2539)

5. องค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสีย

องค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสียบางอย่างสามารถถูกกำจัดหรือทำให้มีปริมาณน้อยลงได้ในระหว่างขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย แต่องค์ประกอบบางอย่าง ไม่อาจจะถูกกำจัดให้หมดไปได้เลยทีเดียวหรือบางครั้งอาจมีความเข้มข้นในกากตะกอนสูงกว่าในน้ำเสียก็ได้ ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนอยู่ในรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Semi-Solid) มีลักษณะคล้ายดินเหนียวสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ เมื่ออยู่ในรูปที่ไม่คงตัวจะมีกลิ่นเหม็น มีแก๊สและความร้อนจากการย่อยสลายกากตะกอนของจุลินทรีย์

องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับประเภทของน้ำเสีย ชนิดของระบบบำบัดน้ำเสีย กระบวนการบำบัดน้ำเสียและกากตะกอน กากตะกอนน้ำเสียประกอบด้วยสารหลายชนิดทั้งสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ส่วนประกอบของกากตะกอนน้ำเสียแยกออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

5.1 ธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจน 60% ฟอสฟอรัส 1% โพแทสเซียมและจุลธาตุอาหารของพืช (เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี) และธาตุอื่น ๆ

5.2 สารโลหะหนัก สารอินทรีย์เคมี จุลินทรีย์และหนอนพยาธิต่าง ๆ

6. การบำบัดกากตะกอน (Sludge Treatment)

ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้หลักการทางชีวภาพจะมีกากตะกอนจุลินทรีย์หรือสลัดจ์เป็นผลผลิตตามมาด้วยเสมอ ซึ่งเป็นผลจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในการกินสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องบำบัดสลัดจ์เหล่านั้น เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการเน่าเหม็นของสลัดจ์ การเพิ่มภาวะมลพิษ และเป็นการทำลายเชื้อโรคด้วย นอก จากนี้การลดปริมาตรของสลัดจ์โดยการกำจัดน้ำออกจากสลัดจ์ ช่วยให้เกิดความสะดวกในการเก็บขนไปกำจัดทิ้งหรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ทั้งนี้ในการบำบัดสลัดประกอบด้วยกระบวนการหลักๆ ได้แก่

6.1 การทำข้น (Thickener) โดยใช้ถังทำข้นซึ่งมีทั้งที่ใช้กลไกการตกตะกอน (Sedimentation) และใช้กลไกการลอยตัว (Floatation) ทำหน้าที่ในการลดปริมาณสลัดจ์ก่อนส่งไปบำบัดโดยวิธีการอื่นต่อไป

6.2 การทำให้สลัดจ์คงตัว (Stabilization) โดยการย่อยสลัดจ์ด้วยกระบวนการใช้อากาศหรือ ใช้กระบวนการไร้อากาศ เพื่อทำหน้าที่ในการลดสารอินทรีย์ในสลัดจ์ ทำให้สลัดจ์คงตัวสามารถนำไปทิ้งได้โดยไม่เน่าเหม็น

6.3 การปรับสภาพสลัดจ์ (Conditioning) เพื่อทำให้สลัดจ์มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น ทำปุ๋ย การใช้ปรับสภาพดินสำหรับใช้ทางการเกษตร เป็นต้น

6.4 การรีดน้ำ (Dewatering) เพื่อลดปริมาณสลัดจ์ที่จะนำไปทิ้งโดยการฝังกลบ การเผา หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่น ซึ่งทำให้เกิดความสะดวกในการขนส่ง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการรีดน้ำ ได้แก่ เครื่องกรองสูญญากาศ (Vacuum filter) เครื่องอัดกรอง (Filter press) หรือเครื่องกรองหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) รวมถึงการลานตากสลัดจ์ (Sludge drying bed)

7. การกำจัดกากตะกอน (Sludge Disposal)

หลังจากสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียได้รับการบำบัดให้มีความคงตัว ไม่มีกลิ่นเหม็น และ มีปริมาตรลดลง เพื่อความสะดวกในการขนส่งแล้ว ในขั้นต่อมาก็คือ การนำสลัดจ์เหล่านั้นไปกำจัดทิ้งโดยวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการกำจัดทิ้งที่ใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

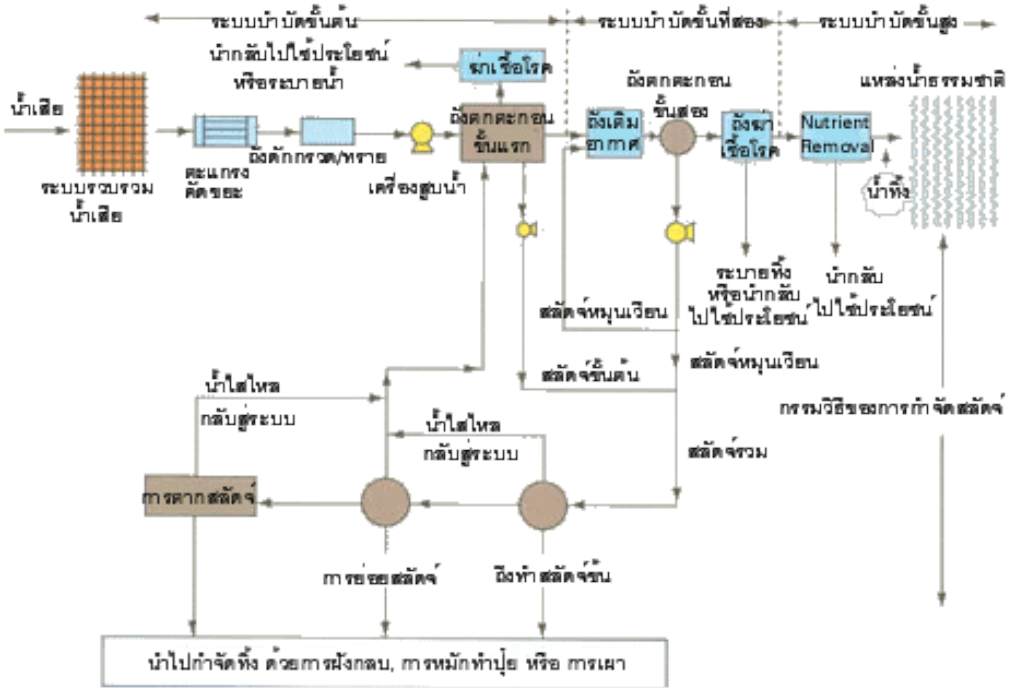
7.1 การฝังกลบ (Landfill) เป็นการนำสลัดจ์มาฝังในสถานที่ที่จัดเตรียมไว้และกลบด้วยชั้นดินทับอีกชั้นหนึ่ง

7.2 การหมักทำปุ๋ย (Composting) เป็นการนำสลัดจ์มาหมักต่อเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ย ซึ่งเป็นการนำสลัดจ์กลับมาใช้ประโยชน์ในการเป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืช เนื่องจากในสลัดจ์ประกอบด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุต่างๆ

7.3 การเผา (Incineration) เป็นการนำสลัดจ์ที่จวนแห้ง (ตั้งแต่ร้อยละ 40 ของของแข็งขึ้นไป) มาเผาเพราะเนื่องจากไม่สามารถนำไปใช้ทำปุ๋ยหรือฝังกลบได้ ซึ่งกระบวนการบำบัดกากตะกอนแสดงในภาพที่ 2.1

8. การนำเอากากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ในการปลูกพืช

เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรน่าจะเป็นการจัดการของเสียทุติยภูมิที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียที่สารอินทรีย์ปนอยู่อีกมากที่ดีที่สุด เพราะมีสารอินทรีย์และธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบคล้ายปุ๋ยอินทรีย์ (รัดเกล้า, 2532).กากตะกอนน้ำเสียชุมชนส่วนที่เป็นสารอินทรีย์มีผลในการปรับปรุงลักษณะกายภาพ เคมี ชีวภาพ ของดิน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการปรับปรุงโครงสร้างดินโดยลดความหนาแน่นรวมของดิน เพิ่มความพรุน ความเสถียรของการเกิดเม็ดดิน ความอุ้มน้ำของดินได้ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน ซึ่งสามารถดูดยึดประจุบวกต่าง ๆ ที่เป็นธาตุอาหารพืชไว้ได้ดีทำให้การสูญเสียธาตุอาหารพืชของดินจากการชะล้าง (laeching) ของน้ำลดลงทำให้ความสามารถในการทำกิจกรรมที่มีประโยชน์ต่างๆของจุลินทรีย์ในดิน (คมกฤช, 2535)



ภาพที่ 2.1 กระบวนการบำบัดกากตะกอน

ที่มา : geocities.com/natpong, 2000

ไนโตรเจน

1. บทบาทของไนโตรเจนต่อพืช

ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมากจึงจะเพียงพอต่อความต้องการ ตามปกติ ดินที่ปลูกพืชโดยทั่วไปมักขาดแคลนธาตุไนโตรเจน ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่รากพืชดูดใช้ในรูปไนเทรตและแอมโมเนียมไอออน สำหรับยูเรียแม้ว่าพืชสามารถดูดไปใช้ได้โดยตรงแต่สารนี้มีอยู่ในธรรมชาติน้อย พืชดูดได้มากเฉพาะกรณีที่ใส่ปุ๋ยยูเรียสังเคราะห์เท่านั้น พืชชั้นต่ำบางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ที่มีบทบาทสำคัญในการเกษตร คือ แบคทีเรียชื่อไรโซเบียม (Rhizobium) เนื่องจากสามารถตรึงไนโตรเจนได้เมื่ออยู่ร่วมกับรากพืชตระกูลถั่ว (วีระ, 2543)

2. แหล่งที่มาของไนโตรเจน

2.1 จากน้ำฝน(Fixation by atmospheric electrical discharge) เมื่อฝนตกเกิดฟ้าแลบ ก๊าซไนโตรเจนถูกออกซิไดส์ให้กลายเป็นไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และไนตริกออกไซด์ (NO) ซึ่งจะละลายในน้ำฝนตกลงมายังผิวดิน ปีหนึ่งๆ จะมีปริมาณแอมโมเนียไอออน (NH_4) ประมาณ 0.8 กิโลกรัม/ไร่ และปริมาณไนเทรตไอออน (NO_3^-) ประมาณ 0.3 กิโลกรรม/ไร่ ส่วนการทดลองที่รัฐนิวเจอร์ซี่สหรัฐอเมริกา ซึ่งทำการทดลองกับดิน 6 ชนิดในบรรยากาศที่สามารถวัดปริมาณแอมโมเนียได้ พบว่าสามารถดูดซับแอมโมเนียได้ 50-67 ปอนด์/เอเคอร์/ปี ส่วนไนเตรทจะมีประมาณ 10-20% (กชกร, 2537)

2.2 การตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศโดยจุลินทรีย์ (Fixation by organism)

2.2.1 จุลินทรีย์ที่มีภาวะอยู่ร่วมกันกับพืชบางชนิด (Symbiotic microorganism) ได้แก่ Rhizobium ที่อาศัยอยู่ที่ปมของรากพืชตระกูลถั่ว และ Actinormycetes ที่สามารถทำให้เกิดปมรากกับพืชหลายชนิดที่ไม่ใช่พืชตระกูลถั่ว เช่น myrica,Betulancae แล้วตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ จุลินทรีย์พวกนี้ต้องการอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตจากพืชที่อาศัยอยู่ แล้วแบ่งไนโตรเจนที่ตรึงได้บางส่วนให้แก่พืช ปริมาณของไนโตรเจนที่ตรึงได้โดยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ ชนิดของพืชและสิ่งแวดล้อม เช่น การถ่ายเทอากาศ ความชื้น ความเป็นกรดและเป็นด่างของดิน ในนิวซีแลนด์ใช้พืชตระกูลถั่วปลูกเป็นพืชหมุนเวียนร่วมกับการใส่ปุ๋ย มูลสัตว์เป็นเกษตรกรรมขั้นพื้นฐานในการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในดิน ซึ่งมีความสำคัญต่อระบบนิเวศวิทยามากกว่าในแง่ของการเพิ่มผลผลิต

2.2.2 จุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในดิน (Free-Living soil microorganism) ได้แก่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue-green algae) อย่างน้อย 12 ชนิด สาหร่ายเหล่านี้ดำรงชีพโดยการสังเคราะห์แสง (photo autotroph) ซึ่งต้องการแสงสว่าง น้ำ ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และธาตุอาหารที่จำเป็น โดยที่ไนโตรเจนเป็นแหล่งพลังงานของขบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโต และสามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศได้ เช่น Nostoc, Anabaena, Goleothece เป็นจุลินทรีย์ที่เติบโตได้ดีในบริเวณผิวดินหรือในน้ำบนผิวดินที่มีแสงพอ เช่น ในนาข้าวที่มีน้ำขัง จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถสร้างสารโพลีแซคคาไรด์ออกมานอกเซลล์ได้มากทำให้การเกิดเม็ดดินคงที่ ช่วยส่งเสริมการเกิดโครงสร้างที่ดีขึ้นในบริเวณผิวดิน เมื่อใส่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชื่อ Anabaena azollae ลงในนาข้าวพร้อมแหนแดง Azolla ซึ่งเป็นเฟิร์นน้ำชนิดหนึ่ง สาหร่ายนี้จะเข้าไปอาศัยอยู่ในโพรงของแหนแดงและตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ 7.3-8.2 กิโลกรัม/ไร่/ปี นอกจากนั้นยังได้อินทรียวัตถุจากแหนแดง ซึ่งเป็นพืชที่เติบโตเร็วมาก สามารถเพิ่มปริมาณได้เป็นสองเท่าภายใน 5-8 วัน เมื่อแหนแดงตายทับถมลงในดินก็จะเป็นการเพิ่มไนโตรเจนให้แก่ดินนาน้ำขังได้มากกว่าดินทั่ว ๆ ไป

2.2.3 การใส่ปุ๋ยให้แก่ดินและพืช ปุ๋ยไนโตรเจนที่เป็นแหล่งสำคัญของธาตุไนโตรเจน สามารถจัดแบ่งออกเป็นปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยอินทรีย์ไนโตรเจนอื่น ๆ และปุ๋ยอนินทรีย์ ซึ่งได้แก่ ปุ๋ยเคมี ซึ่งเป็นสารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้นจากก๊าซไนโตรเจนในอากาศ (Fixation as ammonia, No_3^- และ CN_2^- by industrial process) (ศิริกุล, 2544)

3. สารประกอบของไนโตรเจนในเนื้อเยื่อของพืช

สารประกอบของไนโตรเจนที่พบในเนื้อเยื่อของพืชมีทั้งที่เพิ่งดูดเข้าไปและยังไม่เปลี่ยนแปลงกับอินทรีย์สารซึ่งมีการสังเคราะห์จากไนเตรท แอมโมเนียมและยูเรียที่พืชดูดได้ อินทรีย์สารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอาจแบ่งได้เป็น 6 กลุ่ม คือ

3.1 โปรตีน (proteins) ประกอบด้วยกรดอะมิโน (amino acids) ชนิดต่าง ๆ ต่อเรียงกันอย่างมีแบบแผน ตั้งแต่ 50-100 หน่วย โดยกรดอะมิโนเหล่านั้นเชื่อมกันโดยพันธะเพ็บไทด์ (peptide bond) โปรตีนมีหน้าที่สำคัญมากในเซลล์ โดยเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของไซโทพลาซึม เยื่อโดยเป็นทั้งโครงสร้างและพาหะในการเคลื่อนย้ายสารผ่านเยื่อ และเอนไซม์ ซึ่งทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาชีวเคมีจึงมีบทบาทเกี่ยวข้องกับเมทาบอลิซึมอย่างกว้างขวาง

3.2 กรดอะมิโน มีไนโตรเจนอยู่ที่หมู่อะมิโน (amino group) กรดอะมิโนเป็นหน่วยในโครงสร้าง (building blocks) ของโปรตีนโดยต่อเรียงกันอย่างมีแบบแผนนอกเหนือจากกรดอะมิโนที่เป็นโครงสร้างของกรดอะมิโนแล้ว ยังมีอีกมากที่มีอิสระในเซลล์สัดส่วนของกรดอะมิโนแต่ละอย่าง กรดอะมิโนอิสระกับกรดอะมิโนในโครงสร้างต่างๆเป็นลักษณะเฉพาะของพืชแต่ละชนิด

3.3 ฮอร์โมนพืช ฮอร์โมนที่พืชสังเคราะห์ขึ้นเองและมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ คือ ออก-ซิน (auxins) กับไซโทไคนิน (cytokinins) กรดอินโดลแอซิติก (indole-3-acetic acid,IAA) เป็นออกซินที่พืชสังเคราะห์ได้จากกรดอะมิโนชื่อพริพโทเฟน (tryptophane) บทบาทที่สำคัญของ IAA ต่อการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ กระตุ้นการแบ่งของเซลล์ เร่งการขยายของขนาดเซลล์ ควบคุมการแตกราก ยับยั้งการเจริญเติบโตของตาข้าง ป้องกันการร่วงของใบ กิ่งและผล ไซโทไคนินเป็นฮอร์โมนพืชที่ส่งเสริมการแบ่งเซลล์ การขยายขนาดเซลล์ ส่งเสริมการสร้างและการเจริญของตา ช่วยในการงอกของเมล็ด ส่งเสริมการสร้างโปรตีน ชะลอความเสื่อมตามอายุ (senescence) ของใบ และช่วยในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร ไซโทไคนินชนิดแรกที่พบในพืช คือ ซีเอทิน(zeatin) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมี คือ 6-(4-hydroxy-3-methyl-trans-2-butenylamido) purine สำหรับไซโทไคนินที่พบในพืชต่าง ๆ ล้วนแต่อนุพันธ์ของ isopentenyl adenine

3.4 กรดนิวคลีอิก(nucleic acids) มีอยู่ 2 ชนิด คือ ribo nucleic acids (RNA) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีน และ deoxyribo nucleic acids (DNA) ทำหน้าที่เป็นศูนย์ข้อมูลทางพันธุกรรม กรดนิวคลีอิกเป็นอินทรีย์สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ประกอบด้วยหน่วยย่อย คือ นิวคลีโอไทด์(necleotides) จำนวนมาก สำหรับนิวคลีโอไทด์มีอยู่ 3 ส่วนคือ 1) เพนโทส (ribose สำหรับ RNA และ deoxyribose สำหรับ DNA) 2) purine หรือ pyrimidine base และ 3) กรดฟอสฟอริก โดยนิวคลีโอไทด์จะเชื่อมโยงเข้าด้วยกันโดยมีชูการ์-ฟอสเฟตช่วยประสาน (sugars phosphate linkage)

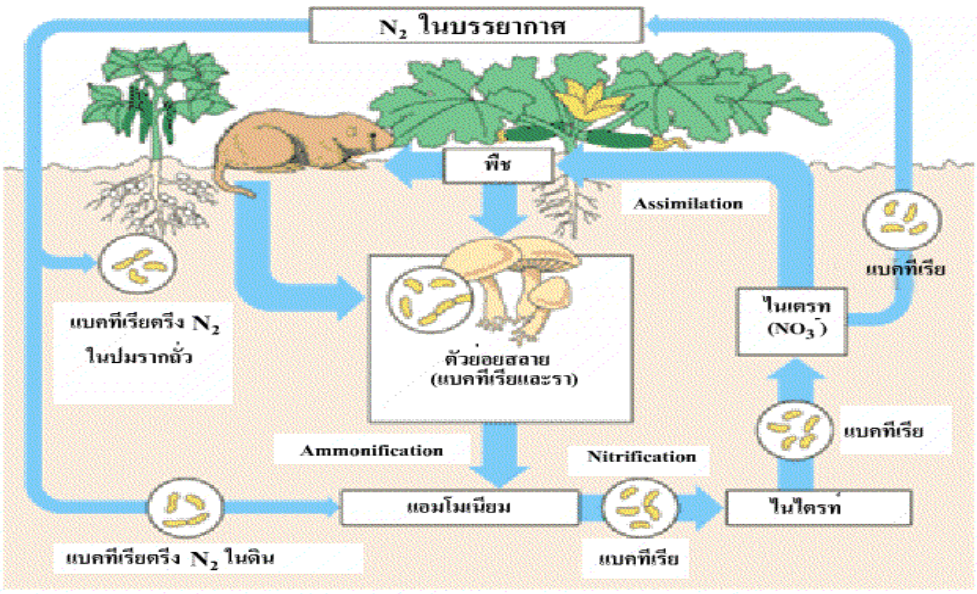
3.5 สารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ เช่น อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (adensine triphosphate, ATP) โคเอนไซม์ (co-enzynmes) เช่น NAD (nicotinamide adenine dinucleotide) และ NADP (nicotinamide adenine dinucleotide phosphate)

3.6 สารประกอบไนโตรเจนที่พืชสะสมไว้ (reserves) หรือทำหน้าที่ป้องกัน (protective compounds) เช่น แอลคาลอยด์ (alkalodis) ตัวอย่างของแอลคาลอยด์ที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง คือ นิโคติน (nicotine) จากในยาสูบ และมอร์ฟีน (morphine) จากฝิ่น

พืชต้องการธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ ในการเจริญเติบโต และเพื่อให้กิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีพของพืชเป็นไปด้วยดี ธาตุอาหารต่าง ๆ เหล่านี้จึงมีบทบาทต่อการเจริญของพืชทั้งในด้านแหล่งของพลังงานควบคุมกระบานการเมแทบอลิซึมในเซลล์ และกระบวนการสร้างเซลล์ เมื่อพิจารณาความสำคัญของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่าธาตุอาหารหลักเป็นส่วนประกอบ ที่สำคัญของสารที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของเซลล์พืช และกระบวนการสร้างเซลล์ ได้แก่โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และ ไขมัน ซึ่งพืชจำเป็นต้องใช้ธาตุอันเป็นองค์ประกอบของสารเหล่านี้ในปริมาณที่มาก ส่วนจุลธาตุนั้นส่วนใหญ่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งพืชต้องการจุลธาตุในปริมาณเพียงเล็กน้อย (อารีรัตน์, 2542)

4. การตรึงไนโตรเจน

ในบรรยากาศจะมีไนโตรเจนถึง 78% แต่พืชส่วนใหญ่ไม่สามารถนำมาใช้ได้ ธาตุไนโตรเจนอาจเปลี่ยนแปลงทางเคมีกลายเป็นแอมโมเนียหรือไนเตรท ดังภาพที่ 2.2 กระบวนการตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixation) ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ



ภาพที่ 2.2 วัฏจักรไนโตรเจน

4.1 กระบวนการอุตสาหกรรม (industrial process) ได้แก่ การผลิตแอมโมเนียโดยให้ไฮโดรเจนทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง (ประมาณ 200°C และ 200 บรรยากาศ) ต่อจากนั้นก็นำแอมโมเนียไปผลิตปุ๋ยเคมีชนิดต่าง ๆ เช่น ยูเรีย แอมโมเนียมซัลเฟต และแอมโมเนียมไนเตรท

4.2 กระบวนการธรรมชาติ (natural process) อาจแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ออกซิเดชันจากแก๊สไนโตรเจนในอากาศ เมื่อฟ้าแลบแก๊สไนโตรเจน ออกซิเจน และไอน้ำจะทำปฏิกิริยากันได้กรดไนตริก (HNO_3) ซึ่งจะละลายในน้ำฝนและตกลงมาสู่พื้นดิน ส่วนนี้มีประมาณ 10% ของการตรึงไนโตรเจนทั้งหมด และ การตรึงไนโตรเจนโดยชีววิธี (biological nitrogen fixation) การตรึงในแบบที่สองนี้มีความสำคัญมากเนื่องจาก 90% ของไนโตรเจนที่ตรึงได้โดยกระบวนการตามธรรมชาติมาจากกิจกรรมการตรึงจุลินทรีย์ดิน เอนไซม์ที่มีบทบาทในการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์เหล่านี้คือ ไนโทร-จีเนส (nitrogenase) (บุญชอบ, 2536)

5. การเคลื่อนย้ายไนโตรเจนในพืช

ในดินมีการระบายอากาศดีไนโตรเจนส่วนใหญ่อยู่ในรูปไนเตรทซึ่งพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีแม้ว่าจะได้รับเฉพาะรูปไนเตรทเพียงอย่างเดียว ไนโตรเจนในรูปไนเตรทเคลื่อนย้ายได้ดีในไซเลม และสามารถเก็บไว้ได้ในแวคิวโอของราก ยอดและอวัยวะอื่นของพืชได้ ซึ่งการสะสมไว้ในแวคิวโอนั้นมีความสำคัญต่อความสมดุลของแคทไอออน-แอนไอออน และการควบคุมออสโมซิสภายในเซลล์ แต่ไม่เคลื่อนย้ายในโฟเอ็ม จึงไม่พบไนเทรตในน้ำเลี้ยงจากโฟเอ็ม รูปที่เคลื่อนที่ไปทางโฟเอ็มได้ดีมาก คือ กรดอะมิโน หรือ เอไมด์ เมื่อไนเทรตเข้าสู่พืชจะถูกรีดิวซ์จนได้แอมโมเนียแล้วจึงเข้ารวมกับอินทรีย์สารบางชนิดสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโน หรือ เอไมด์ ส่วนแอมโมเนียที่ถูกพืชดูดเข้าไปในเซลล์จะถูกสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโน หรือ เอไมด์ได้ทันที

สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่พืชสังเคราะห์ในเบื้องต้น เช่น กลูตาเมท และกูลตามีน นั้น พืชนำไปใช้ในการสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโน โปรตีน และสารประกอบอื่น ๆ กระบวนการสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนและเอไมด์เกิดขึ้นได้ทั้งรากและส่วนเหนือดิน ซึ่งต้องใช้คาร์โบไฮเดรตซึ่งเคลื่อนย้ายมาจากใบเพื่อเป็นโครงคาร์บอนและแหล่งพลังงาน เมื่อสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนหรือ เอไมด์ได้แล้ว ส่วนหนึ่งจะถูกลำเลียงทางไซเลมไปเลี้ยงต้นและใบ สำหรับสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนที่เคลื่อนย้ายทางไกลหรือส่งไปยังแหล่งเก็บมีความแตกต่างกันระหว่างพืช (วันเพ็ญ, 2546)

6. ผลของปริมาณไนโตรเจนที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะไนโตรเจนเป็นธาตุที่ช่วยให้พืชสร้างโปรตีนซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของโฟโตพลาสซึม โดยปกติธาตุไนโตรเจนจะอยู่ในอากาศเป็นจำนวนมาก ในรูปของก๊าซไนโตรเจน แต่ในรูปดังกล่าวนั้น พืชไม่สามารถนำเอาไปใช้ประโยชน์ได้ ยกเว้นพืชตระกูลถั่วที่มีระบบรากพิเศษสามารถแปรรูปก๊าซไนโตรเจนจากอากาศมาใช้ประโยชน์ได้ ธาตุไนโตรเจนที่พืชทั่ว ๆ ไปดึงขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้นั้นจะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลของสารประกอบ เช่น แอมโมเนียมไอออน (NH^{4+}) และไนเทรตไอออน (No^{3-}) ธาตุไนโตรเจนในดินที่อยู่ในรูปเหล่านี้มาจากการสลายตัวของสารอินทรียวัตถุในดิน โดยการปลดปล่อยของจุลินทรีย์ในดิน และได้มาจากการใส่ปุ๋ยเคมีลงไปในดินด้วย ธาตุไนโตรเจนมีความสำคัญในการส่งเสริมการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืช พืชที่ได้รับไนโตรเจนอย่างเพียงพอใบจะมีสีเขียวสด มีความแข็งแรง โตเร็ว และทำให้พืชออกดอกและผลที่สมบูรณ์ เมื่อพืชได้รับไนโตรเจนในปริมาณที่มากและน้อยเกินไปก็ทำให้เกิดผลเสียได้เหมือนกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณของไนโตรเจนที่ผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

ได้รับในปริมาณเหมาะสม	ได้รับในปริมาณไม่พอเพียง	ได้รับในปริมาณมากเกินไป
1. พืชตั้งตัวได้เร็วในระยะแรกในการเจริญเติบโต 2. ใบมีสีเขียวเข้ม 3. ใบและลำต้นมีความแข็งแรง 4. บริเวณใบ ลำต้น และหัว ที่ใช้เป็นอาหารมีคุณภาพดี 5. ควบคุมการออกดอกและผล 6. ช่วยให้ผลผลิตสูงขึ้น	1. การเจริญเติบโตหยุดชะงัก 2. ลำต้นผอมสูง ลำต้นลีบ 3. พืชเกิดอาการ chlolosis ใบล่างจะเหลืองก่อน ในขณะที่ใบสีเหลืองยังมีสีเขียวอยู่ 4. ปลายใบและขอบใบจะค่อยๆ แห้งกลายเป็นสีน้ำตาล 5. ใบร่วงก่อนกำหนด	1. ทำให้พืชแก่ช้า 2. ผลผลิตของพืชให้ผลผลิตของพืชลดลง 3. ลำต้นอ่อน ทำให้ล้มง่าย 4. มีความต้านทานโรคลดลง 5. ทำให้ผนังเซลล์บาง และมีความเหนียวลดลง

ที่มา : ดัดแปลงจาก ศิริกุล, 2544

หลักการและวิธีการหา Nitrogen (N) ด้วย Kjeldahl Method

ขั้นตอนการหาปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl method ประกอบด้วย การย่อย (Digestion) การกลั่น (Distillation) การไตเตรต และการคำนวณ (Titration and Calculation)

1. การย่อย (Digestion)

วัตถุประสงค์ของการย่อยคือ เพื่อทำลายพันธะเคมีของตัวอย่างเช่น เนื้อ เนยแข็ง เป็นต้น ให้กลายเป็นโมเลกุลย่อย เช่น amino acid และเปลี่ยนโมเลกุลย่อยนั้นเป็น แอมโมเนียมแรดิคอล (NH_4 radical) วิธีการทำคือ นำตัวอย่างมาใส่ลงในหลอดย่อย (digestion tube) จากนั้นเติมสารเคมีเพื่อย่อยตัวอย่าง ได้แก่ กรดซัลฟูริคเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) จากนั้นเติมเกลือโปรแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของการย่อย (> 376 องศาเซลเซียส) เพื่อให้การย่อยเสร็จสมบูรณ์ แล้วเติมคะตะลิสต์ (Catalyst) เพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาเคมีจากนั้นนำหลอดย่อยใส่ลงในเครื่องย่อย (digestion block) แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้ถึงจุดของการย่อยสลายประมาณ 370-400 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้การย่อยเสร็จสมบูรณ์ข้อสำคัญในขบวนการย่อยนี้คือ ต้องควบคุมอัตราส่วนของกรดและเกลือ (acid-salt ratio) และอุณหภูมิให้เหมาะสม การย่อยจึงจะเกิดปฏิกิริยาได้ดีถูกต้องตามต้องการ

2. การกลั่น (Distillation)

การกลั่นจะเป็นการแยกเอา Nitrogen (N) ออกจากของเหลวในหลอดย่อย (digestion tube) มีวิธีคือ ปรับ pH ของของเหลวในหลอดย่อยให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อเปลี่ยน NH_4^+ (ammonium ion) ให้เป็น ammonia (NH_3) จากนั้นกลั่นแยก NH_3 ที่ได้ออกมาแล้วจับด้วยสารละลายที่เหมาะสมโดยจะใช้กรดบอริค 4% (Boric acid) เป็นตัวจับ NH_3 ไว้โดย ammonia จะรวมกับกรดบอริค กลายเป็นแอมโมเนียมบอเรท

3. การไตเตรต (Titration)

เป็นการหาปริมาณ Nitrogen โดยนำเอาแอมโมเนียที่ถูกจับไว้ในกรดบอริคมาไตเตรทกับสารละลายมาตรฐาน (Standard Titrant) ที่เหมาะสม นั่นคือ 0.1-0.4 N Hydrochloric acid โดยใช้ mixed indicator (methyl red และ bromocresol green) เป็นตัวบอกจุดยุติ (End point) (ศิริกุล, 2544)

4. ข้อจำกัดในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน

การพิจารณาการเลือกวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ย ต้องทำการตรวจสอบตัวอย่างปุ๋ยที่ทำการวิเคราะห์ว่าประกอบด้วยไนโตรเจนในรูปใดบ้าง ดังนั้นก่อนทำการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ย ต้องทราบรายละเอียดเกี่ยวกับสูตรและส่วนประกอบของตัวอย่างปุ๋ย ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยอินทรีย์ไนโตรเจนหรือปุ๋ยอนินทรีย์ไนโตรเจน เพื่อเลือกวิธีวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับรูปของไนโตรเจนที่อยู่ในปุ๋ย โดยมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในแต่ละวิธี ดังตารางที่ 2.2

แต่ละวิธีไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ทดแทนกันได้ ต้องทราบรายละเอียดของปุ๋ยที่นำมาวิเคราะห์ให้แน่นอน นอกจากนี้ถ้าเราทำการวิเคราะห์ปุ๋ยด้วยวิธีที่ 1 แล้วผลการวิเคราะห์เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือคลาดเคลื่อน เราต้องทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ออกมาถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด ดังเช่น วิธีการกลั่น ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยที่มีแอมโมเนียมไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ จึงไม่สามารถใช้วิเคราะห์ที่มี ไนเตรทไนโตรเจน หรือยูเรียเป็นองค์ประกอบได้ เนื่องจากการวิเคราะห์จะไม่แสดงผลการวิเคราะห์นั้นออกมา

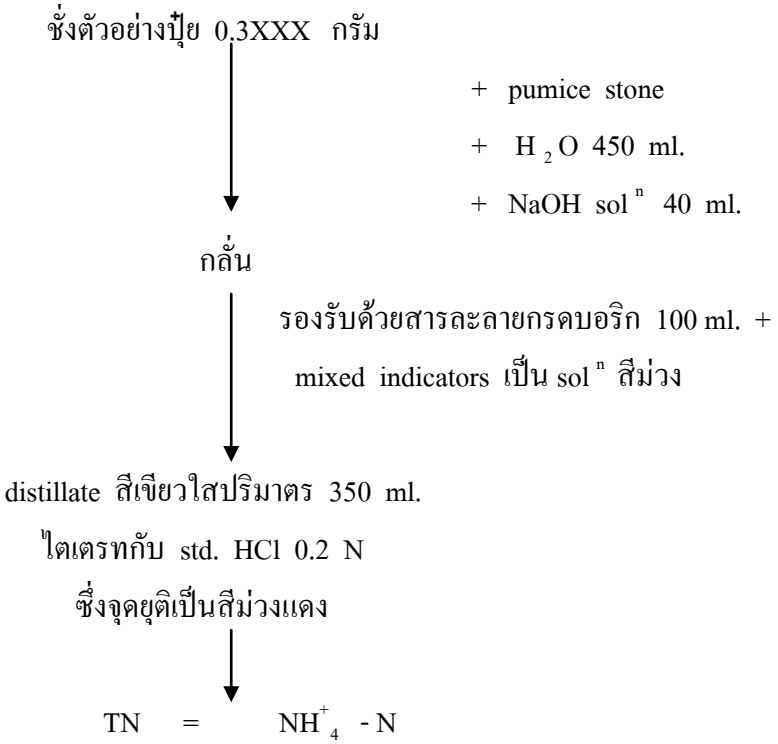
ตารางที่ 2.2 ข้อจำกัดในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนแต่ละขั้นตอน

ลำดับที่	วิธีวิเคราะห์	ข้อจำกัด
1.	วิธีกลั่น	วิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยที่มีแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N) เป็นองค์ประกอบ เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตสูตร 12 – 60 – 0
2.	วิธี Devarda Method	วิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ยที่มีไนเตรทไนโตรเจน (NO_3-N) เป็นส่วนประกอบ เช่น ปุ๋ยโพแทสเซียมไนเตรท สูตร 13-0-46
3.	วิธี Modified Improved Kjeldahl Method For Nitrate-Free Samples	วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างปุ๋ยที่ประกอบด้วยแอมโมเนียมและยูเรียแต่ไม่มีไนเตรท
4.	วิธี Modified Improved Kjeldahl Method For Nitrate-Containing Samples	วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างปุ๋ยที่ประกอบด้วยแอมโมเนียม ยูเรียและไนเตรท

ที่มา: ศิริกุล, 2544

5. วิธีกลั่นวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน

การกลั่นเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในตัวอย่างปุ๋ย โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 % เพื่อให้สารละลายปุ๋ยอยู่สภาพด่าง ใช้ความร้อนกลั่น สารละลายด่างนั้นสลายตัวให้แอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งดักจับแอมโมเนียที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายกรดบอริกแล้วนำไป ไตเตรทกับสารละลายกรดเกลือมาตรฐาน (AOAC, 1980) ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การวิเคราะห์ NH^+_4 - N ด้วยวิธีการกลั่น
ที่มา : ศิริกุล (2544)

ซึ่งสมการที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์เป็นดังสมการที่ (1), (2), (3) และ (4)

$$(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH \longrightarrow 2NH_4OH + Na_2SO_4$$ (1)

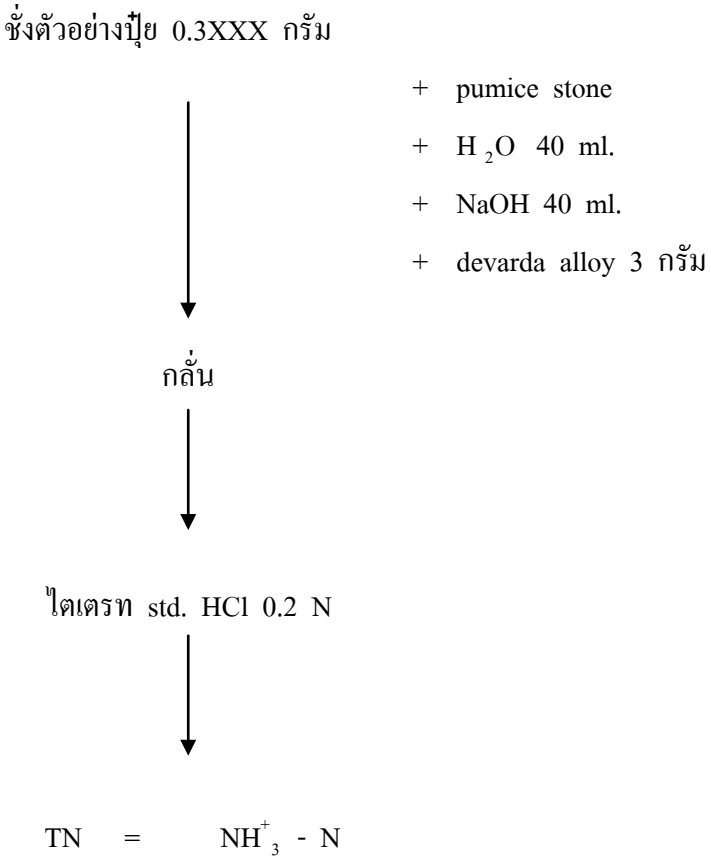
$$2NH_4OH \longrightarrow 2NH_3 + 2H_2O$$ (2)

$$2NH_3 + 4H_3BO_3 \longrightarrow (NH_4)_2B_4O_7 + 5H_2O$$ (3)

$$(NH_4)_2B_4O_7 + 5H_2O + 2HCl \longrightarrow 2NH_4Cl + H_3BO_3$$ (4)

6. วิธี Devarda Method

Devarda Method เป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในตัวอย่างปุ๋ย โดยใช้ Devarda alloy (Cu =50%,Al=45%,Zn=5%) เป็นตัวรีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นแอมโมเนียมในสารละลายที่มีสภาพเป็นด่าง กลั่นแอมโมเนียในสารละลายด่างออกมาจับแอมโมเนียนั้นด้วยสารละลายกรดบอริก แล้วนำไปไตเตรทกับสารละลายกรดเกลือมาตรฐาน (AOAC, 1980) ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 วิธีการวิเคราะห์ ไนโตรเจนแบบ Devarda Method

ที่มา : ศิริกุล (2544)

ซึ่งสมการที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์เป็นดังสมการที่ (5), (6) และ (7)

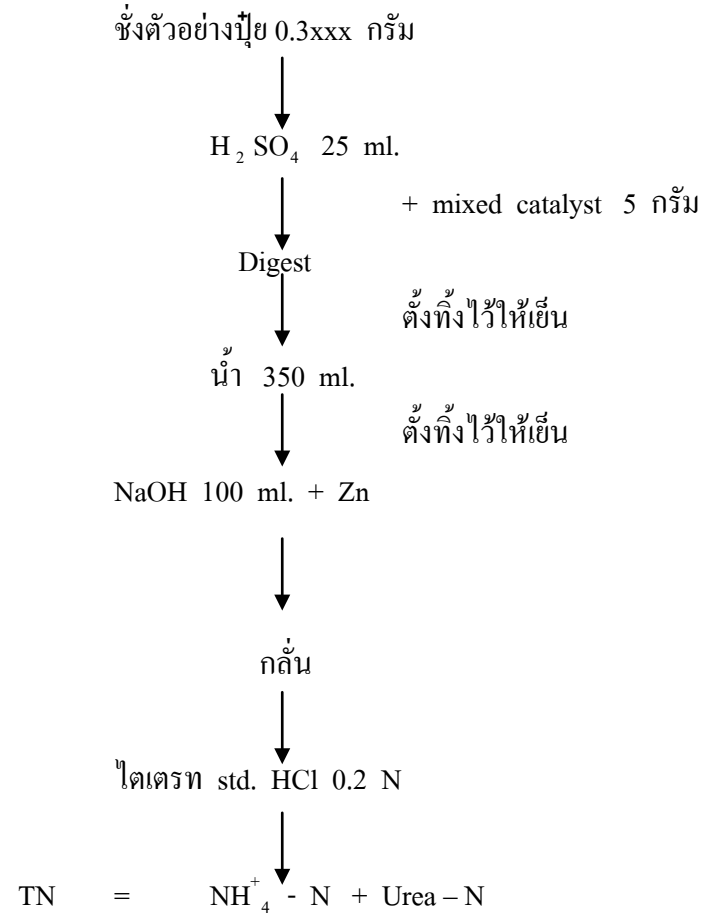
$$3NO_3 + 8Al + 5OH + 2H_2O \longrightarrow 8\,AlO_2 + 3NH_3 \quad (5)$$

$$2NH_3 + 4\,H_3BO_3 \longrightarrow (NH_4)_2B_4O_7 + 5H_2O \quad (6)$$

$$(NH_4)_2B_4O_7 + 5H_2O + 2HCl \longrightarrow NH_4Cl + 4H_3BO_3 \quad (7)$$

7. วิธี Modified Improved Kjeldahl Method For Nitrate- Free Samples

เป็นที่วิธีวิเคราะห์ที่ใช้กรดซัลฟูริคย่อยสลายยูเรีย โดยมี mixed catalyst (ซึ่งประกอบด้วยโพแทสเซียมซัลเฟตผสมกับคอปเปอร์ซัลเฟตในอัตราส่วน 9:1) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนไนโตรเจนในยูเรียให้เป็นแอมโมเนียมซัลเฟต นำตัวอย่างปุ๋ยที่ถูกย่อยสลายจนได้แอมโมเนียมซัลเฟต เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้อยู่ในสภาพด่าง กลั่นได้แอมโมเนีย ซึ่งดักจับด้วยกรดบอริก แล้วนำไปไตเตรทกับสารละลายกรดเกลือมาตรฐาน ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 วิธีการวิเคราะห์ ไนโตรเจนในรูปของ NH_4^+ - N และ Urea – N

ที่มา : ศิริกุล (2544)

ซึ่งสมการที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์เป็นดังสมการที่ (8), (9), (10) และ (11)

$$(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH \longrightarrow 2NH_4OH + Na_2SO_4 \quad (8)$$

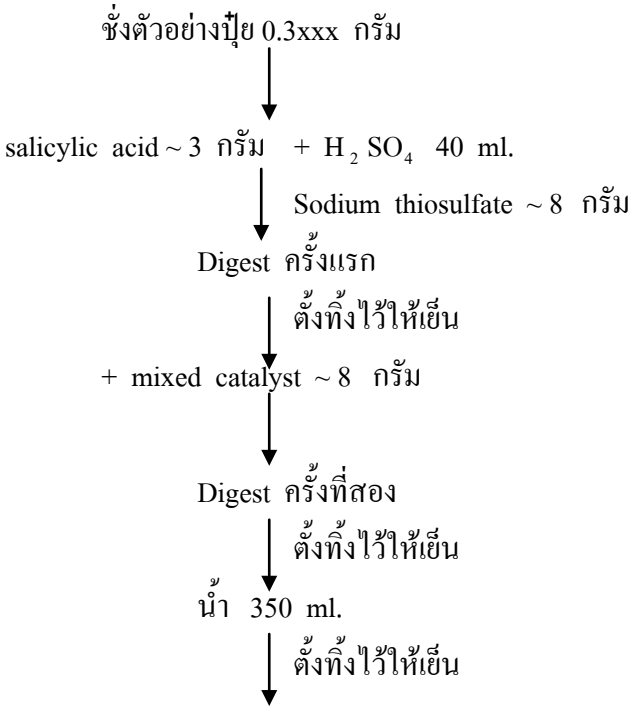
$$2NH_4OH \longrightarrow 2NH_3 + 2H_2O \quad (9)$$

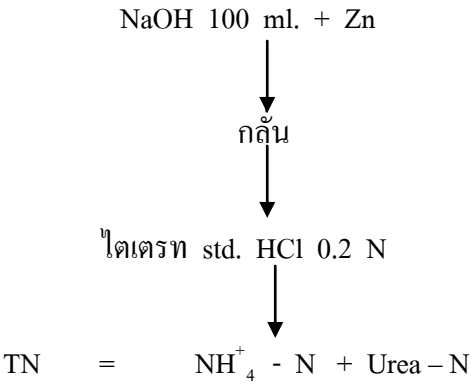
$$2NH_3 + 4H_3BO_3 \longrightarrow (NH_4)_2B_4O_7 + 5H_2O \quad (10)$$

$$(NH_4)_2B_4O_7 + 5H_2O + 2HCl \longrightarrow 2NH_4Cl + 4H_3BO_3 \quad (11)$$

8. วิธี Modified Improved Kjeldahl Method For Nitrate-Containing Samples

ส่วนประกอบของปุ๋ยที่เป็นไนเตรท จะทำปฏิกิริยากับกรดซาลิซิลิค ได้สารประกอบ 5-Nitro salicylic acid สารประกอบนี้จะถูกรีดิวซ์ด้วยโซเดียมไทโอซัลเฟตและกรดซัลฟูริคจะทำหน้าที่ย่อยสลายโดยมี mixed catalyst เป็นสารเร่งปฏิกิริยาให้อุณหภูมิสูงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ได้แอมโมเนียมซัลเฟต ส่วนยูเรียไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายด้วยกรดซัลฟูริค โดยมี mixed catalyst เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนยูเรียไนโตรเจนเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต แล้วทำให้ตัวอย่างปุ๋ยที่ผ่านการย่อยสลายอยู่ในสภาพสารละลายด่างแก่ โดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำการกลั่นเก็บแอมโมเนียที่เกิดขึ้นด้วยกรดบอริก แล้วนำไปไตเตรทกับสารละลายกรดเกลือมาตรฐาน ดังภาพที่ 2.6





ภาพที่ 2.6 วิธีการวิเคราะห์ หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ที่มา : ศิริกุล (2544)

ซึ่งสมการที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์เป็นดังสมการที่ (12), (13), (14), (15) และ (16)

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2SO_4 + 2H_2O \longrightarrow (NH_4)_2SO_4 + H_2CO_3 \quad (12)$$

$$(NH_4)_2SO_4 + 2NaOH \longrightarrow 2NH_4OH + Na_2SO_4 \quad (13)$$

$$2NH_4OH \longrightarrow 2NH_3 + 2H_2O \quad (14)$$

$$2NH_3 + 4H_3BO_3 \longrightarrow (NH_4)_2B_4O_7 + 5H_2O \quad (15)$$

$$(NH_4)_2B_4O_7 + 5H_2O + 2HCl \longrightarrow NH_4Cl + 4H_3BO_3 \quad (16)$$

หมายเหตุ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

$$NO^-_3 + \text{salicylic acid} + H_2SO_4 \longrightarrow \text{5 Nitro salicylic acid} \xrightarrow[\text{reduce}]{Na_2S_2O_3} (NH_4)_2SO_4$$

9. สูตรคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน

ทุกวิธีที่วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน ให้ทำ Blank ตามแต่ละวิธีวิเคราะห์ทุกประการ โดยไม่ใส่ตัวอย่างปุ๋ยเมื่อทำการกลั่นตามวิธี indicators ไม่เปลี่ยนสีแสดงว่า Blank เท่ากับ 0 ซึ่งคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนได้จากสูตรในสมการที่ (17)

$$\%\,N = \frac{N\,.\,HCl \times ml\,.\,HCl \times 1.4007}{wt\,.\,of\ sample} \qquad (17)$$

ปุ๋ย

1. ความหมายของปุ๋ย

ปุ๋ย (Fertilizer) หมายถึง วัตถุหรือสารที่ใส่ลงไปในดิน โดยมีความประสงค์จะให้ธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปรแตสเซียมเพิ่มเติมแก่พืชเพื่อให้ได้รับธาตุอาหารดังกล่าวในปริมาณที่เพียงพอและสมดุลกันตามที่ต้องการ และให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น ส่วนปุ๋ยตามความหมายในพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 คือ เป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตามสำหรับใช้เป็นธาตุอาหารแก่พืชได้ ไม่ว่าโดยวิธีใดหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเพื่อความเติบโตแก่พืช

2. ประเภทของปุ๋ย แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ดังนี้

2.1 ปุ๋ยอนินทรีย์ (Inorganic fertilizer) หรือปุ๋ยเคมี (Chemical fertilizer)

หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์สังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสม และปุ๋ยเชิงประกอบ และหมายความตลอดถึงปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปุ๋ยเคมีผสมอยู่ด้วย แต่ไม่รวมถึงปูนขาว ดินมาร์ล ปูนพลาสเตอร์ หรือยิปซัม ปุ๋ยชนิดนี้ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติแต่เกิดขึ้นด้วยกระบวนการผลิตทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นอาจเรียกปุ๋ยชนิดนี้ว่า ปุ๋ยวิทยาศาสตร์

2.2 ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic fertilizer)

เป็นปุ๋ยที่ได้จากอินทรียวัตถุโดยผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น การทำให้ชื้น การสับ การบด การหมัก การร่อน หรือวิธีการอื่นๆ แต่ไม่ใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากอินทรีย์สารโดยตรง โดยทั่วไปอยู่ในรูปของปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด เป็นต้น (เจนวิทย์, 2544)

ปุ๋ยหมัก

1. ความหมาย

ปุ๋ยหมัก (compost) เป็นปุ๋ยอินทรีย์ เป็นปุ๋ยธรรมชาติชนิดหนึ่งที่ได้มาจากการนำเอาเศษซากพืช เช่น ฟางข้าวซังข้าวโพด ต้นถั่วต่าง ๆ หญ้าแห้ง ผักตบชวา ของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนขยะมูลฝอยตามบ้านเรือนมาหมักร่วมกับมูลสัตว์ ปุ๋ยเคมี หรือสารเร่งจุลินทรีย์เมื่อหมักโดยใช้ระยะเวลาหนึ่งแล้ว เศษพืชเศษขยะเหล่านี้จะย่อยสลายเปลี่ยนสภาพจากของเดิมเป็นผงเปื่อยยุ่ย สีน้ำตาลปนดำ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ หลังจากนั้นก็สามารถนำเอาปุ๋ยหมักที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงบำรุงดิน วิธีการหมักวัสดุต่างๆ ให้กลายเป็นปุ๋ยหมัก อาจทำได้หลายๆ วิธี แตกต่างกันไป เช่น การหมักเศษพืชแต่เพียงอย่างเดียวหรือมีการเติมมูลสัตว์หรือปุ๋ยเคมีลงไปในกองปุ๋ยด้วย เพื่อเร่งให้เศษวัสดุแปรสภาพได้เร็วขึ้น การใส่ผงเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มเติมลงไปกองปุ๋ยเพื่อเสริมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติหรือการมีรูปแบบของการกองปุ๋ยแตกต่างกันไป ซึ่งแต่ละวิธีอาจใช้ระยะเวลาในการหมักไม่เท่ากัน และปุ๋ยหมักที่ได้ก็มีคุณภาพแตกต่างกันไป

2. มาตรฐานปุ๋ยหมัก

หน่วยงานของภาครัฐหลายหน่วยงาน กำหนดมาตรฐานคุณภาพปุ๋ยหมักไว้ ซึ่งแบ่งตามคุณสมบัติได้ดังแสดงใน ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานปุ๋ยหมัก

คุณสมบัติ	กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2546)	สมอช. (2548)	กรมส่งเสริมการเกษตร	กรมพัฒนาที่ดิน	กรมวิชาการเกษตร (2548)	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ กรมวิชาการเกษตร (2548)	ปุ๋ยหมักประกวด (เฉพาะผลวิเคราะห์)
1.อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	ไม่เกิน 20:1	20:1	ไม่เกิน20	20:1	ไม่เกิน 20:1	ไม่เกิน 20 : 1	25:1
2.ปริมาณอินทรียวัตถุ (% โดยน้ำหนัก)	25-50	ไม่เกิน35	25-50	35-50	25-50	ไม่น้อยกว่า 30	ไม่เกิน60
3.ค่าการนำไฟฟ้า(dS/m) (Electrical Conductivity, EC)	ไม่เกิน 3.5	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ไม่เกิน 2	3.5	ไม่เกิน 6	3.5
4.ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.5-8.5	5.5-8.5	6.0-7.5	5.5-8.5	5.5-8.5	5.5-8.5	5.5-8.5
5.ปริมาณธาตุอาหารพืชหลัก	1.0:0.5:0.5	1.0:1.0:1.0	1:1:0.5	1.0:1.0:0.5	0.5:0.5:0.1	1:0.5:0.5	1.0:1.0:0.5
ไนโตรเจน (N)	1	ไม่เกิน 1.0%	1	1.0	0.5	1	1.0
ฟอสฟอรัส (P_2O_5)	0.5	ไม่เกิน 1.0%	1	1.0	0.5	0.5	1.0
โพแทสเซียม (K_2O)	0.5	ไม่เกิน 1.0%	0.5	0.5	0.1	0.5	0.5

6.ความชื้นและสิ่งระเหยได้(%โดยน้ำหนัก)	50	ไม่เกิน 35%	35-40	35	ไม่เกิน 35	ไม่เกิน 35	ไม่เกิน35
7.ขนาดผ่านตะแกรงร่อน(ml)	12.5x 12.5	ไม่เกิน 12.5x12.5	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	12.5x12.5	ไม่เกิน 12.5 × 12.5	10
8.เศษวัสดุอื่น ๆ ที่ไม่ต้องการเช่น ดิน หิน กรวด ทราย ฯลฯ (%โดยน้ำหนัก)	ไม่เกิน 10	ไม่เกิน 2	ไม่ระบุ	ไม่เกิน 10	ไม่เกิน 10	ต้องไม่มี	ไม่เกิน 10
9.สารพิษและธาตุโลหะหนัก (mg/kg)							ต้องไม่มี
• Arsenic (As)	ไม่ระบุ	ไม่เกิน 50	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	50	ไม่เกิน 50	
• Cadmium (Cd)	ไม่ระบุ	ไม่เกิน 5	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	5	ไม่เกิน 5	
• Chromium (Cr)	ไม่ระบุ	ไม่เกิน 300	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	300	ไม่เกิน 300	
• Copper (Cu)	ไม่ระบุ	ไม่เกิน 500	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	500	ไม่เกิน 500	
• Lead (Pb)	ไม่ระบุ	ไม่เกิน 500	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	500	ไม่เกิน 500	
• Mercury (Hg)	ไม่ระบุ	ไม่เกิน 2	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	2	ไม่เกิน 2	

สมอช. หมายถึง สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ

3. วิธีการตรวจคุณภาพวัสดุในการผลิตปุ๋ย

ในการผลิตปุ๋ยนั้น จำเป็นต้องศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ในการผลิตว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นปุ๋ยหรือไม่ โดยเราใช้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการตรวจวัด หาค่ามาตรฐานของวัสดุที่นำมาผลิต เพื่อให้ได้ค่ามาตรฐานความเหมาะสมของมาตรฐานการผลิตปุ๋ยดังแสดงในตารางที่ 2.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการตรวจวัด

ตารางที่ 2.4 ตารางค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการการตรวจวัดคุณภาพการผลิตปุ๋ยจากกากตะกอน

ลำดับที่	พารามิเตอร์	วิธีการตรวจวิเคราะห์
1	ความชื้น	-Oven drying method -Gravimetric method
2	ไนโตรเจนทั้งหมด	-Kjeldahl method -Colorimetric method ด้วยเครื่อง spectrophotometer technicon
3	ปริมาณฟอสฟอรัส	- Colorimetric molybdovanadophosphate method (AOAC ,1984) ด้วยเครื่อง spectrophotometer technicon
4	ปริมาณโพแทสเซียม	-Atomic-absorption spectrophotometer ด้วยเครื่อง Unicom 929
5	คาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์	-Walkley & Black -คำนวณ Go taas, 1996
6	โลหะหนัก	-Atomic Absorption
7	pH	-pH meter
8	อุณหภูมิ	-เทอร์โมมิเตอร์
9	ปริมาณของแข็งระเหย	-Muffle drying method
10	ความหนาแน่นปกติ (bulk density)	-ใช้การคำนวณ
11	สัดส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio)	-ใช้การคำนวณ

4. ประสิทธิภาพของปุ๋ยหมัก

ในการเมินคุณภาพของปุ๋ยหมักนั้น ทางกรมพัฒนาที่ดินได้กำหนดมาตรฐานของปุ๋ยหมักไว้ดังนี้

1) ต้องมี C/N ratio ไม่สูงกว่า 20 : 1
2) มี Total nitrogen 1% P_2O_5 1% K_2O 0.5 % หรือสูงกว่า
3) มีความชื้นและสารระเหยได้ไม่เกิน 35 % โดยน้ำหนัก
4) มีอินทรียวัตถุ 30-60 %
5) มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6-7.5
6) ไม่มีเชื้อโรคที่ร้ายแรง ไม่มีกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนาและมีอุณหภูมิตามธรรมชาติ

ปัจจัยที่สำคัญในการย่อยสลายอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก

การย่อยสลายอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมักเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ดังนั้นสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ภายในกองปุ๋ยหมักจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะเป็นตัวควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์และมีผลต่อไปถึงการย่อยสลายด้วย ปัจจัยของสภาพแวดล้อมสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. ชนิดและองค์ประกอบของวัสดุ

โดยปกติแล้วสารอินทรีย์นำมาทำปุ๋ยหมักจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) อินทรียวัตถุในไร่นาและชนบท เช่น จากเศษพืช มูลวัว มูลสุกร ฯลฯ และ 2) อินทรียวัตถุในตัวเมืองและอุตสาหกรรม เช่น จากมูลฝอย ตะกอนน้ำเสีย กากเหลือกำจัดจากโรงงาน (เกียรติชัย, 2547) อินทรียวัตถุต่าง ๆ เหล่านี้เป็นอินทรียสารที่มีธรรมชาติทางเคมี (chemical nature) ที่ต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิด อายุ สภาพแวดล้อมที่มีอินทรียสารนั้น ๆ อยู่ แม้แต่ในอินทรียวัตถุชนิดเดียวกัน ยังปรากฏว่ามีอินทรียสารที่แตกต่างกันออกไป ในบรรดาธาตุต่าง ๆ ที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์นั้น ไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีความสำคัญมากที่สุด ถ้าชิ้นส่วนของพืชมีไนโตรเจนสูง การสลายตัว จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ (ประยูร, 2544) ชนิดและองค์ประกอบของวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมักอาจจะพิจารณาถึงสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1.1 อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

สารประกอบคาร์บอนและไนโตรเจน เป็นสารที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอน จนกระทั่งได้โมเลกุลเล็กและนำเข้าเซลล์ ส่วนประกอบไนโตรเจนถูกย่อยสลายเช่นเดียวกัน และเซลล์จุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งของไนโตรเจนเพื่อสร้างสารประกอบของเซลล์ เช่น สารโปรตีน และ Nucleis acid เป็นต้น ดังนั้นในการย่อยสลาย

สารอินทรีย์ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจึงมีผลกระทบต่อกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ โดยปกติเซลล์ของจุลินทรีย์มีค่า C/N ratio ประมาณ 10 – 15 หมายความว่า การที่จุลินทรีย์ดูดสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าไปในเซลล์ 10 – 15 หน่วย จำเป็นต้องดูดสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปด้วย 1 หน่วย จึงทำให้เกิดสมดุลของสารประกอบทั้งสองเซลล์ และจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี (ศศิวรรณ, 2546) โดยคาร์บอนในสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายจะให้พลังงานออกมา ซึ่งจุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากขึ้น โดยมีการสร้างเซลล์ใหม่ ธาตุไนโตรเจนเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างโครงสร้างของเซลล์ ซึ่งต้องการคาร์บอนมากกว่าไนโตรเจน ถ้าคาร์บอนมากเกินไปการย่อยสลายจะลดลง ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ จะเจริญเติบโตไม่ดีเมื่อมีไนโตรเจนน้อยและเวลาที่ใช้ในการหมักก็จะนาน แต่ถ้ามีไนโตรเจนมากเกินไปก็จะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียกระจายสู่บรรยากาศ เกิดการสูญเสียธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช และเป็นการสูญเสียไนโตรเจนจากกองหมักด้วย นอกจากนี้หากมีปริมาณแอมโมเนียสูงเกินไป อาจเป็นพิษต่อกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์ และยังก่อให้เกิดกลิ่นจากกระบวนการหมักนี้ได้

การทำปุ๋ยหมักจะพิจารณาถึง C/N ratio ของเศษวัสดุนั้นๆ กล่าวคือ วัสดุที่มีค่า C/N ratio ต่ำกว่า 100 จัดว่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ย่อยสลายง่าย ได้แก่ หญ้า ผักตบชวา ต้นข้าวโพด และเปลือกมันสำปะหลัง เป็นต้น และวัสดุเหลือทิ้งที่มีค่า C/N ratio สูงกว่า 100 จัดว่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ย่อยสลายยาก ได้แก่ ขี้เลื่อยจากไม้ต่าง ๆ อ้อย ขุยมะพร้าว และแกลบ เป็นต้น (ศศิวรรณ, 2546) ซึ่งวัสดุหมักที่มีค่า C/N ratio ต่ำ อัตราการย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าวัสดุหมักที่มีค่า C/N ratio ที่สูงกว่า แต่จะช้ากว่าวัสดุหมักที่มีค่า C/N ratio อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ในการหมักปุ๋ย C/N ratio จะต้องสมดุล ซึ่งถ้า C/N ratio พอเหมาะไนโตรเจนในพืชจะถูกย่อยสลายเป็นไนไตรท์ และ ไนเตรท ตามลำดับ การแก้ไขกรณีที่วัสดุที่จะใช้หมักมี C/N ratio ไม่เหมาะสมสามารถทำได้โดยการผสมวัสดุที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบมาก ๆ ลงไป เช่น ผสมกากถั่ว ปุ๋ยคอก หรือกากตะกอนน้ำเสีย เป็นต้น

อินทรีย์คาร์บอนควรมีค่าระหว่าง ร้อยละ 20 – 40 (พิกุลทอง, 2544) C/N ratio ควรมีค่าประมาณ 25:1 เพราะถ้าอัตราส่วนสูงกว่านี้จะทำให้การย่อยสลายใช้เวลานานขึ้น และสารอาหารของพืชที่ได้จากการหมักขั้นสุดท้ายจะอยู่ในปริมาณต่ำ (พิมพาภรณ์, 2545) อย่างไรก็ตามค่า C/N ratio ที่เหมาะสมในการหมักปุ๋ยจะมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุหมัก รายละเอียดดังแสดงตารางที่ 2.5 ซึ่งถ้าหมักมูลฝอยที่มีสารอินทรีย์หลายชนิดเป็นองค์ประกอบ ควรมีค่าอัตราส่วนที่ C/N ratio ระหว่าง 25 – 35 (จุไรรัตน์, 2543) หรือ 22 – 30 (จำลอง, 2539) หรือประมาณ 20:1 แต่ไม่ควรมากกว่า 40:1 แต่อย่างไรก็ตาม ค่าที่เหมาะสมในการหมักมูลฝอยจะอยู่ที่ 30 (พิมพาภรณ์, 2545) การ

หมักมูลฝอยในระยะแรกจะมีค่า C/N ratio สูง หลังจากนั้นจึงลดลงตามระยะเวลาการหมัก จนกระทั่งการหมักสมบูรณ์แล้ว ค่า C/N ratio จะเหลือประมาณ 10 – 20 (พิกุลทอง, 2544)

ตารางที่ 2.5 ค่า N และ C/N ratio โดยประมาณจากวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

วัสดุที่ใช้หมัก	% ไนโตรเจนโดยน้ำหนัก	อัตราส่วน C/N ratio
Night soil	5.5-6.5	6-10
ตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการหมักแล้ว	1.9	16
ตะกอนน้ำเสีย	5-6	6
มูลฝอย	3.6	12
วัชพืช	2	19
มูลสัตว์จากฟาร์ม	2.15	14
ขี้เลื่อย (สด)	0.11	511
เศษอาหาร	2-3	15
เปลือกผลไม้	1.5	35
เศษไม้	0.07	700
กระดาษ	0.2	170

ที่มา : จำลอง วรรณโครต (2539)

1.2 ขนาดของวัสดุ

ในการทำปุ๋ยหมักบางชนิด เช่น มูลฝอย อาจจะมีคำแนะนำให้ทำการตัดเศษวัสดุให้เล็กลง เนื่องจากจุลินทรีย์จะเข้าย่อยสลายที่ผิวของวัสดุได้มากยิ่งขึ้น ทำให้มีการสัมผัสออกซิเจนได้มาก กระบวนการย่อยสลายจึงเร็วขึ้น แต่ถ้าขนาดวัสดุเล็กเกินไป ช่องว่างต่าง ๆ ในกองหมักก็จะเล็กลงไปด้วย ทำให้ไปขัดขวางการแพร่ของอากาศในกองหมัก การย่อยสลายเป็นไปได้ช้าและเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (อานุภาพ, 2541) ในทางกลับกันถ้ามูลฝอยมีขนาดใหญ่มากเกินไปจะมีช่องว่างในกองหมักมาก กองหมักจะแห้งได้ง่าย ความร้อนที่เกิดขึ้นในกองหมักจะกระจายอย่างรวดเร็ว ทำให้กองหมักไม่ร้อนเท่าที่ควร ดังนั้นควรบดหรือสับวัสดุให้สั้นกว่า 2 – 3 นิ้ว (พิกุลทอง, 2544) เพื่อให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตในชิ้นส่วนของวัสดุหมักได้ทั่วถึง และแพร่กระจายรวดเร็ว แต่ถ้าหากไม่ต้องการสับวัสดุให้เล็กลง อาจจะใช้วิธีกองวัสดุหมักเป็นชั้น ๆ และใช้การพลิกกลับกองช่วย

อีกครั้งก็ได้ เพื่อให้วัสดุคลิกเคล้ากันดีและช่วยในการเพิ่มอากาศ พัชรี อ้างในมณฑา (2546) ได้เสนอว่า วัสดุหมักควรมีขนาด 2 – 2.95 นิ้ว และ JICA อ้างในเจนวิทย์ (2544) แนะนำว่าขนาดมูลฝอยที่เหมาะสมต่อการหมัก คือ 0.15 – 1.5 นิ้ว แต่ Tom L.Richard อ้างในพิมพาภรณ์ (2545) เสนอว่า มูลฝอยที่จะใช้หมักควรมีขนาด 0.5 – 2 นิ้ว

1.3 ขนาดของความสูงของกองหมัก

กองหมักมูลฝอยที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้เกิดความร้อนสูง จนทำลายจุลินทรีย์ ที่เป็นประโยชน์ต่อการย่อยสลายได้ ในทางตรงกันข้ามกองหมักปุ๋ยที่มีขนาดเล็กเกินไปจะรักษาอุณหภูมิและความชื้นไม่ค่อยได้ ทำให้การสลายตัวของวัสดุหมักช้าลง ชูศักดิ์ อ้างในจุไรรัตน์ (2543) กล่าวว่า การหมักปุ๋ยแบบกองในหลุม มักจะกำหนดให้มีความกว้าง 2 – 3 เมตร ยาว 1 – 6 เมตร ลึก 0.5 – 1.0 เมตร ส่วนการหมักแบบกองบนพื้นดิน มักกำหนดให้มีขนาดกองปุ๋ยกว้าง 2 -3 เมตร สูง 1.0 – 1.5 เมตร ความยาวตามความเหมาะสม แต่ Tom L.Richard อ้างในพิมพาภรณ์ (2545) เสนอว่า กองหมักควรกว้าง 3 -6 เมตร และสูง 1.5 – 3 เมตร ซึ่งโดยทั่วไปความสูงของกองหมักไม่ควรน้อยกว่า 1 เมตร และไม่ควรสูงกว่า 2 เมตร เพราะถ้ากองหมักมูลฝอยสูงน้อยไปหรือมากไปจะทำให้การย่อยสลายเป็นไปไม่ดีเท่าที่ควร (เจนวิทย์, 2544)

1.4 ลักษณะเนื้อสาร

ลักษณะเนื้อสารของปุ๋ยหมักโดยรอบเป็นสิ่งสำคัญที่จะบอกความเร็วในการย่อยสลายเนื้อสารโดยรวมของกองปุ๋ยจะประกอบด้วยสารอินทรีย์เป็นหลัก การผสมคลุกเคล้าระหว่างของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ในกองปุ๋ยที่ดีจะทำให้เกิดสภาพที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงเชื้อ เช่น การใช้ขี้เลื่อยผสมกับกระดูกป่น หรือกากถั่วเหลือง เพื่อผลสุดท้ายทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงมาอยู่ในช่วงที่เหมาะสม การอัดแน่นจนเกินไป ย่อมทำให้สัดส่วนของก๊าซมีน้อยลงเกิดสภาพไม่มีอากาศ (จำลอง, 2539)

2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลาย และเป็นปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร่งของปฏิกิริยาด้วย สภาพภูมิอากาศก็มีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย ในฤดูร้อนอุณหภูมิสูงการย่อยสลายอินทรียวัตถุเป็นไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการย่อยสลาย และคุณสมบัติการเก็บความร้อนของวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นไม่ค่อยแพร่กระจายออกจากกองปุ๋ยหมัก การที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นดังกล่าวทำให้สภาพแวดล้อมในกองปุ๋ยหมักเปลี่ยนแปลงไปชนิดของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ก็เปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ พบว่าจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญได้แก่ พวกที่ทนต่ออุณหภูมิสูง (Thermoduric) และพวกที่ชอบอุณหภูมิสูง (Themophilic) จากนั้นอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลง จนถึงระดับที่จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (Mespohilic) สามารถเจริญและเพิ่มจำนวนมากขึ้น (จุไรรัตน์, 2543)

การที่อุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น แสดงว่ามีการปลดปล่อยพลังงานออกมาจากกระบวนการเมตาบอลิซึม และเก็บรักษารวมทั้งกระจายความร้อนออกไปจนสามารถตรวจวัดโดยเทอร์โมมิเตอร์ได้ ส่วนการที่อุณหภูมิลดลง แสดงว่าวัสดุต้องการเติมอากาศหรือความชื้น เพราะถ้าไม่อย่างนั้น จะทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้า อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่เฉพาะเจาะจงเนื่องจากจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะตอบสนองเฉพาะอุณหภูมิในช่วงหนึ่ง ๆ เท่านั้น (เกียรติชัย, 2547) แต่ถ้ามีการสะสมความร้อนมากเกินอุณหภูมิที่เหมาะสมจุลินทรีย์บางกลุ่มอาจจะถูกฆ่า ยกเว้นสภาพสปอร์ แต่ก็มีข้อดีเนื่องจากเป็นการกำจัดเชื้อโรคบางชนิด (พิมพาภรณ์, 2545)

2.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมัก

สามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ 1) Mesophilic Stage มีช่วงอุณหภูมิ 15-43 องศาเซลเซียส 2) Thermophilic Stage มีช่วงอุณหภูมิ 43 -72 องศาเซลเซียส 3) Coolingdown Stage เป็นช่วงที่อุณหภูมิเริ่มลดลง 4) Maturing Stage เป็นช่วงที่อุณหภูมิลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศ (พิกุลทอง, 2544)

ในช่วงแรกๆ ของการหมักที่อุณหภูมิราว 35 องศาเซลเซียส พวกคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้ง และน้ำตาลจะถูกย่อยสลาย ส่วนโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนจะถูกย่อยสลายที่อุณหภูมิราวๆ 60 – 65 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่วัสดุหมักไปแล้ว 2 – 4 วัน ต่อจากนั้นเมื่อกระบวนการหมักเริ่มจะสมบูรณ์ อุณหภูมิก็จะเริ่มลดลง จุลินทรีย์พวกแอคติโนมัยซีส และเราก็จะเพิ่มปริมาณมากขึ้น (อานุภาพ, 2541)

การที่ระดับของอุณหภูมิในกองปุ๋ยจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมเหมาะสม เช่น ระดับ pH ชนิดของวัสดุหมัก ขนาดของกองหมัก ในกรณีที่อุณหภูมิสูงมากเกินไปประมาณ 70 องศาเซลเซียส มีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยทำให้การย่อย สลายสารประกอบอินทรีย์ลดลง และกิจกรรมลดลงตามไปด้วย (เกียรติชัย, 2547)

การเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิตามที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ เป็นลักษณะพิเศษที่เกิดขึ้นในกองปุ๋ยหมัก ทำให้สภาพแวดล้อมและชนิดของจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงไปด้วย มีนักวิจัยสนใจและศึกษาระบบนิเวศในกองปุ๋ยหมักกันมาก จุดที่สำคัญอันหนึ่ง คือ ความร้อนที่สะสมใน กองปุ๋ยเป็นระยะเวลานานนี้ มีผลต่อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคต่อคนหรือพืชด้วย พบว่าอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักที่ทำจากขยะเทศบาล มีผลโดยตรงต่อการทำลายจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคในระบบลำไส้ของคน (ศศิวรรณ, 2546) สำหรับปุ๋ยหมักที่ทำจากพืชที่เป็นโรคใบไหม้ ของข้าวโพดและแอนแทรกโนสของถั่วเหลือง พบว่าการนำเศษพืชที่เป็นโรคดังกล่าวมาทำให้เป็นปุ๋ยหมัก แล้วทำการตรวจสอบเชื้อโรคเป็นระยะๆ พบว่าการทำปุ๋ยหมักเป็นเวลา 30 วัน ตรวจไม่พบเชื้อโรคพืชในกองปุ๋ยหมัก ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคดังกล่าวลดน้อยลง คือ ระดับของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนาน (พิกุลทอง, 2544)

Tiquia และคณะ ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิในฤดูกาลต่าง ๆ ในการทำปุ๋ยหมักจากมูลสุกร โดยการศึกษานี้ได้แบ่งเป็นการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ ในช่วงฤดูหนาว และช่วงฤดูร้อนของประเทศฮ่องกง พบว่า ชุดการทดลองที่ทำในช่วงฤดูร้อนเกิดกระบวนการหมักได้ดี และได้เร็วกว่าชุดการทดลองที่ทำในช่วงฤดูหนาว ทั้งนี้เพราะช่วงฤดูร้อน มีอุณหภูมิสูงและเหมาะสมกว่าฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิต่ำ ปฏิกิริยาของกระบวนการหมักของชุดการทดลองในช่วงฤดูร้อนจึงเกิดได้ดีกว่า (จุไรรัตน์, 2543)

ในการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการหมักปุ๋ย วรพจน์รายงานว่า ควรหมักมูลฝอยที่อุณหภูมิประมาณ 52 – 58 องศาเซลเซียส (พิมพาภรณ์, 2545) ซึ่งใกล้เคียงกับ พัชรี ที่แนะนำว่าในช่วง 2 – 3 วันแรก ควรควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ ประมาณ 50 – 55 องศาเซลเซียส ต่อจากนั้นจึงควบคุมให้อยู่ประมาณ 55 – 60 องศาเซลเซียส (ศศิวรรณ, 2546)

2.2 สิ่งที่ควรจะคำนึงในเรื่องของอุณหภูมิในกองปุ๋ยมีอยู่ 2 ประการ คือ

2.2.1 การผลิตความร้อนของแต่ละสาร พบว่าเป็นปฏิกิริยาทางชีวเคมีล้วน ๆ มีการปลดปล่อยความร้อนออกมาแล้วมีการเก็บสะสมความร้อนทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยค่อย ๆ สูงขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะที่ดี (พิมพาภรณ์, 2545) ดังนั้นจึงมีแนวคิดว่า ในการควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ควรกระทำโดยการควบคุมการปลดปล่อยความร้อนที่ออกมา ในทางปฏิบัตินั้นการปลดปล่อยความร้อนจะถึงจุดสูงสุดจึงจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนที่ออกมา เพื่อปรับสภาพให้เหมาะสม

การปลดปล่อยความร้อนอาจจะใช้ความร้อนจากการเผาไหม้เป็นค่าประมาณที่ดีที่สุด เช่น Miller อ้างในจำลอง (2539) รายงานว่า Sewage Sludge จะสามารถผลิตความร้อนได้ 21.8 และ 15.2 กิโลกรัมต่อจูล (สาเหตุที่มี 2 ค่า เนื่องจากมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกัน)

2.2.2 การระบายความร้อนและการจัดการความร้อน การระบายความร้อนเป็นการจัดการอุณหภูมิของกองปุ๋ย ในตอนเริ่มแรกของการทำปุ๋ยหมัก การเก็บความร้อนเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ปกติการวัดความสามารถในการเก็บความร้อนจะใช้น้ำเป็นมาตรฐาน เนื่องจากโดยปกติจะมีน้ำอยู่ 2 ใน 3 ของกองปุ๋ยอยู่เสมอ นั่นคือ การระบายความร้อนจากกองปุ๋ยจะพิจารณาจากความสามารถในการนำและพาความร้อนจากภายในออกมาภายนอกกองปุ๋ย ในทางปฏิบัตินั้น การควบคุมการระบายและเก็บความร้อนจะควบคุมขนาด – รูปร่างของกองปุ๋ยและควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นจากการควบคุมวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

3. ความชื้น

ความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำภายในกองหมักซึ่งมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนพื้นผิวของวัสดุหมัก เนื่องจากเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหารและก๊าซออกซิเจนจากวัสดุหมัก และอากาศไปยังจุลินทรีย์ และยังเป็นตัวกลางในการส่งผ่านเอนไซม์เข้าย่อยสลายวัสดุหมักด้วย นอกจากนี้ความชื้นยังเป็นตัวกำหนดปริมาณก๊าซในวัสดุหมัก ถ้าความชื้นมากขึ้นปริมาณก๊าซจะลดลง ทำให้กระบวนการย่อยสลายช้าลง เพราะน้ำจะเข้าไปแทนที่อากาศที่อยู่ระหว่างอนุภาคของวัสดุหมัก (กิ่งกาญจน์, 2541)

Tiquia และคณะ ได้ศึกษาหาระดับความชื้นที่เหมาะสมในการทำ ปุ๋ยหมักที่ได้จากมูลสุกร จากการศึกษาพบว่าระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการทำปุ๋ยหมักจากมูลสุกร คือ ร้อยละ 50 – 60 ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากคุณสมบัติต่าง ๆ ทางด้านเคมีและทางด้านชีวภาพ โดยพบที่ระดับความชื้นร้อยละ 50 และ 60 นั้นกระบวนการหมักมีประสิทธิภาพมากกว่าที่ระดับความชื้นร้อยละ 70 (จุไรรัตน์, 2543)

Finstein และ Morris พบว่าลักษณะของวัสดุที่เหลือทิ้งที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน มีผลต่อระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของสารอินทรีย์ เช่น ถ้าสารอินทรีย์มีความหนาแน่นมาก ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายคือ ร้อยละ 50 - 60 (โดยน้ำหนัก) ในพืชที่เส้นใยและมีความหนาแน่นน้อย ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมอาจสูงถึงร้อยละ 80 – 85 และถ้าความชื้นที่กองปุ๋ยหมักต่ำกว่าร้อยละ 40 การย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ (พิกุลทอง, 2544)

Suler และ Finstein พบว่าความชื้นที่ระดับร้อยละ 50 – 60และปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอ อัตราย่อยสลายจะเกิดขึ้นสูง และเมื่อเพิ่มความชื้นเป็นร้อยละ 70 อัตราการย่อยสลายช้าลง ถ้าความชื้นต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ถ้าความชื้นสูงกว่าระดับที่เหมาะสม ทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจนในกองเศษพืช (เกียรติชัย, 2547)

จากการศึกษาพบว่า ระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมักที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายประมาณร้อยละ 50 – 60 (โดยน้ำหนัก) ถ้าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40 การย่อยสลายเกิดขึ้นช้าเพราะมีน้ำไม่เพียงพอต่อการใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่ถ้าความชื้นมากกว่าร้อยละ 80 ทำให้กองปุ๋ยหมักแฉะเกินไป การระบายอากาศไม่ดี จนทำให้เกิดสภาพไม่มีอากาศ กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้าเช่นเดียวกัน นอกจากความชื้นมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต และกิจกรรมของจุลินทรีย์แล้ว ยังมีผลทางอ้อมต่อการระบายอากาศด้วย กล่าวคือ ถ้าความชื้นมีมากเกินไปการแพร่กระจายของออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักเกิดขึ้นได้ยาก จนทำให้เกิดสภาพขาดออกซิเจน

4. ปริมาณอากาศหรือออกซิเจน

อานุภาพ (2541) กล่าวว่า การให้อากาศแก่กองหมัก เป็นสิ่งจำเป็นในการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ เนื่องจากจุลินทรีย์พวกต้องการอากาศจะใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเลคตรอนในระบบการหายใจภายในเซลล์ และใช้ถ่ายเทของเสีย เช่น น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ออกจากกองหมัก ซึ่งจุลินทรีย์พวก Aerobic จะต้องการออกซิเจน 11 – 14% และจุลินทรีย์ พวก Mesophile ต้องการประมาณ 5%

4.1 ผลจากปริมาณอากาศไม่เพียงพอ

ในกองปุ๋ยหมัก ถ้าให้เกิดสภาพไร้อากาศและมีกลิ่นเหม็นจากสารประกอบซัลเฟอร์เกิดขึ้น แต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้มวลของปุ๋ยหมักลดลง จนบางครั้งทำให้กองปุ๋ยหมักแห้งเกินไป และส่งผลให้อัตราการเติบโตของจุลินทรีย์ลดลงในความเป็นจริงช่วงตอนต้นของการหมักจะเป็นช่วงที่ต้องการอากาศมากที่สุด โดยจะส่งผลให้เกิดช่วงเทอร์โมฟิลิกที่สมบูรณ์ และมีการย่อยสลายที่ดี และเมื่อปุ๋ยหมักเข้าสู่ช่วงได้ที่แล้ว อาจจะลดอัตราการเติมอากาศลงก็ได้

4.2 การให้อากาศ การ สามารถทำได้ 2 วิธี

4.2.1 การพลิกกลับกองปุ๋ย ซึ่งนอกจากจะช่วยให้อากาศ และการระบายแล้ว ยังช่วยคลุกเคล้าวัสดุหมักให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมออีกด้วย การให้อากาศวิธีนี้จะทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักลดลง และการพลิกกลับกองที่เหมาะสม จะช่วยให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง โดย Vangnai อ้างในศศิวรรณ (2546) แนะนำว่าการพลิกกลับกองหมัก ทุก 5 -7 วัน จะช่วยให้วัสดุหมักย่อยสลายเร็วขึ้น แต่ Hey and Kucherither อ้างในเจนวิทย์ (2544) ศึกษาพบว่า การพลิกกลับกอง 3 ครั้ง/สัปดาห์ จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด

4.2.2 การใช้เครื่องเติมอากาศ ซึ่งจะเติมอากาศเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะทางภายภาพ และเคมีของวัสดุหมัก ในการศึกษาความต้องการอากาศนั้น Rabban et al. อ้างใน พิกุลทอง (2544) รายงานว่าควรให้อากาศ 284 มิลลิกรัม/กรัม – ชั่วโมง ในช่วงเริ่มแรกของกระบวนการหมัก ซึ่งวัสดุหมักจะยังมีลักษณะสดอยู่ต่อจากนั้นให้อากาศ 9 มิลลิกรัม/กรัม – ชั่วโมง ในขันสุดท้ายของการหมักโดยกระบวนการหมักจะแล้วเสร็จภายในเวลา 4 สัปดาห์ (กิ่งกาญจน์, 2546)

5. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ความเป็นกรด – ด่าง หรือปฏิกิริยาของไฮโดรเจนไอออนเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะวัดผลสำเร็จในการทำปุ๋ยหมัก โดยระหว่างที่มีการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพของวัสดุหมักให้มีสภาพเป็นฮิวมัสจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ pH เป็นกลางก่อนเข้าสู่กองปุ๋ยหมัก

Gray และ Rabbani et al. อ้างในพิกุลทอง (2544) กล่าวว่า การทราบความเปลี่ยนแปลงของ pH ในกระบวนการหมักจะช่วยให้ทราบถึงความเป็นไปของระยะหมักที่ดำเนินการอยู่ในขณะนั้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว การเปลี่ยนแปลง pH ของกระบวนการหมักสามารถแบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ ในช่วงแรก pH ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเป็นสภาวะด่างที่ช่วง 8.0 – 9.0 (Thermophilic Stage) ต่อมา pH จะลดลงมาเล็กน้อย (Cooling Stage) และท้ายสุด pH ก็จะลดลงมาจนมีค่าอยู่ในช่วง 7.0 – 8.0 (Maturing Stage)

สุปราณี อ้างในจุไรรัตน์ (2546) รายงานว่า แบคทีเรียและ Actinomycetes จะเจริญได้ดีที่ระดับ pH 6 – 8 ส่วนราจะเจริญได้ดีที่ 5.5 – 8 ซึ่งสอดคล้องกับ Tom L. Richard ที่กล่าวว่า จุลินทรีย์ในกองหมักมูลฝอยจะเจริญได้ดีที่ 5.5 – 8.5

6. จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ย

มีการศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ยไว้มากมาย โดยจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ยหมักสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

6.1 เชื้อรา (Fungi)

เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่ง ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยมีสปอร์กระจัดกระจายอยู่ทั่วไป ในกองหมักจะตรวจพบเชื้อราเสมอ แต่มีชนิดและปริมาณของเชื้อราแตกต่างกันตามวัสดุที่นำมาใช้หมัก ความชื้น และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม อุณหภูมิและความชื้นที่สูงขึ้นจะเป็นสภาพที่เหมาะสมกับแบคทีเรียมากกว่าเชื้อรา ดังนั้นจึงมักพบเชื้อราเจริญอยู่บริเวณผิวนอกของกองหมักที่มีอุณหภูมิในช่วง 50 องศาเซลเซียส และในสภาพแห้งแล้งที่อุณหภูมิ 62 – 63 องศาเซลเซียส ก็ยังพบเชื้อราได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 65 องศาเซลเซียส จะไม่พบเชื้อราเลย (เจนวิทย์, 2544)

ปัจจัยต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมจะเป็นตัวควบคุมชนิด และคัดเลือกเชื้อราที่มีความสามารถในการดำรงกิจกรรมในกองหมัก จากการศึกษาชนิดของเชื้อราในระยะต่าง ๆ ของการทำปุ๋ยหมักพบว่า ในระยะที่อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้น มักจะตรวจพบเชื้อราพวก Geotrichum candidum และ Aspergillus fumigatus และเมื่ออุณหภูมิสูงถึงระดับ 45 – 55 องศาเซลเซียส มักจะพบพวก Cladosporium sp. ,Aspergillus sp. และ Mucor sp. เมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้อาจจะพบพวก Penicillum duponti (อานุภาพ, 2541)

6.2 Actinomycetes

Actinomycetes ที่มักจะพบในกองหมัก ได้แก่ พวก Thermoactinomycetes sp. Thermomonospora sp. ซึ่งเป็นพวกที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูโลส ออกมาย่อยเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจาก 2 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว อาจจะพบพวก Streptomyces sp. และ Micropolyspora sp. อีกด้วย จากข้อมูลต่าง ๆ พบว่า Actinomycetes สามารถเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูงถึง 65 องศาเซลเซียส และเจริญเติบโตลดลงจนถึงหยุดชะงัก เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ Actinomycetes ด้วย (พิกุลทอง, 2544)

โดยทั่วไป Actinomycetes จะเจริญเติบโตได้ช้ากว่าแบคทีเรียและเชื้อรา นอกจากนี้ยังเติบโตไม่ดีเมื่ออยู่ในสภาพที่มีอากาศไม่เพียงพอ เนื่องจากจุลินทรีย์พวกนี้ต้องการอากาศในการเติบโต Actinomycetes ที่เจริญเป็นกลุ่มบนวัสดุหมักจะมีลักษณะเป็นจุดสีขาว ๆ คล้ายผงปูนขาว ซึ่งสามารถเห็นได้ในกองปุ๋ยหมักหลังจากที่อุณหภูมิขึ้นสูงจนถึงจุดสูงสุด (มณฑา, 2546)

6.3 แบคทีเรีย (Bacteria)

จุลินทรีย์พวกนี้จะพบอยู่ในช่วงของกระบวนการทำปุ๋ยหมัก และมักตรวจพบในปริมาณมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เสมอ ปริมาณของแบคทีเรียทั้งหมดในกองปุ๋ยหมักมีค่าประมาณ 2.3 x 10^8 เซลล์/น้ำหนัก 1 กรัม ส่วนพวกที่ทนต่อสปอร์และทนต่อความร้อนจะมีค่าประมาณ 3.9 x 10^4 เซลล์/น้ำหนัก 1 กรัม ปริมาณของแบคทีเรียดังกล่าวเป็นค่าที่ไม่แน่นอน โดยจะเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมและวัสดุที่นำมาหมัก อย่างไรก็ตาม ปริมาณของแบคทีเรีย จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น (พิมพาภรณ์, 2545)

โดยทั่วไปในกองปุ๋ยหมักมักจะพบพวก Psueudomonas sp. ,Achromobacter sp.,Flavabacterium.,Micrococus sp. และ Bacillus sp. ซึ่งพวก Bacillus sp. ค่อนข้างจะพบในปริมาณมากกว่าชนิดอื่น ๆ โดยเฉพาะพวก B.subtillis และ B. sterothermophilus ที่ชอบอุณหภูมิสูงจะเจริญได้ดีในช่วง 50 – 55 องศาเซลเซียส (ศศิวรรณ, 2546) แต่บางกรณีก็อาจถึง 65 องศาเซลเซียส พวก Bacillus sp. จัดเป็นพวกที่สามารถสร้างสปอร์ได้ จากการตรวจสอบพบว่าสปอร์จะเพิ่มขึ้นมาก

ตั้งแต่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (จุไรรัตน์, 2543) นอกจากนี้ยังพบว่ามีพวก Clostridium sp. ที่สามารถสร้างสปอร์ได้เช่นกัน แต่จะเจริญในสภาพที่ไม่มีอากาศ

บางครั้งอาจพบแบคทีเรียพวกหนึ่งที่สามารถทนต่อการสร้างความร้อนได้สูง ซึ่งได้แก่ Thermus aquaticus เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 40 – 79 องศาเซลเซียส แต่เจริญได้ดีที่ 70 องศาเซลเซียส (พิมพาภรณ์, 2545) จากการเปรียบเทียบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 กลุ่ม ในกองหมักที่ทำจากวัสดุที่ย่อยสลายง่ายและยาก พบว่ามีปริมาณไม่แตกต่างกัน

7. ระยะเวลาที่ต้องการสำหรับกระบวนการหมัก

ระยะเวลาที่ต้องการในกระบวนการหมักเพื่อให้เกิดความเสถียรของสารอินทรีย์นั้นขึ้นกับค่าเริ่มต้น C/N ratio ความชื้น ขนาดของอนุภาค และการรักษาสภาพการหมักแบบมีออกซิเจน

ระยะเวลาที่ต้องการเพื่อให้เกิดความเสถียรภาพของอินทรีย์ที่สัมพันธ์กับค่า C/N ratio เริ่มต้นของมูลฝอยชุมชนภายใต้ภาวะมีออกซิเจนและค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 70 ไว้ว่า ค่า C/N ratio เริ่มต้น 20 , 30-35 และ 78 ต้องใช้ระยะเวลาในการหมัก 9-12 , 10-16 และ 21 วัน ตามลำดับ (พิกุลทอง, 2544)

8. สารเร่งชนิดอื่น ๆ

นอกจากเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายปุ๋ยหมักแล้ว สารตัวเร่งอื่นก็นิยมใช้ ซึ่งอาจจะแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

8.1 สารอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ โปรตีน กรดอินทรีย์ ยูเรีย เป็นต้น ในทางปฏิบัติโดยการใช้ปัสสาวะรดกองปุ๋ย การใช้เลือดแห่ง การผสมเศษวัสดุโดยใช้กระดูกป่น กากถั่ว กากน้ำตาล รำข้าว (จำลอง, 2539)

8.2 สารอนินทรีย์ ได้แก่ สารเคมี ปุ๋ยเคมีต่าง ๆ ที่นิยมใช้ เช่น ปุ๋ยยูเรีย ยแอมโมเนียซัลเฟต ปุ๋ยผสมต่าง ๆ ปูนขาว ยิปซั่ม และหินฟอสเฟต จุดประสงค์ในการเพิ่มสารเหล่านี้ เพื่อลดสัดส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนให้เหมาะสม ตลอดจนเพื่อเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยหมัก (มณฑา, 2546)

ในการศึกษาการใช้สารเร่งในกระบวนการหมักปุ๋ย สุจินต์ อ้างในอานุภาพ (2541) ได้ศึกษาการใช้สารเร่งในการหมักมูลฝอย แล้วพบว่า สารเร่งไม่มีผลช่วยในการเร่งระยะเวลาหมักให้สั้นลงได้ ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ จำรูญและคณะ อ้างในเจนวิทย์ (2544) ที่ได้ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวา โดยใช้สารเร่ง ซึ่งพบว่า การใส่สารเร่งชนิดต่าง ๆ ลงไปในกองปุ๋ยหมักจะทำให้การย่อยสลายเร็วขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sarinporn อ้างในพิมพาภรณ์ (2545) ที่นำสารเร่งมาใช้ในการหมักมูลฝอยเทศบาลแล้วพบว่า โครงสร้างเร่งร้อยละ 0.015 ของน้ำหนักวัสดุที่ใช้หมักทั้งหมดจะทำให้มีอัตราการย่อยสลายได้เร็วกว่าการใช้สารเร่งในอัตราอื่น ๆ

วัสดุผสมในการผลิตปุ๋ย

วัสดุผสม คือ วัสดุที่ใช้ร่วมกับกากตะกอนในการผลิตปุ๋ย เพื่อแสดงให้เห็นถึงวัสดุที่สามารถนำมาใช้ร่วมกับกากตะกอนเพื่อผลิตปุ๋ยเพื่อให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้คุณสมบัติของกากตะกอนขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของกากตะกอนด้วย ซึ่งกากตะกอนที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทมีคุณสมบัติสามารถนำมาผลิตปุ๋ยได้โดยไม่ต้องใช้วัสดุอื่นร่วมในการผลิต เพราะมีคุณสมบัติครบถ้วนแล้ว เพียงแต่เปรียบเทียบคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดของกากตะกอนที่ได้จากน้ำเสียของโรงงานแต่ละประเภทว่ากากตะกอนที่ได้นั้นเป็นกากตะกอนจากกระบวนการผลิตของโรงงานอะไรที่สามารถนำมาผลิตปุ๋ยแล้วให้สารอาหารที่ดีที่สุดต่อพืช ดังตารางที่ 2.6 วัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตปุ๋ย

ตารางที่ 2.6 ตารางแสดงวัสดุต่างๆที่ใช้ในการผลิตปุ๋ย

ลำดับที่	ชนิดของวัสดุ	ที่มา
1	กากตะกอน+ชานอ้อย+น้ำสกัดชีวภาพ	กันยมาส คงรอด,(2546)
2	กากตะกอน+มูลฝอยชุมชนและมูลฝอยตลาดสด	ชนกร วัชรปาณ,(2546)
3	กากตะกอน+เศษพืชผัก	องอาจ เอี่ยมสำอาง,(2542)
4	กากตะกอน+เศษหญ้า เศษใบไม้	อานุภาพ แก้วกอง,(2541)
5	กากตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว	วรภรณ์ หมู่ศิลป์,(2547)
6	กากตะกอนจากอุตสาหกรรมผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ โรงงานน้ำอัดลม โรงงานสุราโรงงานผลไม้กระป๋อง และโรงงานผงชูรส	รพีพร จรดล,(2541)

การศึกษานี้นำวัสดุที่เป็นของเสีย หรือวัสดุเหลือทิ้งมาใช้เป็นวัดสุผสมในการผลิตปุ๋ย คือ มูลค้างคาว หญ้าขน และสับปะรด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. มูลค้างคาว (Bat guano)

ตามปกติจะแห้งมีกลิ่น ค้างคาวกินแมลงต่างๆเป็นอาหารและปีกของแมลงจะย่อยยาก มูลค้างคาวจึงมักมีเศษของปีกแมลงเล็ก ๆ เสมอ สีที่พบก็มีสีน้ำตาลเข้มเมื่อแห้ง และดำเมื่อเปียก แสดงในภาพที่ 2.7 มีไนโตรเจน 12% ซึ่งขึ้นอยู่กับอาหารด้วย และมักปนอยู่กับดิน ในประเทศไทยพบมากตามแถวถ้ำราชบุรี ประจวบคีรีขันธ์ เทือกเขาดงพญาเย็น และจังหวัดเลย (สันติภาพ, 2527)

ภาพที่ 2.7 มูลค้างคาว

ที่มา http://www.thaingo.org/images/forest2504.jpg

2. หญ้าขน

ชื่อไทย : หญ้าขน

ชื่อสามัญ : *Paragrass, Buffalo grass, Panicum grass*

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Brachiaria mutica (Forsk.) Stapf*

ชื่อวงศ์ : *POACEAE*

ลักษณะทั่วไป : เป็นหญ้าที่สะเทิ้นน้ำสะเทิ้นบก มีอายุหลายปี ชอบขึ้นตามดินแฉะ หรือ ชายตลิ่งเจริญงอกงามแผ่ลงน้ำ เลื้อยทอดไปตามดิน หรือน้ำ มีขนขาวยาวฟูตามใบ กาบใบและข้อ เห็นได้ชัด มีใบเป็นรูปหอกปลายแหลม ยาว 10-20 ซม. กว้าง 1-2 ซม. ดอกออกเป็นช่อ ที่ปลายยอดมีก้านช่อดอกยาวออกไป ช่อดอกย่อยมี 10-20 ช่อ มีสีเขียวคล้ำปนดำ เป็นดอกพอง เนื่องจากติดเมล็ดได้ดี หญ้าขนเป็นหญ้าค้างปี ซึ่งปลูกครั้งเดียวก็สามารถอยู่ได้หลายปี มีการเจริญเติบโตเป็นกอ โดยที่ยอดอ่อนจะโตออกมาเป็นวงรัศมีพระอาทิตย์ ยอดที่สมบูรณ์ที่สุดจะสูงที่สุด และอวบมีลักษณะเป็นปล้อง

ลักษณะกอของหญ้าขน : กอหญ้าขน จะแตกต่างกันไปตามแต่ลักษณะของพื้นที่ที่หญ้าขนขึ้นอยู่อาศัย ยกตัวอย่างเช่น ในพื้นที่ที่ดินอุดมสมบูรณ์และโล่งกว้าง หญ้าขนจะเติบโตในลักษณะเลื้อยไปกับพื้น มีปล้องที่สมบูรณ์มากๆ จะอวบ และฉ่ำน้ำ สีของปล้องอาจจะกลายเป็นสีเขียวอมม่วงๆ ส่วนหญ้าขนที่ขึ้นในที่แออัด จะมีลักษณะของยอดตั้งตรง ทำให้เห็นเป็นทุ่งหญ้า

วิธีการปลูกหญ้าขน : หญ้าขนสามารถปลูกได้โดยการใช้ส่วนของลำต้นที่แก่แล้วหว่านลงบน ดินที่ไถพรวนไว้ จากนั้นก็พรวนกลบ ภายหลังจากปลูก ควรปล่อยให้ หญ้าขนตั้งตัวประมาณ 80 - 90 วัน จึงจะนำมาใช้ (บุปผา, 2545)

ไนโตรเจน (%) : 1.38

pH : 7.10

3. สับปะรด

ชื่อสามัญ : สับปะรด Pineapple

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Ananas Comosus

ตระกูล : BROMELIACEAE

ถิ่นกำเนิด : บราซิล โคลัมเบีย

ชื่อท้องถิ่น : มะขะนัด มะนัด (ภาคเหนือ), บ่อนัด (เชียงใหม่), ขนุนทอง ย่านัด ยานัด (ภาคใต้), หมากนัด (ภาคอีสาน)

ต้น เป็นไม้ล้มลุกลำต้นแตกออกเป็นกอใหญ่ ไม่มีกิ่งก้าน มีแต่กาบใบที่ห่อหุ้มลำต้นเอาไว้ มีปล้องสั้นสูงประมาณ 1-3 ฟุต ใบแตกเป็นกอเรียงเป็นบันไดเวียนอย่างหนาแน่น ไม่มีกาบใบ ใบเรียวยาวปลายแหลม โคนใบเป็นกาบหุ้มลำต้น ขอบใบมีหนามเล็กน้อย ผิวในเรียบ ด้านบนมีสีเขียวเข้มและทางสีแดง ด้านล่างออกสีขาวปนน้ำเงิน ใบกว้างประมาณ 2.5 นิ้ว ยาว 1 เมตร

ดอกเป็นช่อใหญ่โผล่ออกมากลางกอ มีดอกหนาแน่น ก้านช่อใหญ่แข็งแรงยาวประมาณ 3-6 นิ้ว กลีบดอกมี 3 กลีบ ขนาดเล็ก ด้านบนสีฟ้าอมม่วง ด้านล่างสีขาว มีเกสร 6 อัน เรียงกัน 2 ชั้น

ผล ลักษณะผลเป็นรูปมนรี โคนกว้างกว่าปลาย ปลายผลจะมีใบเป็นกระจุกสีเขียวเข้ม ผลโต มีตาอยู่รอบผล เมื่ออ่อนเป็นสีเขียว พอแก่เป็นสีเหลืองสดและฉ่ำน้ำ

การขยายพันธุ์ ขยายพันธุ์ด้วยการปักชำตะเกียงหรือส่วนที่อยู่ตรงปลายของผล และอาจจะใช้วิธีการนำหน่อไปปลูก แต่จะต้องกลบดินให้แน่นอย่าให้น้ำขังควรปลูกให้ลึกประมาณ 4 นิ้ว (aksorn.comimages.jpg) ดังภาพที่ 2.8

ภาพที่ 2.8 สับปะรด

ที่มา : http://aksorn.comimages2document1081000oct2007oct0014_1.jpg

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีการศึกษาการนำกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม มาผลิตเป็นปุ๋ย กล่าวคือ รพีพร จรดล (2539) ศึกษาการใช้ประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม เพื่อเป็นปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้กากตะกอนน้ำเสียจาก 5 โรงงาน คือ โรงงานเบียร์ น้ำอัดลม สุรา ผลไม้กระป๋อง และผงชูรส โดยทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใส่กากตะกอนเพียงอย่างเดียว และการใส่กากตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมี จากผลการทดลองพบว่า กากตะกอนน้ำเสียจากทั้ง 5 โรงงานมีคุณสมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารหลักที่เพียงพอเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งให้ปริมาณ ผลผลิตเทียบเท่ากับการใช้ปุ๋ยเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งกาก ตะกอนโรงงานผงชูรสและน้ำอัดลม นอกจากนี้ยังทำให้ดินมี คุณสมบัติดีขึ้น ส่วนปริมาณโลหะหนักที่พบในกากตะกอนมี ปริมาณที่พบได้ทั่ว ๆ ไป และอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ตาม เกณฑ์ของ CEC ซึ่งมีแนวโน้มของการสะสมในผักกาดหอม เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกากตะกอนจากโรงงานเบียร์และน้ำอัดลม แต่ก็ยังอยู่ในปริมาณที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชและ สุขภาพของคน กากตะกอนดังกล่าวจึงสามารถนำมาใช้เป็น ปุ๋ยสำหรับพืชผักที่มีช่วงอายุสั้นได้อย่างดี นอกจากนั้นยังให้ ผลกำไรภายใน 1 ปีสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีอีกด้วย

นอกจากการใช้กากตะกอนเพียงอย่างเดียวเพื่อการใช้เป็นปุ๋ยแล้ว ยังมีการศึกษาถึงการนำกากตะกอนไปหมักร่วมกับวัสดุชนิดอื่น เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยหมักอีกด้วย กล่าวคือ อานุภาพ แก้วกอง (2540) ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหญ้า เศษใบไม้แห้ง และกากตะกอนน้ำเสียด้วยวิธีกองแบบมีการระบายอากาศ กากตะกอนน้ำเสียที่นำมาใช้ในการหมักในครั้งนี้ได้ถูกตรวจพบพยาธิ

~iStrongyloids stercoralis~i ในสภาพที่ยังมีชีวิตอยู่ แต่เมื่อกระบวนการหมักสิ้นสุดลงพยาธิดังกล่าวได้ตายลง ผลการศึกษาพบว่า ปุ๋ยหมักที่เกิดจากการนำกากตะกอนน้ำเสียมาหมักร่วมกับวัสดุอื่น ไม่ว่าจะเป็นเศษหญ้า หรือเศษใบไม้แห้ง มีค่าขององค์ประกอบแร่ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีค่าของปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม โครเมียม คอปเปอร์ นิเกิล ตะกั่ว และสังกะสี ที่ผ่าน มาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกาและกลุ่มประเทศในทวีปยุโรป และระยะเวลาที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักปุ๋ยจากเศษหญ้ากับกากตะกอนน้ำเสีย และเศษใบไม้แห้งกับกากตะกอนน้ำเสียอยู่ในช่วง 100-115 วัน

กันยมาส คงรอด (2545) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนและชานอ้อย โดยใช้กากตะกอนผสมชานอ้อยในอัตราส่วน 1.1:1.5 เพื่อให้มีค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเป็น 25 และควบคุมความชื้นที่ร้อยละ 50 ผลการศึกษา พบว่า ค่าความเป็นกรดด่าง อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณ โพแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัส ปริมาณโลหะหนัก มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตปุ๋ยหมัก ส่วนกระบวนการเปลี่ยนแปลงในการผลิตปุ๋ยหมัก พบว่า ค่าความเป็นกรดด่างจะเพิ่มขึ้นจาก 6.3 ไปจนถึง 7.8 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญและการผลิตเอนไซม์ไซลาเนสของจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมัก

การศึกษาเกี่ยวกับการใช้กากตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมี หรือปุ๋ยอื่น ๆ เพื่อเพิ่มผลผลิตในการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ มีหลายงาน ดังนี้ จามีกร ศรีสุมล (2537) ศึกษาการใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับข้าวโพดหวานที่ ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้จากแหล่งต่างๆ 4 ชนิดคือ กากละหุ่ง กากตะกอนน้ำเสีย ปุ๋ยหมักฟางข้าว และน้ำทิ้งจากการผลิตแก๊สชีวภาพ ทั้งใส่เดี่ยวและใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี ผลการทดลองพบว่า การใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้ทุกชนิดทั้งที่ใช้เดี่ยว และใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี เมื่อใช้ติดต่อกันสามารถทำให้การเจริญเติบโตด้านความสูง, วันที่ข้าวโพดออกดอกตัวผู้และดอกตัวเมียได้ทัดเทียมกับปุ๋ยเคมี การใช้กากตะกอนน้ำเสียร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ข้าวโพดออกดอกตัวผู้ได้เร็วที่สุด การใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าว, กากละหุ่งและกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับปุ๋ยเคมี สามารถทำให้ข้าวโพดให้ผลผลิตได้เทียบเท่ากับปุ๋ยเคมี และเมื่อใช้ติดต่อกันมีแนวโน้มที่จะให้ผลผลิตมากกว่าปุ๋ยเคมี การใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยเคมีทำ ให้ข้าวโพดมีปริมาณไนโตรเจนในตอซังและในเมล็ดมากที่สุด ในส่วนของการ เปลี่ยนแปลงทางเคมีของดิน พบว่า การใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้และปุ๋ยเคมีไม่มี ผลทำให้ pH, ค่าการนำไฟฟ้า, ปริมาณแมกนีเซียมและโซเดียม แตกต่างกันแต่อย่างใด การใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวทั้งที่ใช้เดี่ยวและใช้ร่วมกับ

ปุ๋ยเคมี ทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุและโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นเล็กน้อย การใช้กากตะกอนน้ำ เสียแบบใส่เดี่ยว ทำให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และแคลเซียมเพิ่ม ขึ้นเล็กน้อย

ชัยสิทธิ์ ทองจู (2538) ศึกษาการใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยไนโตรเจน สำหรับกวางตุ้งและข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน โดยทดลองใช้กากละหุ่ง กาก ตะกอนน้ำเสีย ปุ๋ยหมักและน้ำทิ้งจากการผลิตแก๊สชีวภาพเป็นปุ๋ยไนโตรเจน พบว่าในกรณีของ กวางตุ้ง น้ำทิ้งจากการผลิตแก๊สชีวภาพสามารถทดแทนปุ๋ยไนโตรเจนได้ 86-90 เปอร์เซ็นต์ ของ อัตราปุ๋ยเคมี 20 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ขณะที่การใช้น้ำทิ้งจากการผลิตแก๊สชีวภาพร่วมกับ ปุ๋ยเคมีอย่างละครึ่งอัตรา ให้ผลผลิตกวางตุ้งได้ทัดเทียมกับปุ๋ยเคมีเต็มอัตรา ในกรณีของข้าวโพดฝัก อ่อน การใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้ทุกชนิด ทั้งที่ใช้เดี่ยวและใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี เมื่อใช้ติดต่อกัน สามารถให้ความเจริญ เติบโตด้านความสูง, อายุเก็บเกี่ยว, น้ำหนักผลผลิต, อัตราส่วนน้ำหนักฝักทั้ง เปลือกต่อน้ำหนักฝักปอกเปลือก และปริมาณไนโตรเจนในตอซังและในฝักทัดเทียมการใช้ปุ๋ยเคมี อัตรา 15 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ นอกจากนี้การใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้ทุกชนิดติดต่อกัน ในการ ปลูก กวางตุ้ง 5 ครั้ง หรือปลูกข้าวโพดฝักอ่อน 3 ครั้ง มิได้มีผลต่อปฏิกิริยาดิน, ค่าการนำไฟฟ้าของ ดิน, ปริมาณไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียม,แคลเซียม,แมกนีเซียม,สังกะสีและทองแดง แต่มี แนวโน้มทำให้สมบัติทางฟิสิกส์ของดินดีขึ้น เช่น ความหนาแน่นรวม ของดิน และปริมาณของเม็ด ดินที่มีขนาดโตกว่า 0.25 มิลลิเมตร

บัญชา รัตนีทู (2538) ศึกษาการใช้น้ำทิ้งจากการผลิตแก๊สชีวภาพเป็นปุ๋ยไนโตรเจน สำหรับหญ้ากินนี และถั่วเขียวที่ปลูกบนชุดดินกำแพงแสน ผลการทดลองพบว่า ในกรณีหญ้ากินนี น้ำทิ้งจากการผลิตแก๊สชีวภาพ ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเทียบเท่าปุ๋ยเคมีไนโตรเจน อัตรา 25 กิโลกรัม N ต่อไร่ โดยที่ยังคงคุณภาพด้านโภชนาการทางอาหารสัตว์เทียบเท่าการใช้ปุ๋ยเคมี ในกรณีถั่วเขียว การให้น้ำทิ้งจากการผลิตแก๊สชีวภาพ ทั้งในระดับเทียบเท่า อัตรา 3 กิโลกรัม N ต่อไร่ หรือให้ ทดแทนน้ำชลประทานตลอดฤดูปลูก มิได้ทำให้การเจริญเติบโต และผลผลิตของถั่วเขียวลดลงไป จากตำรับปุ๋ยเคมี หรือไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ทั้งยังมิได้ทำให้ปริมาณไนโตรเจนในพืชและจำนวนปม ลดลงแต่อย่างใด การใช้น้ำทิ้งจากการผลิตแก๊สชีวภาพติดต่อกัน ยังทำให้ ดินมีสมบัติทางเคมีที่ดีขึ้น และดินมีการสะสมธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ การใช้ปุ๋ยเคมี อีกทั้งยังมีแนวโน้มในการ ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน โดยไม่มีผลทำให้ปริมาณไนเตรตในน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น

ซบรี หะยีหมัด (2541) ศึกษาผลของการใช้กากตะกอนน้ำเสียและปุ๋ยเคมีที่มีต่อคุณสมบัติ ของดินและการให้ผลผลิตของถั่วเขียวที่ปลูกในชุดดินจันทึก บริเวณพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขา หินซ้อน จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า การใส่กากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้น มิได้ทำให้ผลผลิต จำนวนฝัก/ ต้น จำนวนเมล็ด/ฝัก น้ำหนัก 1000 เมล็ด จำนวนปม/ต้น ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งในเมล็ด

และส่วนเหนือดินที่เหลือ และการดูดดึงไนโตรเจนเอามาสร้างผลผลิต เพิ่มขึ้นสูงถึงระดับนัยสำคัญ แต่ทำให้น้ำหนักของส่วนที่เหลือ และส่วนเหนือดินทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใส่ไม่เกิน 2.0 ตัน/ไร่ และมีแนวโน้มที่จะ ลดลงเมื่อใส่เกิน 3.0 ตัน/ไร่

สุปรานี จอมขันเงิน (2544) ศึกษาอิทธิพลของการใช้กากตะกอนหม้อกรองโรงงานน้ำตาลร่วมกับปุ๋ยมูลไก่ที่มีต่อคุณสมบัติ บางประการของดินและผลผลิตของผักคะน้าและผักกาดหัวในชุดดินร้อยเอ็ด การใช้กากตะกอนหม้อกรองโรงงานน้ำตาล ปุ๋ยมูลไก่ และกากตะกอนหม้อกรองโรงงานน้ำตาลร่วมกับปุ๋ยมูลไก่ทุกอัตรา สามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีบางประการของดินนาชุดดินร้อยเอ็ดได้ โดยสามารถลดความหนาแน่นรวมของดินลง เพิ่มเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน เพิ่มปฏิกิริยาดิน (pH) เพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน รวมทั้งเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชให้แก่ดินโดยการปลดปล่อยธาตุอาหารจากอินทรียวัตถุและจากในดิน ซึ่งการใช้กากตะกอนหม้อกรองโรงงานน้ำตาลร่วมกับปุ๋ยมูลไก่ ทำให้ประสิทธิภาพในด้านการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุ อาหารพืช ดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี การใช้ปุ๋ยมูลไก่เพียงอย่างเดียว และการใช้กากตะกอนหม้อกรองโรงงานน้ำตาลเพียงอย่างเดียว ตำรับที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปลูกผักคะน้า คือ การใช้ ดินต่อกากตะกอนหม้อกรองโรงงานน้ำตาลต่อกับปุ๋ยมูลไก่ อัตรา 8:3:1 ส่วนตำรับที่เหมาะสมสำหรับผักกาดหัว คือ การใช้ดินต่อกากตะกอนหม้อกรองโรงงานน้ำตาลต่อปุ๋ยมูลไก่ อัตรา 10:3:1

ประยูร เพียตะเณร (2544)การใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับฝรั่งที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน ใช้อินทรีวัสดุเหลือใช้จากแหล่งต่างๆ 2 ชนิด คือ กากตะกอนน้ำเสีย (activated sludge cake: AS) และกากตะกอนอ้อย (Filter cake: FC) มาใช้เป็นปุ๋ยไนโตรเจน ผลการทดลองพบว่าการใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้ติดต่อกันทั้งที่ใช้เดี่ยวและ ใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี ทำให้การเจริญเติบโตของฝรั่งในด้านลักษณะทางกิ่งใบ และลักษณะการออกดอกผล รวมทั้งคุณภาพผลผลิตของฝรั่งในด้านจำนวนผลดีและผลเสีย ความกว้างผล ความยาว ผลและความหนาเนื้อ ปริมาณ TSS ปริมาณ TA อัตราส่วน TSS/TA ดีกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (Ch) และพบว่าการใช้กากตะกอนน้ำเสียร่วมกับปุ๋ยเคมี (1/2 AS+1/2 IF) มีแนวโน้มดีใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมี (IF) นอกจากนี้พบว่าการใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้บางชนิดติดต่อกันยังมีผลให้ดินมีสมบัติทางเคมีดีขึ้น และดินมีการสะสมธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี (Ch) อีกทั้งยังมีแนวโน้มในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินอีกด้วย

จากการวิจัยที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่ากากตะกอนมีคุณสมบัติในการเป็นปุ๋ยได้ โดยเฉพาะปุ๋ยที่ให้ธาตุไนโตรเจน แต่ปริมาณไนโตรเจนมีที่ อาจไม่มากพอ จึงมีการวิจัยเพื่อเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้แก่ปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน ดังนี้ สุธา ไอยราคม (2544) ศึกษาประสิทธิภาพใน

การตรึงไนโตรเจนของแบคทีเรียในปุ๋ยหมักกากตะกอนจากโรงงานน้ำตาล พบว่า ปุ๋ยหมักกากตะกอนที่เติมเชื้อ Beijerinckia indicai มีค่า ไนโตรเจนสูงกว่าปุ๋ยหมักกากตะกอนที่เติมเชื้อแบคทีเรียชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ระดับความชื้นที่เหมาะสมในการเจริญของเชื้อแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนคือ 60% ส่วนอุณหภูมิ และ pH ของปุ๋ยหมักกากตะกอนตลอดการทดลอง มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 32 องศาเซลเซียส pH อยู่ในช่วง 6.5-6.8

กัญญา ม่วงแก้ว (2544) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสและตรึงไนโตรเจน พบว่า การเติมจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสและตรึงไนโตรเจน ซึ่งได้มาจากแหล่งต่าง ๆ คือ ปลวก ดินจากรังปลวก ปุ๋ยหมัก ตัวเร่งปุ๋ยหมัก และเศษวัสดุกำลังย่อยสลาย ทำให้ ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนในปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชุดควบคุมที่ไม่เติมแบคทีเรีย

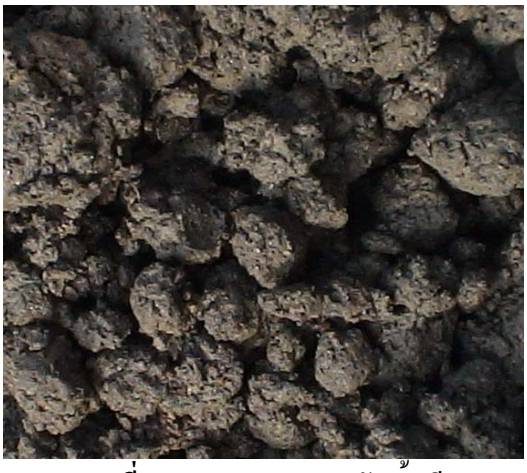
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการนำเอากากตะกอนจากโรงงานบำบัดน้ำเสียมาหมักเป็นปุ๋ยร่วมกับของเสียและเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อเป็นการศึกษาองค์ประกอบของวัสดุหมัก การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทางกายภาพ และการศึกษาการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนจากกากตะกอนซึ่งมีวิธีการดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์

1. กากตะกอนน้ำเสีย

กากตะกอนน้ำเสีย (ภาพที่ 3.1) ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท แกรนด์ยูนิตี้ (ประเทศไทย) จำกัด ตั้งอยู่ที่ 77/1 ถนนห้วยโป่ง–หนองบอน ตำบลห้วยโป่ง อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง ซึ่งโดยปกติโรงงานจะนำกากตะกอนน้ำเสียไปถมที่ หรือปรับปรุงดินโดยที่ไม่ได้มีการปรับปรุงคุณภาพของกากตะกอน



ภาพที่ 3.1 กากตะกอนบำบัดน้ำเสีย

2. มูลค้างคาว

มูลค้างคาวที่ใช้ในการศึกษานี้ นำมาจากถ้ำเขาชะอางค์โอน ตำบลพลวงทอง อำเภอบ่อทอง จังหวัดชลบุรี โดยได้รับความอนุเคราะห์จากชุมชนในพื้นที่ ไม่ต้องซื้อแต่อย่างใด

3. เปลือกสับปะรด

เปลือกสับปะรดที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้รับความอนุเคราะห์จากร้านขายผลไม้หน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

4. หญ้าขน

หญ้าขนที่ใช้ในการศึกษานี้ นำมาจากจังหวัดเพชรบุรี

5. ถังหมัก

ถังหมักที่นำมาใช้ในการหมักเป็นถังพลาสติกทรงกลม ทึบแสง ขนาด 5 ลิตร มีหูหิ้ว เส้นผ่านจุดศูนย์กลางประมาณ 1 ฟุต สูง 1 ฟุต ดังแสดงในภาพที่ 3.2

ภาพที่ 3.2 ถังพลาสติกสำหรับทำถังหมัก

6. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ Parameter ตามที่กำหนด

7. ผ้าขาวบาง ตัดให้มีขนาด 45 * 45 เซนติเมตร จำนวน 12 ผืน เพื่อใช้สำหรับคลุมถังหมัก

8. เครื่องชั่ง แบ่งเป็น

8.1 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

8.2 เครื่องชั่ง ขนาด 4 กิโลกรัม

9. เครื่องมือวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

10. ตู้อบ (Drying Oven) 75-100 องศาเซลเซียส

11. ตู้อบ (Muffle) 600-650 องศาเซลเซียส

12. ตู้ดูดความชื้น (Desicator)

13. ตู้ควัน (Hood)
14. เครื่องมือในการย่อย และกลั่น (Digest apparatus) ดังภาพที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ
15. เทอร์โมมิเตอร์
16. ถ้วยกระเบื้องทนไฟ (Porcelain Crucible)
17. เครื่องแก้วและอุปกรณ์อื่นๆ

ภาพที่ 3.3 เครื่องมือในการย่อย

ภาพที่ 3.4 เครื่องมือในการกลั่น

ขั้นตอนการเตรียมการ

1. การเตรียมถังหมัก

นำถังพลาสติกมาเจาะรูวงกลมขนาดเส้นผ่านจุดศูนย์กลางขนาด 1 เซนติเมตร ที่บริเวณก้นถัง ดังภาพที่ 3.5 (ก) สำหรับการต่อสายยาง เพื่อเป็นทางระบายน้ำออกจากถังหมัก และใช้ผ้าขาวบางปิดปากถังหมัก เพื่อป้องกันแมลงและสัตว์ต่าง ๆ ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อการหมัก ในช่วงแรกของการหมักใช้กระดาษฟรอยด์ และถุงดำคลุมรอบถังหมัก ดังภาพที่ 3.5 (ข) เพื่อควบคุมอุณหภูมิของปุ๋ยหมักให้เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์

(ก) (ข)

ภาพที่ 3.5 ถังหมัก

2. สถานที่

จัดวางถังหมัก บริเวณเรือนเพาะชำ ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

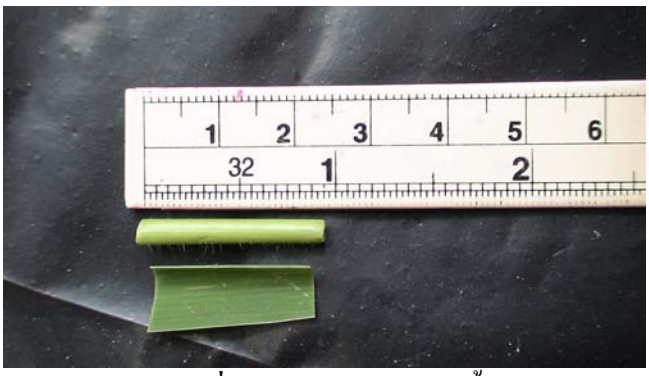
3. การเตรียมวัสดุหมัก

3.1 การเตรียมกากตะกอนน้ำเสีย

เนื่องจากกากตะกอนมีความชื้นสูง จึงต้องผึ่งให้แห้ง และคลุกเคล้าให้เข้ากันก่อนนำไปหมักร่วมกับวัสดุอื่น

3.2 การเตรียมหญ้าขน

ตัดหญ้าขนให้มีขนาด 1 นิ้ว และ 3 นิ้ว โดยไม่มีการคัดแยกส่วนใบออกจากส่วนปล้อง ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 หญ้าขนขนาด 1 นิ้ว

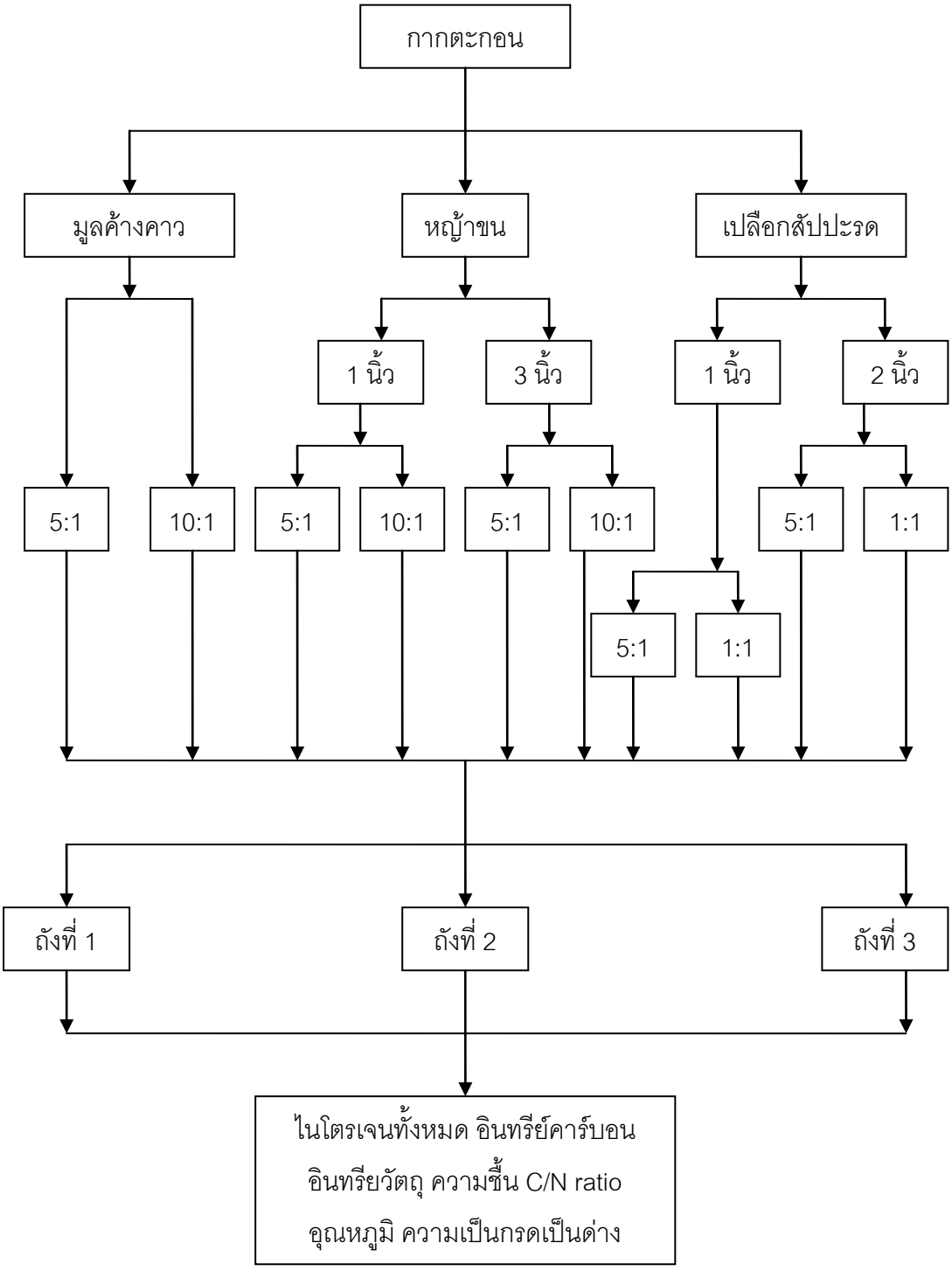
3.3 การเตรียมเปลือกสับปะรด

โดยนำเปลือกสับปะรดมาหั่นให้ได้ขนาด 1 นิ้ว และ 2 นิ้ว ดังภาพที่ 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ

ภาพที่ 3.7 เปลือกสับปะรดขนาด 1 นิ้ว

ภาพที่ 3.8 เปลือกสับปะรดขนาด 2 นิ้ว

แผนการดำเนินการทดลอง



ภาพที่ 3.9 แผนการดำเนินการทดลอง

อัตราส่วนของวัสดุหมัก

การศึกษานี้เป็นการนำวัสดุผสม 3 ชนิด คือ มูลค้างคาว หญ้าขน และเปลือกสับปะรด หมักร่วมกับกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยหมัก โดยศึกษาที่อัตราส่วนต่าง ๆ ทั้งสิ้น 10 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 3.1 แต่ละสูตรหมัก 3 ถัง รวมทั้งสิ้น 30 ถัง และเป็นการหมักแบบใช้ออกซิเจน มีการพลิกกลับปุ๋ยหมักทุกวัน และรักษาความชื้นของกองปุ๋ยด้วยการรดน้ำให้มีความชื้นพอเหมาะอยู่เสมอ ไม่ให้แห้งหรือแฉะจนเกินไป

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของวัสดุหมัก

สูตรที่	วัสดุหมัก	อัตราส่วน
1	กากตะกอน ต่อ มูลค้างคาว	5 ต่อ 1
2	กากตะกอน ต่อ มูลค้างคาว	10 ต่อ 1
3	กากตะกอน ต่อ หญ้าขนขนาด 1 นิ้ว	5 ต่อ 1
4	กากตะกอน ต่อ หญ้าขนขนาด 3 นิ้ว	5 ต่อ 1
5	กากตะกอน ต่อ หญ้าขนขนาด 3 นิ้ว	10 ต่อ 1
6	กากตะกอน ต่อ หญ้าขนขนาด 1 นิ้ว	10 ต่อ 1
7	กากตะกอน ต่อ เปลือกสับปะรดขนาด 1 นิ้ว	5 ต่อ 1
8	กากตะกอน ต่อ เปลือกสับปะรดขนาด 2 นิ้ว	5 ต่อ 1
9	กากตะกอน ต่อ เปลือกสับปะรดขนาด 1 นิ้ว	1 ต่อ 1
10	กากตะกอน ต่อ เปลือกสับปะรดขนาด 2 นิ้ว	1 ต่อ 1

การเก็บตัวอย่างและพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา

ในการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ นั้น จะคำนึงถึงการเป็นตัวแทนของกองปุ๋ยหมักทั้งหมด ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ศึกษาพารามิเตอร์ทั้งสิ้น 7 พารามิเตอร์ รายละเอียดในการเก็บตัวอย่างสำหรับแต่ละพารามิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของการเก็บตัวอย่างและพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	ตำแหน่งและจำนวนตัวอย่าง	ความถี่ในการวิเคราะห์
1. ไนโตรเจน (N) 2. อินทรีย์ คาร์บอน 3. อินทรียวัตถุ (Organic metter)	ตัวอย่างผสมจากการสุ่มตัวอย่าง 3 ส่วน จากบริเวณตอนบน ตอนกลาง และตอนล่างของถังหมัก	ทุก 10 วัน หลังจากอุณหภูมิของปุ๋ยหมักลดลงอย่างคงที่ จำนวน 3 ช่วงเวลา
4. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Radio)	คำนวณจากค่า C และ N ที่วิเคราะห์ได้	
5. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 6. ความชื้น	สุ่มตัวอย่าง 3 ส่วนจากตอนบน ตอนกลาง และตอนล่างของถังหมัก นำมาผสมกัน	วิเคราะห์ทุก 10 วัน
7. อุณหภูมิ	วัดตรงกลางและด้านข้างของถังหมัก	วิเคราะห์ทุกวัน

วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

พารามิเตอร์ที่ศึกษาดำเนินการตามวิธีการดังแสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งแสดงรายละเอียดของวีธีการวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์ในภาคผนวก ข นำเสนอผลการวิเคราะห์ในลักษณะของค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และทดสอบทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA)

ตารางที่ 3.3 วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
1. ไนโตรเจนทั้งหมด	Brenner. 1965
2. อินทรีย์คาร์บอน	Walklry and Black .1947
3. อินทรียวัตถุ	Walkey and Black .1947
4. ความชื้น	Gravimetric
5. อุณหภูมิ	Themometer
6. ความเป็นกรดเป็นด่าง	pH Meter

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับของเสียและเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งได้แก่ มูลค้างคาว หญ้าขน และเปลือกสับปะรด โดยศึกษาอัตราส่วนผสมของกากตะกอนและวัสดุผสมทั้งสิ้น 10 สูตร ดังกล่าวแล้วในบทที่ 3 พบผลการทดลองดังนี้

สมบัติและปริมาณไนโตรเจนของกากตะกอนและวัสดุผสม

ของเสีย และเศษวัสดุเหลือใช้ที่อยู่ในรูปของแข็งที่นำมาเป็นส่วนผสมการทำปุ๋ยหมัก ทำหน้าที่เป็นตัวรักษาโครงสร้างของกองปุ๋ยหมักและเพิ่มช่องว่างหรือรูพรุนในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งทำให้กระบวนการหมักมีการระบายอากาศและความร้อนได้ดี ดังนั้นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำมาใช้ โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นต่างๆ ดั้งนี้ คือ ปริมาณความชื้น ความเป็น กรด – ด่าง ปริมาณคาร์บอน ปริมาณไนโตรเจน และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ซึ่งสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อกระบวนการหมักและกิจกรรมของจุลินทรีย์ ผลการศึกษาสมบัติของกากตะกอน และวัสดุผสมที่ใช้ศึกษานี้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติของมูลค้างคาว หญ้าขน และเปลือกสับปะรด

พารามิเตอร์	กากตะกอน	มูลค้างคาว	หญ้าขน	เปลือกสับปะรด
ความชื้น (%)	57.96	36.83	72.49	89.23
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	5.95	7.32	7.05	4.42
ปริมาณคาร์บอน (% โดยน้ำหนัก)	49.18	42.18	51.29	27.59
ปริมาณไนโตรเจน (% โดยน้ำหนัก)	2.57	7.40	1.88	0.89
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	19.14	5.70	27.28	31.00

จากตารางที่ 4.1 พบว่า กากตะกอน (ภาพที่ 4.1) มีความชื้นอยู่ในระดับสูงคือร้อยละ 75.53 และมีสภาพเป็นกรดอ่อนๆ เท่ากับ 5.95 มีปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจนร้อยละ 49.18 และ 2.57 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 19.0 ส่วนมูลค้างคาว (ภาพที่ 4.2) มีค่าความชื้นร้อยละ 36.83 ปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจนมีค่าร้อยละ42.18 และ 7.40 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7.32 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 5.70 หญ้าขน และเปลือกสัปปะรดมีความชื้นสูงกว่ากากตะกอน และมูลค้างคาว โดยมีค่าความชื้นร้อยละ 72.49 และ 89.23 ตามลำดับ ค่าความเป็นกรดด่างของหญ้าขนเท่ากับ 7.05 ส่วนของเปลือกสัปปะรดมีความเป็นกรดมากกว่ากากตะกอน และวัสดุผสมอื่น คือมีค่าเท่ากับ 4.42 ปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจนของหญ้าขนเท่ากับร้อยละ 51.29 และ 1.88 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 27.28 ส่วนปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจนของเปลือกสัปปะรดเท่ากับร้อยละ 27.59 และ 0.89 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 31.00

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N Ratio) ของกากตะกอน และวัสดุผสมทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 5.70–31.00 จัดเป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่าย เนื่องจากมีอัตราส่วนอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 100 (ศศิวรรณ, 2546) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ โดยจะมีผลกระทบต่อกิจกรรมของย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยปกติเซลล์จุลินทรีย์มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 10–15 หมายความว่า การที่จุลินทรีย์ดูดสารคาร์บอนไปในเซลล์ 10–15 หน่วยจำเป็นต้องดูดสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปด้วย 1 หน่วย จึงทำให้เกิดสมดุลของสารประกอบทั้ง 2 เซลล์ และจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี (พิมพาภรณ์, 2545)

ภาพที่ 4.1 กากตะกอน

ภาพที่ 4.2 มูลค้างคาวที่ใช้ในการศึกษา

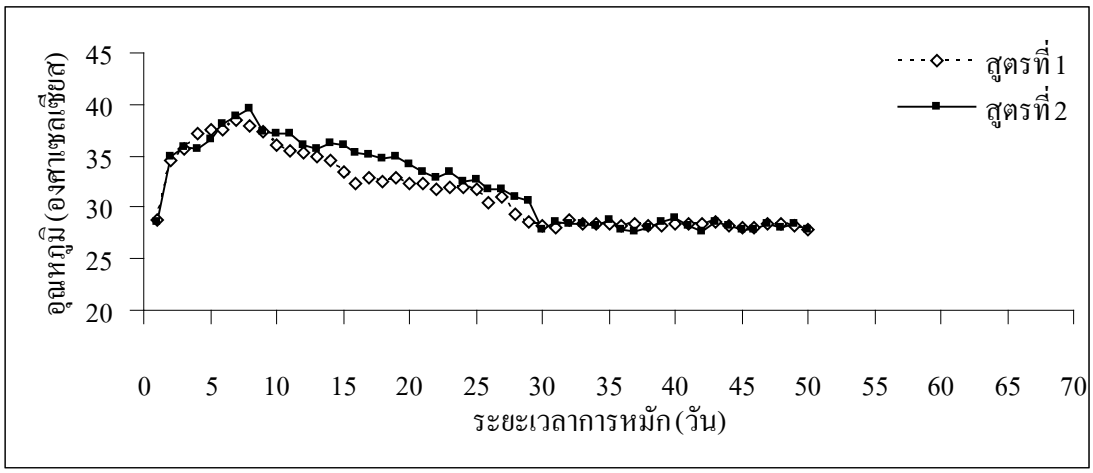
อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก

การศึกษานี้วิเคราะห์ค่าอุณหภูมิของปุ๋ยหมักโดยวัดตรงกลางและด้านข้างของถังหมัก และวิเคราะห์ทุกวัน ดังกล่าวแล้วในบทที่ 3 โดยศึกษาปุ๋ยหมัก 10 สูตร สูตรละ 3 ถัง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 (กากตะกอนและมูลค้างคาว ในอัตราส่วน 5 ต่อ 1) และสูตรที่ 2 (กากตะกอนและมูลค้างคาว ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1) แสดงในภาพที่ 4.3 (ก) สูตรที่ 3 (กากตะกอนและหญ้าขนขนาด 1 นิ้ว ในอัตราส่วน 5 ต่อ 1) สูตรที่ 4 (กากตะกอนและหญ้าขนขนาด 2 นิ้ว ในอัตราส่วน 5 ต่อ 1) สูตรที่ 5 (กากตะกอนและหญ้าขนขนาด 1 นิ้ว ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1) และสูตรที่ 6 (กากตะกอนและหญ้าขนขนาด 2 นิ้ว ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1) แสดงในภาพที่ 4.3 (ข) สูตรที่ 7 (กากตะกอนและเปลือกสัปปะรดขนาด 1 นิ้ว ในอัตราส่วน 5 ต่อ 1) สูตรที่ 8 (กากตะกอนและเปลือกสัปปะรดขนาด 2 นิ้ว ในอัตราส่วน 5 ต่อ 1) สูตรที่ 9 (กากตะกอนและเปลือกสัปปะรดขนาด 1 นิ้ว ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1) และสูตรที่ 10 (กากตะกอนและเปลือกสัปปะรดขนาด 2 นิ้ว ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1) แสดงในภาพที่ 4.3 (ค)

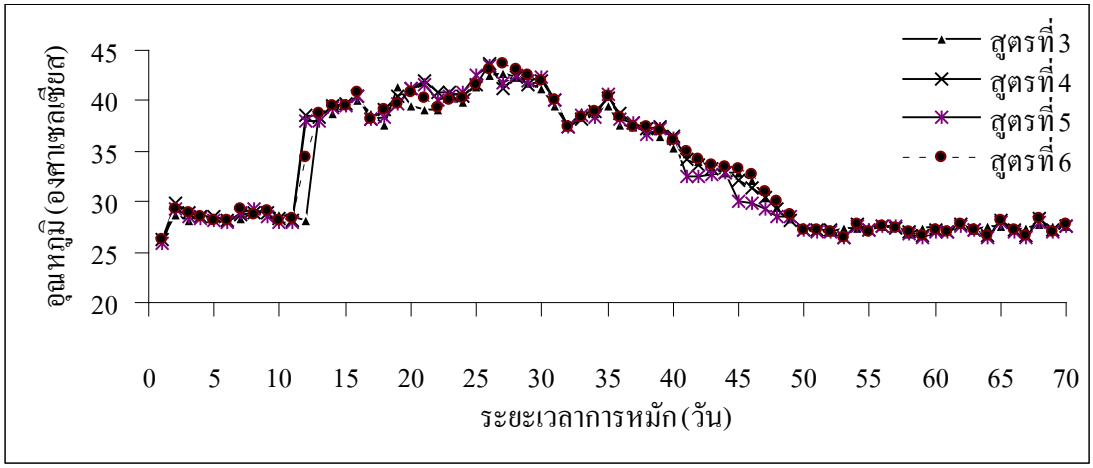
จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของปุ๋ยหมักแต่ละสูตรเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงประมาณ 27–42 องศาเซลเซียส ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของปุ๋ยหมักทุกสูตรมีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือในช่วงต้นอุณหภูมิของปุ๋ยหมักไม่แตกต่างจากอุณหภูมิบรรยากาศมากนัก ต่อมาอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้น และค่อย ๆ ลดลง จากนั้นอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่และใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ ทั้งนี้เป็นไปตามปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายวัสดุหมัก ระหว่างการหมักกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อเทียบกับอุณหภูมิภายนอก ซึ่งแสดงว่าจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีและกระบวนการย่อยสลายดำเนินไปได้ด้วยดี ในช่วงนี้จุลินทรีย์จะนำสารอินทรีย์ในถังมาใช้อย่างเต็มที่ จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารนี้จนเกือบหมด หมายถึงสารอินทรีย์ถูกแปรสภาพจนไม่เปลี่ยนแปลงอีก หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก อุณหภูมิในถังจะลดต่ำลงใกล้เคียงอุณหภูมิภายนอก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขบวนการย่อยสลายได้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และกระบวนการหมักได้สิ้นสุดลง (ภัทรา, 2547)

ปุ๋ยหมักทุกสูตรที่ศึกษามีค่าอุณหภูมิสูงสุดของปุ๋ยหมักไม่แตกต่างกันมากนักคือมีค่าประมาณ 39-42 องศาเซลเซียส แต่มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิขึ้นสูงสุด ลดลง และอุณหภูมิคงที่แตกต่างกัน กล่าวคือ สูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งใช้มูลค้างคาวเป็นวัสดุผสม อุณหภูมิของปุ๋ยหมักสูงสุดในช่วงวันที่ 7-8 ของการหมัก แล้วค่อย ๆ ลดลงและเริ่มคงที่ประมาณวันที่ 30 ของการหมัก ซึ่งเร็วกว่าสูตรที่ 3 4 5 และ 6 ที่ใช้หญ้าขนเป็นวัสดุผสม ที่อุณหภูมิของปุ๋ยหมักสูงสุดในช่วงวันที่ 16 ของการหมัก แล้วค่อย ๆ ลดลงและเริ่มคงที่ประมาณวันที่ 50 ของการหมัก ส่วนสูตรที่ 7 8 9 และ 10 ที่ใช้เปลือกสัปปะรดเป็นวัสดุผสมมีอุณหภูมิของปุ๋ยหมักสูงสุดในช่วงวันที่ 3-6 ของการหมัก แล้วค่อย ๆ ลดลงและเริ่มคงที่ประมาณวันที่ 25 ของการหมัก จะเห็นได้ว่าการใช้มูลค้างคาวและเปลือกสัปปะรดเป็นวัสดุผสมทำให้เกิดการย่อยสลายอินทรียวัตถุได้เร็วกว่าการใช้หญ้าขนเป็นวัสดุผสม ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุผสมทั้ง 3 ชนิด ในตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของมูลค้างคาวต่ำมากคือเท่ากับ 5.70 ซึ่งวัสดุหมักที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ อัตราการย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าวัสดุหมักที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง แต่อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยต่าง ๆ อีกหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการย่อยสลายอินทรียวัตถุ เช่น การใช้เปลือกสัปปะรดเป็นวัสดุหมักช่วยให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้เร็วที่สุด ถึงแม้ว่าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเปลือกสัปปะรดจะสูงกว่ามูลค้างคาวมาก แต่ยังอยู่ในช่วงเหมาะสมต่อการย่อยสลาย คือ ร้อยละ 20-40 (พิกุลทอง, 2544) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสมบัติในการช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ของเอนไซน์ที่อยู่ในน้ำสัปปะรด ส่วนปุ๋ยหมักที่ใช้หญ้าขนเป็นวัสดุผสมเกิดกระบวนการย่อยสลายช้าที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการมีไฟเบอร์สูงของหญ้าขนซึ่งยากต่อการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์

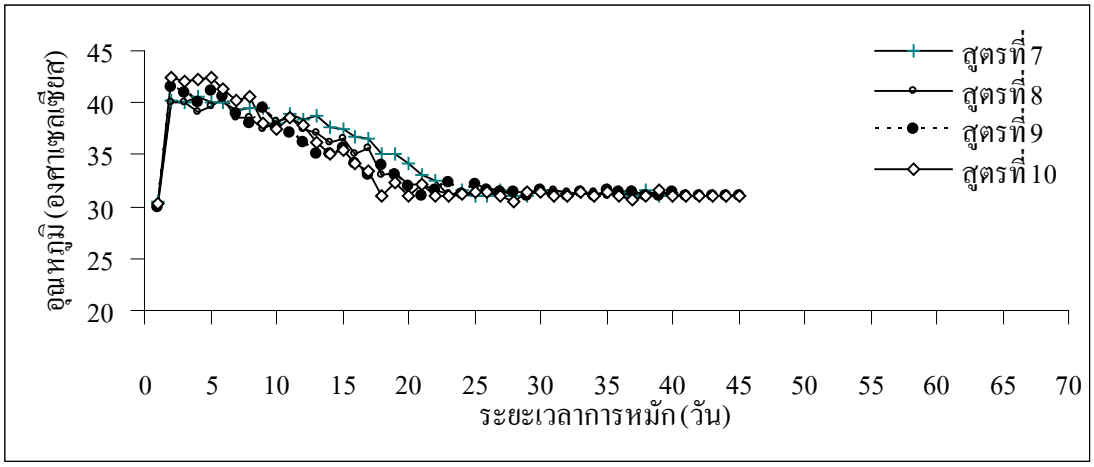
ตามที่ได้กล่าวแล้วในบทที่ 2 ว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะ โดยที่ช่วง Thermophilic Stage มีช่วงอุณหภูมิประมาณ 43-72 องศาเซลเซียส (พิกุลทอง, 2544) แต่ในการศึกษาครั้งนี้ อุณหภูมิสูงสุดของปุ๋ยหมักมีค่าประมาณ 42 องศาเซลเซียสเท่านั้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะช่วงที่ดำเนินการหมักปุ๋ยไม่ช่วงฤดูร้อน และมีฝนตกบ่อยทำให้อุณหภูมิบรรยากาศไม่สูงมากนัก ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลาย และเป็นปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร่งของปฏิกิริยาด้วย นอกจากนี้สภาพภูมิอากาศมีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย กล่าวคือในฤดูร้อนอุณหภูมิสูง การย่อยสลายอินทรียวัตถุจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว (จุไรรัตน์, 2543) แต่อย่างไรก็ตามปุ๋ยหมักทุกสูตรก็สามารถย่อยสลายได้สมบูรณ์ภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 เดือน



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.3 อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก (ก) สูตรที่ 1 และ 2 (ข) สูตรที่ 3 4 5 และ 6 และ (ค) สูตรที่ 7 8 9 และ10

ปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก

การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักดำเนินการโดย เก็บตัวอย่างจากถังหมักโดยการผสมตัวอย่างจากการสุ่มตัวอย่าง 3 ส่วนจากบริเวณตอนบน ตอนกลาง และตอนล่างของถังหมัก และทำการวิเคราะห์ทุก 10 วัน หลังจากอุณหภูมิของปุ๋ยหมักลดลงอย่างคงที่ จำนวน 3 ช่วงเวลา จากผลของอุณหภูมิของปุ๋ยหมักในหัวข้อ 4.2 พบว่าสำหรับสูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งใช้มูลค้างคาวเป็นวัสดุผสมในการหมักร่วมกับกากตะกอน อุณหภูมิของปุ๋ยหมักลดลงอย่างคงที่ประมาณวันที่ 30 ของการหมัก จึงวิเคราะห์ค่าไนโตรเจน ณ วันที่ 30 40 และ 50 ของการหมัก ส่วนสูตรที่ 3 4 5 และ 6 ซึ่งใช้หญ้าขนเป็นวัสดุผสม อุณหภูมิของปุ๋ยหมักลดลงอย่างคงที่ประมาณวันที่ 50 ของการหมัก จึงวิเคราะห์ค่าไนโตรเจน ณ วันที่ 50 60 และ 70 ของการหมัก และสำหรับการใช้เปลือกสัปปะรดเป็นวัสดุผสมในสูตรที่ 7 8 9 และ 10 อุณหภูมิของปุ๋ยหมักลดลงอย่างคงที่ประมาณวันที่ 25 ของการหมัก จึงวิเคราะห์ค่าไนโตรเจน ณ วันที่ 25 35 และ 45 ของการหมัก ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักทั้ง 10 สูตร แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก

สูตรที่	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของปริมาณไนโตรเจน (% โดยน้ำหนัก)		
	ช่วงเวลาที่ 1	ช่วงเวลาที่ 2	ช่วงเวลาที่ 3
1	4.75±0.93	4.72±0.90	4.71±0.85
2	3.88±0.09	3.85±0.08	3.82±0.05
3	2.65±0.01	2.70±0.02	2.69±0.06
4	2.71±0.01	2.73±0.09	2.74±0.05
5	2.89±0.01	2.88±0.05	2.92±0.05
6	3.09±0.01	3.04±0.06	3.05±0.11
7	2.73±0.10	2.73±0.11	2.73±0.12
8	2.94±0.07	2.94±0.07	2.94±0.07
9	2.48±0.06	2.46±0.06	2.45±0.05
10	2.66±0.02	2.66±0.02	2.66±0.02

จากตารางที่ 4.2 พบว่าปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักอยู่ในช่วง 2.45-4.75 % โดยน้ำหนัก โดยที่ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ซึ่งใช้มูลค้างคาวเป็นวัสดุผสมมีปริมาณไนโตรเจน 4.71-4.72 และ 3.82-3.88 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าสูตรอื่น ๆ โดยที่สูตรที่ 3 4 5 และ 6 ซึ่งใช้หญ้าขนเป็นวัสดุผสมมีปริมาณไนโตรเจน 2.65-2.70 2.71-2.74 2.89-2.92 และ 3.05-3.09 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับสูตรที่ 7 8 9 และ 10 ที่ใช้เปลือกสัปปะรดเป็นวัสดุผสม มีปริมาณไนโตรเจน 2.73 2.94 2.45-2.48 และ 2.66 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าในแต่ละช่วงเวลาที่วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักทุกสูตร พบค่าไนโตรเจนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นั่นแสดงว่าปุ๋ยหมักมีการย่อยสลายสมบูรณ์แล้วจุลินทรีย์ไม่ดึงธาตุไนโตรเจนไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายแล้ว หรือดึงไปใช้ในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.2

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าวัสดุผสมมีผลต่อปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก การใช้มูลค้างคาวเป็นวัสดุผสมจะให้ปุ๋ยหมักที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณไนโตรเจนของมูลค้างคาวสูงมากกว่าวัสดุผสมชนิดอื่น ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ปริมาณไนโตรเจนที่เหลือจากกิจกรรมการหมักของจุลินทรีย์จะสะสมอยู่ในปุ๋ยที่ย่อยสลายเสร็จแล้ว ซึ่งหากปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นสูงก็จะเหลือสะสมในปุ๋ยสูงด้วย เมื่อพิจารณาสูตรที่ใช้วัสดุผสมเหมือนกัน สูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งใช้มูลค้างคาวเป็นวัสดุผสมเหมือนกัน แต่พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักหลังเสร็จสิ้นกระบวนการย่อยสลายไม่เท่ากัน โดยที่สูตรที่ 1 มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าสูตรที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอัตราส่วนผสมแตกต่างกัน สูตรที่ 1 ใช้อัตราส่วนกากตะกอนต่อมูลค้างคาวเท่ากับ 5 ต่อ 1 ในขณะที่สูตรที่ 2 อัตราส่วนเท่ากับ 10 ต่อ 1 จึงทำให้ปริมาณมูลค้างคาวในสูตรที่ 1 มีมากกว่า ในกรณีที่ใช้หญ้าขนเป็นวัสดุผสมในสูตรที่ 3 4 5 และ 6 พบว่าปริมาณกากตะกอนส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักมากกว่าปริมาณหญ้าขน เพราะค่าไนโตรเจนของกากตะกอนสูงกว่าหญ้าขน ดังนั้นสูตรที่ใช้อัตราส่วนของกากตะกอนต่อหญ้าขนเท่ากับ 5 ต่อ 1 จึงมีปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่าสูตรที่ใช้อัตราส่วน 10 ต่อ 1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับสูตรที่ใช้เปลือกสัปปะรดเป็นวัสดุผสม กล่าวคือสูตรที่ใช้อัตราส่วนของกากตะกอนต่อเปลือกสัปปะรดเท่ากับ 5 ต่อ 1 มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าสูตรที่ใช้อัตราส่วน 1 ต่อ 1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพราะค่าไนโตรเจนของกากตะกอนสูงกว่าเปลือกสัปปะรด นอกจากนี้พบว่าสูตรที่ใช้วัสดุผสมขนาดใหญ่กว่ามีปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักสูงกว่าสูตรที่ใช้วัสดุผสมขนาดเล็ก กล่าวคือ หญ้าขนขนาด 3 นิ้ว เหมาะสมต่อการเป็นวัสดุผสมมากกว่าขนาด 1 นิ้ว และ เปลือกสัปปะรดขนาด 2 นิ้ว เหมาะสมต่อการเป็นวัสดุผสมมากกว่าขนาด 1 นิ้ว ถึงแม้ว่าการตัดวัสดุให้เล็กลงจะทำให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายที่ผิวของ

วัสดุได้มากยิ่งขึ้น ทำให้มีการสัมผัสออกซิเจนได้มากขึ้น ทำให้กระบวนการย่อยลลายเร็วขึ้น แต่ถ้าวัสดุเล็กเกินไป จะทำให้ช่องว่างต่าง ๆ ในกองหมักเล็กลงไปด้วย ทำให้เกิดการขัดขวางการแพร่ของอากาศในการหมัก การย่อยสลายอาจเป็นไปได้ช้าและเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (อานุภาพ, 2541) แต่ในทางกลับกันวัสดุที่มีขนาดใหญ่มากเกินไปจะมีช่องว่างในกองหมักมาก ทำให้กองหมักแห้งได้ง่าย ความร้อนที่เกิดขึ้นในกองหมักจะกระจายอย่างรวดเร็ว ทำให้กองหมักไม่ร้อนเท่าที่ควร (พิกุลทอง, 2544) ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักทุกสูตรกับกากตะกอนที่ไม่ผ่านการหมัก (ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 2.57 โดยน้ำหนัก) จะพบว่ามีปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นทุกสูตร ยกเว้นสูตรที่ 9 คือกากตะกอน 1 ส่วน หมักร่วมกับเปลือกสัปปะรดขนาด 1 นิ้ว 1 ส่วน ที่มีค่าไนโตรเจนต่ำกว่ากากตะกอนเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรมส่งเสริมการเกษตร กรมพัฒนาที่ดิน และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ กรมวิชาเกษตร ที่กำหนดว่าปุ๋ยต้องมีปริมาณไนโตรเจนไม่น้อยกว่า ร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก พบว่าปุ๋ยหมักทุกสูตรได้ตามค่ามาตรฐานดังกล่าว

ปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมัก

การวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักดำเนินการในลักษณะเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน โดยเก็บตัวอย่างจากถังหมักโดยการผสมตัวอย่างจากการสุ่มตัวอย่าง 3 ส่วนจากบริเวณตอนบน ตอนกลาง และตอนล่างของถังหมัก และทำการวิเคราะห์ทุก 10 วัน หลังจากอุณหภูมิของปุ๋ยหมักลดลงอย่างคงที่ จำนวน 3 ช่วงเวลา ดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักทั้ง 10 สูตร แสดงดังตารางที่ 4.3 ผลการศึกษา พบว่าปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ซึ่งใช้มูลค้างคาวเป็นวัสดุผสมมีปริมาณอินทรียวัตถุประมาณ 36 % โดยน้ำหนัก ซึ่งน้อยกว่าสูตรอื่น ๆ โดยที่สูตรที่ 3 4 5 และ 6 ซึ่งใช้หญ้าขนเป็นวัสดุผสมมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 38-41 % โดยน้ำหนัก ซึ่งใกล้เคียงกับสูตรที่ 7 8 9 และ 10 ที่ใช้เปลือกสัปปะรดเป็นวัสดุผสม มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 37-45 % โดยน้ำหนัก จากผลการศึกษาพบว่าในแต่ละช่วงเวลาที่วิเคราะห์พบค่าอินทรียวัตถุ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าปุ๋ยหมักมีการย่อยสลายสมบูรณ์แล้ว จุลินทรีย์ไม่มีการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนแล้ว หรือมีการย่อยสลายน้อยมาก คาร์บอนเป็นสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ คาร์บอนในสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากขึ้น มีการสร้างเซลล์ใหม่ (ศศิวรรณ, 2546) ปุ๋ยหมักที่ดีควรมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระหว่าง 35–50 % โดยน้ำหนัก ปุ๋ยหมักที่

มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าอินทรียวัตถุนั้นยังมีการย่อยสลายต่อไป ซึ่งทำให้เกิดความร้อนและการตรึงธาตุอาหารเป็นการชั่วคราว เป็นปัญหาต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ถ้าต่ำกว่า 15 % โดยน้ำหนัก แสดงว่าปุ๋ยมีสิ่งเจือปนอยู่มาก หรือถูกย่อยสลายจนคาร์บอนหมดไป ไม่ควรนำมาใช้เป็นปุ๋ยหมัก (มุกดา, 2546) นั่นแสดงว่าปุ๋ยหมักทั้ง 10 สูตรในการศึกษานี้จัดเป็นปุ๋ยหมักที่ดี

เมื่อพิจารณาปริมาณอินทรียวัตถุกับค่ามาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรมส่งเสริมการเกษตร, กรมพัฒนาที่ดิน และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาเกษตร ซึ่งกำหนดปริมาณอินทรียวัตถุไว้ในช่วงร้อยละ 35–50 ซึ่งได้กล่าวแล้วในในบทที่ 2 พบว่า ปุ๋ยหมักทั้ง 10 สูตรมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของทุกหน่วยงานดังกล่าว สามารถใช้เป็นปุ๋ยหมักได้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมัก

สูตรที่	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของปริมาณอินทรียวัตถุ (% โดยน้ำหนัก)		
	ช่วงเวลาที่ 1	ช่วงเวลาที่ 2	ช่วงเวลาที่ 3
1	36.22±1.24	35.49±2.29	35.56±3.21
2	36.82±1.73	36.75±1.94	36.70±3.44
3	39.40±0.77	39.64±0.49	39.69±0.47
4	38.22±1.05	38.33±1.10	38.23±1.02
5	41.44±0.90	41.65±1.15	41.52±0.97
6	41.53±0.68	41.45±0.86	41.49±0.68
7	37.22±2.20	37.20±2.15	37.20±2.18
8	40.13±1.47	40.12±1.45	40.11±1.44
9	43.51±0.36	43.52±0.37	43.51±0.38
10	45.98±1.22	45.98±1.23	45.93±1.23

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนหาได้จากการคำนวณจากค่าปริมาณไนโตรเจนและคาร์บอน การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนของปุ๋ยหมักดำเนินการในลักษณะเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน โดยเก็บตัวอย่างจากถังหมักโดยการผสมตัวอย่างจากการสุ่มตัวอย่าง 3 ส่วนจากบริเวณตอนบน ตอนกลาง และตอนล่างของถังหมัก และทำการวิเคราะห์ทุก 10 วัน หลังจากอุณหภูมิของปุ๋ยหมักลดลงอย่างคงที่ จำนวน 3 ช่วงเวลา ดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 4.3 ส่วนอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนก่อนการหมัก ได้จากการคำนวณ ซึ่งวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักทั้ง 10 สูตร แสดงในตารางที่ 4.4 จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนก่อนการหมักของสูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งใช้มูลค้างคาวเป็นวัสดุผสมมีค่าต่ำที่สุด ถ้าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยจะช่วยให้อัตราการย่อยสลายเร็วขึ้นดังกล่าวแล้วในบทที่ 2 และหัวข้อ 4.2 ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับข้อเท็จจริงดังกล่าว การย่อยสลายอินทรียวัตถุของสูตรที่ 1 แล ะ2 เกิดขึ้นได้ค่อนข้างเร็ว ดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 4.2 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนก่อนการหมัก และเมื่อการหมักเสร็จสิ้นแล้ว พบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนก่อนการหมักทุกสูตรมีค่าสูงกว่าเมื่อกระบวนการหมักเสร็จสิ้นแล้ว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโดยปกติเซลล์จุลินทรีย์มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 10-15 หมายความว่าการที่จุลินทรีย์ดูดสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าไปในเซลล์ 10-15 หน่วย จำเป็นต้องดูดสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปด้วย 1 หน่วย ดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 2 เพราะฉะนั้นการใช้สารประกอบคาร์บอนของจุลินทรีย์เกิดขึ้นสูงกว่าการใช้สารประกอบไนโตรเจน ดังนั้นเมื่อมีการย่อยสลายสารอินทรีย์สารเสร็จสิ้นแล้ว ปริมาณคาร์บอนในปุ๋ยหมักน่าจะลดลงมากกว่าปริมาณไนโตรเจน จึงทำให้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการย่อยสลาย

เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักทุกสูตรในแต่ละช่วงเวลาที่วิเคราะห์ พบว่าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เป็นการยืนยันว่ากระบวนการหมักเสร็จสิ้นแล้ว ปุ๋ยหมักแต่ละสูตรมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนแตกต่างกันเล็กน้อยขึ้นอยู่กับค่าไนโตรเจนเริ่มต้นดังได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.3 แต่อย่างไรก็ตามปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพดีควรจะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20 ปุ๋ยหมักที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่า 20 มาก ๆ จะเริ่มมีการย่อยสลายใหม่เมื่อใส่ลงไปในดิน (มุกดา, 2546) ซึ่งจะเกิดความร้อนขึ้นและเป็นอันตรายต่อพืช เกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรมส่งเสริมการเกษตร, กรมพัฒนาที่ดิน และ

มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาเกษตรกำหนดให้ปุ๋ยหมักมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่เกิน 20 ซึ่งปุ๋ยหมักทั้ง 10 สูตรมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้ตามเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว

ตารางที่ 4.4 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก

สูตรที่	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน			
	ก่อนการหมัก	ช่วงเวลาที่ 1	ช่วงเวลาที่ 2	ช่วงเวลาที่ 3
1	14.23	9.65±1.04	9.63±1.11	9.60±1.09
2	16.13	11.20±0.25	11.19±0.10	11.17±0.22
3	20.17	10.16±0.59	9.93±0.16	9.95±0.19
4	20.17	10.05±0.10	9.94±0.38	9.88±0.29
5	19.69	9.23±0.20	9.13±0.25	8.95±0.28
6	19.69	8.89±0.24	9.03±0.53	9.07±0.45
7	21.48	9.57±2.21	9.56±2.17	9.53±2.19
8	21.48	8.96±1.48	8.95±1.45	8.95±0.61
9	36.13	11.93±0.36	11.92±0.38	11.92±0.37
10	36.13	11.01±1.22	11.01±1.23	11.05±1.23

ความชื้นของปุ๋ยหมัก

ความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำภายในกองหมัก ซึ่งมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนพื้นผิวของวัสดุหมัก เนื่องจากเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหารและก๊าซออกซิเจนจากวัสดุหมักและอากาศไปยังจุลินทรีย์ และยังเป็นตัวกลางในการส่งผ่านเอนไซม์เข้าย่อยสลายวัสดุหมักด้วย (กิ่งกาญจน์, 2541) ดังนั้นการหาค่าความชื้นของปุ๋ยหมักจึงเป็นสิ่งสำคัญ และนอกจากนี้ค่าความชื้นยังเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของปุ๋ยหมักอีกด้วย การหาค่าความชื้นของปุ๋ยหมักในการศึกษานี้ ทำโดยการเก็บตัวอย่างจากถังหมักด้วยการผสมตัวอย่างจากการสุ่มตัวอย่าง 3 ส่วนจากบริเวณตอนบน ตอนกลาง และตอนล่างของถังหมัก และทำการวิเคราะห์ทุก 10 วันของการหมักเพื่อให้ทราบถึงสภาพของกระบวนการหมักอย่างคร่าว ๆ ว่าดำเนินไปอย่างปกติหรือไม่ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ดังกล่าวแล้วในบทที่ 3 และรายละเอียดของวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข ผลการศึกษาแสดงในภาพที่ 4.4 พบว่าค่าความชื้นของปุ๋ยหมักทุกสูตรมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกัน นั่นคือในช่วงต้นของการหมักค่าความชื้นจะสูงอยู่ในช่วงร้อยละ

72-80 หลังจากนั้นความชื้นของปุ๋ยหมักจะค่อย ๆ ลดลง และเริ่มคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.2 ทั้งนี้เป็นเพราะอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อความชื้นของปุ๋ยหมัก กล่าวคือเมื่อความร้อนภายในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้นก็จะทำให้น้ำภายในวัสดุหมักระเหยออกไปบางส่วน (ธันวดี, 2547) จากภาพที่ 4.4 จะพบว่าอัตราการลดลงของความชื้น ระยะเวลาที่ความชื้นคงที่ และอุณหภูมิสุดท้ายของปุ๋ยหมักแต่ละสูตรแตกต่างกัน โดยปุ๋ยหมักที่ใช้วัสดุหมักประเภทเดียวกันจะมีอัตราการลดลงของความชื้น ระยะเวลาที่ความชื้นคงที่ และอุณหภูมิสุดท้ายของปุ๋ยหมักคล้ายกัน และจากการทดสอบทางสถิติพบว่าการเปลี่ยนแปลงของความชื้นตั้งแต่เริ่มต้นการหมักจนถึงระยะเวลาที่การหมักเสร็จสิ้นของปุ๋ยหมักทุกสูตรไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นอกจากนี้ยังพบว่าความชื้นของปุ๋ยหมักแต่ละสูตรไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

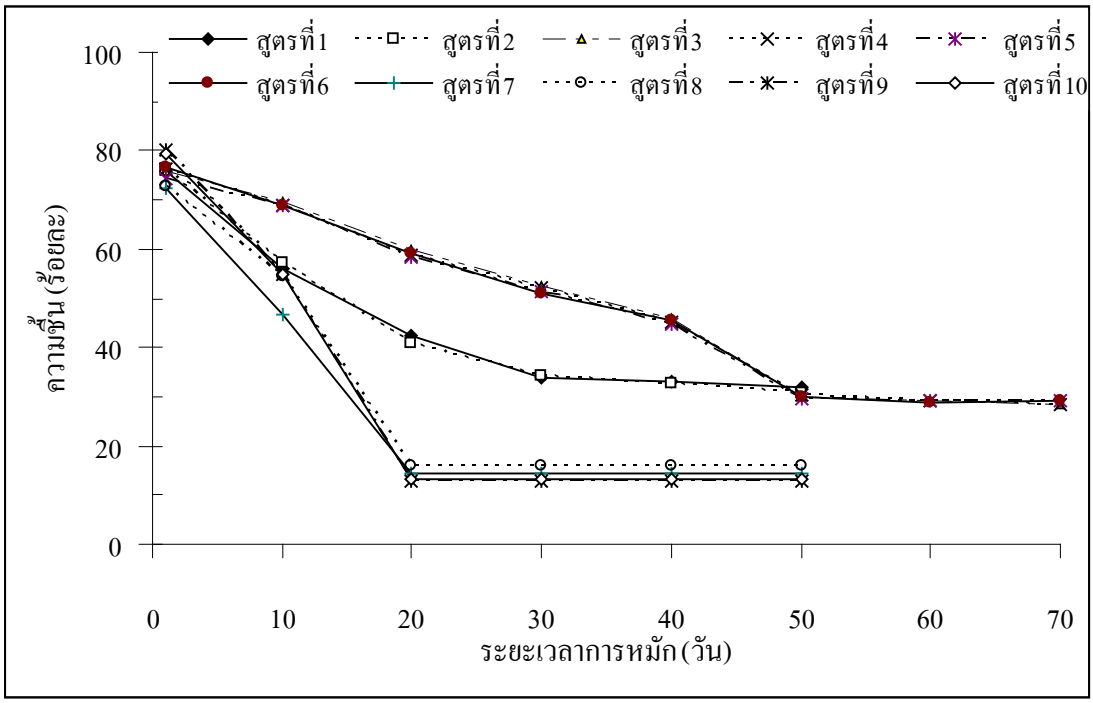
ปุ๋ยหมักที่ดีควรมีความชื้นพอสมควร และควรรีบนำไปใช้ก่อนที่จะแห้งสนิท ถ้าปุ๋ยหมักมีความชื้นมากเกินไปอาจเป็นปัญหาในเรื่องการขนส่ง อาจทำให้เสียค่าใช้จ่ายมาก และไม่ควรเก็บปุ๋ยหมักไว้ในสภาพที่แห้งสนิทนานเกินไป เพราะเมื่อนำไปใช้ ปุ๋ยหมักจะไม่เปียกน้ำ และอาจไหลไปกับน้ำไปตามผิวดินได้โดยง่าย (เสียงแจ๋ว, 2537) ค่ามาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรมส่งเสริมการเกษตร, กรมพัฒนาที่ดิน และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาเกษตร จึงกำหนดปริมาณความชื้นของปุ๋ยหมักไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก และจากการศึกษาพบว่าเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการหมัก ปุ๋ยหมักทุกสูตรมีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมัก

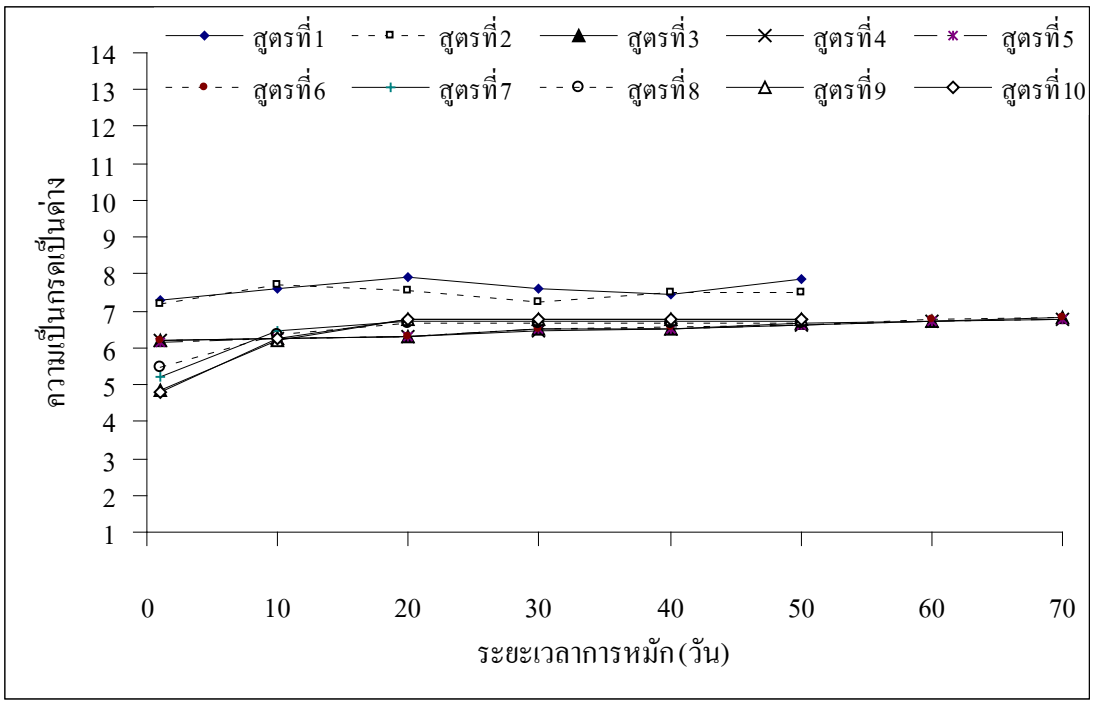
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการควบคุมคุณภาพปุ๋ยหมัก และยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดสามารถอาศัยอยู่ในระดับความเป็นกรดเป็นด่างที่แตกต่างกันออกไป ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ควรอยู่ในช่วงค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.5-8.5 (ภัทรา, 2547) การทราบความเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างในกระบวนการหมักช่วยให้ทราบถึงความเป็นไปของระยะหมักที่ดำเนินอยู่ในขณะนั้น (พิกุลทอง, 2544) การหาค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักในการศึกษานี้ ทำโดยการเก็บตัวอย่างจากถังหมักด้วยการผสมตัวอย่างจากการสุ่มตัวอย่าง 3 ส่วนจากบริเวณตอนบน ตอนกลาง และตอนล่างของถังหมัก และทำการวิเคราะห์ทุก 10 วันของการหมักเช่นเดียวกับการหาค่าความชื้น ผลการศึกษาแสดงในภาพที่ 4.5 พบว่า ปุ๋ยหมักทุกสูตรมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงเวลาประมาณวันที่ 20 ของการหมัก ต่อมาจะลดลง และท้ายสุดจะคงที่อยู่ในช่วง 7-8 ช่วงที่ค่า

ความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากเมื่ออินทรียวัตถุถูกย่อยสลายจะมีลักษณะเป็นสารต้านการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ดี และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถดูดซับไฮโดรเจนไอออนไว้ได้มากขึ้น และมีสารประกอบบางชนิดที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น แอมโมเนียเกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลาย (ธันวดี, 2547) แต่อย่างไรก็ตาม จากภาพที่ 4.5 จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักแต่ละสูตรแตกต่างกัน โดยปุ๋ยหมักที่ใช้วัสดุหมักประเภทเดียวกันจะลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างคล้ายกัน แต่จากการทดสอบทางสถิติพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างตั้งแต่เริ่มต้นการหมักจนถึงระยะเวลาที่การหมักเสร็จสิ้นของปุ๋ยหมักทุกสูตรไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักแต่ละสูตรไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดเป็นด่างตามมาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรมส่งเสริมการเกษตร, กรมพัฒนาที่ดิน และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาเกษตร ที่กำหนดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักอยู่ในช่วง 5.5-8.5 และจากการศึกษาพบว่าเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการหมักปุ๋ยหมักทุกสูตรมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของปุ๋ยหมัก กับระยะเวลาการหมัก



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมัก กับระยะเวลาการหมัก

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำเสียที่ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท แกรนด์ยูนิตี้ (ประเทศไทย) จำกัด จังหวัดระยองโดยใช้ของเสียและเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นวัสดุหมัก ซึ่งได้แก่ มูลค้างคาว หญ้าขน และเปลือกสัปปะรด โดยศึกษาอัตราส่วนผสมของกากตะกอนและวัสดุผสมทั้งสิ้น 10 สูตร โดยที่สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ใช้มูลค้างคาวเป็นวัสดุหมัก โดยใช้กากตะกอนต่อมูลค้างคาว ในอัตราส่วน 5 ต่อ 1 และ 10 ต่อ 1 ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 3 4 5 และ 6 ใช้หญ้าขนเป็นวัสดุหมัก สูตรที่ 3 คือ กากตะกอนต่อหญ้าขนขนาด 1 นิ้ว ในอัตราส่วน 5 ต่อ 1 สูตรที่ 4 คือ กากตะกอนต่อหญ้าขนขนาด 2 นิ้ว ในอัตราส่วน 5 ต่อ 1 สูตรที่ 5 คือ กากตะกอนต่อหญ้าขนขนาด 1 นิ้ว ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 สูตรที่ 6 คือ กากตะกอนและหญ้าขนขนาด 2 นิ้ว ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 ส่วนสูตรที่ 7 8 9 และ10 ใช้เปลือกสัปปะรดเป็นวัสดุหมัก โดยที่สูตรที่ 7 คือ กากตะกอนต่อเปลือกสัปปะรดขนาด 1 นิ้ว ในอัตราส่วน 5 ต่อ 1 สูตรที่ 8 คือ กากตะกอนต่อเปลือกสัปปะรดขนาด 2 นิ้ว ในอัตราส่วน 5 ต่อ 1 สูตรที่ 9 คือ กากตะกอนต่อเปลือกสัปปะรดขนาด 1 นิ้ว ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 และสูตรที่ 10 คือ กากตะกอนและเปลือกสัปปะรดขนาด 2 นิ้ว ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

สรุปผลการทดลอง

1. กากตะกอนมีความชื้นอยู่ในระดับสูงคือร้อยละ 75.53 และมีสภาพเป็นกรดอ่อนๆ เท่ากับ 5.95 มีปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจนร้อยละ 49.18 และ 2.57 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 19.0 ส่วนมูลค้างคาวมีค่าความชื้นร้อยละ 36.83 ปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจนมีค่าร้อยละ42.18 และ 7.40 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7.32 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 5.70 หญ้าขน และเปลือกสัปปะรดมีความชื้นสูงกว่ากากตะกอน และมูลค้างคาว โดยมีค่าความชื้นร้อยละ 72.49 และ 89.23 ตามลำดับ ค่าความเป็นกรดด่างของหญ้าขนเท่ากับ 7.05 ส่วนของเปลือกสัปปะรดมีความเป็นกรดมากกว่ากากตะกอน และวัสดุผสมอื่น คือมีค่าเท่ากับ 4.42 ปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจนของหญ้าขนเท่ากับร้อยละ 51.29 และ 1.88 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อ

ไนโตรเจนเท่ากับ 27.28 ส่วนปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจนของเปลือกสัปปะรดเท่ากับร้อยละ 27.59 และ 0.89 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 31.00

2. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของปุ๋ยหมักทุกสูตรมีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ในช่วงต้นอุณหภูมิของปุ๋ยหมักไม่แตกต่างจากอุณหภูมิบรรยากาศมากนัก ต่อมาอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้น และค่อย ๆ ลดลง จากนั้นอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่และใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ ปุ๋ยหมักทุกสูตรที่ศึกษามีค่าอุณหภูมิสูงสุดของปุ๋ยหมักไม่แตกต่างกันมากนักคือมีค่าประมาณ 39-42 องศาเซลเซียส แต่มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิขึ้นสูงสุด ลดลง และอุณหภูมิคงที่แตกต่างกัน กล่าวคือ สูตรที่ 1 และ 2 อุณหภูมิของปุ๋ยหมักสูงสุดในช่วงวันที่ 7-8 ของการหมัก และเริ่มคงที่ประมาณวันที่ 30 ของการหมัก ซึ่งเร็วกว่าสูตรที่ 3 4 5 และ 6 ที่อุณหภูมิของปุ๋ยหมักสูงสุดในช่วงวันที่ 16 ของการหมัก และเริ่มคงที่ประมาณวันที่ 50 ของการหมัก ส่วนสูตรที่ 7 8 9 และ 10 มีอุณหภูมิของปุ๋ยหมักสูงสุดในช่วงวันที่ 3-6 ของการหมัก และเริ่มคงที่ประมาณวันที่ 25 ของการหมัก การใช้มูลค้างคาวและเปลือกสัปปะรดเป็นวัสดุผสมทำให้เกิดการย่อยสลายอินทรียวัตถุได้เร็วกว่าการใช้หญ้าขนเป็นวัสดุผสม ปุ๋ยหมักทุกสูตรสามารถย่อยสลายได้สมบูรณ์ภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 เดือน

3. ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ซึ่งใช้มูลค้างคาวเป็นวัสดุผสมมีปริมาณไนโตรเจน 4.71-4.72 และ 3.82-3.88 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าสูตรอื่น ๆ โดยที่สูตรที่ 3 4 5 และ 6 ซึ่งใช้หญ้าขนเป็นวัสดุผสมมีปริมาณไนโตรเจน 2.65-2.70 2.71-2.74 2.89-2.92 และ 3.05-3.09 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับสูตรที่ 7 8 9 และ 10 ที่ใช้เปลือกสัปปะรดเป็นวัสดุผสม มีปริมาณไนโตรเจน 2.73 2.94 2.45-2.48 และ 2.66 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

4. ปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ซึ่งใช้มูลค้างคาวเป็นวัสดุผสมมีปริมาณอินทรียวัตถุประมาณ 36 % โดยน้ำหนัก ซึ่งน้อยกว่าสูตรอื่น ๆ โดยที่สูตรที่ 3 4 5 และ 6 ซึ่งใช้หญ้าขนเป็นวัสดุผสมมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 38-41 % โดยน้ำหนัก ซึ่งใกล้เคียงกับสูตรที่ 7 8 9 และ 10 ที่ใช้เปลือกสัปปะรดเป็นวัสดุผสม มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในช่วง 37-45 % โดยน้ำหนัก

5. ค่าความชื้นของปุ๋ยหมักทุกสูตรมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกัน นั่นคือในช่วงต้นของการหมักค่าความชื้นจะสูงอยู่ในช่วงร้อยละ 72-80 หลังจากนั้นความชื้นของปุ๋ยหมักจะค่อย ๆ ลดลง และเริ่มคงที่ ความชื้นของปุ๋ยหมักแต่ละสูตรไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

6. ปุ๋ยหมักทุกสูตรมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงเวลาประมาณวันที่ 20 ของการหมัก ต่อมาจะลดลง และท้ายสุดจะคงที่อยู่ในช่วง 7-8

7. ปุ๋ยหมักทั้ง 10 สูตร มีค่าปริมาณไนโตรเจน อินทรีย์วัตถุ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ค่าความชื้น และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ได้ตามมาตรฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรมส่งเสริมการเกษตร กรมพัฒนาที่ดิน และมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กรมวิชาเกษตร

8. สูตรปุ๋ยหมักที่ใช้หญ้าขนขนาด 3 นิ้ว เหมาะสมต่อการเป็นวัสดุผสมมากกว่าขนาด 1 นิ้ว และ เปลือกสัปปะรดขนาด 2 นิ้ว เหมาะสมต่อการเป็นวัสดุผสมมากกว่าขนาด 1 นิ้ว

อภิปรายผล

1. เมื่อพิจารณาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N Ratio) ของกากตะกอน และวัสดุผสมทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 5.70–31.00 จัดเป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่าย เนื่องจากมีอัตราส่วนอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 100 (ศศิวรรณ, 2546) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ โดยจะมีผลกระทบต่อกิจกรรมของย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยปกติเซลล์จุลินทรีย์มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 10–15 หมายความว่า การที่จุลินทรีย์ดูดสารคาร์บอนไปในเซลล์ 10–15 หน่วยจำเป็นต้องดูดสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปด้วย 1 หน่วย จึงทำให้เกิดสมดุลของสารประกอบทั้ง 2 เซลล์ และจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี (พิมพาภรณ์, 2545)

2. จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของปุ๋ยหมักแต่ละสูตรเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงประมาณ 27–42 องศาเซลเซียส ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของปุ๋ยหมักทุกสูตรมีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือในช่วงต้นอุณหภูมิของปุ๋ยหมักไม่แตกต่างจากอุณหภูมิบรรยากาศมากนัก ต่อมาอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้น และค่อย ๆ ลดลง จากนั้นอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่และใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ ทั้งนี้เป็นไปตามปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายวัสดุหมัก ระหว่างการหมักกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อเทียบกับอุณหภูมิภายนอก ซึ่งแสดงว่าจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีและกระบวนการย่อยสลายดำเนินไปได้ด้วยดี ในช่วงนี้จุลินทรีย์จะนำสารอินทรีย์ในถังมาใช้อย่างเต็มที่ จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารนี้จนเกือบหมด หมายถึงสารอินทรีย์ถูกแปรสภาพจนไม่เปลี่ยนแปลงอีก หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก อุณหภูมิในถังจะลดต่ำลงใกล้เคียงอุณหภูมิภายนอก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขบวนการย่อยสลายได้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และกระบวนการหมักได้สิ้นสุดลง (ภัทรา, 2547)

3. จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าวัสดุผสมมีผลต่อปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก การใช้มูลค้างคาวเป็นวัสดุผสมจะให้ปุ๋ยหมักที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณไนโตรเจนของมูลค้างคาวสูงมากกว่าวัสดุผสมชนิดอื่น ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ปริมาณไนโตรเจนที่เหลือจากกิจกรรมการหมักของจุลินทรีย์จะสะสมอยู่ในปุ๋ยที่ย่อยสลายเสร็จแล้ว ซึ่งหากปริมาณ

ไนโตรเจนเริ่มต้นสูงก็จะเหลือสะสมในปุ๋ยสูงด้วย เมื่อพิจารณาสูตรที่ใช้วัสดุผสมเหมือนกัน สูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งใช้มูลค้างคาวเป็นวัสดุผสมเหมือนกัน แต่พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักหลังเสร็จสิ้นกระบวนการย่อยสลายไม่เท่ากัน โดยที่สูตรที่ 1 มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าสูตรที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอัตราส่วนผสมแตกต่างกัน สูตรที่ 1 ใช้อัตราส่วนกากตะกอนต่อมูลค้างคาวเท่ากับ 5 ต่อ 1 ในขณะที่สูตรที่ 2 อัตราส่วนเท่ากับ 10 ต่อ 1 จึงทำให้ปริมาณมูลค้างคาวในสูตรที่ 1 มีมากกว่า ในกรณีที่ใช้หญ้าขนเป็นวัสดุผสมในสูตรที่ 3 4 5 และ 6 พบว่าปริมาณกากตะกอนส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักมากกว่าปริมาณหญ้าขน เพราะค่าไนโตรเจนของกากตะกอนสูงกว่าหญ้าขน ดังนั้นสูตรที่ใช้อัตราส่วนของกากตะกอนต่อหญ้าขนเท่ากับ 5 ต่อ 1 จึงมีปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่าสูตรที่ใช้อัตราส่วน 10 ต่อ 1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับสูตรที่ใช้เปลือกสัปปะรดเป็นวัสดุผสม กล่าวคือสูตรที่ใช้อัตราส่วนของกากตะกอนต่อเปลือกสัปปะรดเท่ากับ 5 ต่อ 1 มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าสูตรที่ใช้อัตราส่วน 1 ต่อ 1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพราะค่าไนโตรเจนของกากตะกอนสูงกว่าเปลือกสัปปะรด นอกจากนี้พบว่าสูตรที่ใช้วัสดุผสมขนาดใหญ่กว่ามีปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยหมักสูงกว่าสูตรที่ใช้วัสดุผสมขนาดเล็ก กล่าวคือ หญ้าขนขนาด 3 นิ้ว เหมาะสมต่อการเป็นวัสดุผสมมากกว่าขนาด 1 นิ้ว และ เปลือกสัปปะรดขนาด 2 นิ้ว เหมาะสมต่อการเป็นวัสดุผสมมากกว่าขนาด 1 นิ้ว ถึงแม้ว่าการตัดวัสดุให้เล็กลงจะทำให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายที่ผิวของวัสดุได้มากยิ่งขึ้น ทำให้มีการสัมผัสออกซิเจนได้มากขึ้น ทำให้กระบวนการย่อยลลายเร็วขึ้น แต่ถ้าวัสดุเล็กเกินไป จะทำให้ช่องว่างต่าง ๆ ในกองหมักเล็กลงไปด้วย ทำให้เกิดการขัดขวางการแพร่ของอากาศในการหมัก การย่อยสลายอาจเป็นไปได้ช้าและเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (อานุภาพ, 2541) แต่ในทางกลับกันวัสดุที่มีขนาดใหญ่มากเกินไปจะมีช่องว่างในกองหมักมาก ทำให้กองหมักแห้งได้ง่าย ความร้อนที่เกิดขึ้นในกองหมักจะกระจายอย่างรวดเร็ว ทำให้กองหมักไม่ร้อนเท่าที่ควร (พิกุลทอง, 2544) ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ

4. จากผลการศึกษาพบว่าในแต่ละช่วงเวลาที่วิเคราะห์พบค่าอินทรียวัตถุ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าปุ๋ยหมักมีการย่อยสลายสมบูรณ์แล้ว จุลินทรีย์ไม่มีการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนแล้ว หรือมีการย่อยสลายน้อยมาก คาร์บอนเป็นสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ คาร์บอนในสารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากขึ้น มีการสร้างเซลล์ใหม่ (ศศิวรรณ, 2546) ปุ๋ยหมักที่ดีควรมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ระหว่าง 35–50 % โดยน้ำหนัก ปุ๋ยหมักที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าอินทรียวัตถุนั้นยังมีการย่อยสลายต่อไป ซึ่งทำให้เกิดความร้อนและการตรึงธาตุอาหารเป็นการ

ชั่วคราว เป็นปัญหาต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ถ้าต่ำกว่า 15 % โดยน้ำหนัก แสดงว่าปุ๋ยมีสิ่งเจือปนอยู่มาก หรือถูกย่อยสลายจนคาร์บอนหมดไป ไม่ควรนำมาใช้เป็นปุ๋ยหมัก (มุกดา, 2546) นั่นแสดงว่าปุ๋ยหมักทั้ง 10 สูตรในการศึกษานี้จัดเป็นปุ๋ยหมักที่ดี

5. จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนก่อนการหมักของสูตรที่ 1 และ 2 ซึ่งใช้มูลค้างคาวเป็นวัสดุผสมมีค่าต่ำที่สุด ถ้าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยจะช่วยให้อัตราการย่อยสลายเร็วขึ้นดังกล่าวแล้วในบทที่ 2 และหัวข้อ 4.2 ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับข้อเท็จจริงดังกล่าว การย่อยสลายอินทรียวัตถุของสูตรที่ 1 แล ะ2 เกิดขึ้นได้ค่อนข้างเร็ว ดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 4.2 และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนก่อนการหมักและเมื่อการหมักเสร็จสิ้นแล้ว พบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนก่อนการหมักทุกสูตรมีค่าสูงกว่าเมื่อกระบวนการหมักเสร็จสิ้นแล้ว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโดยปกติเซลล์จุลินทรีย์มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 10-15 หมายความว่าการที่จุลินทรีย์ดูดสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าไปในเซลล์ 10-15 หน่วย จำเป็นต้องดูดสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปด้วย 1 หน่วย ดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 2 เพราะฉะนั้นการใช้สารประกอบคาร์บอนของจุลินทรีย์เกิดขึ้นสูงกว่าการใช้สารประกอบไนโตรเจน ดังนั้นเมื่อมีการย่อยสลายสารอินทรีย์สารเสร็จสิ้นแล้ว ปริมาณคาร์บอนในปุ๋ยหมักน่าจะลดลงมากกว่าปริมาณไนโตรเจน จึงทำให้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการย่อยสลาย

6. ค่าความชื้นของปุ๋ยหมักทุกสูตรมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกัน นั่นคือในช่วงต้นของการหมักค่าความชื้นจะสูงอยู่ในช่วงร้อยละ 72-80 หลังจากนั้นความชื้นของปุ๋ยหมักจะค่อย ๆ ลดลง และเริ่มคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.2 ทั้งนี้เป็นเพราะอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อความชื้นของปุ๋ยหมัก กล่าวคือเมื่อความร้อนภายในกองปุ๋ยหมักสูงขึ้นก็จะทำให้น้ำภายในวัสดุหมักระเหยออกไปบางส่วน (ธันวดี, 2547)

7. ปุ๋ยหมักทุกสูตรมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือค่าความเป็นกรดเป็นด่างของปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงเวลาประมาณวันที่ 20 ของการหมักต่อมาจะลดลง และท้ายสุดจะคงที่อยู่ในช่วง 7-8 ช่วงที่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากเมื่ออินทรียวัตถุถูกย่อยสลายจะมีลักษณะเป็นสารต้านการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ดีและมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้นทำให้สามารถดูดซับไฮโดรเจนไอออนไว้ได้มากขึ้น และมีสารประกอบบางชนิดที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น แอมโมเนียเกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลาย (ธันวดี, 2547)

ข้อเสนอแนะ

1. ชนิดของวัสดุผสม เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางเคมี,กายภาพ ที่แตกต่างกัน เมื่อนำมาหมักแล้วอาจมีผลกระทบต่อพืชและดิน และอาจมีอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงคุณสมบัติของวัสดุให้ละเอียดก่อนนำมาใช้ผลิตปุ๋ยหมัก

2. เชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในกากตะกอน กากตะกอนน้ำทิ้งอาจมีจุลินทรีย์ที่ใช้ย่อยสลายสิ่งสกปรกในบ่อบำบัดน้ำเสีย หากมีการนำกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ เช่น เลี้ยงปลา เพาะเห็ด หรือใช้ผลิตเป็นปุ๋ยสำหรับปลูกพืช อาจเป็นการเพิ่มโอกาสในการแพร่กระจายของเชื้อจุลินทรีย์ไปในสิ่งแวดล้อมและยังสามารถเข้ามาสู่โซ่อาหารของสัตว์และมนุษย์ ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาตามมาอีกมากมาย ในการทำการวิจัยต่อไป จึงต้องมีการศึกษาชนิดและปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในกากตะกอนก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

3. ควรเพิ่มขนาดของภาชนะในการหมักให้ใหญ่ขึ้น เพื่อจะได้เห็นความชัดเจนในการเปลี่ยนแปลง

4. ควรทำการศึกษากระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับกระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน ว่ามีความแตกต่างกันและมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างไร

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (2544). **เอกสารประกอบการสัมมนาร่างรายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านการหมักขยะอินทรีย์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย** (การพัฒนาถังหมักมูลฝอยสำหรับบ้านเรือน ตลาดสด และแหล่งท่องเที่ยว

กรมควบคุมมลพิษ. (2543). **เกณฑ์มาตรฐานและแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน**. พิมพ์ครั้งที่ 4 โรงพิมพ์คุรุสภา. กรุงเทพฯ.

กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน. (2539). **คู่มือเจ้าหน้าที่รัฐเรื่องการปรับปรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ**

กัญญา ม่วงแก้ว (2544) **การปรับปรุงคุณภาพปุ๋ยหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสและตรึงไนโตรเจน** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กันยมาส คงรอด (2545) **ภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนและชานอ้อย** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล

กัลยา สุนทรวงศ์สกุล. (2537). **อิทธิพลของโลหะหนักต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ดินและความเสี่ยงต่อเชื้อซาลโมเนลลาเนื่องจากการนำเอากากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร.** วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กิ่งกาญจน์ เทียมเวช. (2546). **ผลของแคลเซียมคลอไรด์และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีต่อสมรรถนะของการหมักปุ๋ยจากผักตบชวาและใบไม้แห้ง.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลับเชียงใหม่.

เกียรติชัย ตั้งสิริวรกุล. (2547). **การทำปุ๋ยหมักจากกากตะกอนของมูลสุกรและบัลกิงเอเจนต์**. ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

คมกฤช ภาคย์ทองสุข. (2535). **ความเสี่ยงในการสะสมโลหะหนัก ของผักคะน้า (*Brassica oleracea L. var. alboglabra Bailey*) และผักกาดหอม (*Lactuca sativa var: crispa*) เมื่อใช้กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ร่วมกับแกลบในพื้นที่การเกษตร จังหวัดปทุมธานี**

จามีกร ศรีสุมล (2537) **การใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับข้าวโพดหวานที่ ปลูกในชุดดินกำแพงแสน** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จำลอง วรรณโครต. (2539). **อิทธิพลของปุ๋ยหมักบางชนิดต่อถั่วเหลืองผักสดใน 10 ชุดดินบริเวณภาคกลาง.** ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุไรรัตน์ อนันต์นฤการ. (2543). **ผลของ Bulking agent ต่อการทำปุ๋ยหมักร่วมกับกากสาจากโรงงานผลิตสุรา.** วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เจนวิทย์ กรอบทอง. (2544). **การเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมฟิลิคแบคทีเรียกับสารไบโอนิคในการทำปุ๋ยหมัก จากเศษวัสดุทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องและใบไม้แห้ง**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ฉวีวรรณ เหลืองวุฒิวิโรจน์. (2539). **การประเมินประสิทธิภาพการย่อยสลายเศษพืชของจุลินทรีย์เร่งปุ๋ยหมัก** , ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชนกร วัชรปาน. (2546). **อิทธิพลของอัตราการเติมอากาศและกากตะกอนน้ำทิ้งในการทำปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนและมูลฝอยตลาดสด.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชัยสิทธิ์ ทองจู (2538) **การใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับกวางตุ้งและข้าวโพดฝักอ่อนที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชีวานุช ทับทอง. (2543). **การพัฒนาการทำปุ๋ยหมักจากขยะจากตลาดสดด้วยวิธีแบบกะและแบบกึ่งต่อเนื่อง.** วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพัฒนางานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชื่นจิต กิ่งนรา. (2543). **การทำปุ๋ยหมักจากขยะเศษอาหารแบบกึ่งกะ.** วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สายวิชาการจัดการทรัพยากรชีวภาพ. คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ซบรี หะยีหมัด (2541) **ผลของการใช้กากตะกอนน้ำเสียและปุ๋ยเคมีที่มีต่อคุณสมบัติของดินและการให้ผลผลิต ของถั่วเขียวที่ปลูกในชุดดินจันทึก** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธันวดี ศรีธาวิรัตน์. (2547). **การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตรและเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

เช่ย์ นนทประสาท และสถิต อุลิดสถิต. 2538. **การทำปุ๋ยหมักจากครัวเรือน**. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บัญชา รัตนีทู (2538) **การใช้น้ำทิ้งจากการผลิตแก๊สชีวภาพเป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับหญ้ากินนี และถั่วเขียวที่ปลูกบนชุดดินกำแพงแสน** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บุญชอบ แสงจันทร์. (2536) .**การตรึงไนโตรเจนในถั่วแดงหลวงพันธุ์หมอกจ๋าม**. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บุปผา คำวัน. (2545). **การเพิ่มของศักยภาพของฟางข้าวและแกลบในการทำปุ๋ยหมัก.** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สายวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

ประกาศิต อินทรสำอาง. (2549). **การแปรสภาพและคุณภาพของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษ.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประยูร คำเติม. (2547). **การศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเปลือกกล้วย.** วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ประยูร เพียตะเณร (2544) **การใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับฝรั่งที่ปลูกในชุดดินกำแพงแสน** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรีดา แย้มเจริญวงศ์. (2531). **การจัดการขยะมูลฝอย.** คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

พิกุลทอง ตั้งบูชาเกียรติ. (2544). **อัตราส่วนของมูลฝอยตลาดสดกับเศษพืชและปริมาณอากาศที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักโดยระบบดูดอากาศจากถังหมักแบบปิด.** ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิชิต สกุลพราหมณ์. (2531). **การสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม.** มหาวทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

พิมพาภรณ์ โพธิ์ทอง. (2545). **ผลของขยะมูลฝอยและความสูงของกองหมักต่อระยะเวลาการย่อยสลายในถังหมักแบบเปิด.** วิทยานิพนธ์ ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มณฑา เซ่งศรี. (2546). **ผลของการใช้ปุ๋ยหมักจากกากตะกอนของระบบผลิตน้ำประปาต่อการเจริญเติบโตของพืช.** บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มุกดา สุขสวัสดิ์. (2544). **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮ้าส์, กรุงเทพฯ. 368 น.

รพีพร จรดล. (2539). **การใช้ประโยชน์ของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มเพื่อเป็นปุ๋ยอินทรีย์.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.

รัดเกล้า ตันสถิตย์. (2532). **ผลของกากตะกอนแห้งตอการเจริญเติบโตของผักกาดหอม (*Lactuca sativa*) และปริมาณโลหะหนักในเนื้อเยื่อใบและในดินที่ใช้ปลูก.** กรุงเทพ : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เรียมสงวน วรรณยะลา. (2544). **ประสิทธิภาพการย่อยสลายมูลฝอยเป็นปุ๋ย โดยวิธีเติมอากาศจากมูลฝอยชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ. (2546). **การทำปุ๋ยหมักจากเศษใบไม้และขยะโดยวิธีหมักแบบใช้ออกซิเจน.** สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ.

วพีพร จรดล. (2539). **การใช้ประโยชน์จากากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องมือเพื่อเป็นปุ๋ยอินทรีย์.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล.

วรภรณ์ หมู่ศิลป์. (2546). **การผลิตปุ๋ยตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วันเพ็ญ โลหะเจริญ. (2546). **ผลของไนโตรเจนต่อปริมาณสารประกอบไนโตรเจน และการเจริญเติบโตของดองดึง**. สาขาวิชาพืชสวน.มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วีระ วรปิติรังสี. (2543). **ผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และจุลธาตุต่อคุณภาพและผลผลิตของส้มเขียวหวานในดินชุดบ้านจ้อง**. สาขาวิชาปฐพีศาสตร์.มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศศิวรรณ จิตรพิทักษ์เลิศ. (2546). **การทำปุ๋ยหมักแบบกึ่งกะจากขยะเศษอาหาร โดยใช้ขุยมะพร้าวเป็น *Bulking agent.*** วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจดการทรัพยากรชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศิราณี ศิริสุโขดม. (2535). **ผลของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน ต่อการเติดโตและการสะสมโลหะหนัก ในพืชผักบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม.

ศิริกุล อ่องกมล. (2544). **เทคนิควิธีวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ย**. กลุ่มงานวิเคราะห์ปุ๋ย กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สมศักดิ์ วังใน. (2530). **ไนโตรเจนในดิน.** น. 383-389 ใน สมเจตน์ จันทวัฒน์. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา.มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 765 น.

สันติภาพ ปัญจพรรค์. (2527). **วิทยาการปุ๋ย.** ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. 12 พฤศจิกายน 2551. **ขยะมูลฝอย.** http://www.tungsong.com.

สื่อทางเลือกเพื่อพัฒนา **มูลค้างคาว** Retrieved from http://www.thaingo.org/images/forest2504.jpg [2007 , Jan 27]

สุธา ไอยราคม (2544) **ประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนของแบคทีเรียในปุ๋ยหมักกากตะกอนจากโรงงานน้ำตาล** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล

สุปรานี จอมขันเงิน (2544) **อิทธิพลของการใช้กากตะกอนหม้อกรองโรงงานน้ำตาลร่วมกับปุ๋ยมูลไก่ที่มีต่อคุณสมบัติ บางประการของดินและผลผลิตของผักคะน้าและผักกาดหัวในชุดดินร้อยเอ็ด** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เสรีย์ ตู้ประกาย (2541) **การศึกษาและออกแบบระบบเตาเผากากตะกอนแบบฟลูอิดไดซ์เบด** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เสวียน เปรมประสิทธิ์ และคณะ. (2548). **การเพิ่มมูลค่าข้าวลีบ กากมัน เปลือกมัน ขี้เถ้าแกลบ และกากตะกอนน้ำเสีย ในการผลิตปุ๋ยหมักเพื่อผลิตผักปลอดสารพิษ.**

องอาจ เอี่ยมสำอาง. (2542). **การใช้ระบบอัดอากาศในการทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชผักร่วมกับตะกอนน้ำทิ้งชุมชน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

องอาจ เอี่ยมสำราญ. (2542). **การใช้ระบบอัดอากาศในการทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชผักรวมกับกากตะกอนน้ำทิ้งจากชุมชน.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อดิศักดิ์ ทองไข่มุกต์, สุณี ปิยะพันธุ์พงศ์, นภวัส บัวสรวง และอิมราน หะยีบากา. (2541). **การจัดการมูลฝอยและสิ่งแวดล้อม.** ศูนย์วิจัยแลฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

อภิชาติ โพธิ์สุ. (2536). **ปริมาณตะกั่ว แคดเมียม ทองแดง และสังกะสีในน้ำ และดินตะกอนจากชั้นคุณภาพลุ่มน้ำต่างๆ บริเวณลุ่มน้ำเลย.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิญญา แสงสุวรรณ. (2542**). การผลิตปุ๋ยน้ำหมักจากขยะอินทรีย์.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) สาวิยาขาปฐพีวิทยา ภาควิชาปฐพี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรรณพ หอมจันทร์. (2541). **ความเป็นพิษของโลหะหนักบางชนิด จากกากตะกอนยำบัดน้ำเสียชุมชนต่อผักคะน้า (*Brassica oleracea L.Var. alboglabra Bailey*) และ (*Lactuca sativa L.*) ในสภาพเรือนทดลอง.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลับเชียงใหม่.

อานุภาพ แก้วกอง. (2541). **การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหญ้า เศษใบไม้แห้งและกากตะกอนน้ำเสียด้วยวิธีกองแบบมีการระบายอากาศ.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Haug , R.T. 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering .U.S.A. : Lewis Publishing

Tchobanoglous , G. , Theisen , H . and Vigal , S.A. 1993. “Biological and Chemical Conversion Technologies” Integrated Solid Waste Management : Mcgraw – Hill . Ine

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการวิเคราะห์

ตารางที่ ผ-1 อุณหภูมิเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 ถึง 10

วันที่หมัก	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)									
		สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	สูตร 7	สูตร 8	สูตร 9	สูตร 10
1	28.5	28.8±0.25	28.5±0.00	26.4±0.12	26.3±0.25	25.9±0.12	26.2±0.29	30.4±0.12	30.1±1.60	30.0±0.66	30.3±0.01
2	30.0	34.5±1.09	35.0±0.50	28.8±0.25	29.8±0.68	29.4±0.40	29.3±0.29	40.3±0.40	40.0±0.68	41.5±0.29	42.5±0.32
3	29.5	35.6±0.76	35.8±0.76	28.1±0.29	28.9±0.40	28.4±0.75	28.80.29±	40.1±0.75	40.1±0.40	41.0±0.90	42.1±0.25
4	29.0	37.1±1.26	35.6±0.14	28.7±0.66	28.5±0.46	28.3±0.46	28.5±0.29	40.5±0.46	39.2±1.04	40.1±0.80	42.3±0.65
5	28.5	37.5±0.43	36.6±0.28	28.3±0.46	28.4±0.40	28.1±0.58	28.20.17±	40.1±0.58	39.6±0.46	41.1±0.25	42.5±0.23
6	29.5	37.50.43±	38.2±0.61	28.4±0.51	28.1±0.76	28.0±0.29	28.1±0.69	40.1±0.29	40.4±0.29	40.5±0.29	41.4±0.23
7	28.5	38.4±0.14	38.8±0.71	28.3±0.50	28.8±0.40	28.9±0.12	29.3±0.40	39.3±0.12	38.5±0.36	39.0±0.00	40.2±0.41
8	28.0	38.0±0.87	39.6±0.72	28.9±0.12	28.9±0.60	29.2±0.17	28.80.00±	39.5±0.17	38.5±0.36	38.0±0.75	40.6±0.26
9	29.0	37.4±1.84	37.4±0.56	29.3±0.25	28.9±0.40	28.4±0.75	29.0±0.46	39.4±0.75	37.4±1.04	39.5±0.76	38.1±0.25
10	28.5	36.1±1.89	37.3±0.00	28.7±0.66	28.3±0.46	28.0±0.00	28.2±0.17	38.1±0.00	38.2±0.58	37.6±0.16	37.4±0.24
11	28.5	35.5±1.39	37.2±0.29	28.5±0.46	28.1±0.36	28.0±0.40	28.4±0.60	39.0±0.40	38.6±0.76	37.1±0.13	38.5±0.31
12	28.5	35.3±1.09	36.1±0.58	28.2±0.53	38.5±0.87	38.0±0.00	34.4±3.09	38.4±0.00	37.4±0.43	36.2±0.00	37.8±0.34
13	29.0	34.8±2.18	35.8±0.75	39.0±0.87	38.4±0.60	38.0±0.29	38.8±1.12	38.7±0.29	37.1±1.26	35.1±0.36	36.1±0.64
14	30.5	34.5±1.89	36.2±0.29	38.8±0.87	39.6±0.36	39.4±0.12	39.5±0.68	37.6±0.12	36.1±0.14	35.1±0.29	35.1±0.11
15	29.0	33.4±2.13	36.1±0.58	39.9±0.51	39.8±0.46	39.5±0.00	39.6±0.36	37.4±0.00	36.5±0.43	35.6±0.29	35.5±0.41

ตารางที่ ผ-1 อุณหภูมิเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 ถึง 10 (ต่อ)

วันที่หมัก	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)									
		สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	สูตร 7	สูตร 8	สูตร 9	สูตร 10
16	28.5	32.3±0.90	35.3±0.25	40.0±0.46	40.5±0.25	40.5±0.40	40.8±0.25	36.7±0.40	35.1±1.84	34.1±0.14	34.1±0.45
17	28.5	32.9±0.14	35.1±1.01	38.7±0.58	38.1±0.17	38.1±0.58	38.1±0.76	36.6±0.40	35.6±0.87	33.0±0.00	33.5±0.06
18	29.0	32.6±0.88	34.7±0.38	37.7±1.15	39.2±0.82	38.4±0.12	39.1±0.42	35.1±0.46	33.0±1.89	34.0±0.29	31.0±0.75
19	28.5	32.9±0.29	34.8±0.63	41.4±0.12	40.4±0.98	39.7±0.76	39.7±0.36	35.0±0.40	33.2±1.39	33.1±0.13	32.4±0.00
20	28.0	32.3±0.88	34.3±0.66	39.5±1.04	41.3±0.64	41.3±1.12	40.9±0.60	34.1±0.76	32.2±1.09	32.0±0.12	31.0±0.05
21	29.5	32.3±1.52	33.5±0.87	39.1±0.85	41.9±1.25	41.6±1.26	40.2±1.15	33.0±0.40	32.1±2.18	31.1±0.29	32.1±0.14
22	29.5	31.8±1.04	32.8±1.04	39.1±0.66	40.9±1.01	40.0±0.00	39.3±0.64	32.5±0.60	31.6±1.89	31.6±0.03	31.0±0.22
23	27.5	32.0±0.25	33.5±0.87	40.3±0.50	40.9±0.51	40.5±0.68	40.0±0.64	31.0±0.40	31.2±2.13	32.4±0.29	31.1±0.23
24	29.5	32.0±1.09	32.5±0.90	39.9±0.51	40.5±0.58	40.9±0.12	40.2±0.69	31.5±0.46	31.1±0.90	31.3±0.29	31.2±0.21
25	28.0	31.8±1.75	32.8±0.66	41.3±1.04	41.5±0.87	42.5±0.87	41.5±1.73	31.1±0.36	31.3±0.14	32.2±0.00	31.4±0.45
26	28.5	30.5±2.29	31.7±0.29	42.5±0.76	43.6±0.29	43.5±0.46	43.2±0.17	31.1±0.87	31.7±0.88	31.5±0.66	31.4±0.29
27	30.0	31.0±2.18	31.7±0.80	42.6±1.61	41.1±1.89	41.7±2.42	43.7±0.69	31.5±0.60	31.6±0.29	31.4±0.16	31.0±0.53
28	29.0	29.4±2.27	31.0±0.25	42.4±0.90	42.4±0.90	42.5±0.40	43.2±0.17	31.0±0.36	31.4±0.88	31.4±0.66	30.5±0.01
29	27.5	28.7±1.01	30.7±0.29	41.7±0.66	41.5±0.75	41.9±0.75	42.5±0.29	31.1±0.46	31.4±1.52	31.1±0.16	31.4±0.23
30	28.5	28.2±0.38	27.8±0.75	41.3±0.50	42.0±0.29	42.4±0.12	42.0±0.40	31.6±0.51	31.6±1.04	31.5±0.93	31.4±0.11

ตารางที่ ผ-1 อุณหภูมิเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 ถึง 10 (ต่อ)

วันที่หมัก	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)									
		สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	สูตร 7	สูตร 8	สูตร 9	สูตร 10
31	28.0	28.0±0.66	28.5±0.00	39.4±1.25	40.1±0.66	40.1±0.66	40.1±0.17	31.0±0.58	31.5±0.25	31.3±0.79	31.0±0.66
32	28.	28.8±0.25	28.3±0.16	37.5±0.29	37.4±0.93	37.4±0.93	37.4±0.51	31.0±0.87	31.4±1.09	31.1±0.76	31.0±0.38
33	28.5	28.4±0.29	28.3±0.76	39.0±1.15	38.3±0.93	38.6±0.66	38.3±1.00	31.4±0.29	31.2±1.75	31.4±0.87	31.4±0.02
34	28.5	28.3±0.29	28.2±0.13	38.8±0.25	38.9±1.60	38.3±0.87	38.9±1.50	31.0±1.89	31.4±2.29	31.0±0.40	31.0±0.87
35	29.0	28.4±0.14	28.8±0.29	39.4±1.40	40.3±1.04	40.6±0.79	40.4±1.40	31.6±0.90	31.0±2.18	31.6±0.58	31.4±0.25
36	28.0	28.2±0.14	27.9±0.36	37.7±0.17	38.8±0.68	38.2±0.76	38.4±0.93	31.4±0.75	31.4±2.27	31.4±0.53	31.0±1.04
37	27.5	28.3±0.52	27.7±0.29	37.4±0.40	37.9±0.40	37.9±0.40	37.40.60±	31.0±0.29	31.6±1.01	31.4±0.29	30.6±0.58
38	28.0	28.2±0.29	28.0±0.00	37.1±0.17	37.2±0.36	36.7±0.58	37.5±0.50	31.6±0.66	31.0±0.38	31.1±0.25	31.1±1.01
39	28.5	28.2±0.29	28.5±0.00	36.4±0.40	37.5±0.29	37.2±0.53	37.1±0.53	31.0±0.93	31.0±0.66	31.0±0.53	31.6±0.87
40	29.0	28.4±0.38	28.9±0.14	35.4±0.51	36.5±0.46	36.2±0.53	36.2±0.76	31.0±0.93	31.3±0.25	31.4±0.66	31.0±0.29
41	28.0	28.3±0.14	28.2±0.13	34.8±0.76	34.2±1.04	32.5±0.29	35.0±0.40	31.0±0.66	31.6±0.87	31.0±0.29	31.1±0.25
42	28.0	28.3±0.58	27.7±0.29	34.1±0.53	33.7±0.36	32.5±0.25	34.2±0.36	31.3±0.25	31.0±0.29	31.0±0.53	31.0±0.53
43	28.5	28.7±0.14	28.6±0.12	33.5±0.29	33.2±0.58	32.7±0.66	33.6±0.17	31.0±0.53	31.0±0.66	31.4±0.66	31.0±0.66
44	28.5	28.2±0.29	28.2±0.03	32.8±0.58	32.9±0.75	33.0±0.29	33.4±0.12	31.4±0.66	31.3±0.25	31.1±0.25	31.6±0.87
45	28.0	28.0±0.43	27.8±0.29	32.9±1.37	32.1±0.69	30.0±0.40	33.3±1.08	31.0±0.66	31.0±0.53	31.0±0.53	31.0±0.29

ตารางที่ ผ-1 อุณหภูมิเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 ถึง 10 (ต่อ)

วันที่หมัก	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)									
		สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	สูตร 7	สูตร 8	สูตร 9	สูตร 10
46	28.0	28.0±0.00	27.8±0.29	32.1±1.53	31.4±0.98	29.9±0.40	32.6±1.04				
47	28.0	28.3±0.14	28.3±0.29	30.5±0.76	30.4±0.75	29.3±0.64	31.0±0.29				
48	28.0	28.4±0.38	28.0±0.00	29.4±1.01	29.4±0.75	28.4±0.75	30.0±0.40				
49	28.5	28.2±0.29	28.3±0.16	28.3±0.75	28.2±0.58	28.4±0.40	28.7±0.29				
50	28.0	27.9±0.52	27.8±0.16	27.4±0.12	27.3±0.40	27.2±0.36	27.3±0.25				
51	28.5			27.3±0.50	27.3±0.40	27.0±0.40	27.3±0.40				
52	28.5			27.0±0.25	27.1±0.29	27.0±0.25	27.1±0.17				
53	29.0			27.4±0.93	26.5±0.46	26.4±0.40	26.5±0.25				
54	28.5			27.4±0.12	27.8±0.40	27.5±0.40	27.8±0.40				
55	28.0			27.6±0.17	27.1±0.29	27.2±0.36	27.1±0.53				
56	29.5			27.6±0.17	27.6±0.17	27.5±0.46	27.6±0.17				
57	29.5			27.6±0.29	27.4±0.12	27.5±0.25	27.4±0.40				
58	27.5			26.9±0.12	27.0±0.46	26.9±0.40	27.0±0.25				
59	29.5			27.4±0.51	26.6±0.69	26.5±0.64	26.6±0.53				
60	28.0			27.5±0.25	27.2±0.58	27.0±0.40	27.3±0.40				

ตารางที่ ผ-1 อุณหภูมิเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 ถึง 10 (ต่อ)

วันที่หมัก	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)									
		สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	สูตร 7	สูตร 8	สูตร 9	สูตร 10
61	28.5			27.2±0.36	27.1±0.69	27.0±0.64	27.1±0.53				
62	30.0			27.7±0.36	27.8±0.40	27.5±0.40	27.8±0.40				
63	29.0			27.3±0.68	27.3±0.40	27.2±0.36	27.3±0.25				
64	27.5			27.5±0.50	26.7±0.58	26.5±0.50	26.7±0.29				
65	28.0			27.6±0.66	28.1±0.29	28.0±0.25	28.2±0.29				
66	28.5			27.3±0.68	27.2±0.58	27.0±0.50	27.2±0.29				
67	30.0			27.4±0.40	26.7±0.58	26.5±0.50	26.7±0.29				
68	29.0			27.8±0.75	28.3±0.40	28.0±0.40	28.3±0.40				
69	27.5			27.6±0.29	27.1±0.29	27.0±0.25	27.1±0.17				
70	28.5			27.6±0.29	27.6±0.29	27.5±0.46	27.8±0.25				

ตารางที่ ผ-2 ความชื้นเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 ถึง 10

วันที่หมัก	ความชื้นของปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)									
	สูตร 1	**สูตร 2**	**สูตร 3**	**สูตร 4**	**สูตร 5**	**สูตร 6**	**สูตร 7**	**สูตร 8**	**สูตร 9**	**สูตร 10**
1	75.86±0.32	76.45±0.13	75.88±0.58	76.29±0.03	74.50±1.06	76.78±0.02	72.38±3.09	72.78±3.60	80.32±0.72	79.51±3.30
10	55.95±3.55	57.15±1.18	69.75±0.03	68.88±0.03	68.73±0.03	68.89±0.08	46.76±3.04	54.35±8.76	54.90±1.01	54.87±1.27
20	42.36±1.90	40.88±1.83	59.77±0.03	58.79±0.03	58.35±0.37	59.23±0.25	14.42±0.53	16.01±0.38	13.02±0.47	13.35±1.92
30	33.97±1.14	34.34±0.66	52.70±0.25	52.22±0.25	51.22±0.25	51.01±0.25	14.40±0.54	16.00±0.40	13.00±0.46	13.19±1.72
40	33.16±0.92	32.74±0.50	45.92±0.25	45.22±0.25	44.92±0.25	45.52±0.25	14.39±0.52	15.99±0.40	12.99±0.47	13.18±1.69
50	32.08±1.54	30.84±2.09	30.05±1.72	30.53±1.39	29.65±0.71	29.92±0.46	14.38±0.51	15.98±0.39	12.98±0.48	13.16±1.69
60			29.05±0.25	29.34±0.25	29.03±0.25	28.93±0.25				
70			28.45±0.25	28.22±0.25	29.01±0.25	29.11±0.25				

ตารางที่ ผ-3 ความเป็นกรดด่างเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปุ๋ยหมักสูตรที่ 1 ถึง 10

วันที่หมัก	ความเป็นกรดด่างของปุ๋ยหมัก (ค่าเฉลี่ย ±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)									
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	สูตร 7	สูตร 8	สูตร 9	สูตร 10
1	7.31±0.16	7.18±0.25	6.20±0.03	6.21±0.07	6.17±0.05	6.19±0.02	5.19±0.14	5.46±0.19	4.87±0.17	4.81±0.08
10	7.63±0.25	7.71±0.21	6.23±0.02	6.26±0.02	6.24±0.02	6.24±0.03	6.47±0.13	6.37±0.04	6.22±0.10	6.23±0.05
20	7.93±0.07	7.55±0.47	6.32±0.06	6.31±0.04	6.29±0.03	6.33±0.01	6.70±0.02	6.69±0.02	6.77±0.05	6.79±0.06
30	7.59±0.36	7.23±0.11	6.52±0.06	6.48±0.03	6.49±0.04	6. 50±0.06	6.70±0.02	6.69±0.01	6.77±0.05	6.78±0.06
40	7.47±0.23	7.51±0.34	6.50±0.04	6.51±0.02	6.50±0.06	6.56±0.02	6.70±0.01	6.69±0.01	6.76±0.05	6.79±0.07
50	7.85±0.16	7.52±0.23	6.68±0.04	6.61±0.02	6.60±0.03	6.61±0.08	6.70±0.02	6.69±0.01	6.77±0.05	6.79±0.06
60			6.71±0.03	6.74±0.03	6.73±0.03	6.75±0.03				
70			6.81±0.03	6.79±0.03	6.78±0.03	6.80±0.03				

ภาคผนวก ข
วิธีวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาค่าทีเคเอ็นไนโตรเจน (TKN) ของปุ๋ยหมัก

1) นำมูลฝอยสดที่ทำการเก็บตัวอย่างมาบดให้มีขนาด 1.0 มิลลิเมตร
2) นำตัวอย่างมูลฝอยประมาณ 0.5 กรัม ใส่ในหลอด Kjeldahl flask
3) เติมโปแตสเซียมซัลเฟต 6.7 กรัม
4) แล้วเติมคอปเปอร์ซัลเฟต 10 มิลลิลิตร
5) หลังจากนั้นเติมกรดซัลฟลูริคเข้มข้น 10 มิลลิลิตรแล้วนำไปย่อย

1) ขั้นตอนการย่อย

- ย่อยเนื้อตัวอย่างที่อุณหภูมิ 200-250 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาที ในเครื่อง Gerhardt
- ย่อยเนื้อตัวอย่างต่อที่อุณหภูมิสูงประมาณ 380 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้สารละลายใส
- ทิ้งสารละลายให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
- ทำให้เป็นด่างด้วยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปกลั่น

2) ขั้นตอนการกลั่น

กลั่นสารละลายในกรดบอริค 50 มิลลิลิตร โดยเก็บส่วนที่ได้ในกรดบอริคให้ได้ประมาณ 250 มิลลิลิตร ถ้ามีไนโตรเจนกรดบอริคจะเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว จากนั้นนำไปไตเตรต

3) การไตเตรต

นำสารที่ได้ไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 0.02 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง โดยใช้ methyl-red + methylene blue เป็น Indicator

วิธีการคำนวณค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ของปุ๋ยหมัก

การคำนวณปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมัก ดังสมการที่ 3.1

$$Nt = \frac{(A-B) \times n \times 14 \times 100}{C} \qquad (3.1)$$

Nt = ร้อยละของไนโตรเจน

A = ปริมาณสารละลายมาตรฐาน Sulfuric acid ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง (ml)

B = ปริมาณสารละลายมาตรฐาน Sulfuric acid ที่ใช้ไตเตรต Blank (ml)

C = น้ำหนักของตัวอย่าง (mg)

N = Normality ของสารละลาย Sulfuric acid (N)

***หมายเหตุ** ทำ Blank โดยใช้น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรและทำการวิเคราะห์หาค่าไนโตรเจนเหมือนน้ำตัวอย่างทุกประการ

วิธีการวิเคราะห์ความชื้น

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1) ผ้ายาง
2) เครื่องชั่งน้ำหนัก
3) ถุงมือกันความร้อน
4) ถาดอลูมิเนียม
5) ตู้อบ (Hot air oven)

2.วิธีการวิเคราะห์ความชื้น

1) นำมูลฝอยสดที่ทำการสุ่มตัวอย่างแล้ว นำมาชั่งน้ำหนักแล้วใส่ถาดอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 75-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน จนกระทั่งแห้งสนิท

2) นำตัวอย่างมูลฝอยที่อบแห้งสนิทแล้ว มาชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่ได้คือ น้ำหนักตัวอย่างมูลฝอยที่คงที่

3. การคำนวณปริมาณความชื้น ดังสมการที่ 3.2

$$W = \frac{(W1-W2)x100}{W1} \quad (3.2)$$

W = ร้อยละของปริมาณความชื้น
W1 = น้ำหนักมูลฝอยก่อนอบ
W2 = น้ำหนักมูลฝอยหลังจากการอบ

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน

1. เครื่องมือและอุปกรณ์
   1) ตู้อบ (Hot air oven)
   2) เครื่องชั่งน้ำหนัก
   3) Descicator
   4) เครื่องบดมูลฝอย
   5) เตาเผา อุณหภูมิ 600-650 องศาเซลเซียส
   6) Porcelain crucible
   7) ถาดอลูมิเนียม
   8) ถุงมือกันความร้อน
2. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารที่ระเหยได้และคาร์บอน
   1) นำมูลฝอยที่อบแห้งมาบดด้วยเครื่องบดมูลฝอยให้มีขนาด 1.0 มิลลิเมตร
   2) นำตัวอย่างมูลฝอยที่บดแล้ว เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นใน Descicator
   3) สุ่มตัวอย่างมูลฝอยมาประมาณ 3-6 กรัม ใส่ใน Porcelain crucible ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว แล้วนำไปชั่งรวมกับมูลฝอย แล้วจดบันทึกค่า
   4) นำมูลฝอยที่ชั่งแล้วไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิ 600-650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นใน Descicator เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง
   5) นำ Porcelain crucible มาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง แล้วจดบันทึกค่า

การคำนวณปริมาณคาร์บอนของมูลฝอย ดังสมการที่ 3.3

$$\text{Carbon (\%)} = \frac{\text{Volatile Solid (\%)}}{1.8} \quad (3.3)$$

การคำนวณอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ดังสมการที่ 3.4

$$\text{อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน} = \frac{\text{เปอร์เซ็นต์คาร์บอน}}{\text{เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจน}} \quad (3.4)$$

วิธีวิเคราะห์ค่า pH

1. เครื่องมือและอุปกรณ์
    1) pH meter
    2) beaker
    3) แท่งแก้วคนสาร
    4) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. วิธีการวิเคราะห์
    1) ชั่งตัวอย่าง 5 g
    2) เติมน้ำกลั่น 50 ml
    3) ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน
    4) นำไปวัด pH ด้วยเครื่อง pH meter

วิเคราะห์อินทรียวัตถุ

1. เครื่องมือ และ อุปกรณ์

1) ขวดชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 ml

2) ปิเปตต์ขนาด 10 ml

3) กระบอกตวงขนาด 25 และ 50 ml

4) บิวเรตขนาด 50 ml

2. สารเคมี สารละลายและวิธีเตรียม

1) สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมท (Potassium dichromate) 1 N โพแทสเซียมไดโครเมท ($K_2Cr_2O_7$) อบที่ 105 °C 98.0 g ละลายในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตร 2 L

2) สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulphate) 0.5 N เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต [$Fe(NH_4)_2 (SO_4)_2.6H_2O$] 400 g ละลายในน้ำกลั่นพอสมควร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไป 50 ml ทำให้มีปริมาตร 2 L

3) สารละลายออร์โทฟีแนนโทรลีน อินดิเคเตอร์ 0.025 M เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4.7H_2O$) 0.7 g และออร์โทฟีแนนโทรลีน (O-phenanthroline) 1.48 g ละลายในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตร 100 ml

4) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4)

3. วิธีการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุ

1) ชั่งตัวอย่างดิน 1 g ใส่ในขวดชมพู่ ขนาด 250 ml

2) ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมท 1 N 10 ml

3) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15 ml เขย่าขวดแก้วเบา ๆ เป็นเวลา 1-2 นาที ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที

4) เติมน้ำกลั่นประมาณ 50 ml ทิ้งไว้ให้เย็น

5) หยดอินดิเคเตอร์ ออร์โทฟีแนนโทรลีน 5 หยด

6) ไทเทรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 N เพื่อหาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมทที่เหลือจากปฏิกิริยาจนกระทั่งสีของสารละลายดินเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ

7) บันทึกปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมท และเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้

8) ทำ blank เช่นเดียวกันกับวิธีวิเคราะห์ดิน

9) คำนวณปริมาณอินทรียคาร์บอน และอินทรียวัตถุ

4. การคำนวณ ดังสมการ 3.5, 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ

$$\% \text{ Organic carbon} = \frac{(B-T)\,N}{B} \times \frac{100}{77} \times \frac{3 \times 100}{10^3} \times \frac{10}{W} \quad (3.5)$$

$$\% \text{ Organic matter} = \% \text{ Organic carbon} \times 1.724 \quad (3.6)$$

$$\text{หรือ } \% \text{ Organic matter} = \frac{(B-T)\,N \times 100 \times 100 \times 3 \times 100 \times 10}{B \quad 77 \quad 58 \quad 10^3 \quad W} \quad (3.7)$$

เมื่อ

N = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมท (นอร์มอล)

B = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับ blank (ml)

T = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ไทเทรตกับตัวอย่างดิน (ml)

W = น้ำหนักดิน (g)