



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยน้ำหมักที่ผลิตจากกาก
ตะกอนและน้ำคั้น จากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบต่อการเจริญ
ของพืชผัก

**The Study on the Efficient Testing of Soil Amendment and Fermented
Liquid Fertilizer Production from Sludge and Effluent from Prototype
of Mixed Anaerobic Digester for Vegetable Production**

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การจัดการและการใช้ประโยชน์ของเสียจากฟาร์มสุกร

ขนาดเล็กแบบครบวงจร

โดย

พนมเทียน ทนคำดี และคณะ

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2556



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยน้ำหมักที่ผลิตจากกากตะกอน และน้ำล้น จากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบต่อการเจริญของพืชผัก

The Study on the Efficient Testing of Soil Amendment and Fermented Liquid Fertilizer Production from Sludge and Effluent from Prototype of Mixed Anaerobic Digester for Vegetable Production

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การจัดการและการใช้ประโยชน์ของเสียจากฟาร์มสุกร

ขนาดเล็กแบบครบวงจร

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2555

จำนวน 220,000 บาท

หัวหน้าโครงการ นายพนมเทียน ทนคำดี

ผู้ร่วมโครงการ นางสาว ศุภธิดา อ่ำทอง

นางสาวนงคราญ พงศ์ตระกูล

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

25 กันยายน 2556

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยน้ำหมักที่ผลิตจากกากตะกอนและน้ำล้น จากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบต่อการเจริญของพืชผัก ซึ่งอยู่ในชุดโครงการ การจัดการและการใช้ประโยชน์ของเสียจากฟาร์มสุกรขนาดเล็กแบบครบวงจรได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2555 จากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและแจ้งข้อมูลต่างๆ ผศ.ดร. ฐปน ชื่นบาล ที่ช่วยเสนอแนะให้คำปรึกษา ผศ.ดร. ศุภธิดา อ่ำทอง ที่สนับสนุนห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและปุ๋ย และกองสวัสดิการที่ช่วยอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ทำการวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ง
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	26
ผลการทดลองและวิจารณ์	34
สรุปผลการทดลอง	57
ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	59
ภาคผนวก	62

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสัตว์ต่างๆในแต่ละวัน	6
ตารางที่ 2	ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	6
ตารางที่ 3	มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร	7
ตารางที่ 4	แสดงข้อดีและข้อเสียของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์	14
ตารางที่ 5	ความหนาแน่นรวมของดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ที่ใส่ ปุ๋ยเคมี และที่ใส่ปุ๋ยหมักในการปลูกข้าวเป็นเวลา 11 ปี	15
ตารางที่ 6	ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกชะล้างจากไนโตรเจนที่มีอยู่แต่เดิมในดินและจาก ปุ๋ยเคมี ที่ใส่ในแปลงปลูกน้อย	17
ตารางที่ 7	ปริมาณธาตุโลหะหนักบางชนิดและอาร์เซนิกที่ดินซึ่งใช้ทำการเกษตรใน ประเทศอังกฤษและเวลส์ได้รับจากปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี	19
ตารางที่ 8	ผลการวิเคราะห์กากตะกอนแห้งและน้ำล้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	22
ตารางที่ 9	แสดงจำนวนสุกรและลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	34
ตารางที่ 10	การงอกของเมล็ดผักบ่งชี้เงินเมื่อเพาะในน้ำสกัดจากกากตะกอน และน้ำล้น จากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ	50
ตารางที่ 11	แสดงคุณสมบัติเบื้องต้นของดินและวัสดุปรับปรุงดิน (น้ำหนักแห้ง)	51
ตารางที่ 12	การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินเมื่อผ่านการใส่วัสดุปรับปรุงดิน	52

สารบัญตารางภาคผนวก

	หน้า
ตารางภาคผนวกที่ ข.1 ประสิทธิภาพของถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ	68
ตารางภาคผนวกที่ ข.2 แสดงคุณสมบัติกากตะกอนและน้ำล้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ฟาร์มสุกรละถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ	71
ตารางภาคผนวกที่ ข.3 แสดงผลการทดสอบการงอกของเมล็ดต่อวัสดุปรับปรุงดินที่ ผลิตได้	71
ตารางภาคผนวกที่ ข.4 แสดงการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของดิน	72
ตารางภาคผนวกที่ ข.5 แสดงการปลดปล่อยไนโตรเจนของกากตะกอน	73
ตารางภาคผนวกที่ ข.6 แสดงการปลดปล่อยแอมโมเนียในโตรเจนของกากตะกอน	73
ตารางภาคผนวกที่ ข.7 แสดงการปลดปล่อยไนเตรทในโตรเจนของกากตะกอน	74
ตารางภาคผนวกที่ ข.8 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกปลดปล่อยจากกากตะกอน	74



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1	แสดงกระบวนการแอนแอโรบิก
ภาพที่ 2	แสดงส่วนประกอบของระบบผลิตก๊าซชีวภาพฟาร์มสุกร
ภาพที่ 3	ถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ
ภาพที่ 4	แสดงค่า pH และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศฟาร์มสุกรทั่วไป
ภาพที่ 5	แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศฟาร์มสุกรทั่วไป
ภาพที่ 6	แสดงปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุในกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศฟาร์มสุกรทั่วไป
ภาพที่ 7	แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์วัตถุและค่า C/N ในกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศฟาร์มสุกรทั่วไป
ภาพที่ 8	แสดงการเปลี่ยนแปลงของ pH ของน้ำเข้าระบบและน้ำทิ้ง
ภาพที่ 9	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD ของระบบ
ภาพที่ 10	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD ของระบบ
ภาพที่ 11	แสดงประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย (SS) ของระบบ
ภาพที่ 12	แสดงค่า pH และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ
ภาพที่ 13	แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ
ภาพที่ 14	แสดงปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุในกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 15 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์วัตถุและค่า C/N ในกากตะกอนและ น้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ	46
ภาพที่ 16 คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากวัสดุปรับปรุงดิน (a) 24 ชั่วโมงแรก (b) ตลอดการทดลอง	53
ภาพที่ 17 การปลดปล่อยไนโตรเจนในวัสดุปรับปรุงดิน (a) แอมโมเนีย ในโตรเจน (b) ไนเตรท ในโตรเจน	54
ภาพที่ 18 การปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากวัสดุปรับปรุงดิน	55



ภาพภาคผนวก

หน้า

ภาพภาคผนวกที่ ก.1 แสดงข้อมูลการสำรวจฟาร์มสุกรในพื้นที่ อ. สันทราย สันป่าตอง
และแม่วาง จ. เชียงใหม่

64



การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยน้ำหมักที่ผลิตจากกากตะกอนและ
น้ำล้น จากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบต่อการเจริญของพืชผัก

**The Study on the Efficient Testing of Soil Amendment and Fermented Liquid
Fertilizer Production from Sludge and Effluent from Prototype of Mixed
Anaerobic Digester for Vegetable Production**

พนมเทียน ทนคำดี¹ สุภธิดา อ้าทอง² และนงคราญ พงศ์ตระกูล³

Panomtian Thonkamdee¹, Supathida Umthong² and Nongkarn Pongtrakoon³

¹กองสวัสดิการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

²คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

³คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยน้ำหมักที่ผลิตได้จากกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ ในการทดลองนี้ใช้ถังหมักไร้อากาศขนาด 1000 ลิตรทดสอบกับของเสียมูลสุกรของคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยออกแบบให้มีการวนน้ำที่ล้นออกจากระบบ 8 ครั้งต่อวันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ระยะเวลาทำการทดลอง 60 วัน ผลการทดลองพบว่า ระบบถังหมักแบบไร้อากาศนี้สามารถกำจัด COD ได้ร้อยละ 79.3 กากตะกอนมีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.912 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.011 และโปแตสเซียมร้อยละ 0.05 ส่วนในน้ำล้นมีค่าไนโตรเจนร้อยละ 0.136 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.006 และ โปแตสเซียมร้อยละ 0.09 อัตราการใช้กากตะกอนและน้ำล้นเป็นวัสดุปรับปรุงดินที่ 34.95 กิโลกรัมต่อแปลง และ 234.34 ลิตรต่อแปลงตามลำดับ โดยเมื่อนำกากตะกอนและน้ำล้นไปทดสอบดัชนีการงอกของเมล็ดพืชพบว่ากากตะกอนและน้ำล้นมีค่าดัชนีการงอกที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ อีกทั้งการใช้กากตะกอนยังเป็นการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินอีกด้วย

คำสำคัญ: ถังหมักไร้อากาศ วัสดุปรับปรุงดิน ดัชนีการงอกของเมล็ด

Abstract

This objective of experiment to study the efficiency of soil amendment and liquid fertilizer production from sludge and effluent from prototype of mixed anaerobic digester. In this experiment, the anaerobic digester tests with 1000 liters of Swine waste of Maejo University's animal science and technology. With the agitation rate to 8 times per day by the water effluent to increase the efficiency. After 60-days trial period, results showed that anaerobic digester system was 79.3 percent of COD removal, digester sludge have nitrogen, phosphorus and potassium 0.912 percent, 0.011 and 0.05 percent respectively. The over-flow have nitrogen, phosphorus and potassium 0.136, 0.006 and 0.09 percent respectively. Volume of the sludge and the water effluent to used to soil amendment 34.95 kg, and 234.34 liter per plot respectively. The germination test of digester sludge and effluent water were found the germination index similar to the standard of organic fertilizer and the digester sludge also increases the organic matter in the soil.

Key words: Anaerobic digestion, Soil amendment, Germination index

คำนำ

มูลสุกรมักจะเป็นปัญหาต่อเจ้าของฟาร์มและชุมชน เนื่องจากมีกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ วิธีกำจัดที่ได้ผลดีที่สุดและได้รับการยอมรับว่าสามารถแก้ไขปัญหาลำนี้ได้ดีวิธีหนึ่ง คือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ โดยได้ผลพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพ แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ในระบบไร้อากาศนี้ ยังมีของเหลือทิ้งที่ผ่านขบวนการหมักมาแล้วได้แก่ กากตะกอน และน้ำล้น ซึ่งของเหลือทิ้งเหล่านี้จะมีเป็นจำนวนมากและเมื่อทิ้งสู่สภาพแวดล้อมก็อาจก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบนิเวศและสภาพแวดล้อมโดยรอบได้ เนื่องจากของเหลือทิ้งเหล่านี้ยังมีปริมาณของสารอินทรีย์ต่างๆ หลงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในส่วนของ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น ซึ่งธาตุส่วนใหญ่เหล่านี้พบว่าเป็นธาตุที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงสมควรนำกากตะกอนและน้ำทิ้งเหล่านี้มาพัฒนาให้เกิดประโยชน์สูงสุด

การทำวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยน้ำหมัก จากกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม นับเป็นเทคโนโลยีที่คิดค้นเพื่อแก้ไขและจัดการกับกากตะกอนและน้ำทิ้งเพื่อนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรขนาดเล็กๆ สามารถมีรายได้เพิ่มจากการขายวัสดุปรับปรุงดิน และปุ๋ยน้ำหมักเหล่านี้ หรือสามารถนำไปใช้สำหรับเพาะปลูกเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้ปุ๋ยและสารเคมีในการเกษตรของตนเองลงได้ โดยในระบบไร้อากาศ นั้นพบว่า จุลินทรีย์ในระบบจะมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายหรือแปรสภาพสารอินทรีย์ที่มีอยู่มากในมูลสุกรในสภาพที่ไร้อากาศให้กลายเป็นอินทรีย์วัตถุที่คงรูป และเป็นประโยชน์ต่อพืช แต่อย่างไรก็ตามในแต่ละระบบของการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศนั้นก็จะมีปริมาณและองค์ประกอบของเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นทั้งในรูปแบบของกากตะกอนและน้ำล้นที่แตกต่างกัน อีกทั้งไม่ได้รับความสนใจและนำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มที่ ซึ่งนับได้ว่าเป็นการสูญเสียและเปล่าประโยชน์อย่างแท้จริง

ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจในการทำการศึกษาที่จะนำเอาของเหลือทิ้งดังกล่าวเหล่านี้มาพัฒนาและนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยใช้กากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมซึ่งเป็นถังต้นแบบ โดยนำมาปรับปรุงให้เป็นวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยน้ำหมักที่เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรกรเจ้าของฟาร์มสุกร สามารถจัดการกับกากตะกอนที่เหลือทิ้งและน้ำล้นจากระบบการหมักแบบไร้อากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้ผลผลิตเป็นวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยน้ำหมักไว้ใช้ประโยชน์อีกด้วย ซึ่งนับได้ว่าเป็นการแก้ไขปัญหาของเสียจากฟาร์มสุกรที่ครบวงจรอย่างแท้จริง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ทำการศึกษาและพัฒนาจากตะกอนและน้ำล้นที่เหลือทิ้งจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม
ต้นแบบ เพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยน้ำหมักที่มีคุณภาพ
2. ทำการศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารของวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพ
และปริมาณการใช้ที่เหมาะสม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยน้ำหมักที่ผลิตจากกากตะกอนและน้ำล้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ
2. ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีในระบบการเกษตรได้
3. เพื่อช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนและการจัดการของเสียในแต่ละวันได้



การตรวจเอกสาร

ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ในฟาร์มสุกรของเสียเกิดขึ้นในรูปแบบต่าง ๆ คือ เศษอาหาร มูล ปัสสาวะ น้ำล้างคอกก๊าซต่าง ๆ และสารระเหยที่มีกลิ่นจากการสลายตัวของมูลและปัสสาวะที่ขับถ่ายแล้วปริมาณของ สิ่งขับถ่ายและลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นในฟาร์มแต่ละวัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดของฟาร์ม หรือจำนวนสัตว์ขุนคอก ลักษณะอาหารและวิธีการให้อาหาร ขนาด ชนิดของสัตว์และประเภทสัตว์ที่เลี้ยง ลักษณะโรงเรือนและระบบการจัดการของเสีย วิธีการทำความสะอาดคอกและปริมาณน้ำที่ใช้ล้างหรือทำความสะอาด โดยปริมาณสิ่งขับถ่ายของสุกรในแต่ละวันจะแตกต่างกันตามขนาดของสุกรด้วย เช่น แม่สุกรกับสุกรขุนที่มีน้ำหนักเท่ากัน คือ 90 - 120 กิโลกรัม จะขับถ่ายของเสียเท่ากับ 4 และ 12 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 1) และเมื่อเปรียบเทียบกับ การขับถ่ายของสัตว์ชนิดอื่น ปรากฏว่าสุกรขับถ่ายมากกว่าม้าและโค กระบือถึงสองเท่า (เมื่อคิดต่อหน่วยน้ำหนัก) (นิพนธ์, 2526) ขณะที่กรมปศุสัตว์ (2533) รายงานว่า ส่วนประกอบทางเคมีและปริมาณมูลสุกรที่ขับถ่ายออกมาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อายุ น้ำหนักตัว พันธุ์ อาหาร ปริมาณน้ำที่กิน ความสามารถในการย่อยอาหาร สิ่งแวดล้อมและการจัดการเกี่ยวกับของเสีย ซึ่งลักษณะน้ำเสียของฟาร์มสุกรโดยทั่วไป แสดงไว้ดังตารางที่ 2

น้ำเสียจากฟาร์มสุกรจะมีความเข้มข้นสูงมาก ทั้งในรูปของบีโอดีและธาตุอาหาร (ธงชัย, 2544) ซึ่งเมื่อปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำ จะทำให้เกิดปัญหาโทรฟิเคชัน จากการมีธาตุอาหารไนโตรเจน และ/หรือฟอสฟอรัสมากเกินไปในแหล่งน้ำปิด ในประเทศไทยพบปัญหาโทรฟิเคชันหรือสาหร่ายสะพรั่ง ที่เรียกกันว่า จี๊ปลาฉลาม ในหลายพื้นที่แล้ว เช่น ศรีราชา ชะอำ หัวหิน กว๊านพะเยา บึงแก่นนคร (ขอนแก่น) เมื่อต้นปี พ.ศ. 2543 เกิดปัญหาแพลงตอนพืชสะพรั่งขึ้นที่บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ เป็นบริเวณกว้างกว่า 3 กิโลเมตร ตามชายฝั่งทะเลปากแม่น้ำ (ธงชัย, 2544) จึงได้มีการควบคุมการปล่อยน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยกรมควบคุมมลพิษ เพื่อให้มีการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดีก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งมาตรฐานน้ำทิ้งมีค่ากำหนด ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสัตว์ต่าง ๆ ในแต่ละวัน

ชนิดสัตว์ที่ขับถ่าย	น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	ร้อยละของความชื้น	ปริมาตร (ลิตรต่อวัน)
แม่สุกรท้องว่าง	90-120	90	4
สุกรขุน อาหารแห้ง	90-120	90	12
สุกรขุน อาหารเหลว (4:1)	40-75	90	4

ที่มา: สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2549: ระบบออนไลน์)

ตารางที่ 2 ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
อัตราการเกิดน้ำเสีย	10 – 20 ลิตรต่อตัวต่อวัน
บีโอดี	1,500 – 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดี	4,000 – 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	2,000 – 4,800 มิลลิกรัมต่อลิตร
ไนโตรเจนในรูปที่เคเอ็น	400 – 800 มิลลิกรัมต่อลิตร
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	8 – 17 มิลลิกรัมต่อลิตร
ความเป็นกรดค้างหรือค่าพีเอช	6 - 8

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2546)

ตารางที่ 3 มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าสูงสุด	
		ประเภท ก.	ประเภท ข.
ความเป็นกรดและด่าง	-	5.5-9	5.5-9
บีโอดี	มิลลิกรัมต่อลิตร	60	100
ซีโอดี	มิลลิกรัมต่อลิตร	300	400
ของแข็งแขวนลอย	มิลลิกรัมต่อลิตร	150	200
ทีเคเอ็น	มิลลิกรัมต่อลิตร	120	200
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2546)			
หมายเหตุ	ประเภท ก ฟาร์มขนาดใหญ่ (ฟาร์มที่มีจำนวนสุกรตั้งแต่ 5,000 ตัวขึ้นไป)		
	ประเภท ข ฟาร์มขนาดกลาง (ฟาร์มที่มีจำนวนสุกรในช่วง 500 – 5,000 ตัว)		

เมื่อของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ที่มีสารอินทรีย์ในระดับสูงไหลลงแหล่งน้ำ จะมีกลไกทางธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์เกิดขึ้น คือ จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในน้ำเพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียมากขึ้น ทำให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำถูกใช้ในการย่อยสลายและสารเคมีเชิงซ้อนที่เป็นส่วนประกอบอยู่ จะถูกเปลี่ยนเป็นสารออกไซด์เชิงเดี่ยวจำพวก CO_2 , NO , SO_4 , PO_4^{+} และสารอื่น ๆ ออกซิเจนจึงน้อยลงตามลำดับจนหมด ส่งผลให้ปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ ขาดออกซิเจนที่จำเป็นต่อชีวิตและตายในที่สุด ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ต่ำจะส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันต่ำ และเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันสูงขึ้น (Adave *et al.*, 2008) การปนเปื้อนของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมอิสระหรือแอมโมเนียมไอออน ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^{+}$) ก็เพิ่มการใช้ ออกซิเจนโดยไนตริฟายอิงแบคทีเรีย เพื่อเปลี่ยน $\text{NH}_3/\text{NH}_4^{+}$ เป็นไนไตรท์ (NO_2^{-}) และไนเตรท (NO_3^{-}) ในขบวนการไนตริฟิเคชัน ส่วน blue-green algae ที่ได้รับไนโตรเจนสูงในน้ำที่ไหลเข้าสามารถเป็นพืชต่อผู้ใช้น้ำได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)

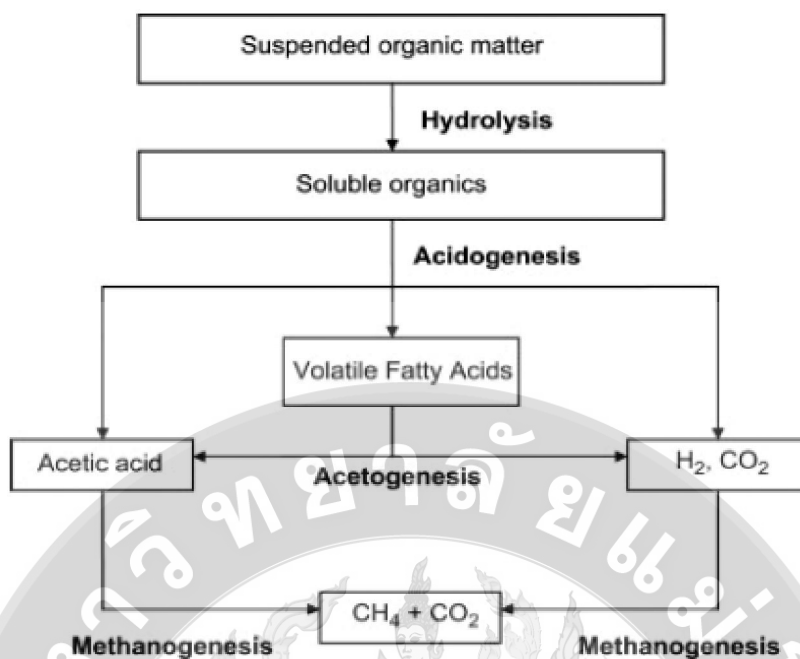
การบำบัดน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร

ระบบบำบัดน้ำเสียมีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนกับระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน การบำบัดแบบไร้ออกซิเจนถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอาหารและสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูงที่มีของแข็งอยู่ด้วย และระหว่างกระบวนการบำบัดก็จะผลิตก๊าซมีเทนขึ้น โดยไม่ต้องใช้พลังงาน (Feng *et al.*, 2007) และผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วย เช่น น้ำเสียจากฟาร์มสุกรแต่ปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบของถังปฏิกิริยาขึ้นมาเรื่อยๆจนสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีค่า BOD ต่ำๆ เช่น น้ำเสียจากชุมชน (เกรียงศักดิ์, 2539) เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนเป็นระบบที่ไม่ต้องมีการเติมอากาศ จึงทำให้ประหยัดพลังงานและยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปของพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนได้อีกด้วย (สุวิมล, 2548) ซึ่งองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซต่างๆ คือ มีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 60-70 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 30-40 ไฮโดรเจน ประมาณร้อยละ 5-10 และแก๊สอื่นๆ เช่น ไนโตรเจน (N_2) ประมาณร้อยละ 2-3 และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ประมาณร้อยละ 1-2 (จตุพร และคณะ, 2548)

กระบวนการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) หมายถึง การเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียหรือในสลัดจ์ให้กลายเป็นก๊าซมีเทน โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมักหมายถึงการย่อยแบบไม่ใช้อากาศนั่นเอง โดยสารอินทรีย์ที่อยู่ในของเสียจะถูกกำจัดไปพร้อมกับการผลิตพลังงาน ซึ่งของเสียจากปศุสัตว์และสุกรเป็นแหล่งที่ผลิตก๊าซชีวภาพที่มีความสำคัญมากกว่าของเสียอื่นๆ (Hansen *et al.*, 1997) ซึ่งก๊าซมีเทนเป็นผลผลิตของกระบวนการไม่ใช้ออกซิเจนนี้เสมอ (สุชาติ, 2536) และยังสามารถกำจัดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้อีกด้วย (Ndegwa *et al.*, 2007)

กระบวนการแอนแอโรบิก (Anaerobic Digestion)

กระบวนการแอนแอโรบิกคือ กระบวนการทางจุลชีววิทยาใน ย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนโดยผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากกระบวนการแอนแอโรบิกคือ ก๊าซชีวภาพและสารอินทรีย์ที่เหลือ จากการย่อยสลาย ซึ่งก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่ติดไฟได้ง่ายมีองค์ประกอบหลักได้แก่ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Teodorita, *et al.*, 2008)



ภาพที่ 1 กระบวนการแอนแอโรบิก

ที่มา: Lise, *et al.*, 2008

การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

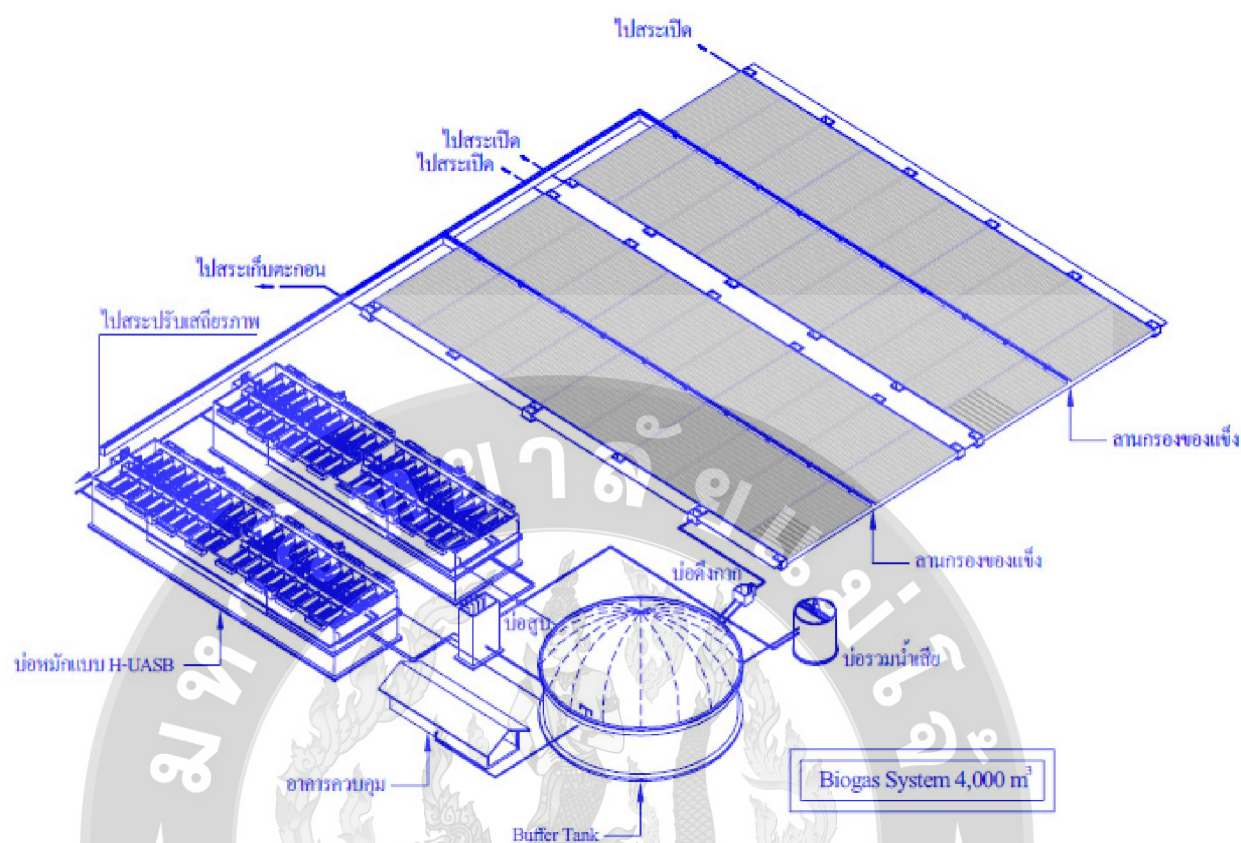
ระบบก๊าซชีวภาพ (สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2006) เป็นระบบที่มีส่วนประกอบหลายอย่างที่ทำงานสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี ซึ่งสามารถแยกออกเป็นขั้นตอนการทำงานของระบบเป็นหลักใหญ่ๆ ได้ 3 ขั้นตอน คือ

1) ขั้นตอนที่ 1 เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อหมักแบบบราจ (Channel Digester) ในขั้นตอนนี้ บ่อหมักแบบบราจยังทำหน้าที่ในการแยกของเสียส่วนข้นและส่วนใสออกจากกันด้วย ของเสียส่วนข้นจะถูกหมักย่อยในบ่อหมักแบบบราจนี้ประมาณ 30–40 วัน จนอยู่ในสภาวะที่เสถียร (stabilized) และผ่านเข้าสู่ลานกรองของแข็ง (Slow Sand Bed Filter : SSBF) โดยที่ลานกรองนี้จะต่อเชื่อมกับบ่อหมักแบบบราจ และรับกากของเสียส่วนข้นที่ผ่านการหมักย่อยแล้วจากบ่อหมักแบบบราจ กากของเสียที่ได้จากลานกรองของแข็งนี้ สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งเป็นที่ต้องการของพื้นที่เพาะปลูกมาก รวมทั้งใช้ในการปลูกหญ้าในกิจการสนามกอล์ฟด้วย สำหรับของเสียส่วนใสซึ่ง

มีปริมาณ 80–90% ของของเสียทั้งหมด จะไหลผ่านไปยังบ่อหมักแบบ UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor) เพื่อบำบัดในขั้นตอนที่ 2 ต่อไป

2) ขั้นตอนที่ 2 การบำบัดและย่อยสลายเกิดขึ้นในบ่อหมักแบบ UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor) สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ในน้ำเสียซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายจะถูกย่อยสลายในบ่อหมัก UASB และกลายเป็นก๊าซชีวภาพในที่สุด อัตราส่วนของปริมาตรของบ่อหมักแบบบราจต่อปริมาตรของบ่อหมักแบบ UASB คือประมาณ 2-3 ต่อ 1 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มที่เข้าสู่ระบบบำบัด น้ำที่ผ่านการบำบัดจากบ่อหมักแบบ UASB แล้วนี้จะมีค่า COD ประมาณ 800-1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งในขั้นตอนของการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน จะสามารถลดค่าความสกปรกของสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียได้ประมาณร้อยละ 95 ของค่าความสกปรกเริ่มต้น

3) ขั้นตอนที่ 3 โดยในขั้นตอนนี้กล่าวได้ว่าเป็นขั้นตอนของการบำบัดขั้นหลัง (Post Treatment) ซึ่งเป็นการบำบัดที่ออกแบบระบบให้มีความทำงานที่เลียนแบบธรรมชาติโดยอาศัยการทำงานของพืช สาหร่าย สัตว์น้ำ เล็กๆ และแบคทีเรียซึ่งเกิดตามธรรมชาติทำงานสัมพันธ์กันเพื่อบำบัดน้ำที่ได้ผ่านการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมาแล้วในขั้นต้นให้สะอาดมากยิ่งขึ้น จนถึงขั้นที่สามารถหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ทำความสะอาดคอกและ/หรือ ปล่อยออกสู่ภายนอกได้ในที่สุด การบำบัดขั้นหลังจะประกอบไปด้วยสระพักแบบเปิดที่รับน้ำเสียจากการบำบัดขั้นตอนที่ 2 แล้วปล่อยเข้าสู่ชุดบึงพืชน้ำซึ่งปลูกพืชบางชนิดไว้ให้ช่วยในการบำบัดน้ำเสียทั้งโดยตรงและทางอ้อมซึ่งจะทำงานสัมพันธ์กันกับกลุ่มของแบคทีเรีย และในที่สุดท้ายของชุดบึงพืชน้ำจะเป็นสระเลี้ยงปลา เพื่อใช้ประกอบในการสังเกตคุณภาพน้ำที่ได้ต่อสิ่งมีชีวิต น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วนี้จะมีค่า COD สุดท้ายที่คาดไว้ไม่เกิน 200-400 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่า BOD น้อยกว่า 60 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษยอมรับได้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดครบทั้งสามขั้นตอนแล้ว สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ภายในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ได้ เช่น ใช้สำหรับล้างทำความสะอาดคอกสัตว์ และ/หรือสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติในสิ่งแวดล้อมภายนอกได้อย่างปลอดภัย



ภาพที่ 2 แสดงส่วนประกอบของระบบผลิตก๊าซชีวภาพฟาร์มสุกร (สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2006)

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอาหารและสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูงที่มีของแข็งอยู่ด้วย และระหว่างการบำบัดก็จะผลิตก๊าซมีเทนขึ้นโดยไม่ต้องใช้พลังงาน (Feng *et al.*, 2007) และผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วย ซึ่งระบบแบบนี้เป็นระบบที่ไม่ต้องมีการเติมอากาศ จึงทำให้ประหยัดพลังงาน และยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปของพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนได้อีกด้วย (สุวิมล, 2548) ซึ่งองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ คือ มีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 60 - 70 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 30 - 40 ไฮโดรเจน ประมาณร้อยละ 5 - 10 และแก๊สอื่น ๆ เช่น ไนโตรเจน (N_2) ประมาณร้อยละ 2 - 3 และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ประมาณร้อยละ 1 - 2 (จตุพร และคณะ, 2548)

การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนและน้ำล้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

นอกจากก๊าซชีวภาพแล้ว น้ำเสียที่ไหลออกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพยังสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยน้ำรดทางดิน หรือฉีดพ่นทางใบได้ และกากตะกอนที่ออกจากระบบยังสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ (สุกัญญา และคณะ, 2550) จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและจุลินทรีย์ในน้ำที่ผ่านการบำบัดและกากตะกอน พบว่ากากตะกอนมีปริมาณธาตุอาหารมากกว่าในน้ำล้น (ตารางที่ 4) ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินมากกว่า โดยการนำมูลสุกรที่ผ่านระบบบำบัดผลิตก๊าซชีวภาพแล้วมาทำการตากแห้ง ซึ่งผลการทดลองของ รุปน และคณะ (2553) พบว่ามูลสุกรแห้งมีธาตุอาหารที่เป็นที่ต้องการของพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม มีปริมาณเท่ากับ 1.84, 0.70, 0.21, 7.3, 1.2 (%) ตามลำดับ สำหรับจุลินทรีย์นั้นพบว่ามีปริมาณ สังกะสี ทองแดง แมงกานีส และเหล็ก เท่ากับ 0.07, 0.02, 0.01 และ 0.40 (%) ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามค่า pH และค่าการนำไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 6.23 และ 3.70 (dS/m) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าทั้งค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าของมูลสุกรยังมีค่าไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดิน ถ้ามีการนำไปใช้โดยไม่มีการปรับค่าเหล่านี้ให้มีความเหมาะสมอาจจะทำให้พืชตายหรือชะงักการเจริญเติบโตได้

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากกากตะกอน

ปุ๋ยอินทรีย์คือสารที่ได้จาก หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ หรือสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ มีแร่ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์และจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช โดยปุ๋ยอินทรีย์ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ส่วนที่ได้มาจากพืช และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ชากพืช ชากต้นไม้ม ชากใบไม้ ฟางข้าว หญ้า
2. ส่วนที่ได้มาจากสัตว์ เช่น ปุ๋ยคอก มูลโค มูลกระบือ มูลค้างคาว มูลเป็ด มูลไก่ หอยเชอร์รี่
3. ส่วนที่มาจากแร่ธาตุธรรมชาติ เช่น แร่โดโลไมต์ แร่ฟอสเฟต แร่เพอร์ไลต์ แร่ซีโอไลต์ แร่ซิลิกอน
4. ส่วนที่ได้จากของเหลือ และวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม เช่น เศษอาหาร ขยะมูลฝอย ของเสียจากขบวนการผลิต กากน้ำตาล กากผงชูรส กากโรงงานสุรา กากของเสียต่าง ๆ

วิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

การผลิตปุ๋ยของโรงงานปุ๋ยอินทรีย์ เริ่มโดยนำส่วนผสมที่กล่าวมาข้างต้น มาย่อย บด สับ ให้มีขนาดเล็กลง เพิ่มความชื้น เติมสารจุลินทรีย์ที่เหมาะสม ควบคุมอุณหภูมิ คลุกเคล้ากลับกอง ผ่านกระบวนการบ่มหมักย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นธาตุอาหาร หรือแร่ธาตุที่พืชต้องการ แล้วนำมาย่อยด้วยการบดให้เป็นผง แล้วใช้ตะแกรงร่อนเพื่อคัดขนาดผง จะได้เป็น ปุ๋ยอินทรีย์ผง

ในกรณีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ด นำปุ๋ยอินทรีย์ผงที่ได้จากขั้นแรก เข้างานปั้น เติมสารจุลินทรีย์เหลว เพื่อปั้นให้เป็นเม็ด คัดแยกขนาดเม็ดที่ต้องการ นำมาผ่านท่ออบร้อน ท่ออบแห้ง เพื่อปรับความชื้น และความแข็งแรงของเม็ดปุ๋ยให้เหมาะสม จะได้เป็น ปุ๋ยอินทรีย์เม็ด

ในกรณีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ใช้กรรมวิธีการผลิตเหมือนกัน เพียงแต่วัตถุดิบส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเหลว นำส่วนผสมต่าง ๆ มาย่อย บด สับ ให้มีขนาดเล็กลง เติมสารจุลินทรีย์ที่เหมาะสม ผ่านกระบวนการบ่มหมักย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นธาตุอาหาร แล้วนำมาคัดกรองแยกกากออก จะได้เป็น ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ที่มีความเข้มข้นสูง เวลานำไปใช้ต้องนำไปเจือจางด้วยน้ำ ให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมก่อน

ความแตกต่างของปุ๋ยเคมีกับปุ๋ยอินทรีย์

ตารางที่ 4 แสดงข้อดีและข้อเสียของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยเคมี	ปุ๋ยอินทรีย์
1. เป็นสารที่สังเคราะห์ให้มีธาตุอาหารบางชนิดแบบเข้มข้น จึงใช้น้อย 2. มักใช้ในการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าไปเรื่อยๆ โดยไม่คำนึงถึงผลเสียระยะยาว 3. มักมีราคาแพง ใช้ปรับปรุงการเจริญเติบโตของพืช แต่มักไม่บำรุงดิน 4. ปุ๋ยเคมีบำรุงดิน ไม่เห็นผลทันที เกษตรกรจึงไม่นิยมใช้ 5. การใช้ปุ๋ยเคมี มักใช้ในปริมาณมาก เพื่อประหยัดเวลาในการจัดการ ปริมาณจึงมักเกินกว่าที่พืชจะใช้ได้ทัน และสูญเสียมาก 6. มักมีผลตกค้างที่เป็นกรด หรือเป็นเกลือ 7. มีผลในการเร่งการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดิน และการปลดปล่อยธาตุอาหาร ทำให้ดินเสื่อมโทรมได้อย่างรวดเร็ว ถ้าใช้ติดต่อกันเป็นเวลานาน 8. เมื่อเกิดความเสื่อมโทรมของระบบพื้นฐาน ก็ต้องเพิ่มอัตราการใช้ไปเรื่อยๆ ที่เป็นสาเหตุของต้นทุนสูง และการขาดทุน	1. สารที่ได้จากธรรมชาติ หรือระบบที่เกิดขึ้นแบบธรรมชาติ 2. เป็นสารปรับปรุงดิน และระบบนิเวศน์ 3. จะเป็นทั้งตัวดูดซับ และค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารให้กับพืช 4. เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ และสิ่งที่มีชีวิตในดิน 5. ช่วยปรับโครงสร้างของดิน ปรับสมดุลธาตุอาหาร ความเป็นกรด และการปลดปล่อยธาตุอาหารจากการดูดซับไว้ในสารอินทรีย์ 6. ช่วยพัฒนาดินระยะสั้น และระยะยาว 7. สามารถทำงานร่วมกับปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ธาตุอาหารจากการลดการสูญเสียไปในอากาศ หรือไหลไปตามน้ำ 8. สามารถผลิตได้เอง และเพิ่มขีดความสามารถในการพึ่งตนเองได้สูง 9. สามารถพัฒนาจากระบบนิเวศน์ ให้มีการพึ่งพากันเองผ่านระบบของปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ในระบบเกษตรผสมผสาน เกษตรอินทรีย์ และเกษตรธรรมชาติ

ข้อดี ข้อเสีย และข้อควรระวังของปุ๋ยอินทรีย์

1. ปุ๋ยอินทรีย์ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพได้มากกว่าปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยอินทรีย์มีประสิทธิภาพสูงในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ ซึ่งรวมถึงความโปร่ง ความร่วนซุยการอุ้มน้ำ และการถ่ายเทอากาศของดินได้มากกว่าปุ๋ยเคมี ดังตัวอย่างในตารางที่ 1

ตารางที่ 5 ความหนาแน่นรวมของดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ที่ใส่ปุ๋ยเคมี และที่ใส่ปุ๋ยหมักในการปลูกข้าวเป็นเวลา 11 ปี

ปุ๋ยที่ใส่	ความหนาแน่นรวมของดิน
1. ไม่ใส่ปุ๋ย	1.67
2. ปุ๋ยเคมีสูตร 16-8-8 อัตรา 50 กก./ไร่	1.60
3. ปุ๋ยหมักฟางข้าว 2,000 กก./ไร่	1.56

ที่มา: รายงานผลการวิจัยดิน-ปุ๋ยพืชไร่ เล่มที่ 2 ปี 2533, กลุ่มงานวิจัยดินและปุ๋ยพืชไร่ กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร หน้า 238-252 อ้างโดย สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร (ออนไลน์)

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าแม้การใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราที่แนะนำ กันโดยทั่วไปจะทำให้ดินมีความหนาแน่นลดลง (ความแน่นทึบของดินลดลง) แต่การใส่ปุ๋ยหมักจำนวน 2 ตันต่อไร่ ทำให้ความหนาแน่นของดินลดลงมากกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีดังกล่าว

2. ปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดินได้มากกว่าปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยอินทรีย์มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และคาร์บอนเป็นธาตุที่จุลินทรีย์ต้องการมากที่สุดดังนั้นการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จึงช่วยให้จุลินทรีย์ในดินเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนมากขึ้นรวมจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืช เช่น แบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนอย่างอิสระ เชื้อราที่ช่วยละลายฟอสเฟต เชื้อราที่ชะงักการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคกับพืช เป็นต้น ปุ๋ยอินทรีย์จึงปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดินมากกว่าปุ๋ยเคมีซึ่งมักไม่มีธาตุคาร์บอนที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์

3. มีธาตุอาหารเสริมมากกว่าปุ๋ยเคมี

เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่ได้มาจากซากพืชซากสัตว์ซึ่งมีธาตุอาหารเสริมอยู่ด้วยเสมอ ปุ๋ยอินทรีย์จึงมีธาตุอาหารเสริมอยู่ด้วยเสมอ ผิดกับปุ๋ยเคมีซึ่งส่วนใหญ่มีธาตุอาหารเสริมอยู่น้อยมาก

ข้อดีและข้อควรระวังของปุ๋ยอินทรีย์

1. เสียค่าใช้จ่ายในการใช้สูงกว่าปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ

ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณธาตุอาหารหลักน้อยกว่าปุ๋ยเคมี จึงทำให้ต้องใช้ในปริมาณมากกว่า ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ ส่งผลให้การใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ

2. อาจทำให้เกิดการสะสมไนโตรเจนในพืชมากเกินไป

ปุ๋ยอินทรีย์มีไนโตรเจนอยู่เสมอ เมื่อใส่ปุ๋ยลงในดินที่ไม่มีน้ำขังไนโตรเจนนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรต ดังนั้นหากใส่ปุ๋ยอินทรีย์มากเกินไปอาจทำให้พืชดูดไนเตรตเข้าไปเกินอัตราที่พืชนำไปใช้ ส่งผลให้มีการสะสมไนเตรตจนถึงระดับที่ไม่ปลอดภัยสำหรับผู้บริโภคพืชนั้นได้ สถานะที่ส่งเสริมให้เกิดการสะสมไนเตรตในพืชได้แก่สถานะที่พืชได้รับน้ำไม่เพียงพอ เช่น เมื่อพืชกระทบแล้งซึ่งทำให้พืชไม่เจริญเติบโต แต่ดินยังมีความชื้นมากพอสำหรับการสลายตัวปลดปล่อยไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ แล้วถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรตให้พืชดูดเข้าไปโดยไม่มีการใช้ในการเจริญเติบโต โดยเหตุที่การปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่จะต้องใส่ทั้งหมดก่อนปลูกพืช แต่ปุ๋ยเคมีอาจแบ่งใส่หลายครั้งให้เหมาะสมกับสถานะการผลิตพืชได้ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงจึงมีความเสี่ยงต่อการสะสมไนเตรตในพืชสูงเกินไปมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี

3. มีความเสี่ยงในการทำให้มีการชะล้างไนเตรทสู่แหล่งน้ำ

แม้ปุ๋ยอินทรีย์จะมีไนเตรทส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ซึ่งไม่ละลายน้ำ แต่ตัวอย่างผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนที่ถูกชะล้างจากดินมาจากไนโตรเจนที่มีอยู่แต่เดิมในดินมากกว่าไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง ผลงานดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าปุ๋ยอินทรีย์มีความเสี่ยงต่อการชะล้างไนเตรทลงสู่แหล่งน้ำสูงกว่าปุ๋ยเคมี ทั้งนี้เพราะปุ๋ยอินทรีย์ทยอยปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาทำให้ไม่สามารถใส่ปุ๋ยให้ตรงกับเวลาที่พืชต้องการได้ และทำให้ในบางช่วงเวลามีไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยเหลืออยู่ในดินมากส่งผลให้มีการชะล้างไนโตรเจนจากดินมาก แต่ปุ๋ยเคมีปลดปล่อยไนโตรเจนทั้งหมดทันที จึงสามารถใส่ให้ตรงกับเวลาที่พืชต้องการได้ ทำให้มีไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยเหลืออยู่ในดินน้อย ส่งผลให้มีการชะล้างไนโตรเจนจากดินน้อย กันนา ทอร์สเตนส์สัน และผู้ร่วมงานได้ทำการวิจัยในประเทศสวีเดน โดยทำการทดลองในไร่ 3 แห่งติดต่อกันเป็นเวลา 10 ปี หรือมากกว่า ได้ข้อสรุปว่า เมื่อคิดต่อหน่วยน้ำหนักของผลผลิตพืชระบบเกษตรอินทรีย์ปลดปล่อยไนเตรทสู่แหล่งน้ำมากกว่าสองเท่าของไนเตรทที่ปลดปล่อยจากระบบเกษตรที่ใช้ปุ๋ยเคมีตามหลักวิชาการ นักวิจัยขณะนี้ อธิบายว่า สาเหตุที่ทำให้เกิดผลดังกล่าว ก็คือปุ๋ยอินทรีย์ปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนไม่สอดคล้องกับความต้องการของพืชในระยะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกชะล้างจากไนโตรเจนที่มีอยู่แต่เดิมในดินและจากปุ๋ยเคมีที่ใส่แปลงปลูกน้อย

แหล่งที่มา	ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกชะล้างจากดิน (กิโลกรัมต่อไร่)	
	ดินมีอินทรีย์วัตถุ	ดินมีอินทรีย์วัตถุ
	ร้อยละ 8.1	ร้อยละ 1.9
1. ปุ๋ยเคมี (16 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่)	1.0	0.0
2. ไนโตรเจนเดิมในดิน	10.0	2.4

ที่มา: Ngkeewong, K.F. และ J. Deville. 1984. Indian Ocean J. Environ Qual. 13: 471-474 อ้างโดย สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร (ออนไลน์)

4. อาจทำให้แหล่งน้ำเน่าเสีย

สารอินทรีย์ในปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ลงไปบนดิน เมื่อสลายตัวจะถูกเปลี่ยนเป็นสารต่าง ๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้นี้อาจจะล้างลงสู่แหล่งน้ำและกลายเป็นอาหารที่จำเป็นของจุลินทรีย์ในน้ำ หากมีสารอินทรีย์ถูกชะล้างลงไปในน้ำมากเกินไป จะทำให้จุลินทรีย์ในน้ำเจริญเติบโตมาก จนถึงระดับที่ก๊าซออกซิเจนในน้ำถูกใช้ไปจนหมด ทำให้จุลินทรีย์ในน้ำตายและเน่าเปื่อยลง ส่งผลให้น้ำเน่าเสียในที่สุด อนึ่งการใช้ปุ๋ยเคมีอัตราสูงจะไม่ทำให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำ แม้จะทำให้มีการชะล้างไนเตรทลงสู่แหล่งน้ำ ทั้งนี้เพราะปุ๋ยเคมีที่ให้ฟอสฟอรัสจะถูกดินดูดซับไว้เหนียวแน่นถูกชะล้างได้น้อยมาก ทำให้แหล่งน้ำมีแต่ไนโตรเจนสูงแต่ไม่มีฟอสฟอรัสเพียงพอที่จะส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำนั้น

5. กระตุ้นให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในดินและปลดปล่อยสู่บรรยากาศ

สารอินทรีย์เป็นอาหารหลักของจุลินทรีย์ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดินจะกระตุ้นให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนขึ้น การเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ ทำให้มีการใช้ออกซิเจนมากขึ้นส่งผลให้ดินที่มีน้ำขังอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน สภาพขาดออกซิเจนนี้เหมือนกับสภาพในบ่อหมักก๊าซชีวภาพทำให้เกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์และก๊าซมีเทนปลดปล่อยออกจากดิน ก๊าซทั้งสองนี้มีอำนาจในการทำให้เกิดสภาพเรือนกระจกซึ่งทำให้โลกร้อนได้มากเป็น 270 และ 21 เท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามลำดับ

6. อาจมีธาตุโลหะหนักและสารพิษอื่นติดมาสะสมในดิน

ปุ๋ยอินทรีย์ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก หรือวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจมีธาตุโลหะหนักหรือสารพิษอื่น ๆ เจือปนอยู่ในปริมาณที่ไม่ปลอดภัยในการนำมาใช้เป็นปุ๋ย ตัวอย่างเช่น ปุ๋ยหมักที่ทำจากขยะจากชุมชน อาจมีธาตุโลหะหนักมากหากไม่ได้มีการรวบรวมขยะโดยขั้นตอนที่ถูกต้อง ปุ๋ยมูลไก่อาจมีธาตุอาร์เซนิกซึ่งมาจากสารเร่งการเจริญเติบโตที่ผสมกับอาหารไก่ วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจมีธาตุแคดเมียมและปรอทติดมาด้วย ข้อมูลผลการวิจัยในตารางที่ 7 เป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นว่าธาตุโลหะหนักที่ดินได้รับมาจากปุ๋ยอินทรีย์

มากกว่าปุ๋ยเคมี ทั้งนี้ เพราะไม่ได้มีมาตรการป้องกันการใส่ปุ๋ยที่มีธาตุโลหะหนักและสารพิษติดมาในปริมาณสูง ในขณะที่มีการตรวจสอบปุ๋ยเคมี ก่อนอนุญาตให้จำหน่าย

ตารางที่ 7 ปริมาณธาตุโลหะหนักบางชนิดและอาร์เซนิกที่ดินซึ่งใช้ทำการเกษตรในประเทศไทย อังกฤษและเวลส์ได้รับจากปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี

ชนิดปุ๋ย	ตะกั่ว	แคดเมียม	โครเมียม	อาร์เซนิก	ปรอท
1. ปุ๋ยอินทรีย์					
1.1 ของเสียจากครัวเรือน	95	2	98	มข.	2
1.2 มูลสัตว์	52	4	39	16	<1
1.3 ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม	<1	<1	210	<1	<1
รวม	>147	>6	347	>16	>2
2. ปุ๋ยเคมีและปุ๋ย	13	8	81	5	<1

ที่มา: Nicholson, F.B. และคณะ 1998. Symo. No. 25. Proc. 16th World Congr. Of Soil Sci., Montpellier, France

อ้างโดย สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร (ออนไลน์)

หมายเหตุ < หมายถึง น้อยกว่า ; > หมายถึง มากกว่า ; มข. หมายถึง ไม่มีข้อมูล

7. อาจมีโรคพืช แมลงศัตรูพืช และเมล็ดวัชพืชติดมาด้วย

ปุ๋ยคอกและเศษพืชที่นำมาใส่ในดินโดยตรง หรือนำไปหมักแต่หมักไม่ถูกวิธี อาจจะมีโรคพืช แมลงศัตรูพืช และเมล็ดวัชพืชติดมาด้วย ทำให้พืชที่ได้รับปุ๋ยได้รับผลกระทบจากโรคพืช แมลง และวัชพืชมากขึ้น

ความสำคัญของธาตุอาหารพืชในปุ๋ยอินทรีย์

ธาตุไนโตรเจน ธาตุไนโตรเจนปกติจะมีอยู่ในอากาศในรูปของก๊าซไนโตรเจนเป็นจำนวนมาก แต่ไนโตรเจนในอากาศในรูปของก๊าซนั้น พืชนำเอาไปใช้ประโยชน์อะไรไม่ได้ (ยกเว้นพืชตระกูลถั่วเท่านั้นที่มีระบบรากพิเศษสามารถแปรูปก๊าซไนโตรเจนจากอากาศเอามาใช้ประโยชน์ได้) ธาตุไนโตรเจนที่พืชทั่วๆ ไปดึงดูดขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้นั้น จะต้องอยู่ในรูปของอนุผลของสารประกอบ เช่น แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และไนเตรทไอออน (NO_3^-) ธาตุไนโตรเจนในดินที่อยู่ในรูปเหล่านี้จะมาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์วัตถุในดิน โดยจุลินทรีย์ในดินจะเป็นผู้ปลดปล่อยให้

ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุฟอสฟอรัสในดินมีก่กำเนิดมาจากการสลายตัวของแร่บางชนิดในดิน การสลายตัวของสารอินทรีย์วัตถุในดินก็จะสามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกได้ การใช้ปุ๋ยคอกนอกจากจะได้ธาตุไนโตรเจนแล้วยังได้ฟอสฟอรัสอีกด้วย ธาตุฟอสฟอรัสในดินที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้จะต้องอยู่ในรูปของอนุผลของสารประกอบที่เรียกว่า ฟอสเฟตไอออน (H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-}) ซึ่งจะต้องละลายอยู่ในน้ำในดิน สารประกอบของฟอสฟอรัสในดินมีอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่ละลายน้ำยาก

ธาตุโพแทสเซียม ธาตุโพแทสเซียมในดินที่พืชนำเอาไปใช้เป็นประโยชน์ได้ มีก่กำเนิดมาจากการสลายตัวของหินและแร่มากมายหลายชนิดในดิน โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปอนุผลบวก หรือ โพแทสเซียมไอออน (K^+) เท่านั้นที่พืชจะดึงดูดไปใช้เป็นประโยชน์ได้ ถ้าธาตุโพแทสเซียมยังคงอยู่ในรูปของสารประกอบยังไม่แตกตัวออกมาเป็นอนุผลบวก (K^+) พืชก็ยังไม่ดึงดูดไปใช้เป็นประโยชน์อะไรไม่ได้ อนุผลโพแทสเซียมในดินอาจจะอยู่ในน้ำในดิน หรือดูดยึดอยู่ที่พื้นผิวของอนุภาคดินเหนียวก็ได้ เนื่องจากเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่า ธาตุไนโตรเจน(N) ฟอสฟอรัส (P) และ โพแทสเซียม (K) ดินมักจะมีไม่พอ ประกอบกับพืชดึงดูดจากดินขึ้นมาใช้แต่ละครั้งเป็นปริมาณมาก จึงทำให้ดินสูญเสีย ธาตุเหล่านี้ หรือที่เรียกว่าเสียปุ๋ยในดินไปมาก ซึ่งเป็นผลทำให้ดินที่เราเรียกว่า "ดินจืด" เพื่อเป็นการปรับปรุงระดับธาตุอาหารพืช N P และ K ที่สูญเสียไป เราจึงต้องใช้ปุ๋ย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Arkhipchenko และคณะ (2005) ศึกษาการผลิตปุ๋ยชีวภาพ 3 ชนิด จากตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากบ่อเติมอากาศในฟาร์มสุกร มูลไก่ภายใต้สภาวะใช้และไม่ใช้ออกซิเจน โดยศึกษาในเรื่องของปริมาณ ธาตุอาหารและจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในปุ๋ย พบว่า ปุ๋ยชีวภาพที่ผลิตได้มีธาตุไนโตรเจน (5%) tryptophan (388 mg /g) และค่า C/N ratio (8.6) พบเชื้อ *Bacillus* sp. 20–35% นอกจากนี้ยังพบจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ยับยั้งจากเจริญของ phytopathogenic fungi เช่น *Bipolaris sorokiniana*, *Fusarium culmorum*, and *Sclerotium bataticola* 27–100% นอกจากนี้ปุ๋ยชีวภาพที่ผลิตได้ภายใต้กระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบไม่ใช้ออกซิเจน

Rao และคณะ (2007) ศึกษาการผลิตปุ๋ยชีวภาพโดยนำมูลสุกรที่มีปริมาณของแข็ง 20% (w/w) ผสมกับ มูลไก่ 26% (w/w) ก้อนเห็ดที่ใช้แล้ว 26% (w/w) กากกาแฟ 18% (w/w) และเศษกระดาษ 10% (w/w) โดยปุ๋ยที่ผลิตได้มีปริมาณไนโตรเจน 2.3% ฟอสฟอรัส 1.6% และโพแทสเซียม 3.1% ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารน้อยมากถ้านำไปใช้กับพืชโดยตรง ดังนั้นจึงควรมีการปรับธาตุอาหารก่อนโดยนำมาผสมกับเลือดไก่แห้งหรือขี้ไก่เพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจน และเสริมฟอสเฟตและโพแทสเซียมให้ได้อัตราส่วนของ N:P:K เท่ากับ 10:3:6 และ 3:5:10 ก่อนที่จะนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับสนามหญ้าในสนามกอล์ฟในฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วง ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์กากตะกอนแห้งและน้ำล้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ค่าพารามิเตอร์	ตัวอย่าง	
	น้ำล้น	มูลสุกรแห้ง
pH	6.71	6.23
EC (dS/m)	6.15	3.70
% N (Total – N)	0.19	1.84
S (ppm)	ไม่มี	ไม่มีวิเคราะห์
P (ppm)	2,089	6,928
K (ppm)	ไม่มี	2,146
Ca (ppm)	3,320	73,898
Mg (ppm)	816	12, 342
Zn (ppm)	110	651
Cu (ppm)	13.20	147
Mn (ppm)	ไม่มีวิเคราะห์	999
Fe (ppm)	ไม่มีวิเคราะห์	3,973
% C	ไม่มีวิเคราะห์	19.51
% C/N	ไม่มีวิเคราะห์	10.60

ที่มา: รุปน และคณะ 2553

จากตารางที่ 8 จะเห็นว่ากากตะกอนมูลสุกรไปใช้ประโยชน์สำหรับพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยมูลสุกรสดที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 80 เมื่อนำไปใช้กับการปลูกพืชอาจทำให้พืชเหี่ยว ใบเหลือง เนื่องจากความร้อนจากการหมักของมูลสุกร อีกทั้งยังมีการดึงไนโตรเจนจากดินไปใช้ทำให้ไนโตรเจนในดินลดลง การนำไปใช้ในลักษณะแห้งโดยการตากแดดให้เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 55-65 (สุภาพรและคณะ อ้างโดย ธวัชชัย, 2550) และวิธีการใช้ควรใส่ในสภาพแห้งในขณะเตรียมดินก่อนปลูกพืชประมาณ 15-30 วัน โดยมีอัตราการใส่ 1-3 ตัน/ไร่ แล้วทำการไถกลบ

วิธีการใส่ปุ๋ยในนาข้าว (ยงยุทธ และคณะ อ้างโดย ธวัชชัย, 2550) พบว่ามูลสุกรที่สลายตัวดีแล้วสามารถนำไปใช้ในนาข้าวได้โดยตรง โดยการหว่านให้ทั่วแปลงแล้วไถกลบ ส่วนมูลเหลวที่ผสมกับน้ำล้างคอกอาจนำไปใช้ในนาทั้งเป็นปุ๋ยรองพื้นและปุ๋ยแต่งหน้า โดยปุ๋ยรองพื้นต้องไถกลบก่อนส่วนปุ๋ยแต่งหน้าต้องใช้มูลที่สลายตัวดีแล้วโดยเจือจางกับน้ำ 3 ส่วนแล้วค่อยปล่อยเข้าไปในนา

ข้าว โดยควรใส่หลังจากลดระดับน้ำในนาให้เหลือน้อย ซึ่งเป็นวิธีการสำหรับใส่ปุ๋ยแต่งหน้าในนาข้าวทั่วไป ส่วนการใช้กับพืชผัก ควรใช้ปุ๋ยที่ย่อยสลายดีแล้วในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร

มนัสและสมชัย (2536) ได้ทดลองนำน้ำล้นจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมาใช้กับคะน้า ผักกาดหัว ผักกาดหอม และทานตะวันพบว่า สามารถนำมาใช้เป็นธาตุอาหารสำหรับพืชได้ โดยการใส่น้ำล้นอย่างเดียวใน คะน้า ผักกาดหัว ผักกาดหอม และทานตะวันให้ผลผลิต 2060, 1160, 1040 และ 217.06 กก./ไร่ ตามลำดับ และการใช้น้ำล้นร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราส่วน 75:25 และ 50:50 มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตในคะน้าและทานตะวันสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การใช้น้ำล้นปลูกผักในระบบ Deep water culture สามารถใช้เป็นปุ๋ยของผักได้เมื่อเปรียบเทียบกับ การปลูกในดิน โดยไม่แสดงอาการขาดธาตุอาหารและโรคพืชแต่อย่างใด

วรารักษ์ และคณะ (2548) ศึกษาผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรซึ่งได้จากน้ำแฉมูลสุกรอัตราส่วนมูลสุกร:น้ำ เท่ากับ 1:10 เป็นเวลา 2 วัน เพื่อใช้เป็นปุ๋ยทางใบมันสำปะหลัง ต่อผลผลิตเปอร์เซ็นต์แป้งของหัวมันสำปะหลังและต่อคุณค่าทางอาหารของมันเส้นที่อายุการเก็บเกี่ยว 9 10 และ 11 เดือนหลังปลูก โดยใช้มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5 โดย 1.ไม่มีการพ่นใด ๆ เลย 2.พ่นน้ำเปล่าทุก 1 เดือน 3.พ่นน้ำเปล่าทุก 2 เดือน 4.พ่นน้ำสกัดมูลสุกรทุก 1 เดือน และ 5.พ่นน้ำสกัดมูลสุกรทุก 2 เดือน พบว่าการพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทุก 1 เดือน และทุก 2 เดือน มีผลทำให้น้ำหนักรวมทั้งต้นน้ำหนักใบ ผลผลิตต่อไร่ และเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลัง สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่ไม่มีผลทำให้ความสูง ดัชนีเก็บเกี่ยว และจำนวนหัวต่อต้นของมันสำปะหลัง ส่วนผลของการพ่นน้ำสกัดมูลสุกรต่อคุณค่าทางอาหารของมันเส้น พบว่า การพ่นน้ำสกัดมูลสุกร สามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารของมันเส้นได้ โดย สามารถลดค่าใช้จ่ายของมันเส้น โดยการเพิ่มเปอร์เซ็นต์แป้ง และเพิ่มขนาดหัวของมันสำปะหลัง

จักรพันธ์ และคณะอ้างโดยรัชชัย (2550) ได้ศึกษาผลการตอบสนองการให้ปุ๋ยน้ำฉีดพ่นทางใบของน้ำสกัดมูลสุกร ปุ๋ยปลาหมัก ปุ๋ยทางใบจากประเทศจีน และปุ๋ยเคมีทางใบ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1, 2 และ 3 เดือน เปรียบเทียบกับการให้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 ทางดิน พบว่าลักษณะการเติบโต และลักษณะการผลิของต้นพืช รวมทั้งผลผลิตหัวมันสดไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่การให้

ปุ๋ยทั้ง 2 แบบข้างต้น ให้ลักษณะการเติบโตและลักษณะการผลิตของต้นพืชดีกว่าการให้ปุ๋ยน้ำชนิดอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สุรพล และคณะ (2549) ได้ศึกษาการใส่ปุ๋ยมูลสุกร และปุ๋ยเคมีกับข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ในไร่เกษตรกร โดยใช้มูลสุกรรองพื้น 500 กก.ต่อไร่ ปุ๋ยเคมี (15-15-15) รองพื้น 50 กก.ต่อไร่ มูลสุกรรองพื้น 500 กก.ต่อไร่ ร่วมกับ ปุ๋ยเคมี (15-15-15) 50 กก.ต่อไร่ และไม่ใส่ปุ๋ยรองพื้น ใส่ปุ๋ยแต่งหน้าสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กก.ต่อไร่ เมื่ออายุ 21 วัน และอัตรา 12.5 กก.ต่อไร่ เมื่ออายุ 35 วัน 2 ถูติดต่อกันพบว่า การใส่ปุ๋ยมูลสุกรและปุ๋ยเคมีรองพื้นในฤดูที่ 1 ให้ผลผลิตและคุณภาพข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ไม่แตกต่างกัน ส่วนฤดูที่ 2 ผลของการใส่ปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดรองพื้นจากฤดูที่ 1 ทำให้ผลผลิตด้านน้ำหนักของฝัก และคุณภาพด้านขนาดของฝักสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับเกษตรกรที่ไม่ใส่ปุ๋ยรองพื้น

จากการศึกษาระบบบ่อหมักไบโอแก๊สของฟาร์มสุกร บริษัท ซีพีเอฟ จำกัด ในจังหวัดกาญจนบุรี อีกทั้งยังมีการส่งเสริมและสนับสนุนให้เกษตรกรที่ร่วมโครงการเลี้ยงสุกรกับ ทางบริษัท สร้างระบบบำบัดมูลสุกรในรูปแบบที่เหมาะสม เพื่อให้ได้รับประโยชน์จากระบบไบโอแก๊สพบว่า “บ่อหมักไบโอแก๊ส”ไม่เพียงให้แก๊สมาเป็นพลังงานทดแทน แต่ยังมีกากมูลสุกรเพื่อใช้ทำเป็นปุ๋ยปรับปรุงดิน รวมทั้งน้ำที่ผ่านการบำบัดยังสามารถหมุนเวียนมาใช้ในแปลงเกษตรได้ด้วย” ซึ่งฟาร์มเลี้ยงสุกรแต่ละแห่งนั้น แต่ละวันจะมีมูลสุกรเป็นจำนวนมาก ทำให้มีปัญหาเรื่องส่งกลิ่นเหม็น และเป็นแหล่งเพาะพันธุ์แมลงวัน นอกจากจะสร้างความรำคาญต่อชุมชนแล้วยังสร้างปัญหาให้สิ่งแวดล้อม โดยในจีหมุนั้นมีก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ผสมอยู่ ซึ่งก๊าซทั้ง 2 ชนิดเป็นอันตรายต่อชั้นบรรยากาศ แต่เมื่อมีการกักคั้นหาวิธีจัดการกับมูลสุกร และศึกษาการนำมูลสุกรมาเปลี่ยนเป็นพลังงานทดแทนคือไบโอแก๊ส เพื่อใช้ผลิตเป็นไฟฟ้าใช้ภายในฟาร์ม ก็ช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านกระแสไฟฟ้า และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ด้วย

สำหรับรูปแบบของบ่อหมักมูลสุกรที่ใช้ผลิตไบโอแก๊ส จะทำในระบบบ่อหมักแบบพลาสติกคลุมบ่อ หรือระบบ Cover Lagoon ซึ่งเป็นบ่อหมักปิดสนิท ไม่มีปัญหากลิ่นเหม็นและแมลงวัน ซึ่งการทำลงทุนไม่สูง ใช้เวลาสร้างไม่นานแค่ นำพลาสติกมาคลุมบ่อหมักที่ทุกฟาร์มจะต้องมีกันอยู่แล้ว โดยจะใช้ระยะเวลาในการหมักให้เกิดแก๊สประมาณ 10-20 วัน จากนั้นแก๊สที่เกิดขึ้นมาจะถูกส่งผ่านไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ Generator เพื่อผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าไปใช้ในฟาร์มต่อไป

ในการออกแบบยังได้พัฒนาบ่อหมักให้มีระบบชักกากได้ด้วย ทำให้สามารถชักเอากากตะกอนในบ่อหมักซึ่งจะช่วยแก้ปัญหากาก ตะกอนเต็มเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่ายในการเปิดพลาสติกเพื่อขูดกากออกโดยกากที่ได้จากระบบพบว่ามีธาตุอาหารพืชต่างๆ เช่น ไนโตรเจน 3.67%, ฟอสฟอรัส 4.63%, โพแทสเซียม 0.38%, แคลเซียม 8.23%, แมกนีเซียม 1.53% และโซเดียม 0.21% ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำไปเป็นวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยให้กับพืช

การศึกษาความเป็นพิษของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเพื่อนำไปใช้ในการเกษตรของ อุษณีย์ และคณะ (2552) โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนและทดสอบการงอกของเมล็ดพืช กากตะกอน 3 ชนิด ที่ได้มาจากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม ทดสอบการงอกของเมล็ดโดยใช้น้ำสกัดจากกากตะกอนทั้ง 3 ชนิดและใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุมมาเพาะเมล็ดผัก 2 ชนิด คือ เมล็ดคางคังคั้นและเมล็ดผักกาดขาวปลี พบว่าลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนทั้ง 3 ชนิดที่วิเคราะห์ได้ ยังมีสมบัติบางประการ เช่น ปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ และปริมาณทองแดงและนิกเกิลสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกากตะกอนที่นำไปใช้เพื่อการเกษตร สำหรับการทดสอบการงอกของเมล็ด พบว่าการงอกของเมล็ดและความยาวรากเฉลี่ยของคางคังคั้นและผักกาดขาวปลีที่เพาะในน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนสามารถที่จะนำไปใช้ปรับปรุงดินได้

อรวรรณและคณะ (2550) พบว่าการใช้กากตะกอนน้ำเสียสามารถทดแทนปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ได้อย่างเท่าเทียมหรือดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการเพาะชำยางชำถุง ส่งผลให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุธาตุอาหารหลัก (N, P, K) และธาตุอาหารรอง (Mg) ในต้นยางชำถุงอย่างเพียงพอต่อการเติบโตของต้นยางชำถุงทั้งในรูปความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง รัศมีเรือนยอดและมวลชีวภาพของราก (น้ำหนักแห้งของราก) อีกทั้งปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) ในดินเพาะชำยางชำถุงเมื่อต้นยางชำถุงอายุครบ 90 วัน ก็มีเพียงพอโดยไม่จำเป็น ต้องเติมปุ๋ยหินฟอสเฟต อีกทั้งยังพบว่าการเลือกใช้กากตะกอนน้ำเสียและกากขี้เถ้าเป็นวัสดุปรับปรุงดินนั้นมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ประมาณ 8 เท่า

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ

ถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ เป็นถังขนาด 1000 ลิตร ด้านบนถัง มีฝาอัดแน่น ด้วยกาวซิลิโคน ฝาของถังหมักเชื่อมด้วยท่อ PVC เพื่อใช้เชื่อมกับระบบเก็บก๊าซชีวภาพ ส่วน ด้านบนทางด้านหน้าและด้านหลังต่อเป็นท่อน้ำเข้า (Influent) และท่อน้ำออก (Effluent) โดยใช้ท่อ PVC และขนาดเดียวกันมีการนำน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรเข้าโดยใช้ระบบปั๊มทางด้านหน้าของถังหมัก



ภาพที่ 3 ถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ

วัสดุและอุปกรณ์

1. มูลสุกรขุนจากฟาร์มคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. ขวดรูปชมพู่ (Flask) ขนาด 100 ลบ.ซม.
3. ขวดรูปชมพู่ (Flask) ขนาด 250 ลบ.ซม.
4. ปีกเกอร์ (Beaker)
5. กระบอกตวง (Cylinder)
6. ปิเปต (Pipette)
7. ถังพลาสติกฝาเกลียว ขนาด 16 ลิตร
8. สายยางขนาดเล็ก
9. ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ ขนาด 1000 มล.
10. กระดาษกรองใยแก้ว GF/C เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 ซม.
11. กระดาษกรอง เบอร์ 1
12. กระดาษกรอง เบอร์ 5
13. ปากคีบ
14. บิวเรตต์ ขนาด 50 มล.
15. หลอด COD ขนาด 20X150 มม.
16. ขวดบีโอดี
17. ลูกยางปิเปต
18. ขวด BOD ขนาด 300 มล.
19. กรวยแก้ว
20. จานเพาะเชื้อ

สารเคมี

1. น้ำกลั่นที่ปราศจากการบอนด์ไดออกไซด์
2. กรดซัลโฟโครคลอริกเข้มข้น
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์
4. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์
5. สารละลายเมทิลออเรนจ์อินดิเคเตอร์
6. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 0.1 โมล /ลบ.คม.
7. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.0167 โมลาร์
8. กรดซัลฟูริกเข้มข้นที่ผสมซิลเวอร์ซัลเฟต
9. สารละลายเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์
10. สารละลายเบเรียมคลอไรด์ 0.5 โมลาร์
11. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.10 โมลาร์
12. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต
13. อัลคาไรต์-ไอโอไดด์-เอไซด์รีเอเจนต์
14. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
15. น้ำแข็ง
16. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.0250 โมล / ลบ.คม.
17. Sodium Hydroxide 32 %
18. Mixed indicator
19. กรดบอริก
20. แอมโมเนียมโมลิบเดต
21. แอมโมเนียมฟลูออไรด์
22. แอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เทต
23. กรดแอสคอบิก
24. สารละลายมาตรฐานเหล็ก แมงกานีส สังกะสี แมกนีเซียม แคลเซียม และทองแดง

เครื่องมือ

1. เครื่องดูดสุญญากาศ (Suction Pump)
2. กรวยบูชเนอร์ และขวดกรอง
3. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
4. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
5. โถดูดความชื้น
6. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ
7. ตู้ปัม (Indicator) $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$
8. เครื่องย่อยสาร
9. เครื่องกำจัดไอรก
10. เครื่องกลั่นสาร
11. เครื่องวัดพีเอช
12. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง



วิธีการทดลอง

1. ศึกษาองค์ประกอบของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศของฟาร์มสุกรทั่วไป

ทำการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลองค์ประกอบของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศของฟาร์มสุกรทั่วไปดังนี้

pH
EC (Ds/m)
% N
% P
% K
Ca (ppm)
Mg (ppm)
Zn (ppm)
Cu (ppm)
Mn (ppm)
Fe (ppm)

2. ศึกษาองค์ประกอบของกากตะกอนและน้ำล้นที่ออกจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ

ถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบทำการทดลองบริเวณคอกสุกร ฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ โดยสูบน้ำล้างมูลเข้าถังหมักให้เต็ม จากนั้นทำการหมักทิ้งไว้ประมาณ 10 วัน จนเกิดก๊าซชีวภาพขึ้น หลังจากนั้นทำการสูบน้ำเสียเข้าระบบวันละ 100 ลิตรและในขั้นตอนนี้ยังมีการสูบน้ำทิ้งที่ล้นออกจากถังหมักวนกลับเข้าไปในระบบอีกครั้ง ทั้งนี้การวนน้ำทิ้งเข้าระบบเป็นการช่วยในการกวนผสมภายในถังอีกด้วย

ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบและน้ำทิ้งทุกๆ 3 วันเพื่อวิเคราะห์ BOD COD ของแฉ่งแขวนลอย ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบถังหมักไร้อากาศ จนกว่าระบบจะเข้าสู่ภาวะสมดุล (ประมาณ 40-60 วัน) หลังจากครบ 60 วันแล้วดำเนินการเก็บตัวอย่างกากตะกอนและน้ำล้นเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านการหมัก แบบไม่ใช้ออกซิเจนเช่นเดียวกับข้อ 1 เพื่อประเมินศักยภาพในการนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินต่อไป

3. ศึกษาและปรับปรุงกากตะกอนให้เป็นวัสดุปรับปรุงดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

ทำการปรับปรุงคุณสมบัติของกากตะกอน โดยการผสมกับวัสดุอื่นๆที่จำเป็นและให้มีความเหมาะสม เพื่อนำไปเป็นวัสดุปรับปรุงดิน โดยการปรับและพัฒนาสูตรที่เหมาะสมโดยมีพื้นฐานจากปริมาณของธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม ให้เหมาะสมกับกาเจริญเติบโตของพืช โดยทำการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ โดยทำการตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังนี้

pH
EC (Ds/m)
% N
% P
% K
% C/N

4. ศึกษาและปรับปรุงน้ำล้นให้เป็นปุ๋ยน้ำหมักสำหรับฉีดพ่นทางใบที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

ทำการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำล้นให้มีความเหมาะสม เพื่อนำไปเป็นปุ๋ยน้ำหมักสำหรับฉีดพ่นทางใบที่เหมาะสม โดยมีพื้นฐานจากปริมาณของธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ให้เหมาะสมกับกาเจริญเติบโตของพืช โดยทำการตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์เช่นเดียวกับข้อ 3

5. ศึกษาความเป็นพิษต่อพืชของวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้

การศึกษความเป็นพิษต่อพืชของวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้ โดยออกแบบการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทำการทดสอบการงอกของเมล็ดผักกาดจีน ซึ่งไปเพาะในน้ำสกัดจากวัสดุปรับปรุงดินทั้ง 2 ชนิด (ซึ่งได้จากการนำกากตะกอน 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 100 มล. ใส่เครื่องเขย่า 15 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1) และใช้น้ำกลั่นเป็น ชุดควบคุม ทำการเพาะที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วนับจำนวนเมล็ดผักกาดที่งอก และวัดความยาวราก แล้วนำมาทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติ โดยโปรแกรม SPSS (One-way ANOVA) และทำการคำนวณหา ค่า เปอร์เซนต์การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด (percentage of relative seed germination : %RSG) เปอร์เซนต์ความยาวรากสัมพัทธ์ (percentage of relative root growth : %RRG) และ เปอร์เซนต์ดัชนีการงอก ของเมล็ด (percentage of the germination index :%GI)

6. ศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของกากตะกอน

การศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของกากตะกอน ออกแบบการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ทดสอบโดยใช้กากตะกอนหมักรวมกับดินในโถพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละวันที่ถูกปล่อยออกมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ และทำการวิเคราะห์ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ทุกสัปดาห์ จากนั้นวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยโปรแกรม SPSS (One-way ANOVA) ของการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชเปรียบเทียบกับชุดควบคุม



ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การศึกษาองค์ประกอบของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศของฟาร์มสุกรทั่วไป

ทำการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลองค์ประกอบของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านการหมักแบบไร้อากาศของฟาร์มสุกรทั่วไป โดยได้ทำการดำเนินการเก็บข้อมูลฟาร์มสุกรในบริเวณอำเภอสนทราย สันป่าตอง และอำเภอแม่วง พบว่าในบริเวณ อำเภอสนทรายส่วนใหญ่จะเป็นฟาร์มสุกรขนาดเล็ก จำนวนสุกรที่เลี้ยงมีประมาณ 10 – 100 ตัว ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะเป็นสุกรขุน ส่วนในอำเภอสนป่าตองและอำเภอแม่วงพบว่าฟาร์มสุกรมีขนาดใหญ่ซึ่งมีสุกรขุนจำนวน 300 – 800 ตัว ซึ่งมีบางฟาร์มที่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และมีการนำก๊าซที่ผลิตได้ไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงเรือน แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าแต่ละพื้นที่ยังไม่มีการนำมูลสุกรไปใช้ประโยชน์ในแง่เป็นวัสดุปรับปรุงดิน ทั้งกากตะกอนและน้ำล้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนใหญ่จะปล่อยทิ้งในบริเวณรอบๆฟาร์มเท่านั้นซึ่งลักษณะและองค์ประกอบเบื้องต้นดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงจำนวนสุกรและลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ชื่อฟาร์ม	จำนวน สุกร	pH	SS mg/l	BOD mg/l	COD mg/l	TKN mg/l
จำรัส	16	6.3	1260	16800	5100	516.8
สุคใจ	11	7.3	8590	24000	9600	958.0
ประพันธ์	21	7.1	730	8000	3750	731.1
คำใส	12	6.8	4590	18400	12300	895.0
แดง	250	7.4	6930	5600	1050	491.6
บัวเขียว	800	7.2	1120	4000	840	605.1
เย็น	600	7.3	990	2400	540	441.2
ทองอินทร์	130	7.9	1390	4800	2550	1285.8
สมพร	200	7.1	5980	6400	3000	630.3
ศรีเพ็ญ	200	7.2	1380	3200	1920	642.9

จากตารางที่ 9 จะเห็นว่าค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูป BOD และ COD ของฟาร์มขนาดเล็กจะมีค่าสูง เนื่องจากผลของการเจือจางของน้ำล้างคอกที่มีน้อยทำให้มีความเข้มข้นสูงกว่าฟาร์มขนาดใหญ่ ส่วนปริมาณไนโตรเจนในรูป TKN มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 400 – 1200 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด – ด่าง หรือ pH ของกากตะกอนและน้ำล้นพบว่ามีความอยู่ระหว่าง 6.30 – 7.90 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยทั่วไป

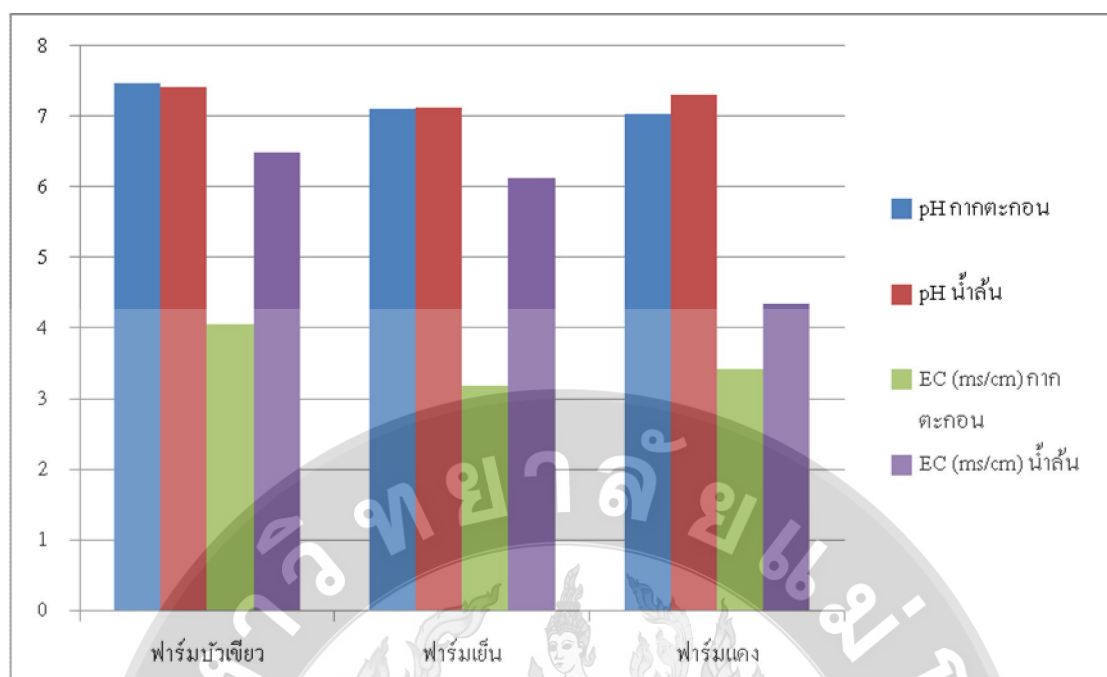
ในส่วนของการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างกากตะกอนและน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรที่มีการใช้ระบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ และนำมาวิเคราะห์หองค์ประกอบในแง่การนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินโดยการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก และจุลินทรีย์ที่มีในกากตะกอน ซึ่งในการสำรวจครั้งนี้ใช้กากตะกอนและน้ำล้นจากฟาร์มของนายบัวเขียว และนายเย็นในอำเภอสันป่าตอง ฟาร์มของนายแดงในอำเภอสันทรายเป็นตัวอย่างของกากตะกอนและน้ำล้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากถังไร้อากาศ ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด – ด่าง หรือ pH ของกากตะกอนและน้ำล้นพบว่ามีความอยู่ระหว่าง 7.03 – 7.47 ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรดังแสดงในภาพที่ 4

ค่าการนำไฟฟ้า (EC)

การวัดค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดปริมาณไอออนของสารที่อยู่ในกากตะกอนและน้ำล้น ซึ่งบ่งบอกถึงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่มีในกากตะกอนและน้ำล้นของฟาร์มสุกรนั่นเอง โดยจากการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าในกากตะกอนและน้ำล้นของฟาร์มทั้ง 3 แห่งพบว่า ในกากตะกอนมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 4.06, 3.19 และ 3.41 (ms/cm.) ตามลำดับ ส่วนในน้ำล้นพบว่าฟาร์มบัวเขียวมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 6.49 ms/cm. และฟาร์มเย็นมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 6.12 ms/cm ส่วนค่าการนำไฟฟ้าในน้ำล้นของฟาร์มแดงมีค่าเท่ากับ 4.35 ms/cm. ดังแสดงในภาพที่ 4



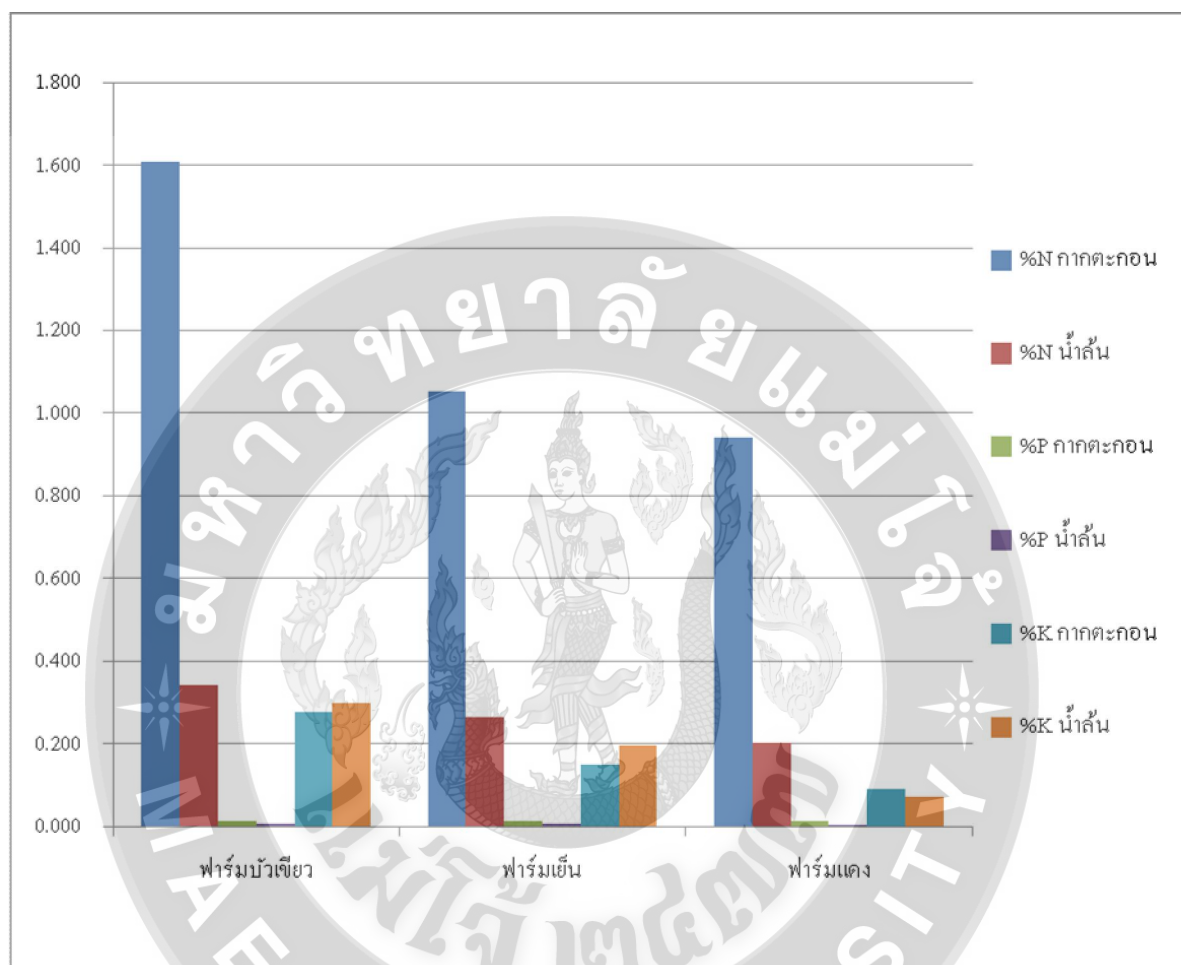
ภาพที่ 4 แสดงค่า pH และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศฟาร์มสุกรทั่วไป

2. ปริมาณธาตุอาหารหลักของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศฟาร์มสุกรทั่วไป (%N, %P, %K)

ภาพที่ 5 แสดงถึงปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช (N, P, K) ที่มีในกากตะกอนและน้ำล้นที่ออกจากถังไร้อากาศของฟาร์มสุกรทั้ง 3 แห่ง พบว่า ปริมาณไนโตรเจน (% N) ในกากตะกอนของฟาร์มบัวเจียวและฟาร์มเย็นมีค่าสูงกว่าฟาร์มแดงคือ 1.61, 1.09 และ 0.94% ตามลำดับ ซึ่งถ้าพิจารณาในแง่การใช้ประโยชน์เป็นวัสดุปรับปรุงดินเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์พบว่า ฟาร์มบัวเจียวและฟาร์มเย็น มีปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (%N>1) ส่วนฟาร์มแดงมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ส่วนไนโตรเจนในน้ำล้นของทั้ง 3 แห่งพบว่ามีปริมาณที่ใกล้เคียงกันคือ 0.34, 0.27 และ 0.20% ตามลำดับ

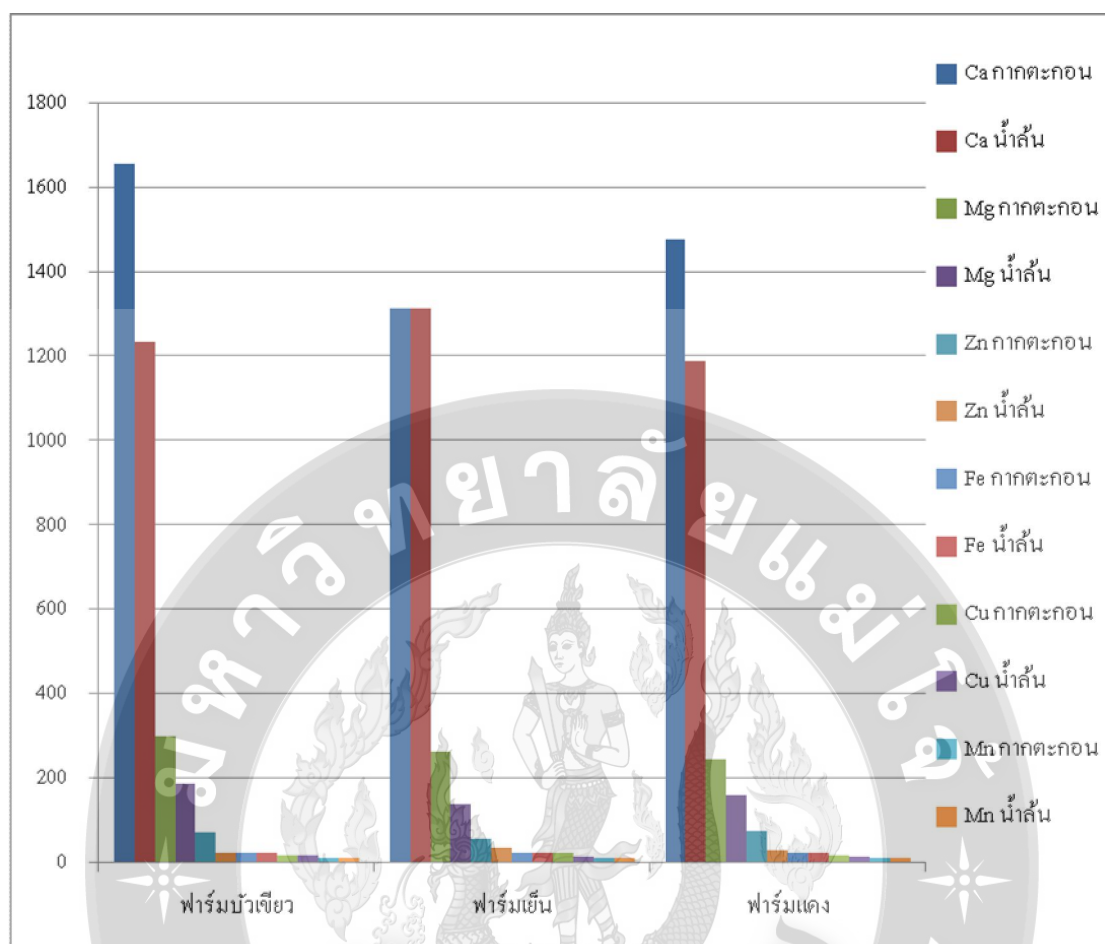
ฟอสฟอรัส (%P) ที่มีในกากตะกอนและน้ำล้นพบว่ามีปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (%P > 0.5) โดยฟอสฟอรัสที่มีในกากตะกอนมีค่าเท่ากับ 0.012, 0.011 และ

0.011% ตามลำดับ ส่วนในน้ำล้นมีค่าเท่ากับ 0.008, 0.007 และ 0.004% ตามลำดับ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสที่ต่ำนี้เกิดจากความสามารถในการละลายที่ต่ำของฟอสฟอรัสโดยธรรมชาตินั่นเอง



ภาพที่ 5 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถึงหมักไร้อากาศฟาร์ม สุกรทั่วไป

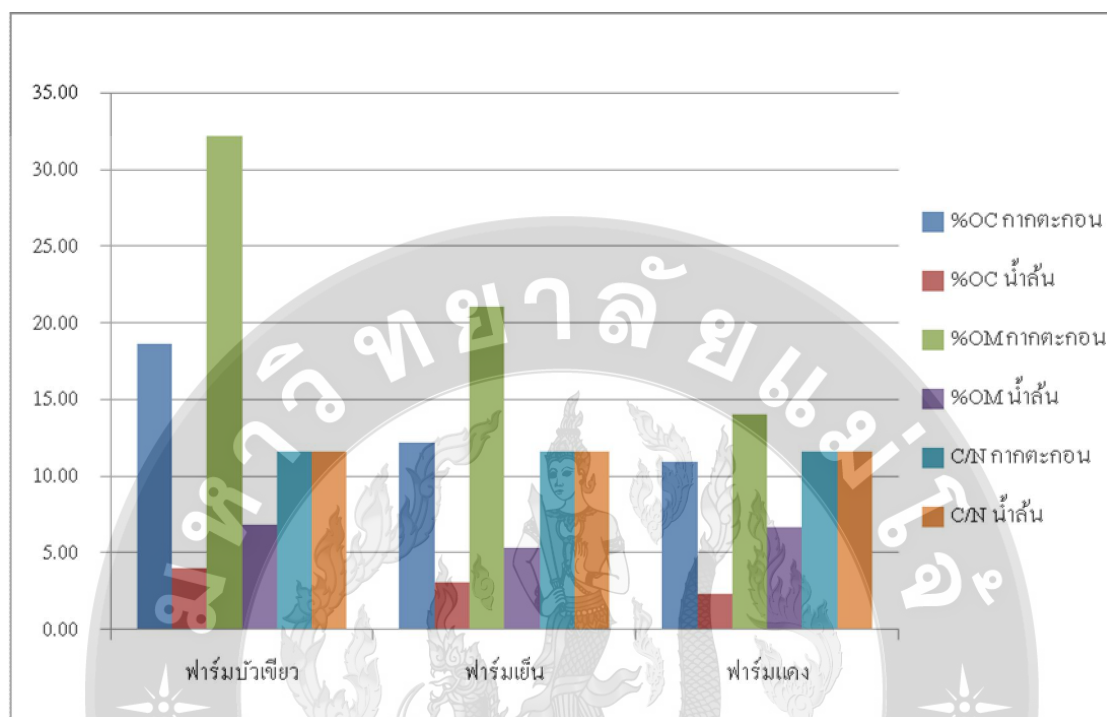
โปแตสเซียม (%K) ในกากตะกอนและน้ำล้นมีค่าน้อยซึ่งเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานโปแตสเซียมในปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งกำหนดให้โปแตสเซียมมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 ($\%P > 0.5$) โดยในกากตะกอนมีปริมาณโปแตสเซียมเท่ากับ 0.28, 0.15 และ 0.09% ตามลำดับ ส่วนในน้ำล้นมีปริมาณโปแตสเซียมเท่ากับ 0.30, 0.20 และ 0.07% ตามลำดับ



ภาพที่ 6 แสดงปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุในกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถึงหมักไร้อากาศ ฟาร์มสุกรทั่วไป

ภาพที่ 6 แสดงถึงปริมาณธาตุอาหารรอง (แคลเซียม Ca และแมกนีเซียม Mg) จุลธาตุ (สังกะสี Zn, เหล็ก Fe, ทองแดง Cu และแมงกานีส Mn) ซึ่งธาตุอาหารรองและจุลธาตุเหล่านี้แม้ว่าจะไม่สำคัญหรือพืชต้องการในปริมาณน้อยแต่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชในแง่ของเป็นองค์ประกอบและบทบาทต่อเมตาบอลิซึมของพืช โดยในการวิเคราะห์กากตะกอนและน้ำล้นพบว่าธาตุอาหารรองในกากตะกอนและน้ำล้นของฟาร์มทั้ง 3 แห่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากเท่าใดนัก โดยแคลเซียมและแมกนีเซียมในกากตะกอนและน้ำล้นมีค่าเท่ากับ 1656, 1321 และ 1476 ppm. และ 1232, 1312 และ 1189 ppm. ตามลำดับ ส่วนจุลธาตุในกากตะกอนพบว่าในกากตะกอนมีสังกะสีเท่ากับ 69, 55, 73 ppm. เหล็กมีค่าเท่ากับ 21.03, 21.04, 21.01 ppm. ทองแดงมีค่าเท่ากับ 14, 20, 14 ppm. และแมงกานีสมีค่าเท่ากับ 10.22, 10.22, 10.12 ppm. ตามลำดับ ส่วนในน้ำล้นมีปริมาณสังกะสีมีค่าเท่ากับ 22, 35, 28 ppm. เหล็กมีค่าเท่ากับ 20.84, 20.92, 20.41 ppm. ทองแดงมีค่าเท่ากับ 14, 11.5, 12.8 ppm. และแมงกานีสมีค่าเท่ากับ 10.1, 10.15, 10.18 ppm. ตามลำดับ จะเห็นว่าธาตุ

อาหารรองและจุลธาตุมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันในกากตะกอนและน้ำล้น มีเพียงสังกะสีที่มีปริมาณลดลงในน้ำล้น



ภาพที่ 7 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์วัตถุและค่า C/N ในกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศฟาร์มสุกรทั่วไป

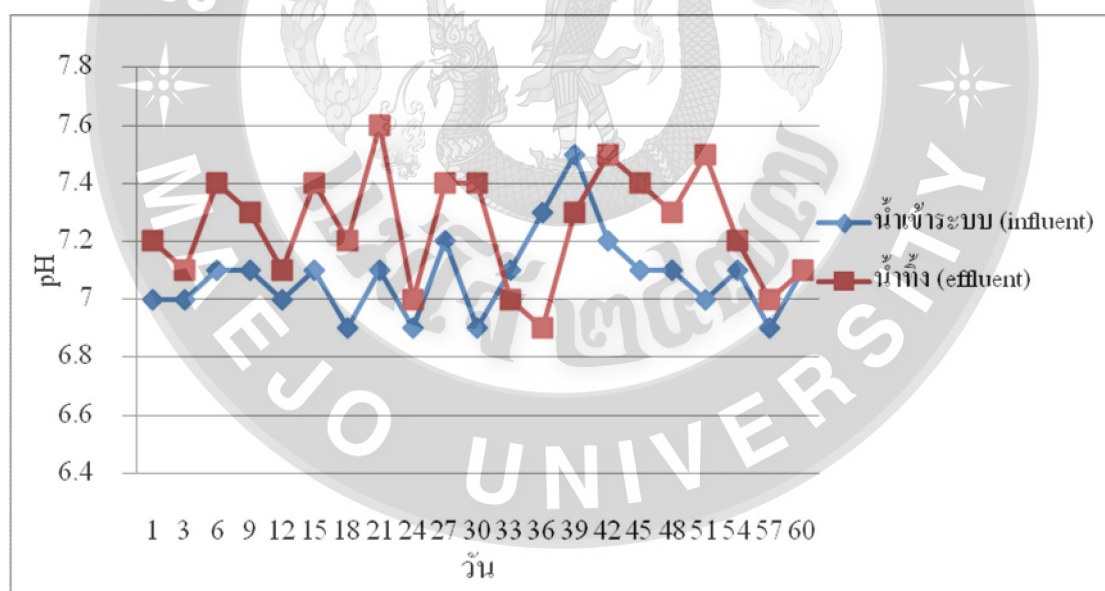
ภาพที่ 7 แสดงปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในกากตะกอนและน้ำล้นพบว่า ฟาร์มบัวเขียวและฟาร์มเย็นมีอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าฟาร์มแดง โดยมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในกากตะกอนเท่ากับ 32.20, 21.08, 14.04% และ 18.6, 12.23, 10.92% ตามลำดับ ซึ่งถ้าเทียบกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจะพบว่าในกากตะกอนทั้ง 3 แหล่งมีปริมาณสูง แต่เมื่อเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์แล้วพบว่า มีเพียงฟาร์มบัวเขียวเท่านั้นที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์คือไม่น้อยกว่า ร้อยละ 30

ค่า C/N หมายถึงสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของสารอินทรีย์ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายโดยธรรมชาติ โดยค่า C/N น้อยจะแสดงถึงสารอินทรีย์สามารถสลายตัวได้ดีซึ่งมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กำหนดให้มีค่า C/N ไม่เกิน 30 จากผลการวิเคราะห์กากตะกอนและน้ำล้นของฟาร์มสุกรทั้ง 3 แหล่งพบว่า มีค่า C/N เท่ากับ 11.6

3. การศึกษาประสิทธิภาพของถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ

ถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบทำการทดลองบริเวณคอกสุกร ฟาร์มมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ โดยสูบน้ำล้างมูลเข้าถังหมักให้เต็ม จากนั้นทำการหมักทิ้งไว้ประมาณ 10 วัน จนเกิดก๊าซชีวภาพขึ้น หลังจากนั้นทำการสูบน้ำเสียเข้าระบบวันละ 100 ลิตรและในขั้นตอนนี้ยังมีการสูบน้ำทิ้งที่ล้นออกจากถังหมักวนกลับเข้าไปในระบบอีกครั้ง

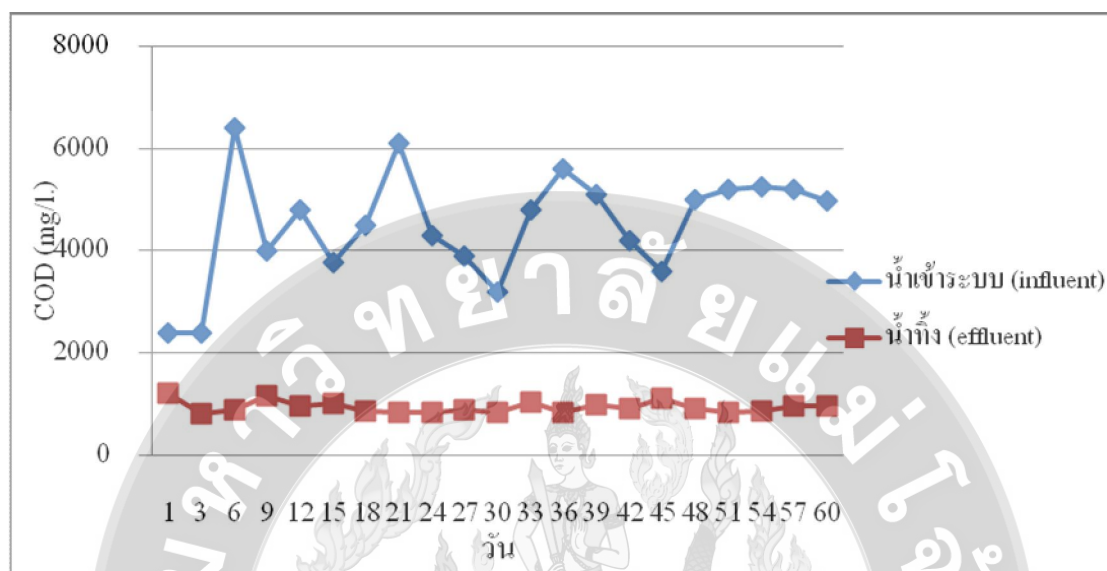
การทดลองโดยดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าระบบและน้ำทิ้งทุกๆ 3 วันเพื่อวิเคราะห์ BOD COD ของแข็งแขวนลอย ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบถังหมักไร้อากาศ จนกว่าระบบจะเข้าสู่ภาวะสมดุล (ประมาณ 40-60 วัน) ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้



ภาพที่ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ pH ของน้ำเข้าระบบและน้ำทิ้ง

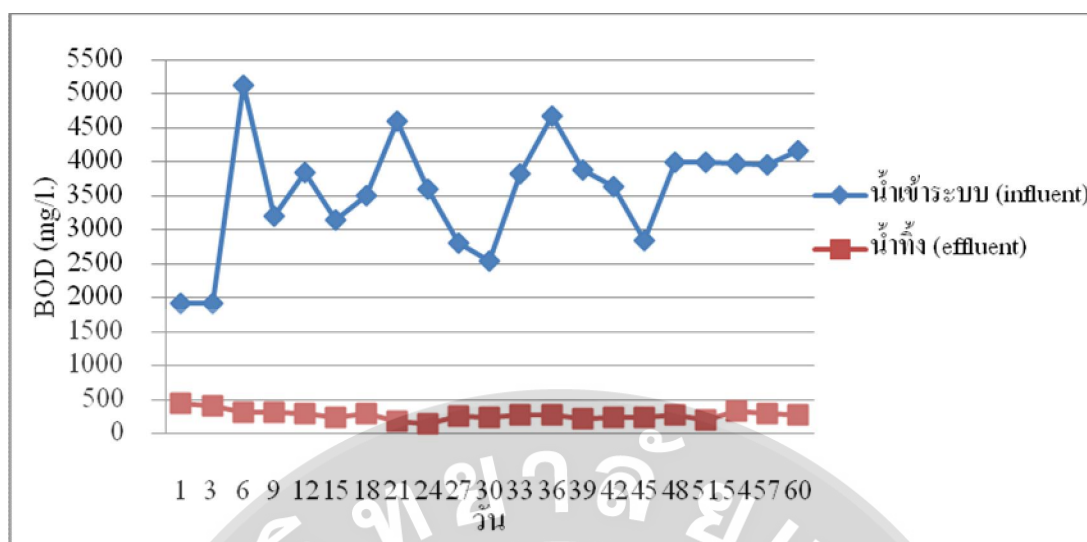
ภาพที่ 8 แสดงค่า pH ของน้ำเสียมูลสุกรที่เข้าระบบกับน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ พบว่าค่า pH ของน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าต่ำกว่าน้ำทิ้งเล็กน้อย โดยน้ำเสียเข้าระบบมีค่า 6.9 – 7.5 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.09 ส่วนน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 6.9 – 7.6 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.25 ค่า pH ที่เพิ่มขึ้นในน้ำ

ทั้งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในถังหมัก ซึ่งเกิดจากการรักษาสภาพคั่งในน้ำในช่วงขั้นตอนการเปลี่ยนจากกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซชีวภาพ



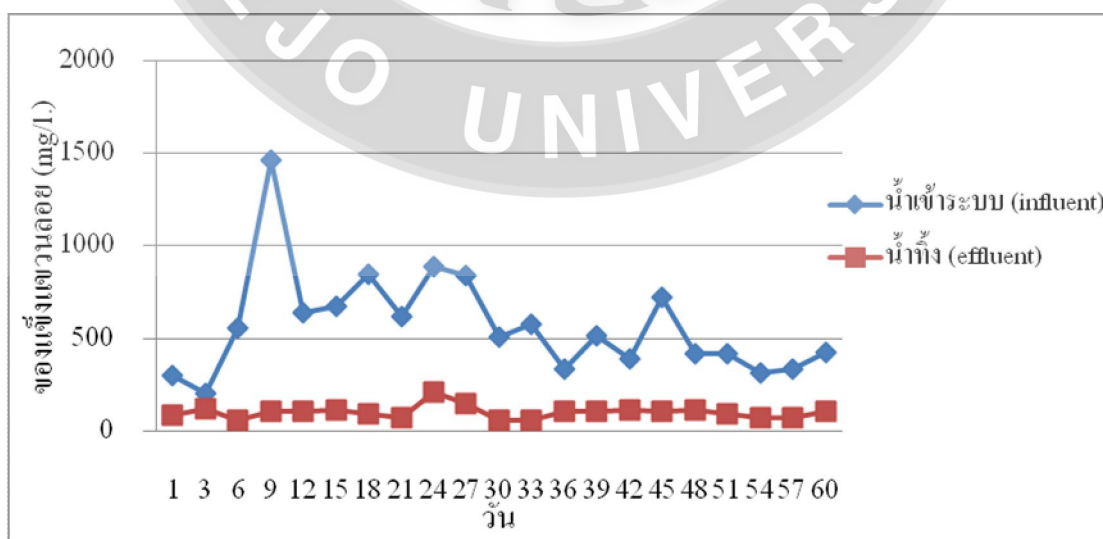
ภาพที่ 9 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป COD ของระบบ

ภาพที่ 9 แสดงการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ COD ของถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม ต้นแบบ พบว่าระบบถังหมักแบบกวนผสมต้นแบบสามารถลดค่า COD ได้ดี โดยในน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่า COD ระหว่าง 2400 ppm. ถึง 6400 ppm. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4509.5 ppm. โดยในน้ำทิ้งที่ผ่านระบบนั้นพบว่าค่า COD ลดลง มีค่าอยู่ในช่วง 800 – 1200 ppm. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 934.8 ppm. ซึ่งระบบถังหมักแบบไร้อากาศนี้สามารถลด COD ได้โดยประสิทธิภาพการกำจัดคิดเป็นร้อยละ



ภาพที่ 10 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป BOD ของระบบ

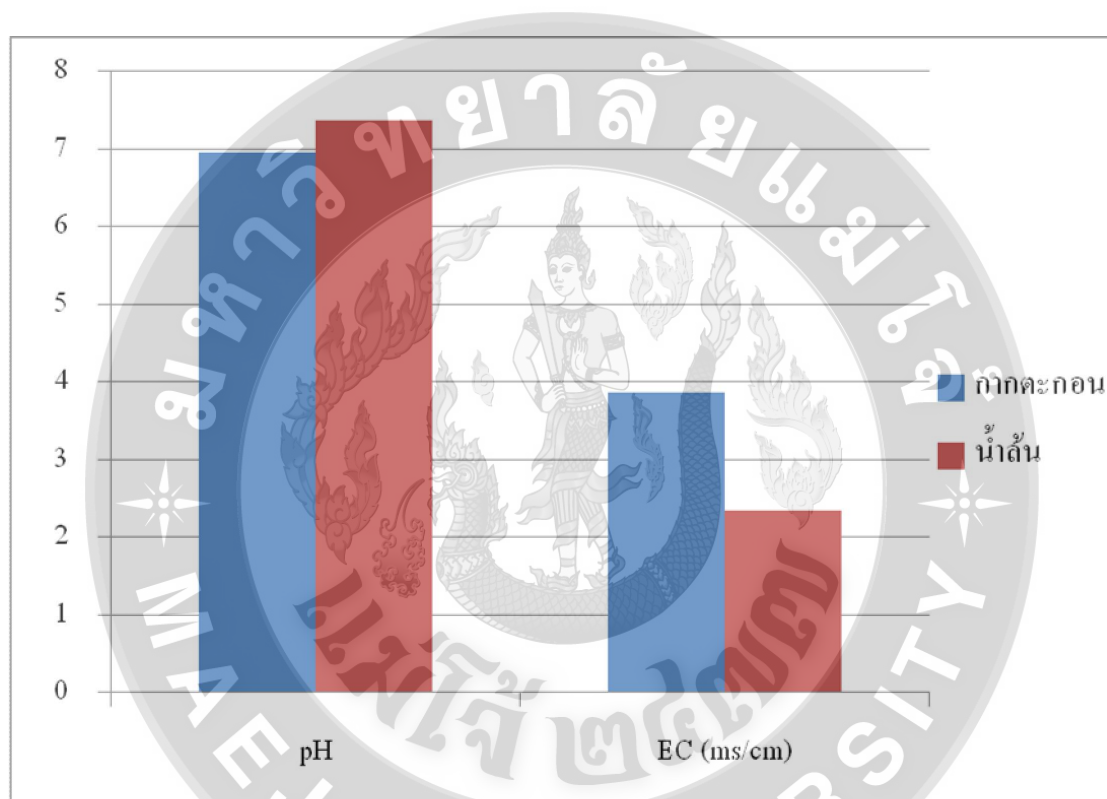
ภาพที่ 10 แสดงประสิทธิภาพการกำจัด BOD ของระบบถึงหมักไร้อากาศต้นแบบพบว่าระบบสามารถกำจัด BOD ได้ดี โดยในน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่า BOD อยู่ในช่วง 2550 – 4680 ppm. ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3579 ppm. ส่วนในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีค่าอยู่ในช่วง 148 – 448 ppm. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 272 ppm. ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบเท่ากับร้อยละ 92.4 ส่วนของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบ (ภาพที่ 11) พบว่ามีค่าลดลงจากของแข็งที่เข้าระบบเฉลี่ยเท่ากับ 571.7 ppm, เหลือของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งเท่ากับ 100.3 ppm.



ภาพที่ 11 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย (SS) ของระบบ

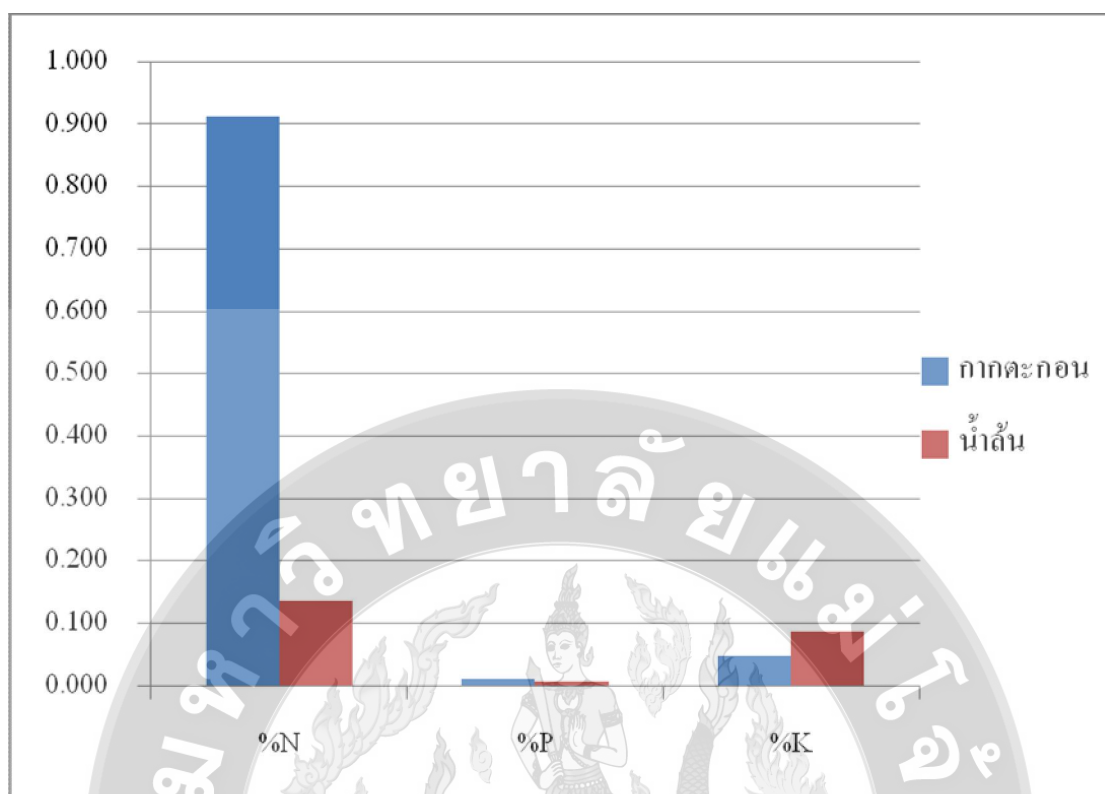
4. การศึกษาองค์ประกอบของกากตะกอนและน้ำล้นที่ออกจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม ต้นแบบ

หลังจากครบ 60 วันแล้วดำเนินการเก็บตัวอย่างกากตะกอนและน้ำล้นเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ผลดังต่อไปนี้



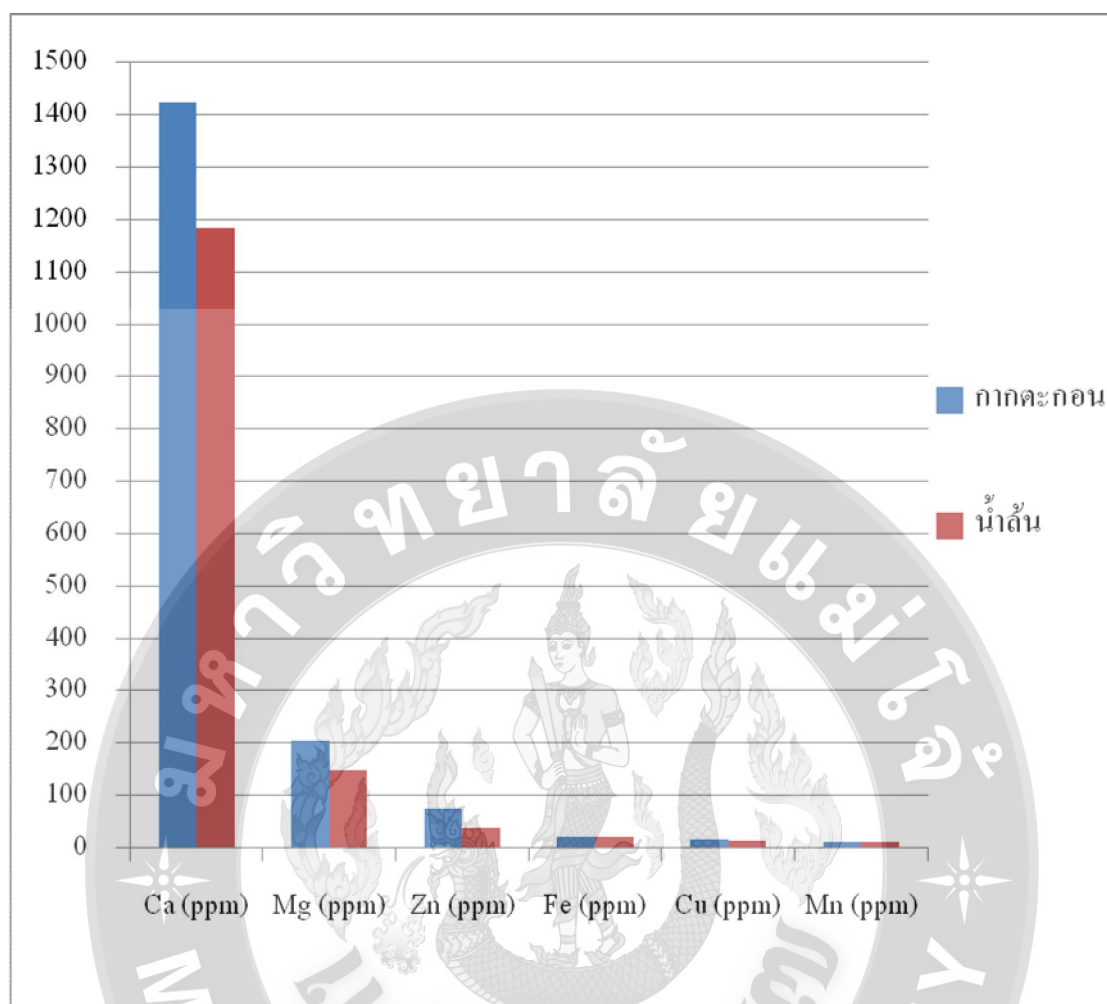
ภาพที่ 12 แสดงค่า pH และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ

การศึกษาองค์ประกอบของกากตะกอนและน้ำล้นที่ออกจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำซึ่งการวิเคราะห์คุณสมบัติของกากตะกอนและน้ำล้นพบว่าค่า pH ในกากตะกอนและน้ำล้นมีค่าเท่ากับ 6.95 และ 7.37 ตามลำดับ ส่วนค่าการนำไฟฟ้า (EC) ทั้งในกากตะกอนและน้ำล้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ของกรมวิชาการเกษตรโดยในกากตะกอนมีค่าเท่ากับ 3.86 ms/cm. และในน้ำล้นมีค่าเท่ากับ 2.34 ms/cm. แสดงในภาพที่ 12



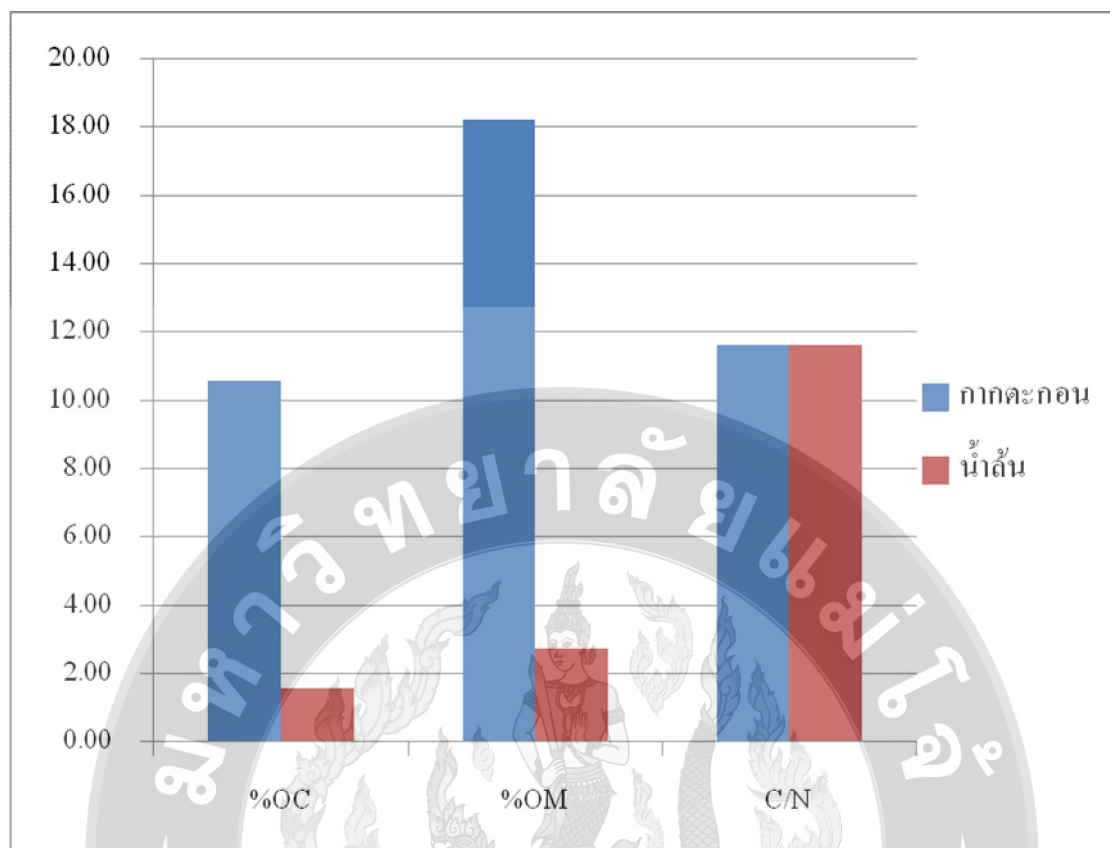
ภาพที่ 13 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักของกากตะกอนและน้ำส้มที่ผ่านถึงหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ

ภาพที่ 13 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลัก (%N, %P, %K) ในกากตะกอนและน้ำส้มที่ผ่านถึงหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ โดยปริมาณธาตุอาหารหลักในกากตะกอนและน้ำส้มมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยในกากตะกอนมีค่าไนโตรเจนเท่ากับ 0.912% ฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.011% และโปแตสเซียมมีค่าเท่ากับ 0.05% ส่วนในน้ำส้มมีปริมาณธาตุอาหารหลักต่ำกว่ากากตะกอนเป็นอย่างมาก โดยมีค่าไนโตรเจนเท่ากับ 0.136% ฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.006% และโปแตสเซียมมีค่าเท่ากับ 0.09% ซึ่งจะเห็นว่ากากตะกอนและน้ำส้มจากถึงหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งได้กำหนดให้ค่า %N ต้องไม่น้อยกว่า 1, %P ไม่น้อยกว่า 0.5 และ %K ต้องไม่น้อยกว่า 0.5 ตามลำดับ



ภาพที่ 14 แสดงปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุในกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ

ภาพที่ 14 แสดงถึงปริมาณธาตุอาหารรอง (แคลเซียม Ca และแมกนีเซียม Mg) จุลธาตุ (สังกะสี Zn, เหล็ก Fe, ทองแดง Cu และแมงกานีส Mn) โดยการวิเคราะห์กากตะกอนและน้ำล้นพบว่าธาตุอาหารรองในกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบมีค่าไม่แตกต่างกันมากเท่าใดนักโดยแคลเซียมและแมกนีเซียมในกากตะกอนและน้ำล้นมีค่าเท่ากับ 1424, 1184 ppm. และ 204.8 และ 148.8 ppm. ตามลำดับ ส่วนจุลธาตุในกากตะกอนพบว่าในกากตะกอนมีสังกะสีเท่ากับ 75 ppm. เหล็กมีค่าเท่ากับ 20.72 ppm. ทองแดงมีค่าเท่ากับ 14.15 ppm. และแมงกานีสมีค่าเท่ากับ 10.11 ppm. ตามลำดับ ส่วนในน้ำล้นมีปริมาณสังกะสีลดลงจากกากตะกอนโดยมีค่าเท่ากับ 37 ppm. เหล็กมีค่าเท่ากับ 20.86 ppm. ทองแดงมีค่าเท่ากับ 14.5 ppm. และแมงกานีสมีค่าเท่ากับ 10.14 ppm. ตามลำดับ จะเห็นว่าธาตุอาหารรองและจุลธาตุมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันในกากตะกอนและน้ำล้น มีเพียงสังกะสีที่มีปริมาณลดลงในน้ำล้น



ภาพที่ 15 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์วัตถุและค่า C/N ในกากตะกอนและน้ำคั้นที่ผ่านถึงหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ

ภาพที่ 15 แสดงปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในกากตะกอนและน้ำคั้นจากถึงหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบพบว่าในกากตะกอนอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนมีปริมาณเท่ากับ 18.23% และ 10.58% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์แล้วพบว่าค่าต่ำกว่าเกณฑ์คือไม่น้อยกว่า ร้อยละ 30

ค่า C/N หมายถึงสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของสารอินทรีย์ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายโดยธรรมชาติ โดยค่า C/N น้อยจะแสดงถึงสารอินทรีย์สามารถสลายตัวได้ดีซึ่งมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์กำหนดให้มีค่า C/N ไม่เกิน 20 จากผลการวิเคราะห์กากตะกอนและน้ำคั้นของฟาร์มสุกรทั้ง 3 แห่งพบว่ามีค่า C/N เท่ากับ 11.6

5. ศึกษาและปรับปรุงกากตะกอนและน้ำล้นให้เป็นวัสดุปรับปรุงดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

การศึกษาและปรับปรุงกากตะกอนและน้ำล้นให้เป็นวัสดุปรับปรุงดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช พิจารณาถึงองค์ประกอบต่างๆที่มีในกากตะกอนและน้ำล้นเช่น ปริมาณธาตุอาหารหลัก ค่า pH และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบในกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ ซึ่งออกแบบให้มีการวนน้ำในถัง 8 ครั้งต่อวัน พบว่า กากตะกอนและน้ำล้นมีค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลักมีค่าค่อนข้างต่ำโดยเฉพาะในน้ำล้น โดยกากตะกอนมีปริมาณไนโตรเจนใกล้เคียงกับปริมาณไนโตรเจนของค่ามาตรฐานและมีปริมาณน้อยในน้ำล้น ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสและโปแตสเซียมมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานมากทั้งในกากตะกอนและน้ำล้น

การปรับปรุงกากตะกอนและน้ำล้นให้อยู่ในมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์จำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆของวัสดุที่นำมาผสม รวมถึงต้นทุนของวัสดุปรับปรุงดินที่เพิ่มขึ้นด้วย ในการทดลองนี้ผู้วิจัยมีความต้องการสนับสนุนให้เกษตรกรฟาร์มสุกรใช้ประโยชน์จากกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านการหมักเพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพแล้ว สามารถนำกากตะกอนและน้ำล้นมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินเพื่อทดแทนปุ๋ยอินทรีย์และสามารถลดต้นทุนค่าปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ทางการค้าได้ โดยมีการคำนวณปริมาณการใช้กากตะกอนและน้ำล้นเทียบกับปุ๋ยเคมีตามท้องตลาด

การคำนวณอัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้ฐานของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเทียบจากการใช้ปุ๋ยเคมี (อ้างอิง วิธีของเรื่องฤทธิ์, 2547)

ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0)	อัตราการใช้	520 กรัมต่อแปลง
ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15	อัตราการใช้	530 กรัมต่อแปลง
$(15/100) \times 530$		= 79.5 กรัมไนโตรเจน

$$\begin{aligned} (46/100) \times 520 &= 239.2 \text{ กรัมไนโตรเจน} \\ \text{รวมปุ๋ยทั้ง 2 ชนิด} &= 318.7 \text{ กรัมไนโตรเจนต่อแปลง} \end{aligned}$$

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในกากตะกอนเท่ากับ 0.912

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้น} \quad 100 \text{ กรัม} \quad \text{มีเนื้อไนโตรเจน} &= 0.912 \text{ กรัม} \\ 1000 \text{ กรัม} \quad \text{มีเนื้อไนโตรเจน} &= 9.12 \text{ กรัม} \\ \text{ดังนั้น} \quad 9.12 \text{ กรัมไนโตรเจน มาจาก} &= 1 \text{ กิโลกรัม} \\ 1 \text{ แปลง ใช้ } 318.7 \text{ กรัมไนโตรเจน} &= (1 \times 318.7) / 9.12 \\ &= 34.95 \text{ กิโลกรัม} \\ \text{อัตราการใช้แบ่งออกเป็น ปุ๋ยรองพื้น 50 เปอร์เซ็นต์ ปุ๋ยแต่งหน้า 50 เปอร์เซ็นต์} & \\ \text{เพราะฉะนั้น} \quad \text{ปุ๋ยรองพื้น} &= (34.95 \times 50) / 100 \\ &= 17.48 \text{ กิโลกรัม} \\ \text{ปุ๋ยแต่งหน้า} &= 17.47 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในน้ำล้นเท่ากับ 0.136

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้น} \quad 100 \text{ มิลลิลิตร} \quad \text{มีเนื้อไนโตรเจน} &= 0.136 \text{ มิลลิลิตร} \\ 1000 \text{ มิลลิลิตร} \quad \text{มีเนื้อไนโตรเจน} &= 1.36 \text{ มิลลิลิตร} \\ \text{ดังนั้น} \quad 1.36 \text{ กรัมไนโตรเจน มาจาก} &= 1 \text{ ลิตร} \\ 1 \text{ แปลง ใช้ } 318.7 \text{ กรัมไนโตรเจน} &= (1 \times 318.7) / 1.36 \\ &= 234.34 \text{ ลิตร} \end{aligned}$$

อัตราการใช้แบ่งออกเป็น ราดลงแปลงก่อนปลูก 70 เปอร์เซ็นต์ ฟัน 30 เปอร์เซ็นต์

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น} \quad \text{ราดลงแปลงก่อนปลูก} &= (234.34 \times 70) / 100 \\ &= 164.04 \text{ ลิตร} \\ \text{ฟันเสริม} &= 70.30 \text{ ลิตร} \end{aligned}$$

6. ศึกษาความเป็นพิษต่อพืชของวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้

การศึกษาความเป็นพิษต่อพืชของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศเป็นวิธีการทดสอบถึงความสำเร็จในการย่อยสลายของกากตะกอน เนื่องจากการผลิตปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำโดยวิธีการหมักนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบความสำเร็จของการย่อยสลายของปุ๋ย เพราะถ้ามีการนำกากตะกอนหรือปุ๋ยอินทรีย์ที่มีการย่อยสลายที่ไม่สมบูรณ์ กากตะกอนจะเกิดการย่อยสลายตัวต่อไปอีกซึ่งจะเข้าไปแย่งการใช้น้ำ อากาศ รวมไปถึงการดึงธาตุอาหารพืชมาใช้ และกากตะกอนยังก่อให้เกิดความร้อนขึ้นบริเวณรากพืชอีกด้วย ผลของการทดสอบความเป็นพิษต่อพืชของกากตะกอนและน้ำล้นนี้ ทำการทดสอบโดยใช้น้ำสกัดจากกากตะกอนและน้ำล้นกับเมล็ดผักกาดจีนเป็นเวลา 72 ชั่วโมงจากนั้นนำเมล็ดมาวัดจำนวนที่งอกและวัดความยาวของรากเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด (%RSG) เปอร์เซ็นต์ความยาวรากสัมพัทธ์ (%RRG) และเปอร์เซ็นต์ดัชนีการงอกของเมล็ด (%GI) แล้วนำมาหาความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี One-Way ANOVA ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 10 ซึ่งการทดลองได้ออกแบบให้มีการทดลอง 4 ชุด ประกอบด้วย ชุดควบคุม (ใช้น้ำกลั่น) กากตะกอน น้ำล้น และกากตะกอนอื่น (กากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสีย) พบว่า เปอร์เซ็นต์การงอกและความยาวของรากไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยน้ำกลั่นมีเมล็ดที่งอกเฉลี่ยและความยาวรากเฉลี่ยสูงสุดที่ 80% และ 61 มิลลิเมตรตามลำดับ

ในกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศเมื่อเปรียบเทียบกับกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียพบว่า มีเปอร์เซ็นต์การงอกที่มากกว่า (70%, 70%, 60%) แต่มีความยาวของรากเฉลี่ยน้อยกว่า (50 มม., 55 มม. และ 59 มม. ตามลำดับ) ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพบว่า มีค่าใกล้เคียงกันโดยกากตะกอนมีค่าเท่ากับ 72.6% น้ำล้นมีค่าเท่ากับ 79.3% และกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียมียค่าเท่ากับ 73.4% ตามลำดับ หากพิจารณาถึงมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์แล้วพบว่าค่าดัชนีการงอกยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้มีดัชนีการงอกไม่น้อยกว่า 80% ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุเช่น เมล็ดพันธุ์ที่ใช้เนื่องจากในการทดสอบนี้ได้ใช้เมล็ดพันธุ์ที่แบ่งบรรจุถุงจำหน่ายซึ่งอาจจะเป็นเมล็ดพันธุ์ที่ไม่มีคุณภาพ

ตารางที่ 10 การงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนเมื่อเพาะในน้ำสกัดจากกากตะกอน และน้ำล้นจากถังหมัก
ไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ

ชุดการทดลอง	จำนวน เมล็ดที่ งอก	% การ งอกของ เมล็ด	ความยาว รากของ เมล็ดเฉลี่ย (มม.)	การงอก สัมพัทธ์ (% RSG)	ความยาว ราก สัมพัทธ์ (% RRG)	ดัชนีการ งอกของ เมล็ด (%) GI)
ผักบุ้งจีน						
ชุดควบคุม(น้ำกลั่น)	8	80a	61a	100	100	100
กากตะกอน	7	70a	50a	87.5	83	72.6
น้ำล้น	7	70a	55a	87.5	90.7	79.3
กากตะกอนชนิดอื่น (ตะกอนโรงบำบัดน้ำ เสีย)	6	60a	59a	75	97.8	73.4
F- test		*	*			
% C.V		8.63	11.66			

*ค่าที่ตามด้วยอักษรเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%

7. การทดสอบการปลดปล่อยธาตุอาหารของกากตะกอน

ลักษณะทางเคมีของดินและตะกอนที่ใช้ (ตารางที่ 11) ดินตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองเป็นดินที่อยู่ในชุดดินสันทราย มีคุณสมบัติเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy loam) ซึ่งมีปริมาณดินทรายสูง ค่า pH ของดินมีค่า 7.67 จัดว่ามีความเหมาะสมต่อการเจริญของพืช แต่ปริมาณอินทรีย์วัตถุค่อนข้างต่ำมากซึ่งมีค่าไม่ถึง 1% ส่วนปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีประมาณ 0.05 และ 23.27% ตามลำดับ ด้านคุณสมบัติของกากตะกอนทั้ง 2 ชนิดพบว่ามีค่า pH เป็นกลาง อินทรีย์วัตถุมีปริมาณสูง ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีปริมาณใกล้เคียงกัน โดยในตะกอนทั้ง 2 ชนิดมีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 11.6 ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน

ตารางที่ 11 แสดงคุณสมบัติเบื้องต้นของดินและวัสดุปรับปรุงดิน (น้ำหนักแห้ง)

คุณสมบัติ	ดินตัวอย่าง (ชุดดินสันทราย)	วัสดุปรับปรุงดิน	
		กากตะกอนถึง หมักไร้อากาศ	กากตะกอนโรง บำบัดน้ำเสีย
อนุภาคดิน (%)			
ดินทราย	63.21		
ซิลต์	23.41		
ดินเหนียว	13.37		
เนื้อดิน	ดินร่วนปนทราย		
pH	7.67	7.22	7.41
อินทรีย์วัตถุ (%)	0.95	23.96	24.31
อินทรีย์คาร์บอน (%)	0.55	13.9	14.1
ไนโตรเจน (%)	0.05	0.192	1.22
ฟอสฟอรัส (mg/l.)	23.27	25.54	25.98
อัตราส่วน C/N	11	11.6	11.6

การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการบ่มวัสดุปรับปรุงดิน

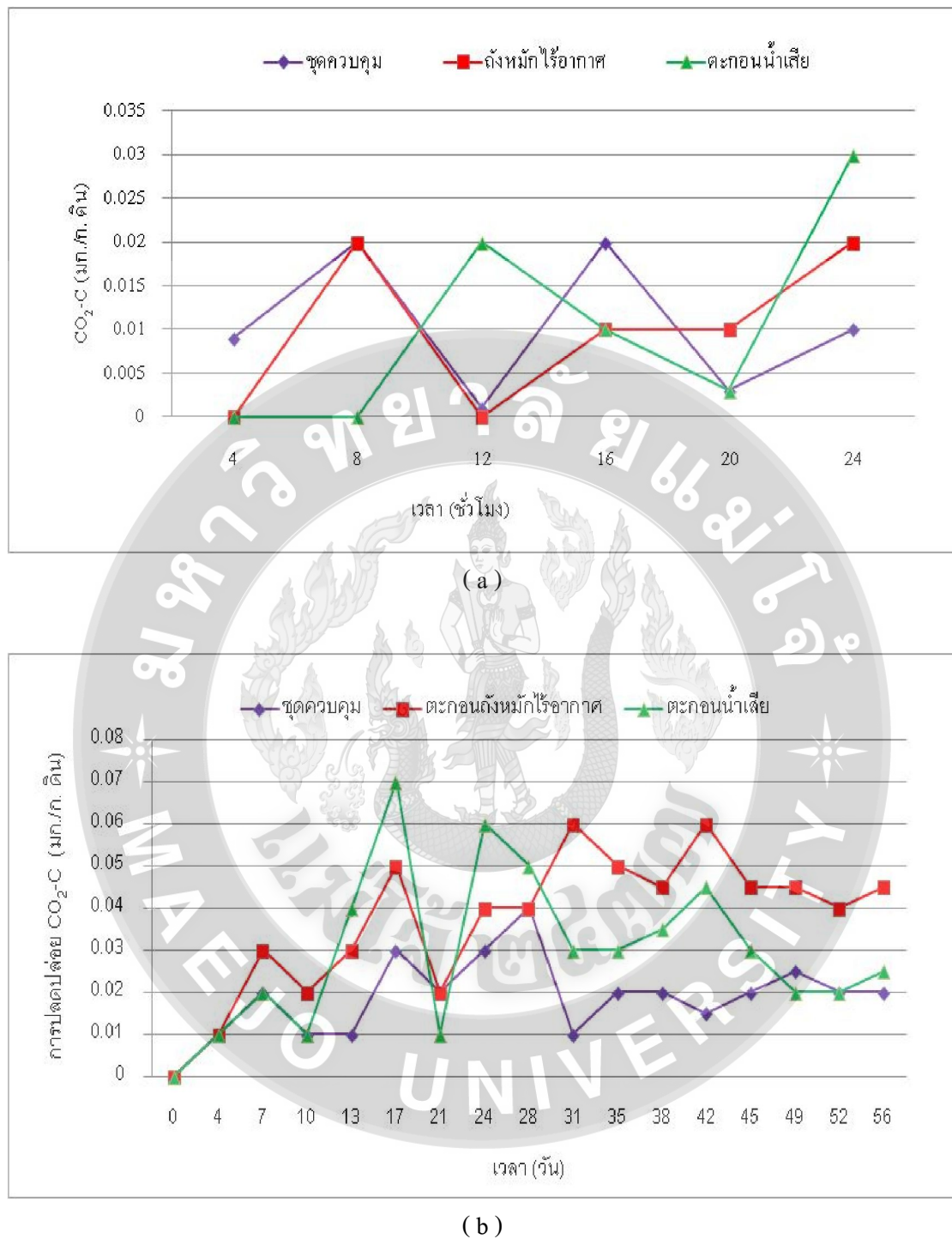
จากการศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (ภาพที่ 16a.) พบว่าในช่วง 4 ชั่วโมงแรกดินในชุดควบคุม และชุดที่ใส่ตะกอนจากฟาร์มสุกร เริ่มมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ส่วนในตะกอนน้ำเสียจะมีการปลดปล่อยในช่วงหลังจากชั่วโมงที่ 12 และมีการปลดปล่อยมากที่สุดในชั่วโมงที่ 24 ส่วนการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดการทดลอง (ภาพที่ 16b.) พบว่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จะมีปริมาณสูงที่สุดในดินที่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสียส่วนตะกอนจากฟาร์มสุกรมีปริมาณการปลดปล่อยที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่มีในกากตะกอนมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ไม่สูงมากนักจะทำให้เกิดการย่อยสลายและปลดปล่อยคาร์บอนได้ง่าย (Cayuela *et al.* 2010) ปัจจัยอื่นๆ เช่น ความชื้นในดินจะมีผลให้สารอินทรีย์ในวัสดุ

ปรับปรุงดินเกิดการย่อยสลายได้ดีขึ้น (Mekki *et al.* 2009) และปริมาณการปลดปล่อยจะลดลงในช่วงหลังจากวันที่ 30 ซึ่งมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์และปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายลดลงนั่นเอง โดยหลังการใส่วัสดุปรับปรุงดินพบว่าคุณสมบัติทางเคมีของดินมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 12.) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุปรับปรุงดินทั้ง 2 ชนิดสามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินและมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ป็นวัสดุปรับปรุงดิน

ตารางที่ 12 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินเมื่อผ่านการใส่วัสดุปรับปรุงดิน

ชุดการทดลอง	คาร์บอนไดออกไซด์	อินทรีย์วัตถุ	แอมโมเนียไนโตรเจน	ไนเตรทไนโตรเจน	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์
	มก./ก. ดิน	%	มก./ก. ดิน	มก./ก. ดิน	มก./ก. ดิน
ชุดควบคุม	0.21a	0.79a	110.45a	49.70a	76.02a
ดิน + กากตะกอนแห้งหมักไร้อากาศ	0.61b	1.91b	170.21a	260.51b	160.39b
ดิน + กากตะกอนน้ำเสีย	0.51c	1.71b	128.07b	139.05c	136.06c
F-test	**	**	**	**	**
CV (%)	4.96	47.19	50.98	81.57	34.46

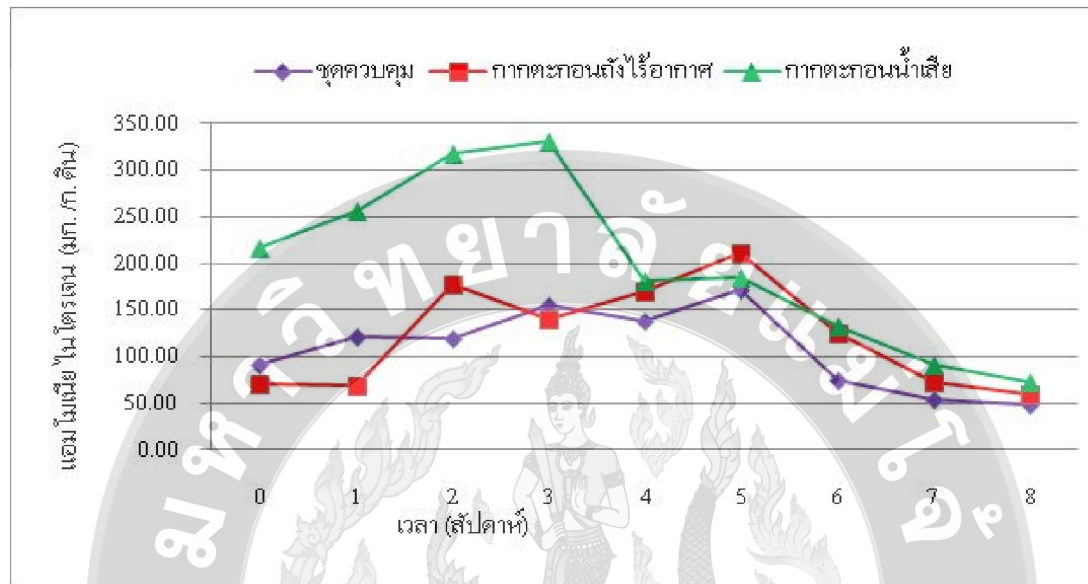
**ค่าที่ตามด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95%



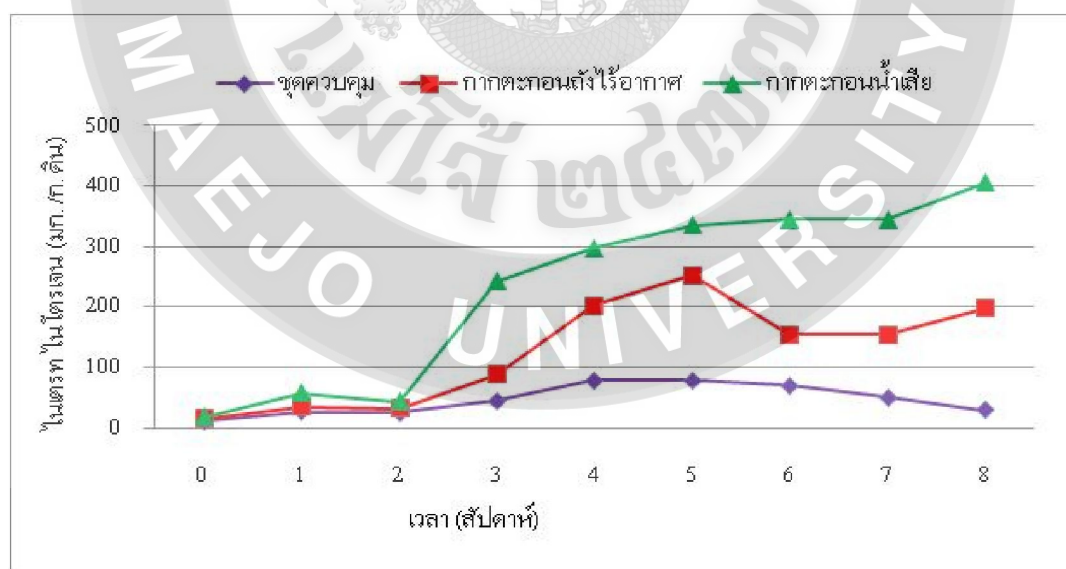
ภาพที่ 16 คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากวัสดุปรับปรุงดิน (a) 24 ชั่วโมงแรก (b) ตลอดการทดลอง

การปลดปล่อยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในกากตะกอน

การสลายตัวและปลดปล่อยไนโตรเจน



(a)

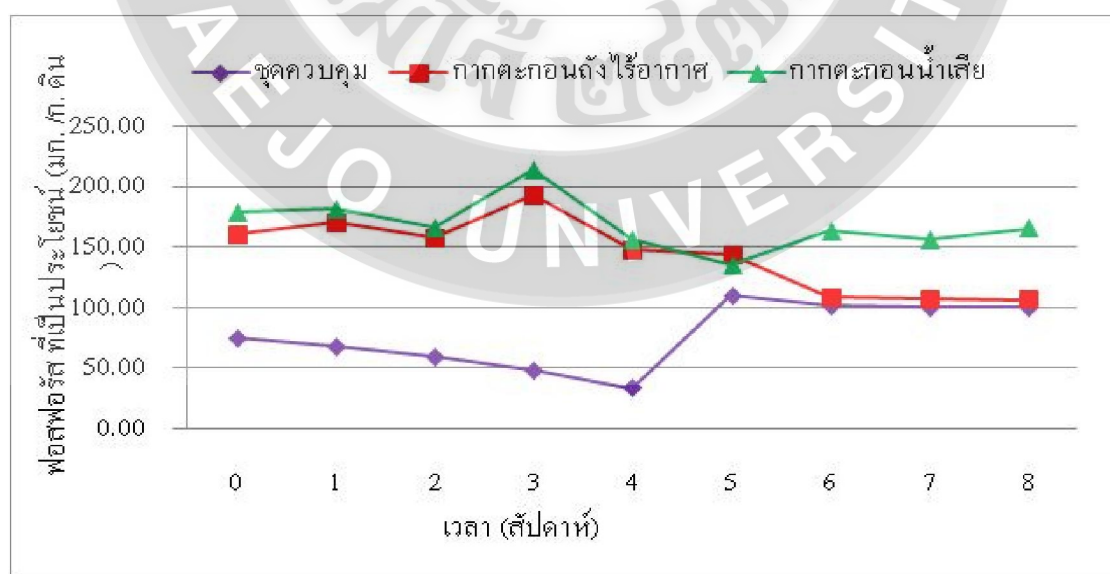


(b)

ภาพที่ 17 การปลดปล่อยไนโตรเจนในวัสดุปรับปรุงดิน (a) แอมโมเนีย ไนโตรเจน (b) ไนเตรท ไนโตรเจน

การสลายตัวและการปลดปล่อยไนโตรเจนของกากตะกอนฟาร์มสุกรและกากตะกอนน้ำเสีย พบว่าในช่วงแรกของการบ่มดินร่วมกับกากตะกอน ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (ภาพที่ 17a.) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนสูงโดยเฉพาะในกากตะกอนน้ำเสีย การเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียไนโตรเจนในระยะแรกของการบ่มเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน (mineralization) หลังจากนั้นในช่วงสัปดาห์ที่ 3 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าลดลง โดยตรงข้ามกับปริมาณไนเตรทที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 17b.) ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนเตรท (nitrification) (สุกกาญจน์ และคณะ, 2553) ส่วนแอมโมเนียไนโตรเจนในกากตะกอนฟาร์มสุกรมีปริมาณการปลดปล่อยที่ไม่สูงมากนักอาจเป็นเพราะกากตะกอนฟาร์มสุกรมีความคงตัวน้อยกว่าตะกอนน้ำเสีย โดยระยะเวลาที่เก็บในถังย่อยมีผลต่อสภาพของกากตะกอน อีกทั้งการย่อยสลายและปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจน ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$) ได้ดีในกากตะกอนนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของดินและกากตะกอนทั้ง 2 ชนิด ซึ่งกากตะกอนทั้ง 2 ชนิดมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการนำไปใช้ป็นวัสดุปรับปรุงดิน โดยอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมจะมีค่าไม่เกิน 25/1 ถึง 30/1 (ปนัดดา, 2553)

การสลายตัวและปลดปล่อยฟอสฟอรัส



ภาพที่ 18 การปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากวัสดุปรับปรุงดิน

ภาพที่ 18 ปริมาณฟอสฟอรัสในกากตะกอนทั้ง 2 ชนิดพบว่ามีความใกล้เคียงกัน เมื่อทำการทดลองใส่กากตะกอนเพื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ได้ใส่กากตะกอนทั้ง 2 ชนิด กากตะกอนสามารถเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่ป็นประโยชน์ในดินได้ จากการทดลองบ่มดินร่วมกับกากตะกอน พบว่าในช่วง 2 สัปดาห์แรกนั้นปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 3 และมีปริมาณลดลงในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 ปริมาณที่ลดลงเพียงเล็กน้อยนี้ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงของดิน ซึ่งในดินที่มีความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสสูงนี้จำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการใช้ ดังนั้นการใส่ฟอสฟอรัสเป็นระยะเวลานานอาจเกิดการสะสมของฟอสฟอรัสในดินปริมาณสูง (ประพิศ และคณะ , 2544) ทำให้เพิ่มความเสี่ยงในการสะสมของฟอสฟอรัสในน้ำและพืชได้



สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยน้ำหมักที่ผลิตจากกากตะกอนและน้ำล้น จากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ถังหมักไร้อากาศขนาด 1000 ลิตรทดสอบกับของเสียมูลสุกรของคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยมีการรวนน้ำที่ล้นออกจากระบบเพื่อเพิ่มอัตราการกวนที่ 8 ครั้งต่อวัน ระยะเวลาทำการทดลอง 60 วันมีผลการทดลองดังนี้

1. ผลการทดลองพบว่า ชุดการทดลองที่มีการกวนวันละ 8 ครั้งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์โดยสามารถลดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีและซีโอดีได้สูง ซึ่งการกำจัดของเสียเข้าระบบในรูปซีโอดีเฉลี่ยตลอดการทดลองจาก 4509.5 ppm. เหลือในน้ำทิ้งออกจากระบบเฉลี่ยเท่ากับ 934.8 ppm. ระบบถังหมักแบบไร้อากาศแบบกวนผสมนี้สามารถลด COD ได้โดยประสิทธิภาพการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 79.3

2. ปริมาณธาตุอาหารหลัก (%N, %P, %K) ในกากตะกอนมีค่าในโตรเจนเท่ากับ 0.912% ฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.011% และโปแตสเซียมมีค่าเท่ากับ 0.05% ส่วนในน้ำล้นมีค่าในโตรเจนเท่ากับ 0.136% ฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.006% และโปแตสเซียมมีค่าเท่ากับ 0.09% ซึ่งจะเห็นว่ามีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งได้กำหนดให้ค่า %N ต้องไม่น้อยกว่า 1, %P ไม่น้อยกว่า 0.5 และ %K ต้องไม่น้อยกว่า 0.5 ตามลำดับ

ปริมาณธาตุอาหารรอง (แคลเซียม Ca และแมกนีเซียม Mg) จุลธาตุ (สังกะสี Zn, เหล็ก Fe, ทองแดง Cu และแมงกานีส Mn) มีค่าเท่ากับ 1424, 1184 ppm. และ 204.8 และ 148.8 ppm. ตามลำดับ ส่วนจุลธาตุในกากตะกอนพบว่ามีสังกะสีเท่ากับ 75 ppm. เหล็กมีค่าเท่ากับ 20.72 ppm. ทองแดงมีค่าเท่ากับ 14.15 ppm. และแมงกานีสมีค่าเท่ากับ 10.11 ppm. ตามลำดับ ส่วนในน้ำล้นมีปริมาณสังกะสีเท่ากับ 37 ppm. เหล็กมีค่าเท่ากับ 20.86 ppm. ทองแดงมีค่าเท่ากับ 14.5 ppm. และแมงกานีสมีค่าเท่ากับ 10.14 ppm. ตามลำดับ

3. จากการคำนวณปริมาณการใช้กากตะกอนและน้ำล้นพบว่ากากตะกอนแนะนำให้ใช้ที่ปริมาณ 34.95 กิโลกรัมต่อแปลง โดยแบ่งออกเป็น ปุ๋ยรองพื้น 17.4 กิโลกรัมต่อแปลง ปุ๋ยแต่งหน้า

17.48 กิโลกรัมต่อแปลง ส่วนปุ๋ยน้ำหมักจากน้ำสับ แะนำไปใช้ที่ปริมาณ 234.34 ลิตรต่อแปลง โดยแบ่งออกเป็น ราคดแปลงก่อนปลูก 164.04 ลิตรต่อแปลง และพ่นเสริม 70.30 ลิตรต่อแปลง

4. การทดสอบความเป็นพิษและการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชพบว่า กากตะกอนและน้ำสับ ไม่มีความเป็นพิษต่อการเจริญของพืช โดยเมื่อทดสอบกับเมล็ดพืชพบว่าเมล็ดพืชมีค่าดัชนีการงอก สูงใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ และผลการทดลองวิเคราะห์การปลดปล่อยธาตุอาหารพืช พบว่า กากตะกอนมีการปลดปล่อยธาตุอาหารที่สูง อีกทั้งกากตะกอนยังสามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้โดยสามารถเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินอีกด้วย

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง มีประโยชน์ในด้านการนำระบบถังหมักแบบไร้อากาศไปใช้ในการจัดการของเสียที่เกิดจากฟาร์มสุกรขนาดเล็ก นอกจากก๊าซชีวภาพที่เกิดจากระบวนการหมักแล้วผลพลอยได้ยังสามารถใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินที่ดี เป็นการประหยัดค่าปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ทางการค้า รวมไปถึงการลดปริมาณของเสียที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองการผลิตวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตจากกากตะกอนและน้ำสับจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพต้นแบบนี้ ใช้กากตะกอนที่ได้จากฟาร์มสุกรขนาดเล็กที่มีจำนวนสุกร 100-200 ตัว มีค่าของแข็งที่เข้าระบบในปริมาณน้อย จึงทำให้กากตะกอนที่ผลิตได้มีปริมาณน้อยไปด้วย ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริงสามารถเพิ่มของแข็งเข้าในระบบได้เพื่อเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและเพิ่มปริมาณกากตะกอนที่อยู่ในถัง ส่วนการนำกากตะกอนและน้ำสับที่ผลิตได้จากถังต้นแบบนี้ไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินจำเป็นต้องมีการทดสอบการเจริญเติบโตของพืชเปรียบเทียบกับวัสดุที่เป็นการค้า เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินว่ามีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชเพียงใด

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2546. **คู่มือการเลือกใช้และบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรตามแบบมาตรฐานกรมปศุสัตว์**. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ: กรุงเทพฯ. 33 น.
- กรมปศุสัตว์. 2533. **สรุปผลการฝึกอบรมเกษตรกร เรื่องการจัดการน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ประจำปีงบประมาณ 2532-2533**. กรมปศุสัตว์: กรุงเทพฯ. 23 น.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2548. **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม: กรุงเทพฯ. 440 น.
- เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2539. **การบำบัดน้ำเสีย**. มิตรนราการพิมพ์: กรุงเทพฯ. 442 น.
- กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2551. **คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์คึกวิปรินท์ ออฟเซ็ท: กรุงเทพฯ. 49 น.
- จตุพร แก้วอ่อน, ภักดี ชูขาว และ สัมภาส นิดเกตุ. 2548. การผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำทิ้งฟาร์มสุกร และการประยุกต์ใช้ในครัวเรือนในจังหวัดพัทลุง. จาก <http://e-nett.sut.ac.th/download/ECI/ECI05.pdf> [30 พฤศจิกายน 2551].
- ฐปน ชื่นบาล, ศุภธิดา อำทอง และณิชนน ธรรมรักษ์. 2553. **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากมูลสุกรที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศ**. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. **การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ**. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย: กรุงเทพฯ. 703 น.
- ธวัชชัย ศุภดิษฐ์. 2550. **การจัดการอนามัยสิ่งแวดล้อมในภาคปศุสัตว์**. ทิพนตร์การพิมพ์ : กรุงเทพฯ. 779 น.
- นิพนธ์ จันทรโพธิ์. 2526. **การจัดการการเลี้ยงสุกร**. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น: ขอนแก่น. 124 น.
- ปนัดดา เปียผึ้ง. 2553. การศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่ได้จากการนำการตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาหมักร่วมกับเศษหญ้าที่สภาวะต่างๆ โดยผ่านกระบวนการหมักแบบกองแถว เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร. น.412-422. **การประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6** 18 กันยายน 2553. มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ.
- ประพิศ แสงทอง, ภาวนา ลิกขานานนท์ และสุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์. 2544. การปลดปล่อยฟอสฟอรัสในดินจากการใส่กากตะกอนน้ำเสีย. **ว.ดินและปุ๋ย** 23:148-159.

ประพิศ แสงทอง และภาวนา ลิกขนานนท์. 2544. การปลดปล่อยไนโตรเจนในดินจากการใส่ตะกอนน้ำเสีย. ว.ดินและปุ๋ย 23:99-110.

เรืองฤทธิ์ ริมพัฒน์. 2547. การทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์น้ำที่ผลิตจากวัสดุอินทรีย์เหลือใช้จากอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการผลิตผักชนิดต่างๆ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยแม่โจ้: เชียงใหม่.

โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย. 2554. ไบโอดีท พลังงาน จาก 'จีโนม'. จาก http://www.pccl.ac.th/external_newsblog.php?links=1780 [2 เมษายน 2556].

วรารักษ์ หม่อมงาม, อุทัย คันโธ, คณพล จุฑามณี, และรัชชัย มาลา. 2548. ผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นปุ๋ยทางใบมันสำปะหลัง ต่อผลผลิตเปอร์เซ็นต์แป้งของหัวมันสำปะหลัง และต่อคุณค่าทางอาหารของมันเส้น. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43. กรุงเทพฯ.

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี, สมฤทัย ดันเจริญ, ภาวนา ลิกขนานนท์ และสุปราณี มั่นหมาย. 2553. ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยผสมอินทรีย์เคมี ภายใต้สภาพความชื้นสนาม: การทดลองย่อย ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยหมัก. จาก http://www.it.doa.go.th/refs/files/1933_2553.pdf [15 กุมภาพันธ์ 2556].

สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2549. ปัญหามลภาวะในฟาร์มเลี้ยงสัตว์และการบำบัด. จาก <http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/farmpollution03.php#0230> [30 พฤศจิกายน 2551].

ศุภัญญา จตุรพรพงษ์. 2550. การใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์และน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์เป็นปุ๋ยอินทรีย์แบบต่างๆ สำหรับพืชเศรษฐกิจ. สถาบันสุวรรณวาทกสิกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม

สุรพล เชื้อห้อง, สุปราณี งามประสิทธิ์ และประพนธ์ บุญราพรรณ. 2549. ผลของปุ๋ยมูลสุกรและปุ๋ยเคมีที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพ ของข้าวโพดหวาน (พันธุ์อินทรี 2) ในไร่เกษตรกร. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44: กรุงเทพฯ.

สุวิมล ส่วยสม. 2548. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี: UASB. เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ 2(4): 6.

สำนักงานปศุสัตว์จังหวัด. 2550. สถิติจำนวนสุกรในประเทศไทยแสดงรายภาค ปี 2536-2545. จาก <http://www.dld.go.th> [1 มีนาคม 2550].

- สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร. 2555. ข้อดี ข้อด้อย และข้อควรระวังของปุ๋ยอินทรีย์. จาก http://www.agriqua.doe.go.th/pdf_agricultural_data/organic/notice_organic_fertilizer.pdf [1 กุมภาพันธ์ 2556].
- Adave, S.S., D. J.Lee and J.H.Tay. 2008. Aerobic granular sludge: Recent advances. **Biotechnology advances** 26: 411-423.
- Alef, K., A. Kassem, and N. Paolo. 1995. **Estimation of Soil Respiration**. In: Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press: London. P.464-467.
- Arkhipchenko, I.A., Salkinoja-Salonen, M.S., Karyakina, J.N. and Tsitko, I. 2005. Study of three fertilizers produced from farm waste. **Applied Soil Ecology**. 30: 126-132.
- Cayuela, M. L., G. L. Velthof., C. Mondini., T. Sinicco, and J. W. van Groenigen. 2010. Nitrous oxide and carbon dioxide emissions during initial decomposition of animal by-products applied as fertilisers to soils. **Geoderma** 157: 235-242.
- Mekki, A., A. Dhouib, and S. Sayadi. 2009. Evolution of several soil properties following amendment with olive mill wastewater. **Progress in Natural Science** 19(11): 1515-1521.
- Feng, C., S. Shimada, Z. Zhang and T. Maekawa. 2007. A pilot plant two-phase anaerobic digestion system for bioenergy recovery from swine wastes and garbage. **Waste Management** 28 (10): 1827-1834.
- Rao, J. R., Watabe, M., Stewart, T. A., Millar, B. C. and Moore, E. 2010. Pelleted organo-mineral fertilisers from composted pig slurry solids, animal wastes and spent mushroom compost for amenity grasslands. **Waste Management**. 27: 1117-1128.







1.ฟาร์ม นายจำรัส อุ่มนาง
221 ม. 9 ต.หนองแห่ย์ อ.สันทราย
จ.เชียงใหม่ 50290
จำนวนหมู 16 ตัว



2.ฟาร์มนางสุดใจ วันสอน
ม. 9 ต.หนองแห่ย์ อ.สันทราย
จ.เชียงใหม่ 50290
จำนวนหมู 11 ตัว



3.ฟาร์มนายประพันธ์ ขยัน
40/1 ม.9 ต.หนองแห่ย์ อ.สันทราย
จ.เชียงใหม่ 50290
จำนวนหมู 21 ตัว



4.ฟาร์มนางคำใส สันธิ
120 ม.10 ต.หนองแห่ย์ อ.สันทราย
จ.เชียงใหม่ 50290
จำนวนหมู 11 ตัว แม่พันธุ์ 1 ตัว

ภาพภาคผนวกที่ ก.1 แสดงข้อมูลการสำรวจฟาร์มสุกรในพื้นที่ อ. สันทราย สันป่าตอง และแม่วาง
จ. เชียงใหม่



5. ฟาร์ม นางแดง พรหมมินทร์
332/4 ต.หนองจ่อม อ.สันทราย
จ.เชียงใหม่ 50290
จำนวนหมู 250 ตัว แม่พันธุ์ 30 ตัว



6. ฟาร์มนางบัวเขียว ปัญโญ
98 ม.3 ต.คอนเปา อ.แม่ว่าง
จ.เชียงใหม่ 50360
จำนวนหมู 800 ตัว



7. ฟาร์มนางเย็น คำปัน
25 ม.3 ต.คอนเปา อ.แม่ว่าง
จ.เชียงใหม่ 50360
จำนวนหมู 800 ตัว



8. ฟาร์มนายทองอินทร์ คำปัน
83 ม.3 ต.คอนเปา อ.แม่ว่าง
จ.เชียงใหม่ 50360
จำนวนหมู 130 ตัว

ภาพภาคผนวกที่ ก.1 แสดงข้อมูลการสำรวจฟาร์มสุกรในพื้นที่ อ. สันทราย สันป่าตอง และแม่ว่าง
จ. เชียงใหม่ (ต่อ)



9. ฟาร์มนายสมพร ภิวงค์
101/2 ม.3 ต.ดอนเปา อ.แม่วาง
จ.เชียงใหม่ 50360
จำนวนหมู 200 ตัว



10.ฟาร์มนางศรีเพ็ญ ใหม่ใจ
81/1 ม.3 ต.ดอนเปา อ.แม่วาง
จ.เชียงใหม่ 50360
จำนวนหมู 200 ตัว

ภาพภาคผนวกที่ ก.1 แสดงข้อมูลการสำรวจฟาร์มสุกรในพื้นที่ อ. สันทราย สันป่าตอง และแม่วาง
จ. เชียงใหม่ (ต่อ)





ภาคผนวก ข. ตารางผลการวิเคราะห์กากตะกอนและน้ำล้น

ตารางภาคผนวกที่ ข.1 ประสิทธิภาพของถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ

วันที่	น้ำเข้าระบบ (influent)				น้ำทิ้ง (effluent)			
	pH	ซีโอดี	บีโอดี	ของแข็งแขวนลอย	pH	ซีโอดี	บีโอดี	ของแข็งแขวนลอย
1	7	2400	1920	304	7.2	1200	448	87
2	6.9	4800	3840	288	7.2	1180	429	96
3	7	2400	1920	206	7.1	800	415	125
4	6.9	4000	1920	206	6.9	960	213	110
5	6.9	3200	2560	294	7.3	1090	389	76
6	7.1	6400	5120	558	7.4	890	316	59
7	7	4000	3200	170	7.3	740	221	88
8	7	4800	3840	160	7.5	960	261	95
9	7.1	4000	3200	1460	7.3	1150	304	108
10	7	3200	2560	640	7.5	890	309	68
11	6.9	5600	4480	960	7.2	900	283	142
12	7	4800	3840	640	7.1	971	301	105
13	6.8	4600	3290	450	7.4	690	179	114
14	7.2	5100	3360	529	7.5	840	241	98
15	7.1	3760	3140	673	7.4	1000	227	116
16	7.1	3400	2760	498	7.3	1120	263	159
17	7	4200	3800	739	7.5	700	281	173
18	6.9	4500	3500	849	7.2	860	296	93
19	6.7	5100	3850	375	7.5	840	139	104

ตารางภาคผนวกที่ ข.1 ประสิทธิภาพของถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ (ต่อ)

วันที่	น้ำเข้าระบบ (influent)				น้ำทิ้ง (effluent)			
	pH	ซีโอดี	บีโอดี	ของแข็งแขวนลอย	pH	ซีโอดี	บีโอดี	ของแข็งแขวนลอย
20	7.2	3600	2950	440	7.4	790	195	116
21	7.1	6100	4600	617	7.6	840	184	72
22	6.3	3740	2600	593	7.3	800	173	118
23	6.8	3820	3100	630	7.1	900	227	93
24	6.9	4300	3600	887	7	840	148	214
25	7.2	4800	4000	769	7.1	790	281	119
26	7.1	4600	3500	651	7.1	850	284	131
27	7.2	3900	2800	843	7.4	880	247	152
28	7.3	2400	2000	695	7.3	780	232	108
29	7.2	4000	3400	419	7.2	950	196	84
30	6.9	3200	2550	511	7.4	830	227	62
31	7.4	6400	4890	190	7.1	850	231	110
32	7.2	4000	3160	418	7	950	261	76
33	7.1	4800	3820	575	7	1040	272	59
34	7.4	4000	3100	1021	7.2	790	304	88
35	7.5	3200	2670	392	7.1	910	193	95
36	7.3	5600	4680	337	6.9	830	275	108
37	7.3	4800	3980	461	7.3	870	316	68
38	7.5	4600	4100	298	7.4	850	221	142
39	7.5	5100	3890	513	7.3	990	208	105
40	7.3	3760	3000	229	7.5	1050	196	114

ตารางภาคผนวกที่ ข.1 ประสิทธิภาพของถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ (ต่อ)

วันที่	น้ำเข้าระบบ (influent)				น้ำทิ้ง (effluent)			
	pH	ซีโอดี	บีโอดี	ของแข็งแขวนลอย	pH	ซีโอดี	บีโอดี	ของแข็งแขวนลอย
41	7.1	3400	2910	462	7.3	860	309	98
42	7.2	4200	3640	389	7.5	910	227	116
43	6.9	4500	3890	735	7.2	690	301	159
44	6.9	5100	4120	284	7.1	840	179	173
45	7.1	3600	2850	722	7.4	1100	241	105
46	7	6100	4890	675	7.5	1030	305	114
47	7	3740	3109	439	7.4	810	263	98
48	7.1	5000	3990	421	7.3	920	281	116
49	7	4800	3759	322	7.5	990	296	159
50	6.9	5600	4891	351	7.2	790	276	173
51	7	5200	3990	419	7.5	830	195	93
52	6.8	4300	3670	338	7.4	850	281	104
53	7.2	4450	3510	518	7.3	790	296	116
54	7.1	5260	3985	317	7.2	850	331	72
55	7.1	3980	3010	621	7.4	880	195	118
56	7	4600	3810	419	7.1	780	184	129
57	6.9	5200	3960	337	7	950	284	76
58	6.7	6100	4578	592	7	830	227	84
59	7.2	4800	4020	341	7.2	850	148	93
60	7.1	4980	4160	428	7.1	950	281	106
ค่าเฉลี่ย	7.06	4431.5	3520.5	510.3	7.27	894.35	258.1	109.2

ตารางภาคผนวกที่ ข.2 แสดงคุณสมบัติการตกตะกอนและน้ำล้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพฟาร์มสุกร และถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบ

พารามิเตอร์	ฟาร์มบัวเขียว		ฟาร์มเย็น		ฟาร์มแดง		ถังหมักไร้อากาศ	
	ตกตะกอน	น้ำล้น	ตกตะกอน	น้ำล้น	ตกตะกอน	น้ำล้น	ตกตะกอน	น้ำล้น
พีเอช (pH)	7.47	7.41	7.1	7.12	7.03	7.31	6.95	7.36
ค่าการนำไฟฟ้า, EC (ms/cm)	4.06	4.49	3.19	6.12	3.41	4.35	3.86	2.34
ไนโตรเจน, %N	1.61	0.343	1.054	0.265	0.941	0.202	0.912	0.136
ฟอสฟอรัส, %P	0.012	0.008	0.011	0.007	0.011	0.004	0.011	0.006
โพแทสเซียม, %K	0.28	0.3	0.15	0.2	0.09	0.07	0.05	0.09
แคลเซียม, Ca (ppm)	1656	1232	1312	1312	1476	1189	1424	1184
แมกนีเซียม, Mg (ppm)	298.4	184.8	260.8	136	241.9	158.3	204.8	148.8
สังกะสี, Zn (ppm)	69	22	55	35	73	28	75	37
เหล็ก, Fe (ppm)	21.03	20.84	21.04	20.92	21.01	20.41	20.72	20.86
ทองแดง, Cu (ppm)	14	14	20	11.5	14	12.8	14.5	13.5
แมงกานีส, Mn (ppm)	10.22	10.1	10.22	10.15	10.12	10.18	10.11	10.14
อินทรีย์คาร์บอน, %OC	18.68	3.98	12.23	3.08	10.92	2.34	10.58	1.58
อินทรีย์วัตถุ, %OM	32.20	6.85	21.08	5.30	14.04	6.67	18.23	2.72
คาร์บอนต่อไนโตรเจน, C/N ratio	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6

ตารางภาคผนวกที่ ข.3 แสดงผลการทดสอบการงอกของเมล็ดต่อวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้

ชุดการทดลอง	ความยาวรากเฉลี่ย (ซม.)	จำนวนเมล็ดที่งอกเฉลี่ย	%RSG	%RRG	%GI
ชุดควบคุม	61	8	100	100	100
ตะกอนถังหมักไร้อากาศ	50	7	87.5	82.0	72.6
น้ำล้นถังหมักไร้อากาศ	55	7	87.5	90.2	79.3
ตะกอนโรงบำบัดน้ำเสีย	59	6	75	96.7	73.4

ตารางภาคผนวกที่ ข.4 แสดงการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของดิน

สัปดาห์	ชุดควบคุม(มก./ก.ดิน)	ตะกอนถึงหมักไร้อากาศ(มก./ก.ดิน)	ตะกอนน้ำเสีย(มก./ก.ดิน)
0	0	0	0
4	0.01	0.01	0.01
7	0.02	0.03	0.02
10	0.01	0.02	0.01
13	0.01	0.03	0.04
17	0.03	0.05	0.07
21	0.02	0.02	0.01
24	0.03	0.04	0.06
28	0.04	0.04	0.05
31	0.01	0.06	0.03
35	0.02	0.05	0.03
38	0.02	0.045	0.035
42	0.015	0.06	0.045
45	0.02	0.045	0.03
49	0.025	0.045	0.02
52	0.02	0.04	0.02
56	0.02	0.045	0.025

ตารางภาคผนวกที่ ข.5 แสดงการปลดปล่อยไนโตรเจนของกากตะกอน

สัปดาห์	ชุดควบคุม(%N)	กากตะกอนถึงไร่อากาศ (%N)	กากตะกอนน้ำเสีย(%N)
0	1.59	0.3	0.29
1	0.11	0.28	0.25
2	0.1	0.29	0.27
3	0.06	0.12	0.12
4	0.03	0.11	0.13
5	0.03	0.1	0.11
6	0.03	0.06	0.06
7	0.02	0.05	0.07
8	0.04	0.06	0.08

ตารางภาคผนวกที่ ข.6 แสดงการปลดปล่อยแอมโมเนียในโตรเจนของกากตะกอน

สัปดาห์	ชุดควบคุม(มก./ก. ดิน)	กากตะกอนถึงไร่อากาศ(มก./ก. ดิน)	กากตะกอนน้ำเสีย(มก./ก.ดิน)
0	91.17	71.40	216.45
1	120.77	68.90	256.89
2	119.26	178.22	318.24
3	155.4	139.6	331.5
4	137.43	169.49	181.31
5	172.44	210.86	185.25
6	74.94	124.49	133.40
7	54.13	72.96	91.78
8	49.17	60.07	72.96

ตารางภาคผนวกที่ ข.7 แสดงการปลดปล่อยไนโตรเจนในโตรเจนของกากตะกอน

สัปดาห์	ชุดควบคุม(มก./ก. ดิน)	กากตะกอนถึงไร้อากาศ(มก./ก. ดิน)	กากตะกอนน้ำเสีย(มก./ก.ดิน)
0	10.78	15.01	17.907
1	25.513	33.763	56.563
2	24.86	32.167	42.48
3	43.91	88.19	242.31
4	78.06	201.22	296.67
5	78.39	251.24	335.12
6	69.02	154.18	344.04
7	49.73	154.18	344.04
8	28.31	197.47	404.34

ตารางภาคผนวกที่ ข.8 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกปลดปล่อยจากกากตะกอน

สัปดาห์	ชุดควบคุม(มก./ก. ดิน)	กากตะกอนถึงไร้อากาศ(มก./ก. ดิน)	กากตะกอนน้ำเสีย(มก./ก.ดิน)
0	75.12	160.89	179.44
1	68.03	171.12	181.89
2	59.62	158.40	166.85
3	48.65	192.60	214.50
4	33.49	148.62	156.56
5	110.03	143.68	135.14
6	101.78	108.59	163.58
7	100.85	107.82	156.76
8	100.85	106.58	165.75



วิธีวิเคราะห์ COD

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดทดลองชนิด borosilicate ขนาด 25 x 150 มม. พร้อมจุก TFE
2. ที่ใส่หลอดทดลอง
3. เตาอบ (oven) ที่อุณหภูมิ $150 \pm 2^\circ\text{C}$.
4. ปิเปตขนาด 1,10 มล.
5. บิวเรตขนาด 50 มล.
6. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.

สารเคมี

1. สารละลาย digestion reagent
ละลาย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 4.913 กรัมซึ่งอบแห้งที่ 103°C เป็นเวลา 2 ชม. ในน้ำกลั่น 500 มล. เติม conc. H_2SO_4 167 มล. เติม HgSO_4 ลงไป 33.3 กรัม คนให้ละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
2. กรด Sulfuric เข้มข้นที่ผสม AgSO_4 (Sulfuric Acid reagent)
ละลาย AgSO_4 22 กรัมใน Conc. H_2SO_4 ซึ่งมีน้ำหนัก 4.1 กิโลกรัม (2.5 ลิตร) แล้วตั้งทิ้งไว้ 1-2 วันเพื่อให้ละลาย
3. สารละลายมาตรฐาน ferrous ammonium sulfate (FAS) 0.1 N
ละลาย $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 39 กรัมในน้ำกลั่น แล้วเติม conc. H_2SO_4 ลงไป 20 มล. ทำให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นลงไปจนครบปริมาตร 1 ลิตร

สารละลายนี้ต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลาย digestion reagent ดังนี้ คือ เติมน้ำกลั่น 10 มล. สารละลาย digestion reagent 14 มล. จากนั้นใช้ปิเปตค่อย ๆ เติม Sulfuric Acid reagent ลงไป 14 มล. ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลาย Ferrous ammonium sulfate (FAS) โดยใช้ ferroin จำนวน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ

$$\text{Normality of FAS solution} = \frac{\text{ml } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7}{\text{ml } \text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2} \times 0.10$$

4. สารละลาย ferroin อินดิเคเตอร์

ละลาย 1-10 phenantroline monohydrat 1.485 กรัม และ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 695 มก. ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 100 มล.

วิธีการทดลอง

1. ปิเปตตัวอย่างน้ำมา 5 มล. ใส่ลงในหลอดทดลอง แล้วเติม digestion reagent ลงไป 3 มล.
ค่อย ๆ เติม กรด sulfuric เข้มข้นที่ผสม AgSO_4 ลงไป 7 มล. ให้ไหลลงก้นหลอดแก้ว เพื่อให้ชั้นของกรดอยู่ใต้ชั้นของน้ำตัวอย่างและ digestion reagent
หมายเหตุ ภายหลังการเติมกรดซัลฟูริก ให้สังเกตสีของตัวอย่างดังต่อไปนี้
2. ปิดจุกหลอดแก้วให้แน่น แล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลาย ๆ ครั้งอย่างทั่วถึงก่อนจะนำตัวอย่างไปรีฟลักซ์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความร้อนสะสมอยู่ที่ก้นหลอด ซึ่งอาจแตกได้
ในขณะทำการรีฟลักซ์ ให้ทำ blank โดยใช้ น้ำกลั่น แทนน้ำตัวอย่างด้วยวิธีการทดลองเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง ประมาณ 1-2 หลอด
3. นำหลอดแก้วทั้งหมดที่ใส่น้ำตัวอย่างและ Blank วางบนที่ตั้งหลอดทดลอง แล้วเข้าเตาอบที่ทำให้อุณหภูมิสูงถึง $150 \pm 2^\circ\text{C}$ ก่อนหน้านั้นแล้ว เมื่อครบเวลา 2 ชม. ให้นำตัวอย่างออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งเย็น
4. เทตัวอย่างจากหลอดใส่ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วไทเทรตกับสารละลาย FAS จนกระทั่งถึงจุดยุติ จะเห็นการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ อ่านปริมาตรที่ไทเทรตตอนเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแดงทันที

การคำนวณ

$$\text{COD mg/l} = \frac{(a-b) \times N (\text{FAS}) \times 8000}{\text{ml sample}}$$

a = ml ของ FAS ที่ใช้ไทเทรต blank

b = ml ของ FAS ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง

N = normality ของ FAS

วิธีวิเคราะห์ ของแข็งทั้งหมด

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ถ้วยกระเบื้อง (evaporating dish)
2. อ่างไอน้ำ (water bath)
3. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
4. ตู้อบแห้ง (oven)
5. dessicator

วิธีวิเคราะห์

1. นำถ้วยกระเบื้องไปอบในตู้อบที่ อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. นำถ้วยกระเบื้องที่มีน้ำหนักคงที่แล้วจาก dessicator มาชั่ง สมมติให้น้ำหนัก = A กรัม
3. คนตัวอย่างน้ำให้เข้ากันดีแล้วตวงโดยใช้กระบอกตวง 50-100 มล.(ปริมาตรที่ใช้ขึ้นกับ ปริมาณของแข็งในน้ำ) ใส่ในถ้วยกระเบื้องข้อ 1 นำไประเหยบนอ่างไอน้ำจนแห้ง
4. นำถ้วยกระเบื้องที่ระเหยน้ำแห้งแล้วไปใส่ในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 103-105°C เพื่อไล่ ความชื้นนานประมาณ 1 ชม. แล้วนำไปทำให้เย็นใน dessicator
5. เมื่อเย็นแล้วจึงนำมาชั่ง สมมติ = B กรัม

วิธีการคำนวณ

$$\text{TS, mg/l} = \frac{(B-A) \times 10^6}{\text{ปริมาณตัวอย่าง (มล.)}}$$

วิธีวิเคราะห์ อินทรีย์คาร์บอน

อุปกรณ์

1. Erlenmeyer flask ขนาด 250 cm^3 จำนวน 4 ใบ
2. Buret ขนาด 50 cm^3 จำนวน 1 อัน
3. Buret stand จำนวน 1 อัน
4. Volumetric pipet ขนาด 10 cm^3 จำนวน 1 อัน
5. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. สารละลาย $1.0\text{ N K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: เตรียมโดยอบ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ AR grade เพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105°C ไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้น ชั่ง $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ที่อบแล้ว 49.04 กรัม ละลายในน้ำแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 dm^3
2. กรด H_2SO_4 เข้มข้น (ความเข้มข้น 98%)
3. สารละลาย 0.5 N Fe^{2+} : เตรียมโดยละลาย Ammonium ferrous sulfate ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 196.07 กรัม ในน้ำประมาณ 500 cm^3 เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้นลงไป 15 cm^3 คนให้ละลายแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 dm^3
4. สารละลาย $0.025\text{ M Ferroin indicator}$: เตรียมโดยละลาย 1,10-phenanthroline monohydrate 1.485 กรัม ในน้ำประมาณ 50 cm^3 เติมสารละลาย 0.5 N Fe^{2+} ลงไป 2 cm^3 คนให้ละลายหมดแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 cm^3

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งดินตัวอย่างละ $0.5\text{--}2.0$ กรัม (ดินที่มีสีเข้มใช้น้ำหนักน้อย ส่วนดินทราย หรือดินที่มีสีจางให้ใช้น้ำหนักมาก ดินทรายจัดอาจต้องใช้มากถึง 5 กรัม) ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 cm^3
2. เติมสารละลาย $1.0\text{ N K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ลงไปด้วย pipet 10 cm^3 เขย่าให้ดินผสมกับสารละลาย
3. เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้นลงไป 15 cm^3 โดยใช้กระบอบกตวง (ขั้นตอนนี้ให้ทำในตู้ดูดควัน โดยเอียง flask เข้าด้านใน แล้วค่อย ๆ เทกรดใส่ลงไปยังช้า ๆ) นักศึกษาควรสวมแว่นตาและถุงมือขณะทดลอง

4. ทิ้งไว้ในตู้ดูดควันไม่น้อยกว่า 30 นาที ใช้ขวดตักน้ำใส่ดินและสารเคมีที่เกาะอยู่ด้านข้าง flask ลงไปให้หมด และให้สารมีปริมาตรรวมประมาณ 75 cm³ (ดูจากขีดปริมาตรด้านข้าง flask)
5. หยด Ferroin indicator ลงไป 4-6 หยด แล้วนำไปไทเทรตด้วยสารละลาย Fe²⁺ จนสีของสารแขวนลอย เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นน้ำตาลอมแดง (สีของสารแขวนลอยจะเปลี่ยนจากสีส้มของ Cr₂O₇²⁻ เป็นสีเขียวของ Cr³⁺ และเป็นสีน้ำตาลอมแดงของสารประกอบเชิงซ้อน Fe-1,10-phenantroline อย่างไรก็ตามสีของดินอาจทำให้สีที่เห็นต่างไป)
6. ทำ sample blank ตามวิธีเดียวกันจากข้อ 2-5 โดยใช้ flask เปล่าจำนวน 2 ใบ

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินคำนวณได้จากสูตร

$$OM = \left\{ N_c V_c - V_t (V_c N_c) / V_b \right\} \frac{12.01}{40W} \times \frac{100}{77} \%$$

ส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินคำนวณได้จากสูตร

$$Org.C = \left\{ N_c V_c - V_t (V_c N_c) / V_b \right\} \frac{12.01}{40W} \times \frac{100}{77} \times \frac{100}{58} \%$$

เมื่อ N_c = ความเข้มข้นของสารละลาย K₂Cr₂O₇ (N)

V_c = ปริมาตรของสารละลาย K₂Cr₂O₇ (cm³)

V_t = ปริมาตรของสารละลาย Fe²⁺ ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างดินนั้น ๆ (cm³)

V_b = ปริมาตรของสารละลาย Fe²⁺ ที่ใช้ไทเทรต sample blank (cm³)

W = น้ำหนักของตัวอย่างดินที่ใช้ (g)

วิธีวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. pH meter
2. บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. แท่งแก้วคนสาร
4. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งวัสดุปรับปรุงดิน 20 กรัมหรือปุ๋ยอินทรีย์ 4.5 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มล.
2. เติมน้ำกลั่น 20 มล. หรือ 45 มล. (ตามอัตราส่วน)
3. ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 60 นาที
5. นำไปวัด pH ด้วย pH meter

วิธีวิเคราะห์ ค่าการนำไฟฟ้า (EC)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. Conductivity Meter
2. หลอดเหยียงพลาสติกขนาด 25 มิลลิลิตร
3. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งดิน 5 กรัมใส่ในหลอดเหยียงพลาสติก
2. เติมน้ำที่ปราศจากไอออน 25 มิลลิลิตร
3. ปิดฝาและเขย่าด้วยมือ ทิ้งไว้ 30 นาที
4. นำไปวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง Conductivity Meter

วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจน

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- ตู้ดูดควัน (Hood)
- เครื่องย่อยของเคลดาล (Kjeldahl digestion apparatus) หรือเตาย่อยชนิดพิเศษที่มีลักษณะเป็นแท่งโลหะสี่เหลี่ยมมีช่องบรรจุหลอด (Digestion block หรือ heat block)
- เครื่องกลั่นของเคลดาล (Kjeldahl distillation apparatus) หรือเครื่องกลั่นของหลอดแก้ว (Distilling unit)
- หลอดแก้ว Kjeldahl flask ขนาด 800 ml หรือ หลอดแก้ว Digestion tube ขนาด 250 ml
- ขวดแก้วรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 500 ml หรือ 250 ml- บิวเรต (Burette) ขนาด 50 ml
- ปิเปต (Pipette) หรือ กระจกตวง (Cylinder)

สารเคมีและวิธีเตรียม

- กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc H_2SO_4)
- เกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Commercial grade NaOH) อัตราส่วน 1:1 เตรียมจากเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กก. ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ A.R. grade 40 % เตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร
- กรดบอริก (Boric acid) 3 % เตรียมจากกรดบอริก 300 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 ลิตร
- สารสำเร็จรูปอัดเม็ด (Kjel tabs) ประกอบด้วย 3.5 กรัม ของ K_2SO_4 และ 3.5 มก. ของ Se หรือ Mixed catalyst ที่ประกอบด้วย K_2SO_4 , $\text{Cu SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ และ Se ในอัตราส่วน 100:10:1 ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน
- อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator) เตรียมได้จากการละลาย 0.22 กรัม bromocresol green และ 0.075 กรัม methyl red ละลายใน 95% ethyl alcohol จำนวน 96 มล. เติมน้ำ NaOH 0.1 M ปริมาตร 3.5 มล. ผสมเข้าด้วยกัน
- สารละลายกรดเกลือมาตรฐาน 0.1 M เตรียมโดยไทเทรตกับสารละลายด่างที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนโดยสารละลายด่างได้ถูก standardize ด้วย potassium acid phthalate สูตร

โมเลกุล $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ มีความบริสุทธิ์สูงมาก เกือบไม่ดูดความชื้นเลยเป็น primary standard ควรอบให้แห้งด้วยการอบที่ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ใช้ phenolphthalein เป็น indicator หรืออาจเตรียมโดยไทเทรตกับ $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน โดยใช้ methyl red เป็น indicator

วิธีวิเคราะห์

1.1 การย่อยสลาย (digestion)

- ชั่งตัวอย่างที่อบและบดละเอียดแล้ว 0.5-1.00 กรัม (ผ่านการอบที่ $65-70^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) บนกระดาษกรองและห่อใส่ใน Kjeldahl flask ขนาด 800 ml หรือหลอดย่อย digestion tube ขนาด 250 มล. เติมน้ำสารสำเร็จรูปอัดเม็ดจำนวน 2 เม็ด
- เติมน้ำ conc H_2SO_4 20 มล. ลงใน Kjeldahl flask หรือ 15 ml ลงในหลอดแก้ว
- ทำ blank และตัวอย่างอ้างอิง (reference sample) โดยวิธีเดียวกัน
- นำไปย่อยใน Kjeldahl digestion apparatus ใช้อุณหภูมิประมาณ $100^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C} - 400^\circ\text{C}$ หรือ digestion block ใช้อุณหภูมิประมาณ 400°C จนได้สารละลายใสใช้เวลาประมาณ 2 ชม. ทิ้งไว้ให้เย็นเติมน้ำกลั่น 400 มล. หรือถ้าอุปกรณ์ในการย่อยเป็นหลอดแก้วเติมน้ำกลั่น 75 มล. จนได้สารละลายใส

1.2 การกลั่น (distillation)

- เครื่อง Kjeldahl : ใส่สารละลายกรดบอริก 50 มล. ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 500 มล. หยด Mixed indicator 4-5 หยด นำไปวางรองรับ distillate จากเครื่องกลั่นโดยให้ปลายหลอดแก้วจุ่มอยู่ในสารละลายบอริก แล้วเติมน้ำกลั่นเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์ (1:1) จำนวน 50 มล. ลงใน Kjeldahl flask ที่มีสารละลายตัวอย่าง ทำการกลั่น (ประมาณ 1 ชม.) จนได้ปริมาตร 250 มล. แล้วนำไปไทเทรต
- เครื่องกลั่นสำหรับ block : ใส่สารละลายกรดบอริก 25 มล. ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml หยด Mixed indicator 4-5 หยด ในทำนองเดียวกันเติมน้ำกลั่นต่าง (NaOH 40%) ลงในหลอดแก้ว ที่มีสารละลายตัวอย่างปริมาตร 50 มล. จากเครื่องทำการกลั่นจนได้ปริมาตร 150 มล. ใช้เวลาประมาณ 7-10 นาที แล้วนำไปไทเทรต

1.3 การไทเทรต

- ไทเทรตของเหลวที่กลั่นได้ด้วย HCl มาตรฐานความเข้มข้น 0.1 M จนกระทั่งสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากเขียวเป็นสีม่วง (purple) คือจุดยุติ (end point)
- ไทเทรต blank ในทำนองเดียวกัน

การคำนวณ

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

a = มล. ของกรดที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

b = มล. ของกรดที่ใช้ในการไทเทรต blank

c = ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ (molar)

g = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ (กรัม)

ถ้าตัวอย่างเป็นน้ำหมักชีวภาพ วิเคราะห์ในทำนองเดียวกัน แต่จะต้องเขย่า แล้วใช้กระบอกตวงตวงสารตัวอย่างประมาณ 2-5 มล. (ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำหมักชีวภาพนั้น) เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนต่อไป

วิธีวิเคราะห์ ฟอสฟอรัส

เครื่องมือและอุปกรณ์

- UV-Spectrophotometer
- เตาให้ความร้อน (Hot plate)
- เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

สารเคมีและวิธีเตรียม

- น้ำยาที่ทำให้เกิดสี ammonium vanadomolybdate หรือ Barton's reagent ประกอบด้วย น้ำยา A-เตรียมจากการละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate - $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 25 กรัม ในน้ำกลั่น 400 มล.

น้ำยา B-เตรียมจากแอมโมเนียมเมตาวานาเดท (ammonium meta vanadate - NH_4VO_3) 1.25 กรัม ในน้ำกลั่นที่อุ่นให้ร้อน 300 มล. ทิ้งให้เย็นแล้วเติมกรด HNO_3 เข้มข้น ลงไป 250 มล.

นำ A และ B มาผสมกัน ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

- สารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน (Standard Phosphorus หรือ Stock Standard Solution) 50 mg/L เตรียมโดยชั่ง potassium dihydrogen phosphate - KH_2PO_4 ซึ่งผ่านการอบแห้งที่ อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยชั่ง 0.2195 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายซึ่งมีฟอสฟอรัสอยู่ 50 มก./ลิตร หรือจะเตรียมเป็นสารละลาย ฟอสฟอรัส 1000 มก./ลิตร ก็ได้ โดยชั่ง KH_2PO_4 4.393 g ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตร ให้เป็น 1 ลิตร เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เมื่อจะใช้เป็น working standard ก็เตรียม สารละลายฟอสฟอรัส 50 หรือ 100 มก./ลิตร โดยวิธีเจือจางได้ตามต้องการ

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียม working standard – โดยปิเปต 0, 1, 2, 3 และ 4 ml จากสารละลายฟอสฟอรัส มาตรฐาน 50 มก./ลิตร ใส่ใน volumetric flask ขนาด 25 มล. เติมน้ำยา Barton 5 มล. ปรับ ปริมาตรให้เป็น 25 มล. ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน เพื่อเตรียมความเข้มข้นของ P เป็น 0, 2, 4, 6, 8 มก./ลิตร
2. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง – โดยดูดสารละลายตัวอย่าง 5 มล. ที่ผ่านกระบวนการย่อย สลาย (digestion) ลงใน volumetric flask ขนาด 25 มล. เติมน้ำยา Barton 5 มล. ปรับ ปริมาตรให้เป็น 25 มล. ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ให้เกิดสีสมบูรณ์อย่างน้อย 30 นาที

3. ก่อนการวัด อุ่นเครื่อง UV-Spectrophotometer ไว้ประมาณ 30 นาที ตั้งความยาวคลื่น (wavelength) ของเครื่องที่ 420 nm. ทำ standard curve จาก working standard 0, 2, 4, 6, 8 มก./ลิตร ก่อนแล้วจึงวัด blank พร้อมทั้งตัวอย่างอ้างอิงและตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์
4. วัดความเข้มข้นของสีในสารละลายตัวอย่างด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer ความเข้มของสีจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับปริมาณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตัวอย่าง (ตัวอย่าง blank และตัวอย่างอ้างอิงก็ทำในทำนองเดียวกัน)

การคำนวณ

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

r = ค่าที่อ่านได้จากเครื่องหน่วยเป็น ppm

d.f. = dilution factor เช่น 25/5 หรือ 25/1

S = น้ำหนักตัวอย่างที่ชั่ง

ถ้าต้องการผลวิเคราะห์ในรูปของ P₂O₅ ใช้ factor 2.2914 คูณค่า P ที่ได้

วิธีวิเคราะห์โปตัสเซียม

เครื่องมือ/สารเคมีที่ใช้

- Flame photometer
- เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- KCl AR. grade
- conc. HNO₃

วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียม Stock standard solution (1000 ppm K) –ชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ที่ผ่านการอบแห้งที่ 110°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง 1.9067 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 200 มล. เติมกรดไนตริกเข้มข้น (Concentrated nitric acid) ลงไป 12 มล. แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อไว้เตรียม standard solution ที่มีความเข้มข้น 100 ppm K (intermediate solution) โดยการปิเปต 10 มล. จาก stock solution 1000 ppm K ลงใน volumetric flask 100 มล. ปรับปริมาตรเป็น 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น
2. การเตรียม Working standard solution –ประกอบด้วยโพแทสเซียมที่มีความเข้มข้นเป็น 0, 2, 4, 6 และ 8 ppm ซึ่งเตรียมโดย

ความเข้มข้นของ K เป็น ppm	จำนวน มล. ที่ pipette จาก standard K 100 ppm
0	0
2	2
4	4
6	6
8	8

ปรับปริมาตรของสารละลายในขวดวัดปริมาตรเป็น 100 มล. ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน เพื่อเตรียมเป็น standard K ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

3. การวัดค่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมในสารละลายตัวอย่างเปิดเครื่อง Flame photometer ก่อนปฏิบัติงานประมาณ 30 นาที เจือจางสารละลายตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:10 วัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ K ในสารละลายตัวอย่าง ถ้าค่าที่อ่านได้จากสารละลายตัวอย่างมีค่าเกิน standard ต้องเจือจางสารละลายตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น เป็น 1:20 หรือมากกว่านั้นตามความเหมาะสม

การคำนวณ

ปริมาณธาตุโพแทสเซียมในตัวอย่าง (หน่วย ppm)

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

r = ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง หน่วยเป็น ppm

S = น้ำหนักของตัวอย่างที่ชั่ง

d.f. = dilution factor ควรจะเป็น 10/1 หรือ 20/1 หรือมากกว่าถ้าไม่ได้เจือจางสารละลายตัด
ค่า d.f. ออกไป

ถ้าต้องการผลวิเคราะห์ในรูปของ K_2O ใช้ factor 1.205 คูณค่า K ที่ได้

วิธีวิเคราะห์ คาร์บอนไดออกไซด์

อุปกรณ์และสารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์
2. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ 0.25 โมลาร์
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์
4. Phenolphthalein indicator
5. บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
6. ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร
7. บิวเรต
8. Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ปนอยู่มา 1 มิลลิลิตรใส่
ลงใน volumetric flask
2. เติมแบเรียมคลอไรด์ 1 มิลลิลิตร

3. หยดอนด์เคเตอร์ 3 หยด
4. ไตเตรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก จนสีเปลี่ยนจากชมพูเป็นใส

วิธีการคำนวณ

$$\text{CO}_2(\text{mg})/\text{SW}/\text{T} = \frac{(\text{V}_0 - \text{V}) 1.1}{\text{dwt}}$$

V_0 = ปริมาณ HCl ที่ใช้ไตเตรท blank (ml.)

V = ปริมาณ HCl ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง (ml.)

dwt = น้ำหนักแห้งวัสดุ (g)

SW = น้ำหนักดินที่ใช้ (g)

T = เวลา

วิธีวิเคราะห์ แคลเซียมและแมกนีเซียม โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรสโกปี

อุปกรณ์และสารเคมี

1. Atomic absorption spectrophotometer
2. $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
3. สารละลายมาตรฐานแคลเซียมและแมกนีเซียม

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลายสตรอนเซียมคลอไรด์ ($\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ความเข้มข้น 1500 มก./ล. จำนวน 2 ลิตร
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานแคลเซียม ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8, 10 มก./ล. ตามลำดับ และสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม ความเข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4, 5 มก./ล. ตามลำดับ เจือจางสารละลายมาตรฐานทั้งสองด้วย $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1500 มก./ล. ปรับปริมาตรเป็น 100 มล.
3. ปิเปตสารละลายป้อนที่ผ่านการย่อย 1 มล. เจือจางด้วย $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้น 1500 มก./ล. จำนวน 10-30 มล.
4. นำสารละลายที่เตรียมได้ ไปวัดแคลเซียมทั้งหมดและแมกนีเซียมทั้งหมด ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

การคำนวณ

การคำนวณหาปริมาณแคลเซียมในสารละลายตัวอย่างพืชหรือปุ๋ย

$$\%Ca = \frac{(r-b) \times 100 \times d.f \times 100}{10^6 \times s} \quad (\text{พืช})$$

$$\%CaO = \%Ca \times 1.4 \quad (\text{ปุ๋ย, ปูน})$$

r-b = ค่าที่อ่านได้ (มก./ล.) – blank

s = น้ำหนักตัวอย่างพืชหรือปุ๋ยที่ชั่ง (กรัม)

d.f = dilution factor

การคำนวณหาปริมาณแคลเซียมในสารละลายตัวอย่างพืชหรือปุ๋ย

$$\%Mg = \frac{(r-b) \times 100 \times d.f \times 100}{10^6 \times s} \quad (\text{พืช})$$

$$\%MgO = \%Mg \times 1.67 \quad (\text{ปุ๋ย, ปูน})$$

r-b = ค่าที่อ่านได้ (มก./ล.) – blank

s = น้ำหนักตัวอย่างพืชหรือปุ๋ยที่ชั่ง (กรัม)

d.f = dilution factor

วิธีวิเคราะห์ Fe, Mn, Zn, Cu โดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน สเปกโตรสโกปี

อุปกรณ์และสารเคมี

1. Atomic absorption spectrophotometer
2. สารละลายมาตรฐาน Fe, Mn, Zn, Cu

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานดังนี้

Fe ความเข้มข้น 0, 2, 4, 6, 8, 10 มก./ล.

Mn ความเข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4, 5 มก./ล.

Zn ความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 มก./ล.

Cu ความเข้มข้น 0, 1, 2, 3, 4, 5 มก./ล.

เจือจางสารละลายมาตรฐานดังกล่าวด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มล.

2. ปิเปตสารละลายพืชหรือปุ๋ย (ที่ผ่านการย่อยสลาย) 1 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่น 10 มล.
3. นำสารละลายที่ได้ไปวัดปริมาณ Fe / Mn / Zn / Cu ทั้งหมดด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer

การคำนวณ

4. การคำนวณหาปริมาณ Fe / Mn / Zn / Cu ในสารละลายตัวอย่างพืชหรือปุ๋ย

$$\text{Fe / Mn / Zn / Cu} = \frac{(r-b) \times 100 \times d.f}{s} \text{ มก./กก.}$$

r-b = ค่าที่อ่านได้ (มก./ล.) - blank

s = น้ำหนักตัวอย่างพืชหรือปุ๋ยที่ชั่ง (กรัม)

d.f = dilution factor

การวิเคราะห์การย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์ของวัสดุปรับปรุงดิน

อุปกรณ์

- จานเพาะเชื้อ (Petri dish)
- กระดาษกรองเบอร์ 42
- เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- เครื่องเขย่า (Shaker)
- อุปกรณ์เครื่องแก้วที่จำเป็นในห้องปฏิบัติการ
- ผักกาดเขียวทรงเตี้ยที่มีความงอกไม่ต่ำกว่า 95%

วิธีวิเคราะห์

1. สกัดสารละลายปุ๋ยหมัก โดยการชั่งตัวอย่างปุ๋ยหมัก 1 กรัม เติมน้ำกลั่น 10 มล. (อัตราส่วน 1 : 10) เขย่าด้วยเครื่องเขย่านาน 1 ชั่วโมง

2. กรองน้ำสกัดปุ๋ยหมักใส่ในขวดวัดปริมาตร โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 1
3. ตีตารางบนกระดาษกรองจำนวน 10 ช่อง แล้วนำไปวางในงานเพาะเชื้อ
4. วางเมล็ดผักช่องละ 1 เมล็ด รวม 10 เมล็ดต่อหนึ่งงานเพาะ ควรทำอย่างน้อย 3 ซ้ำ
5. ใส่น้ำสกัดปุ๋ยหมักงานละ 5 มล. ส่วนงานดำรับควบคุมใส่น้ำกลั่นงานละ 5 มล.
6. บ่มไว้ในที่มีคนาน 72 ชั่วโมง อุณหภูมิห้อง
7. เก็บรวบรวมข้อมูล ดังต่อไปนี้
 - ค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดที่งอกทั้งหมดต่องาน (หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์)
 - วัดความยาวของรากแต่ละเมล็ดทั้ง 10 เมล็ดต่องาน แล้วหาค่าเฉลี่ย (หน่วยเป็น เซนติเมตร)

- การคำนวณ

$$\text{ดัชนีการงอกของเมล็ด(GI, \%)} = \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ความงอก} \times \text{ความยาวรากดำรับน้ำสกัดปุ๋ยหมัก}}{\text{เปอร์เซ็นต์ความงอก} \times \text{ความยาวรากดำรับควบคุม}} \times 100$$