การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินและน้ำหมักที่ผลิตจากกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต่อการเจริญของข้าวโพด

พนมเทียน ทนคำดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินและน้ำหมักที่ผลิตจาก
กากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม
ต่อการเจริญของข้าวโพด

พนมเทียน ทนคำดี

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล)
วันที่ ๒๒ เดือน ก.ย. พ.ศ. ๒๕๕๙

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิราภรณ์ ชื่นบาล)
วันที่ ๒๒ เดือน กันยายน พ.ศ. ๒๕๕๙

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภธิดา อ่ำทอง)
วันที่ ๒๒ เดือน กันยายน พ.ศ. ๒๕๕๙

ประธานอาจารย์ประจำหลักสูตร .....
(อาจารย์ ดร.มุจลินทร์ ผลจันทร์)
วันที่ ๒๒ เดือน ก.ย. พ.ศ. ๒๕๕๙

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่ ๒๗ ก.ย. ๒๕๕๙

ชื่อเรื่อง การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินและน้ำหมักที่ผลิตจากกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต่อการเจริญของข้าวโพด

ชื่อผู้เขียน นายพนมเทียน ทนคำดี

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตจากกากตะกอนจากถังหมักแบบไร้อากาศฟาร์มสุกรและการใช้น้ำล้นจากถังหมักแบบไร้อากาศฟาร์มสุกรเพื่อนำมาใช้เป็นน้ำหมักทดแทนปุ๋ยเคมีในระบบการเกษตรและเพื่อแก้ปัญหาของเสียจากฟาร์มสุกรซึ่งปรากฏผลการทดลองดังนี้

กากตะกอนและน้ำล้นที่ได้จากระบบถังหมักแบบไร้อากาศฟาร์มสุกรนี้พบว่ามีปริมาณธาตุอาหารต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยในกากตะกอนมีไนโตรเจนร้อยละ 0.912 ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเท่ากับ 110 และ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในน้ำล้นมีค่าไนโตรเจนร้อยละ 0.136 ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมเท่ากับ 60 และ 900 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อนำกากตะกอนและน้ำล้นมาทดสอบการปลดปล่อยคาร์บอนและธาตุอาหารพืชด้วยวิธีการบ่มดินร่วมกับกากตะกอน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย 4 ชุดการทดลองได้แก่ 1) ชุดควบคุม 2) ดินร่วมกับกากตะกอนจากถังหมักแบบไร้อากาศแบบกวนผสม 3) ดินร่วมกับน้ำล้นจากถังหมักแบบไร้อากาศแบบกวนผสม และ 4) ดินร่วมกับปุ๋ยเคมีทางการค้า ทำการบ่มดินในกระป๋องพลาสติกปิดสนิทเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาและมีการวัดการเปลี่ยนแปลงของอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินทุกสัปดาห์ ผลการทดลองพบว่าทุกชุดการทดลองมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 3 และมีการปลดปล่อยสูงสุดในชุดการทดลองที่ผสมกากตะกอนถังหมักแบบไร้อากาศแบบกวนผสม ในขณะที่การย่อยสลายธาตุอาหารและปลดปล่อยออกมาพบว่ากากตะกอนถังหมักแบบไร้อากาศแบบกวนผสม มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินสูงสุด อีกทั้งยังพบว่าการใส่กากตะกอนสามารถเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

การทดลองปรับปรุงกากตะกอนให้เป็นวัสดุปรับปรุงดินที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์โดยการใช้กากตะกอนจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม แกลบดำ หินฟอสเฟต ในอัตราส่วน

69 : 34 : 1 และเติมกากน้ำตาล 100 มิลลิลิตร พบว่าวัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับร้อยละ 2.45, 0.50 และ 0.94 ตามลำดับ ส่วนน้ำล้นสามารถนำมาใช้เป็นน้ำหมักสำหรับพืชได้โดยไม่ต้องทำการปรับปรุงคุณสมบัติ และเมื่อนำมาทดสอบการย่อยสลายที่สมบูรณ์และความเป็นพิษของวัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนและน้ำหมักจากถังหมักแบบไร้อากาศแบบกวนผสม ทดสอบโดยการวัดค่าดัชนีการงอกของเมล็ดผักกวางตุ้งในน้ำสกัดจากวัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนและน้ำหมักจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม พบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกและความยาวของรากของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อพิจารณาค่าดัชนีการงอกของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้มีค่าตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้มีดัชนีการงอกไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการงอกพบว่าวัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนมีค่าดัชนีการงอกสูงที่สุดที่ร้อยละ 83.2 รองลงมาคือน้ำหมักจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (ร้อยละ 79.3) ซึ่งหมายถึงวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้นี้สามารถนำไปใช้โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการเจริญของพืช

ผลการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนและน้ำหมักจากถังหมักแบบไร้อากาศแบบกวนผสมกับวัสดุปรับปรุงดินทางการค้า โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) ชุดควบคุม 2) ใส่วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า 3) ใส่วัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้จากกากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม 4) ใส่น้ำหมักจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม และ 5) ใส่วัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้ร่วมกับน้ำหมักจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม โดยมีข้าวโพดหวานพันธุ์ แม่โจ้ 84F1 เป็นพืชที่ใช้ศึกษาพบว่า ทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในด้านจำนวนใบ ความสูง ความยาวใบ และความยาวราก มีเพียงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดที่พบว่าในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยชุดทดลองที่ใส่น้ำหมักจากถังหมักจากไร้อากาศแบบกวนผสมมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งมากที่สุด (269.54 และ 88.76 กรัมตามลำดับ) รองลงมาคือวัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนร่วมกับน้ำหมักจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารหลักในต้นข้าวโพดทางสถิติแล้วพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยชุดการทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนมีปริมาณธาตุอาหารหลักสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนและโพแทสเซียม ซึ่งต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสที่มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละชุดการทดลอง โดยไนโตรเจนพบมีปริมาณสูงสุดในตำรับที่ใส่น้ำหมักจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมและชุดการทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนร่วมกับน้ำหมักจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (ร้อยละ 0.45) ปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุพบมีปริมาณสูงสุดในชุดการทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า ส่วนปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) มีค่าสูงสุดในชุดการทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินจากกาก

ตะกอนร่วมกับน้ำหมักจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (ร้อยละ 1.59) อีกทั้งยังพบว่าปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุในดินทุกชุดการทดลองมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นด้วย

Title	A Study on the Efficiency Testing of Soil Amendment and Fermented Liquid Production from Sludge and Effluent of Mixed Anaerobic Digester for Corn Growth
Author	Mr. Panomtian Thonkamdee
Degree of	Master of Science in Environmental Technology
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Tapana Cheunbarn

ABSTRACT

The objectives of this research were to investigate the efficiency of sludge and effluent from mixed anaerobic digester to be used as soil amendment instead of chemical fertilizers and to solve waste problem in pig farms. The sludge and the effluent were analyzed to determine the nutrients. Result of the study showed that nutrients were low particularly in sludge which had an equivalent N percentage of 0.912 while P and K were 110 and 500 mg/kg and 0.136%, 60, and 900 mg/kg in effluent water, respectively, and which were found to be lower than the standard levels for organic fertilizer set by the Ministry of Agriculture and Cooperatives.

To determine carbon emission and nutrients of sludge, the Completely Randomized Design (CRD) was used in four (4) distinct sets of the experiment: 1) soil control; 2) soil with piggery anaerobic digester sludge; 3) soil with water effluent from piggery anaerobic digester; and 4) soil mixed with commercial fertilizer, while being incubated in closed separate plastic jars for 8 consecutive weeks. Results also found that highest CO_2 appeared in 3rd week in all treatments, especially in soil mixed with sludge from anaerobic digester. The decomposition and release of nutrients showed that highest N and P found in sludge in pig farm with additional sludge were able to significantly increase organic materials of soil ($P<0.05$).

The experiment to improve sludge and effluent as soil amendment similar to the standard level of organic fertilizers using sludge: black rice ash: rock phosphate ratio 69 : 34 : 1 and mixed with molasses at 100 ml, resulted to percentages of N, P, and K in soil amendment from produced sludge at 2.45, 05 and 0.94, respectively.

Complete digestion and toxicity test of soil amendment and fermented liquid using germination index of Chinese cabbage in soil amendment and fermented liquid extract solution were not statistically different ($P<0.05$). Highest germination index was 83.2% produced in soil amendment and 79.3% in effluent from mixed anaerobic digester, thus suggesting that the produced soil amendment should be suitable for plants.

Regarding the study on the effect of produced soil amendment and fermented liquid in comparison with commercial soil amendment of Maejo 84F1 sweet corn, the Completely Randomized Design (CRD) was similarly used in five (5) distinct sets of experiment: 1) control; 2) commercial soil amendment; 3) produced soil amendment; 4) fermented liquid; and 5) produced soil amendment combined with fermented liquid. Results showed that no statistical difference was found in height, length of leaves and root for all treatments. But fresh and dry weights were significantly different in statistics ($P<0.05$). Highest fresh and dry weights were found in produced fermented liquid treatment (269.54 and 88.76 g., respectively) followed by produced soil amendment mixed with fermented liquid. The comparison of macro nutrients showed that in corn, soil amendment treatment had high macro nutrients, especially N and K but P was similar in each treatment. Highest N was found in fermented liquid treatment and soil amendment mixed with fermented liquid treatment (0.45%) while highest micro nutrient was found in commercial soil amendment. Meanwhile, highest organic matter (OM) was found in produced soil amendment mixed with fermented liquid treatment (1.59%) and both macro and micro nutrients were also found to increase in all treatments.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิราภรณ์ ชื่นบาล และรองศาสตราจารย์ ดร.ศุภธิดา อ่ำทอง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา และให้คำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ตลอดจนช่วยปรับปรุงข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณน้องๆ นักศึกษาสาขาเทคโนโลยีชีวภาพ และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ที่ช่วยเหลือในการปฏิบัติงาน ตลอดจนบันทึกข้อมูลในงานวิจัย กองสวัสดิการ สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต้นสังกัดของข้าพเจ้าที่ช่วยอนุเคราะห์ให้ใช้ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์น้ำและเครื่องมือวิทยาศาสตร์ต่างๆ ขอขอบคุณสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้อนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และคุณแดง พรหมมินทร์ เจ้าของฟาร์มเลี้ยงสุกรที่อนุเคราะห์น้ำเสียและกากตะกอนจากฟาร์มสุกรเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้

สุดท้ายข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยอบรม สั่งสอน เป็นกำลังใจ ตลอดจนสนับสนุนทุนการศึกษาแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

พนมเทียน ทนคำดี

กันยายน 2559

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(8)
สารบัญ	(9)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(13)
สารบัญตารางผนวก	(14)
สารบัญภาพผนวก	(15)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตของการทดลอง	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร	3
ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	3
การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	6
กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	6
การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	7
การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนและน้ำล้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	9
การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากกากตะกอน	11
ประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์	12
ข้อจำกัดของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์	13
ความอุดมสมบูรณ์ของดินสำหรับเพาะปลูกพืช	15
ความสำคัญของธาตุอาหารพืชในวัสดุปรับปรุงดิน	20
หลักการใช้ปุ๋ยในพืช	21
ข้าวโพดหวาน	22
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 29
แนวทางดำเนินการวิจัย 29
อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 30
วิธีการดำเนินการวิจัย 32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 39
ผลการทดลองตอนที่ 1 39
การศึกษาองค์ประกอบของกากตะกอนและน้ำล้นที่ออกจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม 39
การทดสอบการปลดปล่อยธาตุอาหารของกากตะกอน 43
ผลการทดลองตอนที่ 2 53
การปรับปรุงกากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมให้เป็นวัสดุปรับปรุงดินและการใช้น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมเป็นน้ำหมักที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช 53
การวิเคราะห์ค่าดัชนีการงอกของพืชต่อวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้ 57
ผลการทดลองตอนที่ 3 59
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้และน้ำหมักต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเทียบกับวัสดุปรับปรุงดินทางการค้า 59
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 72
สรุปผลการวิจัย 72
ข้อเสนอแนะ 73
บรรณานุกรม 74
ภาคผนวก 81
ภาคผนวก ก ภาพผนวก 82
ภาคผนวก ข ตารางผลการวิเคราะห์ 87
ภาคผนวก ค การคำนวณและการวิเคราะห์ทางเคมี 97
ภาคผนวก จ ประวัติผู้วิจัย 103

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสัตว์ต่าง ๆ ในแต่ละวัน	3
2	ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากฟาร์มสุกร	4
3	มาตรฐานน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร	5
4	ผลการวิเคราะห์กากตะกอนแห้งและน้ำล้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	10
5	ความหนาแน่นรวมของดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย ที่ใส่ปุ๋ยเคมี และที่ใส่ปุ๋ยหมักในการปลูกข้าวเป็นเวลา 11 ปี	12
6	ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกชะล้างจากไนโตรเจนที่มีอยู่แต่เดิมในดินและจากปุ๋ยเคมีที่ใส่แปลงปลูกน้อย	14
7	ปริมาณธาตุโลหะหนักบางชนิดและอาร์เซนิคที่ดินซึ่งใช้ทำการเกษตรในประเทศอังกฤษและเวลส์ได้รับจากปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี	15
8	องค์ประกอบและวิธีการวิเคราะห์องค์ของดิน กากตะกอนและน้ำล้น	32
9	อัตราการใช้วัสดุปรับปรุงดินที่ใส่ในแต่ละครั้ง	38
10	ลักษณะทางกายภาพ ค่า pH และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม	40
11	ปริมาณธาตุอาหารหลักของกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม	41
12	ปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุในกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม	42
13	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรียวัตถุและค่า C/N ในกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม	42
14	คุณสมบัติเบื้องต้นของดินและกากตะกอน (น้ำหนักแห้ง)	44
15	การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินเมื่อผ่านการใส่วัสดุปรับปรุงดิน	47
16	ปริมาณธาตุอาหารพืชจากการวิเคราะห์ในแกลบดำ หินฟอสเฟตและกากน้ำตาล	54
17	อัตราส่วนผสมของกากตะกอน แกลบดำ หินฟอสเฟตและกากน้ำตาลจากการคำนวณ	54
18	ปริมาณธาตุอาหารพืชจากการวิเคราะห์วัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้	55

ตารางที่		หน้า
19	การงอกของเมล็ดผักกวางตุ้งเมื่อเพาะในน้ำสกัดจากกากตะกอนน้ำหมักจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม และวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้	58
20	อัตราการใส่วัสดุปรับปรุงดินในแต่ละครั้ง	59
21	ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อความสูงของข้าวโพด	60
22	ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อจำนวนใบของข้าวโพด	62
23	ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อความยาวใบของข้าวโพด	63
24	ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพด	65
25	แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในต้นข้าวโพด	66
26	แสดงปริมาณจุลธาตุในต้นข้าวโพด	67
27	แสดงคุณสมบัติของดินและปริมาณธาตุอาหารหลักในดินหลังปลูกต้นข้าวโพด	68
28	แสดงปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุในดินหลังปลูกต้นข้าวโพด	69

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน	7
2	ส่วนประกอบของระบบผลิตก๊าซชีวภาพฟาร์มสุกร	8
3	ข้าวโพดหวาน 2 สี พันธุ์ แม่โจ้ 84F1	23
4	สรุปขั้นตอนต่างๆในวิธีดำเนินการวิจัย	29
5	ถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม	39
6	ลักษณะของกากตะกอน (ก) และน้ำล้น (ข) จากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม	40
7	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากกากตะกอน (ก) 24 ชั่วโมงแรก และ (ข) ตลอดการทดลอง	45
8	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรียวัตถุในดินหลังใส่กากตะกอน	47
9	การปลดปล่อยไนโตรเจนจากกากตะกอนในรูปแอมโมเนีย ไนโตรเจน	49
10	การปลดปล่อยไนโตรเจนจากกากตะกอนในรูปไนเตรท ไนโตรเจน	50
11	การปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากกากตะกอน	52
12	ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อความยาวใบของข้าวโพด	61
13	ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อจำนวนใบของข้าวโพด	63
14	ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อความยาวใบของข้าวโพด	64

สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวกที่		หน้า
1	การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในการบ่มดินร่วมกับกากตะกอน	88
2	แสดงการปริมาณอินทรียวัตถุในการบ่มดินร่วมกับกากตะกอน	89
3	แสดงการปลดปล่อยแอมโมเนียไนโตรเจนในการบ่มดินร่วมกับกากตะกอน	89
4	แสดงการปลดปล่อยไนเตรทไนโตรเจนในการบ่มดินร่วมกับกากตะกอน	90
5	แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกปลดปล่อยในการบ่มดินร่วมกับกากตะกอน	90
6	ผลของวัสดุปรับปรุงดินและน้ำหมักต่อการเจริญของต้นข้าวโพด	91
7	ปริมาณธาตุอาหารหลักในต้นข้าวโพด	92
8	ปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุในต้นข้าวโพด	93
9	คุณสมบัติและปริมาณธาตุอาหารหลักในดินหลังปลูกต้นข้าวโพด	94
10	ปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุในดินหลังปลูกต้นข้าวโพด	95

สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวกที่		หน้า
1	ลักษณะน้ำเสียมูลสุกร ฟาร์มสุกรมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่	83
2	แสดงลักษณะถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม	83
3	การทดลองการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์โดยวิธีบ่มดิน	84
4	การทดลองการย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารของกากตะกอนโดยวิธีการบ่มดิน	84
5	แสดงตารางสามเหลี่ยมสำหรับใช้พิจารณาประเภทเนื้อดิน	84
6	การทดลองวิเคราะห์ค่าดัชนีการงอกของกากตะกอนและน้ำหมัก	85
7	การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินและน้ำหมักต่อการเจริญของข้าวโพด	86

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญของปัญหา

มูลสุกรมักจะเป็นปัญหาต่อเจ้าของฟาร์มและชุมชน เนื่องจากมีกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ วิธีกำจัดที่ได้ผลที่ดีและได้รับการยอมรับว่าสามารถแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้ดีวิธีหนึ่ง คือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศซึ่งได้ผลพลอยได้เป็นก๊าซชีวภาพ อย่างไรก็ตามพบว่าในระบบไร้อากาศนี้ยังมีของเหลือทิ้งที่ผ่านขบวนการหมักมาแล้วได้แก่ กากตะกอนและน้ำล้น ซึ่งของเหลือทิ้งเหล่านี้มีปริมาณเป็นจำนวนมากและเมื่อทิ้งสู่สภาพแวดล้อมก็อาจก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบนิเวศและสภาพแวดล้อมโดยรอบได้ เนื่องจากมีปริมาณของสารอนินทรีย์ต่างๆหลงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในส่วนของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม เป็นต้น ซึ่งธาตุส่วนใหญ่เหล่านี้พบว่าเป็นธาตุที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงสมควรนำกากตะกอนและน้ำทิ้งเหล่านี้มาพัฒนาให้เกิดประโยชน์สูงที่สุด

การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรด้วยถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม เป็นเทคโนโลยีที่คิดค้นเพื่อแก้ไขและจัดการกับปัญหามูลสุกรในฟาร์มขนาดเล็ก ซึ่งระบบถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมสามารถลดต้นทุนด้านพลังงานและมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ได้ดี โดยในระบบไร้อากาศนั้นพบว่าจุลินทรีย์ในระบบจะมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายหรือแปรสภาพสารอินทรีย์ที่มีอยู่มากในมูลสุกรในสภาพที่ไร้อากาศให้กลายเป็นอินทรียวัตถุที่คงรูป และเป็นประโยชน์ต่อพืช แต่อย่างไรก็ตามในแต่ละระบบของการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศนั้นก็จะมีปริมาณและองค์ประกอบของเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นทั้งในรูปแบบของกากตะกอนและน้ำล้นที่แตกต่างกัน อีกทั้งไม่ได้รับความสนใจและนำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มที่ ซึ่งนับได้ว่าเป็นการสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ โดยการผลิตวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยน้ำหมักจากกากตะกอนและน้ำล้นนี้ ได้ถูกคิดค้นเพื่อแก้ไขและจัดการกับกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมและสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรขนาดเล็กมีรายได้เพิ่มจากการขายวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยน้ำหมักเหล่านี้ หรือสามารถนำไปใช้สำหรับเพาะปลูกเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้ปุ๋ยและสารเคมีในการเกษตรของตนเองลงได้

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการนำเอาของเหลือทิ้งดังกล่าวเหล่านี้มาพัฒนาและนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยใช้กากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมนำมาปรับปรุงให้เป็นวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยน้ำหมักที่เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรกรเจ้าของฟาร์มจากสุกรสามารถจัดการกับกากตะกอนที่เหลือทิ้งและน้ำล้นจากระบบการหมักระบบไร้อากาศ

ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้ผลผลิตเป็นวัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยน้ำหมักไว้ใช้ประโยชน์อีกด้วย ซึ่งนับได้ว่าเป็นการแก้ไขปัญหาของเสียจากฟาร์มสุกรที่ครบวงจรอย่างแท้จริง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติของกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมเพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินและน้ำหมักที่เหมาะสมต่อการเจริญของพืช
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้และน้ำหมัก ต่อการเจริญเติบโตของพืชเทียบกับวัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

ขอบเขตของการทดลอง

1. กากตะกอนและน้ำล้นที่นำมาพัฒนาและผลิตเป็นวัสดุปรับปรุงดินและน้ำหมักนั้นเป็นของเหลือทิ้งที่ได้มาจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม ที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับฟาร์มสุกรขนาดเล็ก
2. ในการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินและน้ำหมักที่ผลิตได้ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้นทำการทดสอบกับข้าวโพดหวาน แม่โจ้ 84F1

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วัสดุปรับปรุงดินและน้ำหมักที่ผลิตจากกากตะกอนและน้ำล้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ
2. ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีในระบบการเกษตรได้
3. เพื่อช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อนและลดปริมาณของเสียจากการเลี้ยงสุกรในแต่ละวันได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

ลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ในฟาร์มสุกรของเสียเกิดขึ้นในรูปแบบต่าง ๆ คือ เศษอาหาร มูล ปัสสาวะ น้ำล้างคอกก๊าซต่าง ๆ และสารระเหยที่มีกลิ่นจากการสลายตัวของมูลและปัสสาวะที่ขับถ่ายแล้ว ปริมาณของสิ่งขับถ่ายและลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นในฟาร์มแต่ละวัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดของฟาร์มหรือจำนวนสัตว์ยืนคอก ลักษณะอาหารและวิธีการให้อาหาร ขนาด ชนิดของสัตว์และประเภทสัตว์ที่เลี้ยง ลักษณะโรงเรือนและระบบการจัดการของเสีย วิธีการทำความสะอาดคอกและปริมาณน้ำที่ใช้ล้างหรือทำความสะอาด โดยปริมาณสิ่งขับถ่ายของสุกรในแต่ละวันจะแตกต่างกันตามขนาดของสุกรด้วย เช่น แม่สุกรกับสุกรขุนที่มีน้ำหนักเท่ากัน คือ 90 – 120 กิโลกรัม จะขับถ่ายของเสียเท่ากับ 4 และ 12 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 1) และเมื่อเปรียบเทียบกับการขับถ่ายของสัตว์ชนิดอื่นปรากฏว่าสุกรขับถ่ายมากกว่าม้าและโค กระบือถึงสองเท่า (เมื่อคิดต่อหน่วยน้ำหนัก) (นิพนธ์, 2526) ขณะที่ กรมปศุสัตว์ (2533) รายงานว่า ส่วนประกอบทางเคมีและปริมาณมวลสุกรที่ขับถ่ายออกมาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อายุ น้ำหนักตัว พันธุ์ อาหาร ปริมาณน้ำที่กิน ความสามารถในการย่อยอาหาร สิ่งแวดล้อมและการจัดการเกี่ยวกับของเสีย ซึ่งลักษณะน้ำเสียของฟาร์มสุกรโดยทั่วไป แสดงไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ปริมาณสิ่งขับถ่ายของสุกรในแต่ละวัน

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)

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
ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น	400 – 800 มิลลิกรัมต่อลิตร
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	8 – 17 มิลลิกรัมต่อลิตร
ความเป็นกรดด่างหรือค่าพีเอช	6 - 8

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (อ้างโดย ฐปน และคณะ, 2556)

1. ปัญหาที่เกิดจากสิ่งขับถ่ายและน้ำเสียจากสัตว์

ปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้นในฟาร์มเลี้ยงสุกรมีผลกระทบต่อสุขภาพคน สัตว์เลี้ยง และสิ่งแวดล้อม (เจนศักดิ์, 2545) ปัญหาที่สำคัญได้แก่

1. ปัญหากลิ่นเหม็นจากมูลสัตว์ โดยสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นได้แก่ สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds) สารระเหยที่มีคาร์บอน ไนโตรเจน และ ซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น ก๊าซมีเทน แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเฉพาะก๊าซแอมโมเนียซึ่งส่วนมากเกิดจากมูลสด ระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยต่อมนุษย์อยู่ในช่วง 2-10 พีพีเอ็ม ส่วนสุกรจะสามารถทนต่อก๊าซนี้ได้ 50 พีพีเอ็ม

2. ปัญหาการเกิดโรคจากมูลสัตว์ มูลสัตว์ในฟาร์มนอกจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ยังเป็นแหล่งของหนอน แมลงวัน และยุง ซึ่งเป็นแหล่งนำเชื้อโรคมาสู่คนหรือสัตว์เลี้ยงอื่นๆได้เช่น โรคท้องร่วง ที่มีแมลงวันที่เกิดขึ้นในฟาร์มเป็นพาหะนำโรคมาสู่คน อีกทั้งแมลงวันยังสร้างความรำคาญให้แก่สุกรที่เลี้ยงอีกด้วย (สุภัทร, 2531 อ้างโดย เจนศักดิ์, 2545)

3. ปัญหาสิ่งแวดล้อมในฟาร์มและบริเวณใกล้เคียง ของเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มเลี้ยงสุกร โดยเฉพาะมูล เหลว ปัสสาวะ รวมทั้งน้ำล้างคอก ถ้ามีวิธีการจัดการไม่เหมาะสมของเสียเหล่านี้จะไหลลงสู่แม่น้ำลำคลองที่อยู่ใกล้ฟาร์ม ทำให้เกิดการปนเปื้อนจากสิ่งขับถ่ายรวมไปถึงแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตามธรรมชาติถูกทำลายเนื่องจากน้ำเน่าเสีย โดยความรุนแรงของปัญหานี้จะเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝน เนื่องจากของเสียที่เกิดจากสัตว์จะถูกชะล้างลงสู่แม่น้ำลำธารได้ และถ้ามีปริมาณมากเกินไปอาจทำ

ความเสียหายแก่พื้นที่เพาะปลูกที่อยู่รอบๆ นอกจากนี้ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากมูลสัตว์ที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้เกิดจากเจริญเติบโตและแพร่กระจายของพืชน้ำอย่างรวดเร็วส่งผลให้คุณภาพน้ำด้อยลง โดยกรมควบคุมมลพิษได้มีมาตรการควบคุมการปล่อยน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพื่อให้มีการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดีก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งมาตรฐานน้ำทิ้งมีค่ากำหนดตามตารางที่ 3

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

หมายเหตุ ประเภท ก ฟาร์มขนาดใหญ่ (ฟาร์มที่มีจำนวนสุกรตั้งแต่ 5,000 ตัวขึ้นไป)
ประเภท ข ฟาร์มขนาดกลาง (ฟาร์มที่มีจำนวนสุกรในช่วง 500 – 5,000 ตัว)

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (อ้างโดย ฐปน และคณะ, 2556)

เนื่องจากน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจะมีความเข้มข้นสูงมาก ทั้งในรูปของบีโอดีและธาตุอาหาร (ธงชัย, 2544) ซึ่งเมื่อปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำจะทำให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน จากการมีธาตุอาหารไนโตรเจน และ/หรือ ฟอสฟอรัสมากเกินไป ในแหล่งน้ำปิดในประเทศไทยพบปัญหายูโทรฟิเคชัน หรือสาหร่ายสะพรั่งที่เรียกกันว่า ขี้ปลาวาฬในหลายพื้นที่ เช่น ศรีราชา ชะอำ หัวหิน กว๊านพะเยา บึงแก่นนคร เป็นต้น โดยในปี พ.ศ. 2543 เกิดปัญหาแพลงตอนพืชสะพรั่งขึ้นที่บริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ เป็นบริเวณกว้างกว่า 3 กิโลเมตร ตามชายฝั่งทะเลปากแม่น้ำ โดยปรกติเมื่อของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ที่มีสารอินทรีย์ในระดับสูงไหลลงแหล่งน้ำ จะมีกลไกทางธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์เกิดขึ้น คือ จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในน้ำ เพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียมากขึ้น ทำให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำถูกใช้ในการย่อยสลาย และสารเคมีเชิงซ้อนที่เป็นส่วนประกอบอยู่ จะถูกเปลี่ยนเป็นสารออกไซด์เชิงเดี่ยวจำพวก CO_2, NO, SO_4, PO_4^+ และสาร

อื่นๆ ออกซิเจนจึงน้อยลงตามลำดับจนหมด ส่งผลให้ปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ ขาดออกซิเจนที่จำเป็นต่อชีวิตและตายในที่สุด ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ต่ำจะส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันต่ำและเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันสูงขึ้น (Adave et al., 2008) การปนเปื้อนของไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียมอิสระหรือแอมโมเนียมไอออน (NH_3/NH_4^+) ก็เพิ่มการใช้ออกซิเจนโดยไนตริฟายอิงแบคทีเรียเพื่อเปลี่ยน NH_3/NH_4^+ เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) ในขบวนการไน-ตริฟิเคชัน ส่วน Blue-green algae ที่ได้รับไนโตรเจนสูงในน้ำที่ไหลช้าสามารถเป็นพิษต่อผู้ใช้น้ำได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)

การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกร

ระบบบำบัดน้ำเสียมีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนกับระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน การบำบัดแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอาหารและสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูงที่มีของแข็งอยู่ด้วย และระหว่างการบำบัดก็จะผลิตก๊าซมีเทนขึ้นโดยไม่ต้องใช้พลังงาน (Feng et al., 2007) และผลิตก๊าซไฮโดรเจนด้วย เช่น น้ำเสียจากฟาร์มสุกรแต่ปัจจุบันมีการพัฒนารูปแบบของถังปฏิกิริยาขึ้นมาเรื่อยๆจนสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีค่า BOD ต่ำๆ เช่นน้ำเสียจากชุมชน (เกรียงศักดิ์, 2539) เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนเป็นระบบที่ไม่ต้องมีการเติมอากาศ จึงทำให้ประหยัดพลังงานและยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปของพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนได้อีกด้วย (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) ประมาณร้อยละ1 - 2 (จตุพร และคณะ, 2548)

กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

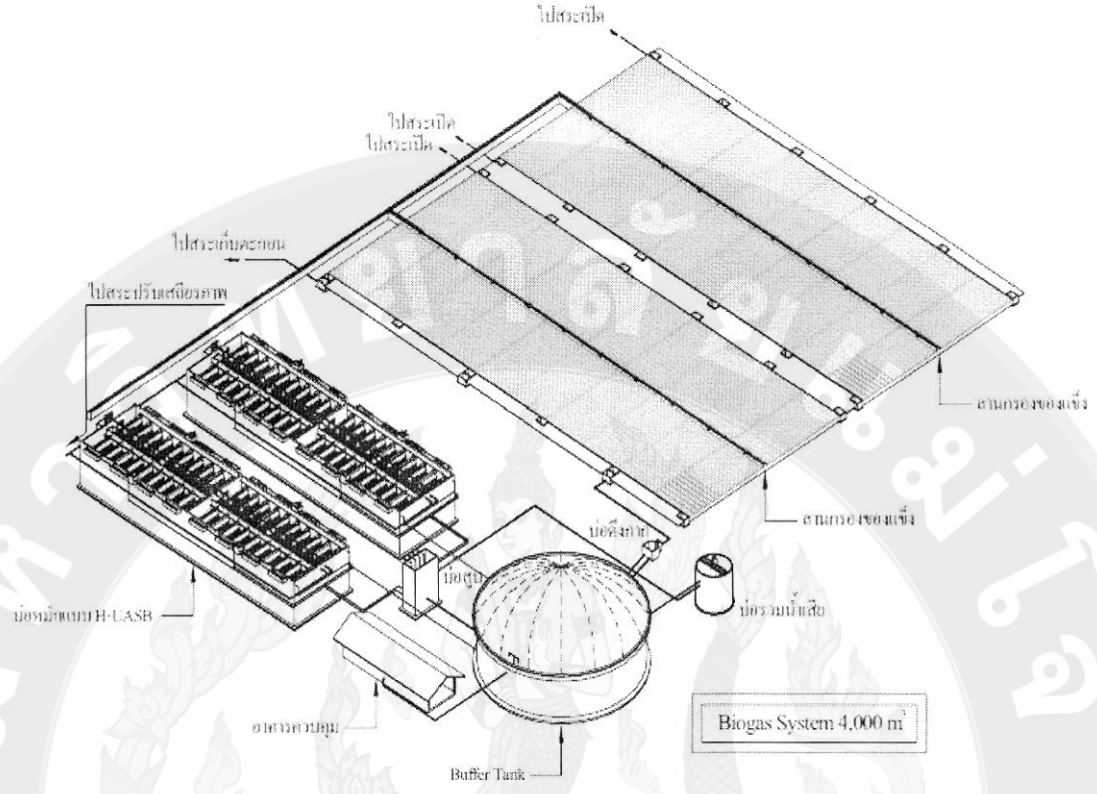
กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) (ภาพที่ 1) เป็นกระบวนการที่ถูกนำมาใช้ในการบำบัดของเสียที่มีสารอาหารและสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูงที่มีของแข็งอยู่ด้วย และระหว่างการบำบัดก็จะผลิตก๊าซมีเทนขึ้นโดยไม่ต้องใช้พลังงาน ซึ่งองค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ คือ มีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไฮโดรเจน และแก๊สอื่น ๆ เช่น ไนโตรเจน (N_2) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

ภาพที่ 1 กระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ที่มา: คลินิกเทคโนโลยี (2554)

การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพฟาร์มสุกร (ภาพที่ 2) ประกอบด้วยส่วนต่างๆที่ทำงานสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี โดย สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2549) ได้จำแนกและอธิบายขั้นตอนการทำงานของระบบเป็น 3 ขั้นตอนหลักดังนี้



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของระบบผลิตก๊าซชีวภาพฟาร์มสุกร

ที่มา: สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2549)

1. ขั้นตอนที่ 1 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อหมักแบบราง (Channel Digester)

ในขั้นตอนนี้ บ่อหมักแบบรางยังทำหน้าที่ในการแยกของเสียส่วนข้นและส่วนใสออกจากกันด้วย ของเสียส่วนข้นจะถูกหมักย่อยในบ่อหมักแบบรางนี้ประมาณ 30–40 วัน จนอยู่ในสภาวะที่เสถียร (stabilized) และผ่านเข้าสู่ลานกรองของแข็ง (Slow Sand Bed Filter : SSBF) โดยที่ลานกรองนี้จะต่อเชื่อมกับบ่อหมักแบบราง และรับกากของเสียส่วนข้นที่ผ่านการหมักย่อยแล้วจากบ่อหมักแบบราง กากของเสียที่ได้จากลานกรองของแข็งนี้ สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งเป็นที่ต้องการของพื้นที่เพาะปลูกมาก รวมทั้งใช้ในการปลูกหญ้าในกิจการสนามกอล์ฟด้วย สำหรับของเสียส่วนใสซึ่งมีปริมาณ 80–90% ของของเสียทั้งหมด จะไหลผ่านไปยังบ่อหมักแบบ UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor) เพื่อบำบัดในขั้นตอนที่ 2 ต่อไป

2. ขั้นตอนที่ 2 การบำบัดและย่อยสลายเกิดขึ้นในบ่อหมักแบบ UASB

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

3. ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนของการบำบัดขั้นหลัง (Post Treatment)

เป็นการบำบัดที่ออกแบบระบบให้มีการทำงานที่เลียนแบบธรรมชาติโดยอาศัยการทำงานของพืช สาหร่าย สัตว์น้ำ เล็กๆ และแบคทีเรียซึ่งเกิดตามธรรมชาติทำงานสัมพันธ์กันเพื่อบำบัดน้ำที่ได้ผ่านการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมาแล้วในขั้นต้นให้สะอาดมากยิ่งขึ้น จนถึงขั้นที่สามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ทำความสะอาดคอกและ/หรือ ปล่อยออกสู่ภายนอกได้ในที่สุด การบำบัดขั้นหลังจะประกอบไปด้วยสระพักแบบเปิดที่รับน้ำเสียจากการบำบัดขั้นตอนที่ 2 แล้วปล่อยเข้าสู่ชุดบึงพืชน้ำซึ่งปลูกพืชบางชนิดไว้ให้ช่วยในการบำบัดน้ำเสียทั้งโดยทางตรงและทางอ้อมซึ่งจะทำงานสัมพันธ์กันกับกลุ่มของแบคทีเรีย และในส่วนสุดท้ายของชุดบึงพืชน้ำจะเป็นสระเลี้ยงปลา เพื่อใช้ประกอบในการสังเกตคุณภาพน้ำที่ได้ต่อสิ่งมีชีวิต น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วนี้จะมีค่า COD สุดท้ายที่คาดไว้ไม่เกิน 200-400 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่า BOD น้อยกว่า 60 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษยอมรับได้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดครบทั้งสามขั้นตอนแล้ว สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ภายในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ได้ เช่น ใช้สำหรับล้างทำความสะอาดคอกสัตว์ และ/หรือสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติในสิ่งแวดล้อมภายนอกได้อย่างปลอดภัย

การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนและน้ำล้นจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

นอกจากก๊าซชีวภาพแล้ว น้ำเสียที่ไหลออกจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพยังสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยน้ำรดทางดิน หรือฉีดพ่นทางใบได้ และกากตะกอนที่ออกจากระบบยังสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ (สุกัญญา, 2550) จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและจุลธาตุในน้ำที่ผ่านการบำบัดและกากตะกอน พบว่ากากตะกอนมีปริมาณธาตุอาหารมากกว่าในน้ำล้น (ตารางที่ 4) ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินมากกว่า โดยการนำมูลสุกรที่ผ่านระบบบำบัดผลิตก๊าซชีวภาพแล้วมาทำการตากแห้ง ซึ่งผลการทดลองของ ฐปน และคณะ (2553) พบว่ามูลสุกรแห้งมีธาตุ

อาหารที่เป็นที่ต้องการของพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม มีปริมาณเท่ากับ 1.84, 0.70, 0.21, 7.31, 1.23 (%) ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 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	ไม่วิเคราะห์
P (%)	0.20	0.70
K (%)	ไม่มี	0.21
Ca (%)	0.33	7.31
Mg (%)	0.08	1.23
Zn (%)	0.01	0.07
Cu (%)	0.001	0.15
Mn (%)	ไม่วิเคราะห์	0.1
Fe (%)	ไม่วิเคราะห์	0.4
% C	ไม่วิเคราะห์	19.51
% C/N	ไม่วิเคราะห์	10.60

ที่มา: ฐปน และคณะ (2553)

สำหรับจุลธาตุนั้นพบว่ามีปริมาณ 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 ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าของมูลสุกรยังมีค่าไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมพัฒนาที่ดิน ถ้ามีการนำไปใช้โดยไม่มีการปรับค่าเหล่านี้ให้มีความเหมาะสมอาจจะทำให้พืชตายหรือชงักการเจริญเติบโตได้

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากกากตะกอน

ปุ๋ยอินทรีย์ คือสารประกอบที่ได้จากสิ่งที่มีชีวิตได้แก่ พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ที่ผ่านกระบวนการทำให้ชื้น สับ บด หมัก ร่อน หรือวิธีการอื่นๆที่ไม่ใช้เคมี (นรีลักษณ์, ม.ป.ป.) มีแร่ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์และจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช โดยปุ๋ยอินทรีย์ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ส่วนที่ได้มาจากพืช และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ซากพืช ซากต้นไม้ ซากใบไม้ ฟางข้าว หญ้า
2. ส่วนที่ได้มาจากสัตว์ เช่น ปุ๋ยคอก มูลโค มูลกระบือ มูลค้างคาว มูลเป็ด มูลไก่
3. ส่วนที่มาจากแร่ธาตุธรรมชาติ เช่น แร่โดโลไมต์ แร่ฟอสเฟต แร่เพอร์ไลท์ แร่ซิลิกอน
4. ส่วนที่ได้จากของเหลือ และวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม เช่น เศษอาหาร ขยะมูลฝอย ของเสียจากขบวนการผลิต กากน้ำตาล กากผงชูรส กากโรงงานสุรา กากของเสียต่าง ๆ

วิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เริ่มโดยนำส่วนผสมที่เป็นวัสดุอินทรีย์มาย่อย บด สับ ให้มีขนาดเล็กลง มีการเพิ่มความชื้นและเติมสารจุลอินทรีย์ที่เหมาะสม ผ่านขบวนการบ่มหมักย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นธาตุอาหาร หรือแร่ธาตุที่พืชต้องการ แล้วนำมาย่อยด้วยการบดให้เป็นผง แล้วใช้ตะแกรงร่อนเพื่อคัดขนาดผง จะได้เป็น ปุ๋ยอินทรีย์ผง ในกรณีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เม็ด นำปุ๋ยอินทรีย์ผงที่ได้จากขั้นแรกเข้าจานปั้น เติมสารจุลอินทรีย์เหลว เพื่อปั้นให้เป็นเม็ด คัดแยกขนาดเม็ดที่ต้องการ นำมาผ่านท่ออบร้อน และท่ออบแห้ง เพื่อปรับความชื้น และความแข็งของเม็ดปุ๋ยให้เหมาะสม

ในกรณีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ใช้กรรมวิธีการผลิตเหมือนกัน เพียงแต่วัตถุดิบส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเหลว นำส่วนผสมต่าง ๆ มาย่อย บด สับ ให้มีขนาดเล็กลง เติมสารจุลอินทรีย์ที่เหมาะสม ผ่านขบวนการบ่มหมักย่อยสลายในระยะเวลาหนึ่ง จนสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ถูกดึงออกมา สารเหล่านี้ประกอบไปด้วยธาตุอาหารพืช กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ และฮอร์โมน พืชต่าง ๆ ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ปุ๋ยน้ำหมักจากเศษพืช จึงแตกต่างจากผลไม้ แตกต่างจากเศษสัตว์ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548) แล้วจึงนำมาคัดกรองแยกกากออก จะได้เป็น ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ที่มีความเข้มข้นสูง เวลาใช้ต้องนำไปเจือจางด้วยน้ำให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้

ประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์

1. ปุ๋ยอินทรีย์ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพได้มากกว่าปุ๋ยเคมี

สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร (2557) ได้กล่าวถึงข้อดีของปุ๋ยอินทรีย์ไว้ว่า ปุ๋ยอินทรีย์มีประสิทธิภาพสูงในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ ซึ่งรวมถึงความโปร่ง ความร่วนซุยการอุ้มน้ำ และการถ่ายเทอากาศของดินได้มากกว่าปุ๋ยเคมี ข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 5 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของดินหลังใส่ปุ๋ยอินทรีย์เมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี ที่พบว่าการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก) จะทำให้ดินมีความหนาแน่นลดลง (ความแน่นทึบของดินลดลง) มากกว่าการใส่ปุ๋ยเคมี

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: สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร (2557, ระบบออนไลน์)

2. ปุ๋ยอินทรีย์สามารถปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดินได้ดีกว่าปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยอินทรีย์มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก และคาร์บอนเป็นธาตุที่จุลินทรีย์ต้องการมากที่สุดดังนั้นการใส่ปุ๋ยอินทรีย์จึงช่วยให้จุลินทรีย์ในดินเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนมากขึ้นรวมจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืช เช่น แบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนอย่างอิสระ เชื้อราที่ช่วยละลายฟอสเฟต เชื้อราที่ชะงักการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคกับพืช เป็นต้น ปุ๋ยอินทรีย์จึงปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดินมากกว่าปุ๋ยเคมีซึ่งมักไม่มีธาตุคาร์บอนที่เป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์

3. ปุ๋ยอินทรีย์มีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์มากกว่าปุ๋ยเคมี

เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่ได้มาจากซากพืชซากสัตว์ซึ่งมีธาตุอาหารเสริมปนอยู่ด้วยเสมอ ดังนั้นจึงทำให้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งของธาตุอาหารพืช มีทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง จุลธาตุ และฮอร์โมนต่างๆที่จำเป็นต่อการเจริญของพืช และธาตุอาหารส่วนมากจะถูกปลดปล่อยออกมาอย่าง

ช้าๆ จึงทำให้มีการสูญเสียเนื่องจากการชะล้างน้อย (อุไรวรรณ, 2554) ผิดกับปุ๋ยเคมีซึ่งส่วนใหญ่มีธาตุอาหารเสริมอยู่น้อยมาก

ข้อจำกัดของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์

1. **ปุ๋ยอินทรีย์มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ**

ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณธาตุอาหารหลักน้อยกว่าปุ๋ยเคมี จึงทำให้ต้องใช้ในปริมาณมากกว่าปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ ส่งผลให้การใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ

2. **ทำให้เกิดการสะสมไนเตรทในพืช ในดิน และในน้ำ**

ปุ๋ยอินทรีย์มีไนโตรเจนอยู่เสมอดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยลงในดินที่ไม่มีน้ำขังไนโตรเจนนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรทดังนั้นหากใส่ปุ๋ยอินทรีย์มากเกินไปอาจทำให้พืชดูดไนเตรทเข้าไปเกินอัตราที่พืชนำไปใช้ ส่งผลให้มีการสะสมไนเตรทจนถึงระดับที่ไม่ปลอดภัยสำหรับผู้บริโภคพืชนั้นได้ สภาวะที่ส่งเสริมให้เกิดการสะสมไนเตรทในพืชได้แก่สภาวะที่พืชได้รับน้ำไม่เพียงพอ เช่น เมื่อพืชกระทบแล้งซึ่งทำให้พืชไม่เจริญเติบโต แต่ดินยังมีความชื้นมากพอสำหรับการสลายตัวปลดปล่อยไนโตรเจนจากปุ๋ยอินทรีย์ แล้วถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรทให้พืชดูดเข้าไปโดยไม่มีการใช้ในการเจริญเติบโต โดยเหตุที่การปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่จะต้องใส่ทั้งหมดก่อนปลูกพืช แต่ปุ๋ยเคมีอาจแบ่งใส่หลายครั้งให้เหมาะกับสภาวะการผลิตพืชได้ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์มากเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงจึงมีความเสี่ยงต่อการสะสมไนเตรทในพืชสูงเกินไปมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี

แม้ปุ๋ยอินทรีย์จะมีไนเตรทส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ซึ่งไม่ละลายน้ำ ตัวอย่างผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนที่ถูกชะล้างจากดินมาจากไนโตรเจนที่มีอยู่แต่เดิมในดินมากกว่าไนโตรเจนจากปุ๋ยเคมีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีดินที่มีอินทรียวัตถุสูง ผลงานดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าปุ๋ยอินทรีย์มีความเสี่ยงต่อการชะล้างไนเตรทลงสู่แหล่งน้ำสูงกว่าปุ๋ยเคมี ทั้งนี้เพราะปุ๋ยอินทรีย์ทยอยปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาทำให้ไม่สามารถใส่ปุ๋ยให้ตรงกับเวลาที่พืชต้องการได้ และทำให้ในบางช่วงเวลามีไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยเหลืออยู่ในดินมากส่งผลให้มีการชะล้างไนโตรเจนจากดินมาก แต่ปุ๋ยเคมีปลดปล่อยไนโตรเจนทั้งหมดทันที จึงสามารถใส่ให้ตรงกับเวลาที่พืชต้องการได้ ทำให้มีไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยเหลืออยู่ในดินน้อย ส่งผลให้มีการชะล้างไนโตรเจนจากดินน้อย ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกชะล้างจากไนโตรเจนที่มีอยู่แต่เดิมในดินและจากปุ๋ยเคมีที่ใส่แปลงปลูกน้อย

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

ที่มา: สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร (2557, ระบบออนไลน์)

สารอินทรีย์ในปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ลงไปในดิน เมื่อสลายตัวจะถูกเปลี่ยนเป็นสารต่าง ๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้นี้อาจชะล้างลงสู่แหล่งน้ำและกลายเป็นอาหารที่จำเป็นของจุลินทรีย์ในน้ำ หากมีสารอินทรีย์ถูกชะล้างลงไปในน้ำมากเกินไป จะทำให้จุลินทรีย์ในน้ำเจริญเติบโตมาก จนถึงระดับที่ก๊าซออกซิเจนในน้ำถูกใช้ไปจนหมด ทำให้จุลินทรีย์ในน้ำตายและเน่าเปื่อยลง ส่งผลให้น้ำเน่าเสียในที่สุด อนึ่งการใช้ปุ๋ยเคมีอัตราสูงจะไม่ทำให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำ แม้ว่าจะทำให้มีการชะล้างไนเตรทลงสู่แหล่งน้ำ ทั้งนี้เพราะปุ๋ยเคมีที่ให้ฟอสฟอรัสจะถูกดินดูดซับไว้เหนียวแน่นถูกชะล้างได้น้อยมาก ทำให้แหล่งน้ำมีแต่ไนโตรเจนสูงแต่ไม่มีฟอสฟอรัสเพียงพอที่จะส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำนั้น

3. ปุ๋ยอินทรีย์กระตุ้นให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในดินและปลดปล่อยสู่บรรยากาศ

การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ในดินจะกระตุ้นให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนขึ้น การเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ ทำให้มีการใช้ออกซิเจนมากขึ้นส่งผลให้ดินอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน สภาพขาดออกซิเจนนี้ทำให้เกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์และก๊าซมีเทนปลดปล่อยออกจากดิน ซึ่งก๊าซทั้งสองนี้ทำให้โลกร้อนได้มากเป็น 270 และ 21 เท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามลำดับ

4. ปุ๋ยอินทรีย์อาจก่อให้เกิดโรคพืชและเพิ่มการสะสมสารพิษในดินได้

ปุ๋ยอินทรีย์ไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก หรือวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจมีธาตุโลหะหนักหรือสารพิษอื่นๆ เจือปนอยู่ในปริมาณที่ไม่ปลอดภัยในการนำมาใช้เป็นปุ๋ย ตัวอย่างเช่น ปุ๋ย

หมักที่ทำจากขยะจากชุมชน อาจมีธาตุโลหะหนักเจือปน วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจมีธาตุแคดเมียมและปรอทติดมาด้วย ข้อมูลในตารางที่ 7 เป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นว่าธาตุโลหะหนักที่ดินได้รับมาจากปุ๋ยอินทรีย์มากกว่าปุ๋ยเคมี ทั้งนี้เพราะไม่ได้มีมาตรการป้องกันการใช้ปุ๋ยที่มีธาตุโลหะหนักและสารพิษติดมาในปริมาณสูง ในขณะที่มีการตรวจสอบปุ๋ยเคมี ก่อนอนุญาตให้จำหน่าย

ตารางที่ 7 ปริมาณธาตุโลหะหนักบางชนิดและอาร์เซนิคที่ดินซึ่งใช้ทำการเกษตรในประเทศอังกฤษและเวลส์ได้รับจากปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี

ชนิดปุ๋ย	ตะกั่ว	แคดเมียม	โครเมียม	อาร์เซนิค	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. ปุ๋ยเคมีและปูน	13	8	81	5	<1

หมายเหตุ < หมายถึง น้อยกว่า
> หมายถึง มากกว่า
มข. หมายถึง ไม่มีข้อมูล

ที่มา: สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร (2557, ระบบออนไลน์)

ความอุดมสมบูรณ์ของดินสำหรับเพาะปลูกพืช

ความอุดมสมบูรณ์ของดินคือความสามารถในการให้ธาตุอาหารของดินแก่พืชเพื่อการเจริญเติบโต (อุไรวรรณ, 2554) ซึ่งเป็นสภาพความเหมาะสมของดินที่จะใช้ปลูกพืชชนิดหนึ่งชนิดใดให้เจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดี พืชต่างชนิดกันอาจจะต้องการความอุดมสมบูรณ์ของดินต่างกัน ความอุดมสมบูรณ์ของดินถูกกำหนดจากเกณฑ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้ (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2543)

1. ความสามารถที่จะปลดปล่อยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชได้สูง
2. คุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของดินเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช
3. การมีหรือไม่มีสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ที่จะเป็นพิษต่อพืช

สำหรับธาตุที่มีความสำคัญต่อกระบวนการทางชีววิทยาของพืชมีที่มาต่างๆ กัน 3 แหล่งคือ จากอากาศ น้ำ และองค์ประกอบของดินเอง เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง (Essential Element) และจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซี่ยม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดินัม และคลอรีน ธาตุอาหารทั้งหมดเป็นองค์ประกอบของดินตามสภาพธรรมชาติ ยกเว้น คาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน พืชจะได้รับจากอากาศและน้ำ โดยการประเมินความสมบูรณ์ของดินว่ามีปริมาณธาตุอาหารพืชมากน้อยแค่ไหนสามารถทำได้หลายวิธีแล้วแต่ความสะดวกเหมาะสม เช่น

1. การสังเกตลักษณะอาการที่พืชแสดงออก (Symptom of Plant) การประเมินโดยวิธีนี้กระทำได้ง่ายแต่ต้องอาศัยความรู้และความชำนาญในการที่จะแยกแยะลักษณะของพืชที่ปรากฏจากการขาด หรือได้รับธาตุอาหารต่างๆ มากจนเกินไป
2. การวิเคราะห์พืช (Plant Analysis) เพื่อให้ทราบว่าพืชมีธาตุอาหารชนิดไหนอยู่ในปริมาณมากน้อยเท่าใด ปริมาณธาตุอาหารในพืชจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับปริมาณที่มีอยู่ในดิน การวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืชอาจทำได้หลายวิธี เช่นวิเคราะห์เนื้อเยื่อพืช หรืออาจใช้วิธีการวิเคราะห์พืชทั้งหมด โดยการนำเอาส่วนหนึ่งส่วนใดหรือพืชทั้งต้นที่มีขนาดเล็กไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ
3. การทดสอบทางชีวภาพ (Biological Test) คือการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชที่ได้รับปริมาณธาตุอาหารต่างๆ กัน ในแปลงทดลอง หรือเรือนกระจกทดลอง
4. การวิเคราะห์ดิน (Soil Analysis) เป็นการนำตัวอย่างดินไปวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาความเข้มข้นหรือระดับของธาตุอาหารพืชในดินซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช (อุไรวรรณ, 2554)

1. การปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน

การปลูกพืชซ้ำในดินเดิมอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดิน จะทำให้ดินสูญเสียอินทรียวัตถุและความอุดมสมบูรณ์ไปอย่างรวดเร็ว ดินจะแข็ง ไม่ร่วนซุย ดูดซับน้ำและธาตุอาหารได้น้อยลง (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2543) หากใช้ปุ๋ยเคมีแต่เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการปรับปรุงบำรุงดินติดต่อกันเป็นเวลานาน จะทำให้ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ ทำให้ผลผลิตลดลง ต้องใช้ปุ๋ยเคมีมากขึ้นเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตให้สูงขึ้น การปรับปรุงบำรุงดินที่มีความสามารถในการให้ผลผลิต

พืชต่ำ จะต้องมีการปฏิบัติพร้อมๆกันไปกับการอนุรักษ์ดินหรือการควบคุมการสูญเสียเนื้อดินออกไปจากแปลงปลูก วิธีการปรับปรุงบำรุงดิน อาจปฏิบัติได้โดยวิธีการหลัก ๆ ดังนี้

1. การใช้ปุ๋ยเคมี

ใช้ปุ๋ยเคมีที่มีสมบัติและสูตรปุ๋ยเหมาะสม เพื่อบำรุงดินโดยการเพิ่มธาตุอาหารพืชที่จำเป็นให้กับดินและพืช โดยเฉพาะธาตุ N, P และ K โดยทำการวิเคราะห์ดินก่อนว่ามีความสมบูรณ์เพียงไรขาดธาตุอาหารอะไรบ้าง ถ้าดินยังขาดธาตุอาหารพืชชนิดอื่น ๆ เช่น ธาตุอาหารรองหรือธาตุอาหารเสริม ต้องพิจารณาให้ธาตุอาหารรอง เช่น ธาตุ Mg, S หรือธาตุอาหารเสริมชนิดต่าง ๆ เช่น Zn, Fe เป็นการเพิ่มเติมด้วย

2. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์และหรือปุ๋ยชีวภาพ

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์โดยทั่ว ๆ ไปมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยอินทรีย์บางชนิด เช่น ปุ๋ยมูลไก่ ปุ๋ยมูลค้างคาว ที่มีปริมาณธาตุอาหารพืชค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เช่นปุ๋ยมูลโคหรือตะกอนมูลสุกรจะมีผลดีทั้งในแง่ของการบำรุงดินเพื่อเพิ่มพูนธาตุอาหารพืชในดินและการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินไปด้วยพร้อมๆ กัน การใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ ทำให้เพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์บางชนิดลงดินหรือส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดินมากกว่า การใช้เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารพืชโดยตรง

3. การใช้สารหรือวัสดุปรับปรุงดิน

วัสดุปรับปรุงดินเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ สารสังเคราะห์ หรือสารเคมี ทั้งในรูปสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ที่มีการปรุงแต่ง หรือไม่มีการปรุงแต่ง หรืออาจอยู่ในรูปของผลพลอยได้จากการประกอบการต่างๆ โดยทั่วไปในการใช้วัสดุปรับปรุงดินนั้นมักมีวัตถุประสงค์เพื่อการแก้ปัญหาสมบัติทางกายภาพของดินมากกว่าการปรับปรุงสมบัติทางเคมีและความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารพืชในดิน ดังนั้นวัสดุปรับปรุงดินส่วนมากจึงไม่มีผลต่อการเพิ่มธาตุอาหารพืชโดยตรง แต่บางชนิดก็อาจมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินและบำรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินไปพร้อมกัน เช่น วัสดุปรับปรุงดินในรูปของสารอินทรีย์ที่เป็นผลพลอยได้ทางการเกษตรและอยู่ในรูปที่สลายตัวง่ายและเร็ว มีธาตุอาหารพืชสูง เช่น กากเมล็ดนุ่น กากเมล็ดฝ้าย กระดูกป่น ฯลฯ หรือเป็นสารอินทรีย์ฯ ที่มีธาตุอาหารพืชต่ำแต่มีการใช้ในปริมาณมาก เช่น กากอ้อย กากส่าเหล้า เป็นต้น วัสดุปรับปรุงดินอาจจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้ (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2552)

3.1 สารอนินทรีย์หรือสารเคมี ได้แก่ สารปรับปรุงดินในรูปหินหรือแร่ตามธรรมชาติที่ไม่มีการปรุงแต่งหรือมีการปรุงแต่งโดยใช้ความร้อน เช่น วัสดุปูนไลม์ ยิบซั่ม แร่ซีโอไลท์ รวมทั้งสารที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ฟอสโฟยิบซั่มฯ เป็นต้น

3.2 สารอินทรีย์ ได้แก่ สารอินทรีย์ธรรมชาติที่ไม่มีการปรุงแต่งหรือมีการปรุงแต่ง เช่น เศษซากพืช ปุ๋ยหมัก หรือผลพลอยได้ทางการเกษตรโดยตรงและจากโรงงานอุตสาหกรรมทั้งในและนอกภาคเกษตร เช่น ขุยมะพร้าว แกลบดิบ เปลือกมันค้างปี กากอ้อย กากน้ำตาล สารฮิวมัส จีเอ็มแอล (GML) จากโรงงานผงชูรส กากกระดาษ รวมไปถึงสารอินทรีย์สังเคราะห์ที่สังเคราะห์ขึ้นโดยขบวนการทางเคมี เช่น สารโพลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ เช่น สารโพลีอครีลามีด (หรือ PAM) สารดูดน้ำโพลิเมอร์ สารประกอบแอมโมเนียมลอเร็ชซัลเฟต (หรือสารอกริ-เอส-ซี) เป็นต้น

3.3 สารอนินทรีย์ผสมสารอินทรีย์ โดยการผสมวัสดุปรับปรุงดินในรูปสารอนินทรีย์ลงในสารอินทรีย์ เพื่อเพิ่มคุณค่าของตัวสารหรือเพื่อการใช้ประโยชน์แบบผสมผสาน เช่น การผลิตปุ๋ยหมักโดยการผสมปุ๋ยเคมี และแร่ฟูไมซ์เข้าด้วยกัน หรือการผลิตสารปรับปรุงและบำรุงดินเพื่อใช้ประโยชน์ในลักษณะเอนกประสงค์ที่มีองค์ประกอบสำคัญประกอบด้วยสารดูดน้ำโพลิเมอร์ ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และสารเร่งการเจริญเติบโตของพืชฯ เป็นต้น

4. การใช้ปุ๋ยชนิดต่าง ๆ ร่วมกับสารปรับปรุงดินอย่างผสมผสาน

ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกส่วนใหญ่มักมีปัญหาทั้งทางด้านความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารพืชและสมบัติทางกายภาพบางประการ เช่น เป็นดินที่มีสมบัติแข็งและแน่นทึบไม่ร่วนซุย ทำให้ไม่เกิดการแทรกซึมของน้ำที่ดีพอ หรือเป็นดินที่มีเนื้อทรายจัด ไม่อุ้มน้ำ ไม่ดูดยึดปุ๋ย และเกิดการชะล้างพังทลายได้ง่าย ในการใช้ปุ๋ยนั้นอาจใช้ทั้งปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกันอย่างผสมผสานเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวไปพร้อมๆ กันมากกว่าจะใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์อย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เพราะการใช้ปุ๋ยทั้งสองชนิดร่วมกันกับวัสดุปรับปรุงดินอย่างเหมาะสม จะช่วยปรับปรุงและบำรุงดินให้มีสมบัติทั้งทางด้านกายภาพและความอุดมสมบูรณ์ของดินดีขึ้นพร้อม ๆ กัน

2. คุณสมบัติของวัสดุปรับปรุงดินบางชนิด

1. ซีโอไลท์

สารซีโอไลท์เป็นกลุ่มแร่ธรรมชาติในรูปสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต ที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนภายในเนื้อแร่จำนวนมาก ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับไออ้อนของธาตุอาหารประจุบวกได้ดี เช่น ธาตุ N ในรูป NH_4 ธาตุ Ca Mg K Zn รวมทั้งธาตุโลหะหนัก เช่น Pb Cd นอกจากนั้นยังสามารถดูดซับโมเลกุลของน้ำ และก๊าซต่างๆ ได้เป็นอย่างดีด้วย การใช้สารซีโอไลท์จะช่วยปรับปรุงสมบัติของดินที่ไม่เหมาะสมบางประการได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มความสามารถของดินเนื้อหยาบให้มีคุณสมบัติในการดูดยึดหรือกักเก็บปุ๋ยเคมีที่ใส่ลงไปได้ดีขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียปุ๋ยโดยการชะล้างด้วยน้ำน้อยลง

และมีผลทำให้การใช้ปุ๋ยเคมีเกิดประสิทธิภาพต่อพืชมากขึ้น นอกจากนั้นยังทำให้ดินเนื้อหยาบที่แน่นแข็งสามารถอุ้มน้ำได้ดีขึ้นพร้อม ๆ กับการมีส่วนช่วยในการลดความแน่นแข็งของดินและการเพิ่มความสามารถในการระบายน้ำและระบายอากาศของดินดังกล่าวไปด้วยในตัว (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2552)

2. ฟอสโฟยิปซั่ม

ฟอสโฟยิปซั่ม คือ สารเคมีที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตกรดฟอสฟอรัสโดยขบวนการ Wet Process โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากโรงงานผลิตปุ๋ยเคมี องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่ว ๆ ไปประกอบด้วยยิปซั่ม ($CaSO_4$) ประมาณร้อยละ 97 ที่เหลือนอกจากนั้นประกอบด้วยสารประกอบแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) ประมาณร้อยละ 1 ฟอสฟอรัสในรูป P_2O_5 ร้อยละ 0.6และฟลูออราปาไทท์ (Fluorapatite) และเม็ดทราย (SiO_2) รวมกันประมาณร้อยละ 1.4 คุณค่าในทางการเกษตรทางการปรับปรุงดินที่ให้ผลดีเด่นชัด ก็คือการแก้ไขปัญหาดินแน่นทึบ ในสภาวะดินเค็มที่มีเกลือของโซเดียมสูง และแก้ความเป็นพิษของอะลูมินั่มในดินที่เป็นกรด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550) นอกจากนี้ยังมีหินปูนบด หินปูนฝุ่นหรือหินฝุ่นที่ได้จากภูเขาไฟ ซึ่งถ้าเป็นดินทรายให้ใส่ 100 ก.ก./ไร่ ทุกปี ถ้าเป็นดินร่วนก็อาจใส่ 200 ก.ก./ไร่ ปีเว้นปี ในกรณีที่เป็นดินเหนียวให้ใส่ 300-500 ก.ก./ไร่ โดยเว้น 2-3 ปี แล้วจึงใส่อีกครั้ง อนึ่งถ้าค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำ ก็จะต้องใช้ในจำนวนมากขึ้น การใส่สารปรับปรุงดินจะให้ผลมากยิ่งขึ้น ถ้าใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีควบคู่กันไป

3. หินฟอสเฟต หินฟอสเฟต

คือแร่อะพาไทต์ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของแร่ที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยฟอสเฟตชนิดต่างๆ (จีราภรณ์ และคณะ, 2556) โดยหินฟอสเฟตที่พบในประเทศไทย มี 2 ประเภท (อพัสภรณ์ และวิเชียร, 2557) คือ 1) หินฟอสเฟตที่เป็นหินตะกอน มีฟอสฟอรัสทั้งหมด 25-35% P_2O_5 และมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพียง 2-5% P_2O_5 และ 2) หินฟอสเฟตที่เกิดทางเคมีชีวภาพ (Guano Deposit) ซึ่งเกิดจากมูลค้างคาว หินฟอสเฟตประเภทนี้มีฟอสฟอรัสทั้งหมดประมาณ 20% P_2O_5 แต่ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีประมาณ 10-15% P_2O_5 ซึ่งสูงกว่าหินฟอสเฟตประเภทแรกมาก หินฟอสเฟตเป็นหินแร่ที่เมื่อขุดออกมาบดละเอียดแล้วก็สามารถใช้เป็นวัตถุดิบบำรุงดินได้ดี สามารถนำมาใช้โดยตรงหรือนำไปผสมกับวัสดุอินทรีย์อื่นๆโดยผสมปุ๋ยอินทรีย์รองก้นหลุมหรือใส่ในแปลงตั้งแต่เตรียมดิน ช่วยให้พืชออกรากมากโตเร็ว ลดความเป็นกรดของดิน ช่วยให้ดินร่วนซุย เพิ่มแร่ธาตุในดินที่ละลายได้ให้มากขึ้น ผลพลอยได้คือจุลธาตุต่างๆที่ตกค้างในดินสามารถละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น

ความสำคัญของธาตุอาหารพืชในวัสดุปรับปรุงดิน

ธาตุไนโตรเจน เป็นธาตุที่มีความสำคัญและมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก (มุกดา, 2544) ธาตุไนโตรเจนปกติจะมีอยู่ในอากาศในรูปของก๊าซไนโตรเจนเป็นจำนวนมาก แต่ไนโตรเจนในอากาศในรูปของก๊าซนั้น พืชนำเอาไปใช้ประโยชน์อะไรไม่ได้ (ยกเว้นพืชตระกูลถั่วเท่านั้นที่มีระบบรากพิเศษสามารถแปรรูปก๊าซไนโตรเจนจากอากาศเอามาใช้ประโยชน์ได้) ธาตุไนโตรเจนที่พืชทั่วๆ ไปดึงดูดขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้นั้น จะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลของสารประกอบ เช่น แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และไนเตรทไอออน (NO_3^-) ธาตุไนโตรเจนในดินที่อยู่ในรูปเหล่านี้จะมาจากการสลายตัวของสารอินทรียวัตถุในดิน โดยจุลินทรีย์ในดินจะเป็นผู้ปลดปล่อยให้ (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2557)

ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุฟอสฟอรัสในดินมีกำเนิดมาจากการสลายตัวผุพังของแร่บางชนิดในดิน การสลายตัวของสารอินทรียวัตถุในดินก็จะสามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกได้ การใช้ปุ๋ยคอกนอกจากจะได้ธาตุไนโตรเจนแล้วก็ยังได้ฟอสฟอรัสอีกด้วย ธาตุฟอสฟอรัสในดินที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้จะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลของสารประกอบที่เรียกว่า ฟอสเฟตไอออน ($H_2PO_4^-$ และ HPO_4^-) ซึ่งจะต้องละลายอยู่ในน้ำในดิน สารประกอบของฟอสฟอรัสในดินมีอยู่เป็นจำนวนมากแต่ส่วนใหญ่ละลายน้ำยาก

ธาตุโพแทสเซียม ธาตุโพแทสเซียมในดินที่พืชนำเอาไปใช้เป็นประโยชน์ได้ มีกำเนิดมาจากการสลายตัวของหินและแร่มากมายหลายชนิดในดิน โพแทสเซียมที่อยู่ในรูปอนุมูลบวก หรือโพแทสเซียมไอออน (K^+) เท่านั้นที่พืชจะดึงดูดไปใช้เป็นประโยชน์ได้ ถ้าธาตุโพแทสเซียมยังคงอยู่ในรูปของสารประกอบยังไม่แตกตัวออกมาเป็นอนุมูลบวก (K^+) พืชก็ยังดึงดูด ไปใช้เป็นประโยชน์อะไรไม่ได้ อนุมูลโพแทสเซียมในดินอาจจะอยู่ในน้ำในดิน หรือดูดยึดอยู่ที่พื้นผิวของอนุภาคดินเหนียวก็ได้ เนื่องจากเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นว่า ธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ดินมักจะมีไม่พอ ประกอบกับพืชดึงดูดจากดินขึ้นมาใช้แต่ละครั้งเป็นปริมาณมาก จึงทำให้ดินสูญเสีย ธาตุเหล่านี้ หรือที่เรียกว่าเสียปุ๋ยในดินไปมาก ซึ่งเป็นผลทำให้ดินที่เราเรียกว่า "ดินจืด" ดังนั้นเราจึงต้องใช้ปุ๋ยเพื่อเป็นการปรับปรุงระดับธาตุอาหารพืช N P และ K ที่สูญเสียไป

ธาตุอาหารรอง จัดเป็นกลุ่มที่มีความสำคัญและพืชมีความต้องการในปริมาณมาก (มุกดา, 2544) แต่เนื่องจากพบว่าในดินมีปริมาณธาตุเหล่านี้สูงและมักจะไม่ขาดแคลน จึงทำให้มีความต้องการใช้ในพืชน้อยกว่ากลุ่มธาตุอาหารหลัก (N, P, K) ซึ่งธาตุอาหารรองประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ส่วนจุลธาตุ เป็นธาตุอาหารที่มีความต้องการใช้ในปริมาณน้อย แต่พืชจะขาดธาตุเหล่านี้ไม่ได้ เนื่องจากมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเช่นเดียวกับธาตุอาหารหลัก

และธาตุอาหารรอง จุลธาตุประกอบด้วย ธาตุเหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดีนัม และคลอรีน

หลักการใช้ปุ๋ยในพืช

พืชได้รับธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่จากดิน (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2543) นอกเสียจากธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ที่พืชได้รับมาจากน้ำและอากาศ ตลอดเวลาพืชจะดูดธาตุอาหารไปจากดินหรือวัสดุปลูก (Media) เพื่อนำไปสร้างส่วนต่างๆ ของลำต้นและให้ผลผลิตออกมา ปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดไปใช้จึงมีมาก ในขณะที่การสร้างเพิ่มเติมหรือการทดแทนตามธรรมชาติเกิดขึ้นน้อย และขณะเดียวกันก็มีการชะล้างธาตุอาหารพืชออกไปจากดินได้มาก ทำให้ธาตุอาหารพืชในดินลดน้อยลงไป ไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องให้ธาตุอาหารพืชเพิ่มเติมให้กับพืชเพื่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตตามปกติ สารที่ให้ธาตุอาหารที่ใส่ลงไปให้กับพืชเรียกว่าปุ๋ย (Fertilizer) ดังนั้นปุ๋ย หมายถึงสารที่ใส่ลงไปในดินหรือวัสดุปลูกพืชอื่นๆ เพื่อต้องการที่จะให้ธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และหรือธาตุอาหารอื่นเพิ่มเติมแก่พืชสำหรับใช้ในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ในระดับปกติ ดังนั้นการใช้ปุ๋ยเพื่อการผลิตพืชจะต้องคำนึงถึงผลประโยชน์สูงสุดที่พืชจะได้รับและปลอดภัยต่อสภาพแวดล้อม โดยมีหลักการดังต่อไปนี้

1. ลักษณะดิน โดยเฉพาะเนื้อดิน โครงสร้างของดิน และความร่วนซุยของดิน เช่น ถ้าเป็นดินทรายควรแบ่งใส่ปุ๋ยทีละน้อย หลายๆ ครั้ง

2. ปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดินจะต้องอยู่ในบริเวณที่รากพืชดูดไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว โดยทั่วไปจะสังเกตจากบริเวณที่ปลายรากพืชกระจายอยู่หนาแน่น และมีน้ำทำละลายปุ๋ยเพียงพอ

3. กำหนดวิธีการใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมกับลักษณะของการปลูกพืช เช่นพืชที่ปลูกเป็นแถวเป็นแนวมักใส่ขนานกับแถวของพืช หรือพืชยืนต้นทรงพุ่มต้นใหญ่จะต้องใส่รอบทรงพุ่มต้น

4. ให้ปุ๋ยตรงตามความต้องการของพืชทั้งช่วงเวลาและปริมาณที่พืชต้องการ

5. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อให้ธาตุอาหารแก่พืชหรือเพื่อการปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินตาม ควรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่เน่าเปื่อยสมบูรณ์แล้วเพราะจะได้ฮิวมัสมาก

1. วิธีการใส่ปุ๋ย

การใส่ปุ๋ยเพื่อให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุดนั้นจะเกี่ยวข้องกับชนิดพืช การปลูก ลักษณะหรือคุณสมบัติของปุ๋ย ตลอดจนแรงงานและเครื่องมือที่ใช้ ซึ่งมีวิธีการต่างๆ โดยทั่วไปการใส่ปุ๋ยจะคำนึงถึงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นและระยะการออกดอกผล ในการใส่ปุ๋ยให้กับพืชจึงต้องคำนึง

ระยะการเจริญเติบโตของพืชว่าอยู่ในระยะใด แล้วจึงจะใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมกับระบบการเจริญเติบโตนั้นๆ โดยมีรายละเอียดของระยะเวลาที่ควรใส่ปุ๋ยดังต่อไปนี้ (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2543)

1. ใส่ก่อนปลูกโดยการใส่ปุ๋ยรองพื้น เช่นการหว่านปุ๋ยให้ทั่วพื้นที่แล้วไถคลุกเคล้ากับดินหรือใส่พร้อมหยอดเมล็ด เช่นการโรยก้นร่อง หากเป็นไม้ยืนต้นเช่นยางพารา ไม้ผลก็คือการใส่ปุ๋ยรองก้นหลุม

2. ใส่ระยะที่พืชเจริญเติบโตรวดเร็ว เป็นระยะที่เร่งการสร้าง ใบ ต้น กิ่ง แขนง

3. ใส่ก่อนระยะออกดอก เพื่อให้พืชนำธาตุอาหารไปใช้ในการสร้างดอก ผล และเมล็ดได้อย่างสมบูรณ์

4. ใส่เมื่อพืชแสดงอาการขาดธาตุอาหารใดๆ เมื่อปรากฏชัดเจนว่าพืชขาดธาตุอาหารก็รีบใส่ปุ๋ยที่ขาดนั้นลงไป ในดินหรือฉีดพ่นให้ทางใบ

ข้าวโพดหวาน

ข้าวโพดหวาน (Sweet corn) จัดอยู่ใน ตระกูล Gramineae ซึ่งเป็นตระกูลเดียวกับหญ้าหรือข้าว มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zeamays Line var. rugasa* หรือ *saccharata* ข้าวโพดหวานมีคุณประโยชน์มากมาย นอกจากจะใช้รับประทานฝักสดแล้ว ยังสามารถนำไปแปรรูปได้หลายรูปแบบ เช่น ข้าวโพดหวานบรรจุกระป๋องทั้งฝักหรือบรรจุกระป๋องเฉพาะเมล็ด ทำครีมข้าวโพดหวานข้าวโพดแช่แข็ง ซึ่งผลิตภัณฑ์ต่างๆ เหล่านี้สามารถส่งไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศได้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2553)

1. ข้าวโพดหวาน 2 สี พันธุ์ หวานแม่โจ้ 84F1

1. ข้อมูลทั่วไป

ชื่อภาษาไทย	ข้าวโพดหวาน 2 สี
ชื่อภาษาอังกฤษ	Bicolor Sweet Corn
ชื่อวิทยาศาสตร์	*Zea mays* saccharata L.
ลักษณะทั่วไป	ฝักมีเมล็ด 2 สี (ภาพที่ 3) มีความหวานและนุ่มไม่ติดฟัน ความหวานประมาณ 14 – 17 องศาบริกซ์ เมื่อแก่เต็มที่ ต้องการดูแลรักษาในช่วงการปลูกอย่างประณีตคล้ายปลูกผัก ปรับตัวได้ดีเฉพาะภาคเหนือตอนบน (มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2553)

ภาพที่ 3 ข้าวโพดหวาน 2 สี พันธุ์ แม่โจ้ 84F1

ที่มา: มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (2559)

2. ข้อมูลการผลิต

ฤดูปลูก	ปลูกได้ตลอดทั้งปี หากพื้นที่ปลูกมีน้ำ (ฤดูที่เหมาะสม ฤดูปลายฝน ฤดูฝน และฤดูแล้ง ตามลำดับ)
ความเป็นกรดและด่างของดิน	pH 6.0 – 6.5
ชนิดของดิน	ร่วนปนทรายหรือดินร่วน ดินระบายค่อนข้างดี
ระยะเวลาที่เติบโตเต็มที่	ฤดูแล้งและฤดูฝน 60 - 65 วัน ปลายฝนหรือฤดูหนาว 65 -70 วัน

3. การเตรียมดิน

1. การเตรียมดินให้ไถลึก 20- 30 ซม. 1 ครั้ง ตากดินไว้ 7-15 วัน แล้วไถแปร 1 ครั้ง หรืออาจจะใช้จอบหมุนปั่นดิน 1-2 ครั้ง การเตรียมดินขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่

2. การตรวจเช็คค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ควรอยู่ในช่วง 6.0 – 6.5 หากสภาพดินเป็นกรด คือ มีค่า pH ต่ำกว่า 6.0 ให้เติมปูนขาวหรือดินโดโลไมด์ ในอัตรา 100 กิโลกรัม/ไร่เพื่อปรับสภาพดิน หลังจากนั้นควรใช้ ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก ช่วยปรับสภาพดิน ในอัตรา 2 – 5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพดินหรือรองปุ๋ยก้นหลุมด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 16 – 20 – 0 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (ดินเหนียว) ดินทรายให้ใช้สูตร 15–15–15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่

3. การยกร่องแปลงปลูกในกรณีที่ปลูกข้าวโพดในเขตชลประทาน

- แถวเดี่ยว ระยะห่างระหว่างร่อง 75 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างต้น 25 เซนติเมตร ปลูก 1-2 เมล็ด (ข้อ 5) ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม

- แถวคู่ ระยะห่างระหว่างร่อง 120 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างต้น 30 เซนติเมตร ปลูก 1-2 เมล็ด ถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุมหรือปลูกโดยการย้ายกล้า 1 ต้นต่อหลุม

4. การเตรียมกล้า

1. การเพาะกล้าอย่างในถาดเพาะ เมื่อมีอายุ 7 วัน (ฤดูแล้งและฤดูฝน) อายุ 10 - 12 วัน (ฤดูหนาว) หรือ ต้นกล้ามีใบจริงประมาณ 2 ใบ จึงย้ายปลูก

2. การเพาะกล้าในแปลงเพาะ หรือเพาะในทรายโดยการหว่านเมล็ดในแปลงเพาะแล้วใช้แกลบดำกลบควรมีวัสดุคลุมแปลง เพื่อเพิ่มความชื้นและลดความร้อนในช่วงกลางวัน

3. การย้ายกล้าควรปล่อยน้ำเข้าร่องแปลงก่อนและรดน้ำในหลุมให้เปียก

4. ควรฉีดพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดวัชพืช (ยาคลุมหญ้า) ก่อนย้ายกล้า

5. การปลูกด้วยเมล็ด

1. การคลุกเมล็ดด้วยสารเคมี เอพรอน35 (ที่บรรจุในซอง) เพื่อป้องกันโรคราน้ำค้างและฉีดพ่นเซฟวิน 85 ป้องกันมดและแมลงทำลายเมล็ด

2. การหยอดเมล็ดควรให้มีความลึก 1-2 ซม. จะทำให้การงอกดี

3. การหยอดเมล็ดในแปลงปลูก 1-2 เมล็ด/หลุม แล้วถอนแยกให้เหลือ 1 ต้นต่อหลุม

4. การฉีดพ่นสารกำจัดวัชพืช อะทราซีน80 % อัตรา 200 กรัม /น้ำ 20 ลิตร ผสมกับอะลา-คลอร์ อัตรา 200 ซีซี / น้ำ 20 ลิตร ควรฉีดพ่นในขณะดินเปียกก่อนเมล็ดงอก

6. การดูแลรักษา

1. การปลูกแบบย้ายกล้า

1.1 การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 เมื่อย้ายกล้าได้ 7 วัน โดยใช้ปุ๋ยสูตร 46–0–0 อัตรา 5 กก./ไร่ ผสมกับ สูตร 15–15-15 อัตรา 10 กก./ไร่ โดยการละลายในน้ำ 80 ลิตร (หัวปุ๋ย) ผสมน้ำอีก 20 ส่วน รดบริเวณข้างโคนต้นประมาณต้นละ 200 ซีซี

1.2 การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 เมื่อย้ายกล้าได้ 14 วัน ใช้ปุ๋ยสูตรเดี่ยวกันกับครั้งที่ 1

1.3 การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 เมื่อย้ายกล้าได้ 21–25 วัน ใช้ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 15 กก./ไร่ ผสมกับสูตร 15-15-15 อัตรา 20 กก./ไร่ พร้อมทั้งกำจัดวัชพืชและทำการคลุมโคน

1.4. การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 4 เมื่อข้าวโพดอายุได้ประมาณ 50 วัน หรือเอาฝักที่สองออกแล้ว ซึ่งใช้ปุ๋ยสูตรเดียวกับครั้งที่ 1 (ปุ๋ยเร่งขนาดฝัก)

2. การปลูกแบบหยอดเมล็ด

2.1 การใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร สูตร 15-15-15 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่

2.2 เมื่อข้าวโพดอายุได้ 21-28 วันหลังหยอดเมล็ด ให้ใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ พร้อมทั้งกำจัดวัชพืชและทำการคลุมโคน

3. การดูแลรักษาด้านอื่น ๆ

เมื่อข้าวโพดอายุได้ 30-40 วัน ต้นจะมีการแตกแขนงหน่อข้างลำต้นให้เด็ดออกและเมื่อข้าวโพดติดฝักควรเด็ดฝักให้เหลือฝักบนเพียง 1 ฝัก และควรตรวจแปลงอย่างสม่ำเสมอ เพราะอาจมีการเข้าทำลายของโรคราสนิมโรคใบไหม้แผลใหญ่ และหนอนเจาะลำต้นและฝักข้าวโพด

7. การเก็บเกี่ยว

การเก็บฝักข้าวโพดควรเก็บตามอายุ ฤดูแล้งและฤดูฝนอายุประมาณ 60-65 วันฤดูปลายฝนหรือฤดูหนาวอายุประมาณ 65-70 วัน โดยสังเกตดูเส้นไหมจะเริ่มแห้งเป็นสีน้ำตาลสุ่มตัวอย่างบีบเมล็ดจะมีน้ำสีขาวขุ่น หากยังไม่แก่จะมีลักษณะใส หรือนับจากอายุวันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ 18-20 วัน ทั้งแปลงควรมีการสุ่มตัวอย่างหลาย ๆ จุดหากเก็บฝักอ่อน เมล็ดจะเหี่ยวเร็ว

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Arkhipchenko et al. (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 et al. (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 ดังนั้นจึงควรมีการปรับธาตุอาหารก่อนโดยนำมาผสมกับเลือดไก่แห้งหรือขนไก่เพื่อเป็นแหล่งไนโตรเจน และเสริมฟอสเฟตและโพแทสเซียมให้ได้

อัตราส่วนของ N:P:K เท่ากับ 10:3:6 และ 3:5:10 ก่อนที่จะนำไปใช้เป็นปุ๋ยสำหรับสนามหญ้าในสนามกอล์ฟในฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วง

มนัส และ สมชัย (2538) ได้ทดลองนำน้ำล้นจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมาใช้กับคะน้า ผักกาดหัว ผักกาดหอม และทานตะวันพบว่า สามารถนำมาใช้เป็นธาตุอาหารสำหรับพืชได้ โดยการใส่น้ำล้นอย่างเดียวใน คะน้า ผักกาดหัว ผักกาดหอม และทานตะวันให้ผลผลิต 2060, 1160, 1040 และ 217.06 กก./ไร่ ตามลำดับ และการใช้น้ำล้นร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราส่วน 75:25 และ50:50 มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตในคะน้าและทานตะวันสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การใช้น้ำล้นปลูกผักในระบบ Deep water culture สามารถใช้เป็นปุ๋ยของผักได้เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกในดิน โดยไม่แสดงอาการขาดธาตุอาหารและโรคพืชแต่อย่างใด

วราภรณ์ และคณะ (2548) ศึกษาผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรซึ่งได้จากน้ำแช่มูลสุกร อัตราส่วนมูลสุกร: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 มีผลทำให้ น้ำหนักรวมทั้งต้น น้ำหนักใบ ผลลิตต่อไร่ และเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลัง สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่ไม่มีผลทำให้ความสูง ดัชนีเก็บเกี่ยว และจำนวนหัวต่อต้นของมันสำปะหลัง ส่วนผลของการพ่นน้ำสกัดมูลสุกรต่อคุณค่าทางอาหารของมันเส้น พบว่า การพ่นน้ำสกัดมูลสุกร สามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารของมันเส้นได้ โดย สามารถลดเยื่อใยของมันเส้น โดยการเพิ่มเปอร์เซ็นต์แป้ง และเพิ่มขนาดหัวของมันสำปะหลัง

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 ฤดูติดต่อกันพบว่า การใส่ปุ๋ยมูลสุกรและปุ๋ยเคมีรองพื้นในฤดูที่ 1 ให้ผลผลิตและคุณภาพข้าวโพดหวานพันธุ์อินทรี 2 ไม่แตกต่างกัน ส่วนฤดูที่ 2 ผลของการใส่ปุ๋ยทั้ง 2 ชนิดรองพื้นจากฤดูที่ 1 ทำให้ผลผลิตด้านน้ำหนักของฝัก และคุณภาพด้านขนาดของฝักสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยรองพื้น

จักรพันธ์ และคณะ (อ้างโดย ธวัชชัย, 2550) ได้ศึกษาผลการตอบสนองการให้ปุ๋ยน้ำฉีดพ่นทางใบของน้ำสกัดมูลสุกร ปุ๋ยปลาหมัก ปุ๋ยทางใบจากประเทศจีน และปุ๋ยเคมีทางใบ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1, 2 และ 3 เดือน เปรียบเทียบกับการให้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 ทางดิน พบว่าลักษณะการ

เติบโต และลักษณะการผลิตของต้นพืช รวมทั้งผลผลิตหัวมันสดไม่แตกต่างกันทางสถิติแต่การให้ปุ๋ยทั้ง 2 แบบข้างต้น ให้ลักษณะการเติบโตและลักษณะการผลิตของต้นพืชดีกว่าการให้ปุ๋ยน้ำชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ยงยุทธ และคณะ (อ้างโดย ธวัชชัย, 2550) ได้ทดลองใช้มูลสุกรที่สลายตัวดีแล้วในนาข้าวได้โดยตรง โดยการหว่านให้ทั่วแปลงแล้วไถกลบ ส่วนมูลเหลวที่ผสมกับน้ำล้างคอกอาจนำไปใช้ในนาทั้งเป็นปุ๋ยรองพื้นและปุ๋ยแต่งหน้า โดยปุ๋ยรองพื้นต้องไถกลบก่อนส่วนปุ๋ยแต่งหน้าต้องใช้มูลที่สลายตัวดีแล้วโดยเจือจางกับน้ำ 3 ส่วนแล้วค่อยปล่อยเข้าไปในนาข้าว โดยควรใส่หลังจากลดระดับน้ำในนาให้เหลือน้อย ซึ่งเป็นวีการสำหรับใส่ปุ๋ยแต่งหน้าในนาข้าวทั่วไป ส่วนการใช้กับพืชผัก ควรใช้ปุ๋ยที่ย่อยสลายดีแล้วในอัตรา 1 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1ตารางเมตร

สุภาพร และคณะ (อ้างโดย ธวัชชัย, 2550) กล่าวถึงการใช้มูลสุกรสดที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 80 เมื่อนำไปใช้กับการปลูกพืชอาจทำให้พืชเหี่ยว ใบเหลือง เนื่องจากความร้อนจากการหมักของมูลสุกร อีกทั้งยังมีการดึงไนโตรเจนจากดินไปใช้ทำให้ไนโตรเจนในดินลดลง โดยแนะนำไปใช้ในลักษณะแห้งโดยการตากแดดให้เหลือความชื้นประมาณร้อยละ 55-65 และวิธีการใช้ควรใส่ในสภาพแห้งในขณะเตรียมดินก่อนปลูกพืชประมาณ 15-30 วัน โดยมีอัตราการใส่ 1-3 ตัน/ไร่ แล้วทำการไถกลบ

อรวรรณ และคณะ (2550) พบว่าการใช้กากตะกอนน้ำเสียสามารถทดแทนปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ได้อย่างเท่าเทียมหรือดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการเพาะชำยางชำถุง ส่งผลให้มีปริมาณอินทรียวัตถุธาตุอาหารหลัก (N, P, K) และธาตุอาหารรอง (Mg) ในต้นยางชำถุงอย่างเพียงพอต่อการเติบโตของต้นยางชำถุงทั้งในรูปความสูง เส้นผ่าศูนย์กลาง รัศมีเรือนยอดและมวลชีวภาพของราก (น้ำหนักแห้งของราก) อีกทั้งปริมาณฟอสฟอรัส (P_2O_5) ในดินเพาะชำยางชำถุงเมื่อต้นยางชำถุงอายุครบ 90 วัน ก็มีเพียงพอโดยไม่จำเป็น ต้องเติมปุ๋ยหินฟอสเฟต อีกทั้งยังพบว่าการเลือกใช้กากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเป็นวัสดุปรับปรุงดินนั้นมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ประมาณ 8 เท่า

อุษณีย์ และคณะ (2552) ได้การศึกษาความเป็นพิษของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเพื่อนำไปใช้ในการเกษตร โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนและทดสอบการงอกของเมล็ดพืช กากตะกอน 3 ชนิด ที่ได้มาจากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม ทดสอบการงอกของเมล็ด โดยใช้น้ำสกัดจากกากตะกอนทั้ง 3 ชนิดและใช้น้ากลั่นเป็นชุดควบคุมมาเพาะเมล็ดผัก 2 ชนิด คือเมล็ดกวางตุ้งต้นและเมล็ดผักกาดขาวปลี พบว่าลักษณะสมบัติทางเคมีของกากตะกอนทั้ง 3 ชนิดที่วิเคราะห์ได้ ยังมีสมบัติบางประการ เช่น ปริมาณโพแทสเซียมต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ และปริมาณทองแดงและนิกเกิลสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกากตะกอนที่นำไปใช้เพื่อการเกษตร สำหรับ การทดสอบการงอกของเมล็ด พบว่าการงอกของเมล็ดและความยาวรากเฉลี่ยของกวางตุ้งต้นและ

ผักกาดขาวปลีที่เพาะในน้ำสกัดจากปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอน เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าปุ๋ยหมักที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชน สามารถที่จะนำใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้

ภาวนา และคณะ (2553) ได้ทดลองใช้กากตะกอนนิทิ้งชุมชนที่ผ่านการบำบัดโดยการย่อย (Digested sludge) มาหมักรวมกับท่อนไม้และเศษพืชแห้ง แล้วนำมาทดสอบการเจริญเติบโตของคะน้า พบว่าน้ำหนักคะน้าที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกับผลผลิตที่ได้จากปุ๋ยเคมี

นลินี (2546 อ้างโดย ปัญญา, 2554) นำแกลบและถ่านแกลบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงสีข้าวมาใช้ประโยชน์ในการเกษตรกรรม ทำการทดลองในวิทยาเขตพระนครศรีอยุธยาหันตรา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล เพื่อศึกษาผลของการใช้วัสดุปรับปรุงดินแบบต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน และการเจริญเติบโตของข้าวโพดเทียน พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักจากแกลบ 1 ตันต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี 16-20-0 อัตรา 25 กิโลกรัม มีผลทำให้อินทรียวัตถุ ปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ โพแทสเซียมที่สกัดได้ แคลเซียมที่สกัดได้ และแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด ส่วนปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ แมงกานีสที่สกัดได้ ทองแดงที่สกัดได้ และความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับการเจริญเติบโตของข้าวโพดเทียนในสิ่งทดลองดังกล่าว พบว่ามีน้ำหนักฝัก และจำนวนฝักทั้งหมดต่อไร่สูงกว่าไม่ใส่ปุ๋ย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษาของ เสาวภา (2554) โดยการใช้ปุ๋ยน้ำหมักมูลสุกรที่ผ่านระบบไบโอก๊าซบ่อหมักแบบโดมคงที่ ใช้เวลาในการหมักประมาณ 30-45 วัน พบว่าปุ๋ยน้ำหมักมีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.1 อินทรีย์คาร์บอน อินทรียวัตถุ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในปุ๋ยน้ำหมักมูลสุกรมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ค่าการนำไฟฟ้าที่ได้มีค่าไม่เกิน 10 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งไม่เป็นอันตราย ต่อพืช นอกจากนี้ได้นำปุ๋ยน้ำหมักมูลสุกรไปใช้กับแปลงเกษตร ไร่อ้อย ไร่มันสำปะหลัง และแปลงเกษตรผสมผสาน พบว่าให้ผลผลิตทางการเกษตรได้ดี และช่วยลดต้นทุนการผลิตได้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

แนวทางดำเนินการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินและน้ำหมักที่ได้จากกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต่อการเจริญของพืชมีขั้นตอนการทดลองดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 สรุปขั้นตอนต่างๆ ในวิธีการดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. วัสดุและอุปกรณ์

1. กากตะกอนมูลสุกรจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมของฟาร์มสุกร คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. ขวดรูปชมพู (Flask) ขนาด 100 ลบ.ซม.
3. ขวดรูปชมพู (Flask) ขนาด 250 ลบ.ซม.
4. บีกเกอร์ (Beaker)
5. กระบอกตวง (Cylinder)
6. ปิเปต (Pipette)
7. ถังพลาสติกฝาเกลียว ขนาด 20 ลิตร
8. ขวดเก็บตัวอย่างน้ำ ขนาด 1000 ลบ.ซม.
9. กระดาษกรองใยแก้ว GF/C เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 ซม.
10. กระดาษกรอง เบอร์1
11. กระดาษกรองเบอร์5
12. ปากคีบ
13. บิวเรตต์ ขนาด 50 ลบ.ซม.
14. ลูกยางปิเปต
15. กรวยแก้วจานเพาะเชื้อ
16. เครื่องดูดสุญญากาศ (Suction Pump)
17. กรวยบุชเนอร์ และขวดกรอง
18. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
19. โถดูดความชื้น
20. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ
21. เครื่องย่อยสาร
22. เครื่องกำจัดไอกรด
23. เครื่องกลั่นสาร
24. เครื่องวัดพีเอช
25. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

2. สารเคมี

1. น้ำกลั่นที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์
2. กรดไฮโดรคลอริคเข้มข้น
3. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์
4. สารละลายเมทิลออเรนจ์อินดิเคเตอร์
5. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.0167 โมลาร์
6. กรดซัลฟูริกเข้มข้นที่ผสมซิลเวอร์ซัลเฟต
7. สารละลายเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์
8. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ 0.5 โมลาร์
9. สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียซัลเฟต 0.10 โมลาร์
10. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต
11. อัลคาไรต์-ไอโอไดด์-เอไซด์ รีเอเจนต์กรดซัลฟูริกเข้มข้น
12. Sodium Hydroxide 32 %
13. Mixed indicator
14. กรดบอริค
15. แอมโมเนียมโมลิบเดต
16. แอมโมเนียมฟลูออไรด์
17. แอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เทต
18. กรดแอสคอบิค
19. สารละลายมาตรฐานเหล็ก แมงกานีส สังกะสี แมกนีเซียม แคลเซียม และทองแดง

วิธีการดำเนินการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตจากกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต่อการเจริญของพืช มีการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ตอนดังต่อไปนี้

1. การทดลองตอนที่ 1

1. ศึกษาองค์ประกอบกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

การศึกษาองค์ประกอบกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมมีวิธีการศึกษาดังนี้

1.1 ศึกษาองค์ประกอบกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม โดยจะมีการเก็บตัวอย่างกากตะกอนและน้ำล้นเพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืช โดยจะทำการทดสอบพารามิเตอร์ดัง ตารางที่ 8

ตารางที่ 8 องค์ประกอบและวิธีการวิเคราะห์องค์ของดิน กากตะกอนและน้ำล้น

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
pH	multi meter electrode
EC (Ds/m)	multi meter electrode
Organic matter	Wet oxidation (Walkley & Black)
Nitrogen	Kjeldahl method
Phosphorus	Bray II และทำให้เกิดสีโดยวิธี Molybdenum blue method และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Visible spectrophotometer
Potassium	Flame photometric
C/N ratio	Wet oxidation และ Kjeldahl method

1.2 การศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของกากตะกอนในสภาพบ่มดิน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการย่อยสลายของกากตะกอนในสภาพบ่มดินและปริมาณธาตุอาหารที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกากตะกอนโดยออกแบบการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย 1 ชุดการทดลอง 4 Treatments จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้

1.2.1 ชุดการทดลอง

การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในสภาวะบ่มดิน

Treatment 1	ชุดควบคุม	จำนวน 3 กระป๋อง
Treatment 2	ดิน + กากตะกอนจากถังไร้อากาศแบบกวนผสม	จำนวน 3 กระป๋อง
Treatment 3	ดิน + น้ำล้นจากถังไร้อากาศแบบกวนผสม	จำนวน 3 กระป๋อง
Treatment 4	ดิน + ปุ๋ยเคมีทางการค้า	จำนวน 3 กระป๋อง

1.2.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. ดินนา (ชุดดินสันทราย, Coarse-loamy, siliceous, subactive, isohyperthermic Aeric, Endoaqualfs.)
2. กระป๋องพลาสติกมีฝาปิดสนิทขนาด 20 ลิตร
3. กระป๋องพลาสติกขนาด 10 ออนท์
4. กากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม
5. น้ำล้นจากถังไร้อากาศแบบกวนผสม
6. ปุ๋ยเคมีทางการค้า (ยูเรีย)

1.2.3 วิธีการทดลอง

1. เตรียมดิน (ชุดดินสันทราย, Coarse-loamy, siliceous, subactive, isohyperthermic Aeric, Endoaqualfs.) โดยนำมาผึ่งในที่ร่มเป็นเวลา 7 วัน ทำการบดและร่อนให้มีขนาด 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติและปริมาณธาตุอาหารพืชในดิน (ตารางที่ 8)

2. ผสมดินในแต่ละชุดการทดลองในปริมาณ 100 กรัม โดยกำหนดให้มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 0.5% เป็นจำนวน 8 กระป๋อง มีความชื้นเท่ากับ 60% ความจุอุ้มน้ำ (Alburquerque et al, 2010) นำมาบ่มในกระป๋องพลาสติกปิดสนิท ที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ (50 มิลลิลิตร) บรรจุอยู่ภายในเพื่อดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมา

3. วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 มิลลิลิตรมาตกตะกอนด้วยแบเรียมคลอไรด์ (1 มิลลิลิตร) หยดอินดิเคเตอร์ phenolphthalein 0.1% และนำมาไตเตรทกับสารละลายไฮโดรคลอริคเข้มข้น 0.25 โมลาร์ (Anderson, 1982 ; Walpola and Wanniarachchi, 2009) การวัดการ

ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำการวัด ทุกๆ4 ชั่วโมงในวันแรกของการทดลอง หลังจากนั้นจะทำการวัดทุกๆ 3 วันตลอดการทดลอง (56 วัน)

4. ทำการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุด้วยวิธี Walkley & Black ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ด้วยวิธี Bray-II ไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์โดยการประเมินจากปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน ทุกสัปดาห์

5. วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารพืช (แอมโมเนียไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน และฟอสฟอรัส) โดยโปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 22 (One-way ANOVA) โดยวิธี DMRT (Duncan' New Multiple Range Test)

2. การทดลองตอนที่ 2

1. การทดลองปรับปรุงกากตะกอนจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม ให้เป็นวัสดุปรับปรุงดินที่เหมาะสม และการใช้น้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมเป็นน้ำหมักสำหรับการเจริญของพืช

ในขั้นตอนการปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อให้ได้วัสดุปรับปรุงดินที่เหมาะสมนี้ เนื่องจากน้ำล้นที่ได้จากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมนี้ มีความเข้มข้นต่ำ สามารถนำไปใช้เป็นน้ำหมักสำหรับพืชได้ จึงได้ทำการปรับปรุงเฉพาะในส่วนของกากตะกอน ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.1 ทำการปรับปรุงคุณสมบัติของกากตะกอนจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม โดยการผสมกับแกลบดำ หินฟอสเฟตและกากน้ำตาล โดยให้มีความเหมาะสม เพื่อนำไปเป็นวัสดุปรับปรุงดิน โดยการปรับและพัฒนาสูตรและอัตราการใช้โดยมีพื้นฐานจากปริมาณของธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช

1.1.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. กากตะกอนจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม
2. กากน้ำตาล
3. แกลบดำ
4. หินฟอสเฟต

1.1.2 วิธีการทดลอง

1. ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืช (N, P, K) ในกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (จากขั้นตอนที่ 1)

2. ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชในแกลบดำและกากน้ำตาล (N, P, K)

3. หาอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุแต่ละชนิด (ภาคผนวก ค.1) เพื่อผสมให้มีปริมาณธาตุอาหารพืชในวัสดุปรับปรุงดินที่ได้ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ โดยทำการตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังตารางที่ 8

4. ทำการผสมวัสดุแต่ละชนิดตามอัตราส่วน จากนั้นทำการเติมกากน้ำตาลปริมาณ 100 มิลลิลิตรแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วนำมาวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชดังตารางที่ 8

1.2 การทดลองวิเคราะห์ดัชนีการงอกของพืชต่อวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้ โดยเทียบกับกากตะกอนและน้ำหมักจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการย่อยสลายที่สมบูรณ์และความเป็นพิษต่อการเจริญของเมล็ดพืชของวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้ โดยมีการออกแบบการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) ประกอบด้วย 1 ชุดการทดลอง 4 Treatments จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้

1.2.1 ชุดการทดลอง

ทดสอบเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดผักกวางตุ้ง

Treatment 1 ชุดควบคุม (น้ำกลั่น) จำนวน 3 จานเพาะ
Treatment 2 กากตะกอนจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม จำนวน 3 จานเพาะ
Treatment 3 น้ำหมักจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม จำนวน 3 จานเพาะ
Treatment 4 วัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้ (จากข้อ 2.1) จำนวน 3 จานเพาะ

1.2.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

1. เมล็ดผักกวางตุ้ง
2. จานเพาะเชื้อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร
3. น้ำกลั่น
4. เครื่องเขย่า
5. กระดาษกรองเบอร์1
6. คีมคีบ
7. ไม้บรรทัด

1.2.3 วิธีการทดลอง

1. สกัดสารละลายกากตะกอน น้ำหมัก และวัสดุปรับปรุงดินในน้ำกลั่น อัตราส่วน 1:10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เขย่าที่ 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

2. วางกระดาษกรองในจานเพาะหลังจากนั้นวางเมล็ดผักกวางตุ้งจำนวน 10 เมล็ดต่อจานเพาะ

3. ใส่น้ำสกัดในจานเพาะ จานละ 3 มิลลิลิตร โดยใส่น้ำกลั่นในชุดควบคุม

4. บ่มจานเพาะเมล็ดไว้ในที่มืด อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

5. ทำการวัดความยาวของราก และนับจำนวนเมล็ดที่งอกในน้ำสกัด

6. การคำนวณ

$$\text{ดัชนีการงอกของเมล็ด (GI, \%)} = \frac{\text{เปอร์เซ็นต์ความงอก x ความยาวรากตำรับน้ำสกัดปุ๋ยหมัก}}{\text{เปอร์เซ็นต์ความงอก x ความยาวรากตำรับควบคุม}} \times 100$$

7. นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความยาวราก จำนวนเมล็ดที่งอก และค่าดัชนีการงอกของเมล็ดโดยโปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 22 (One-way ANOVA) โดยวิธี DMRT (Duncan' New Multiple Range Test)

3. การทดลองตอนที่ 3

1. การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนและน้ำล้นต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเทียบวัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

1.1 การวางแผนการทดลอง

การทดลองนี้ใช้เมล็ดข้าวโพดหวานพันธุ์ แม่โจ้ 84 F1 ตลอดการทดลอง มีการใส่วัสดุปรับปรุงดิน 2 ครั้ง โดยมีอัตราการใส่ครั้งที่ 1 อัตราที่เทียบเท่าปุ๋ย 15-15-15 ที่ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ครั้งที่ 2 อัตราที่เทียบเท่าปุ๋ย 46-0-0 ที่ 30 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งมีการออกแบบการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 1 ชุดการทดลอง 5 Treatments จำนวน 5 ซ้ำดังนี้

1.1.1 ชุดการทดลอง

ข้าวโพด

Treatment 1	ชุดควบคุม	จำนวน 5 กระถาง
Treatment 2	วัสดุปรับปรุงดินที่เป็นการค้า	จำนวน 5 กระถาง

Treatment 3 วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม จำนวน 5 กระถาง

Treatment 4 น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม จำนวน 5 กระถาง

Treatment 5 วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม + น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม จำนวน 5 กระถาง

1.2.2 วัสดุและอุปกรณ์

1. เมล็ดข้าวโพดพันธุ์ หวานแม่โจ้ 84F1
2. ดิน (ชุดดินสันทราย, Coarse-loamy, siliceous, subactive, isohyperthermic Aeric, Endoaqualfs.)
3. เครื่องชั่ง
4. กระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร
5. ถาดเพาะเมล็ด
6. กระบอกฉีดน้ำ
7. วัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้จากกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม
8. ปุ๋ยเคมีทางการค้า (ยูเรีย)

1.2.3 วิธีการทดลอง

1. ทำการเตรียมดินโดยขุดดินจากแปลงนา มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ความลึก 15 เซนติเมตรนำไปผึ่งในที่ร่มเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นทำการกำจัดวัชพืชและบดให้มีขนาดเล็ก แล้วนำมาบรรจุในกระถางพลาสติกในปริมาณ 7 กิโลกรัมต่อกระถาง

2. ทำการเก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการเพาะปลูกเพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยทำการ วิเคราะห์ pH, %OM ด้วยวิธี Walkley and Black, วิเคราะห์ N ด้วยวิธี Kjeldahl, วิเคราะห์ P ด้วยวิธี Bray II วิเคราะห์ K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu และ Zn ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (จำเป็น, 2546)

3. ทำการเพาะเมล็ดข้าวโพดในถาดเพาะจนเมล็ดงอกโดยวัดความยาวได้ประมาณ 5 เซนติเมตร จึงทำการย้ายต้นข้าวโพดใส่ในกระถางพลาสติกโดยมีการให้น้ำทุกๆ 3 วัน

4. ในการใส่วัสดุปรับปรุงดินและปุ๋ยทางการค้าได้มีการแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือ ใส่ปุ๋ยรองพื้นก่อนนำต้นกล้าลงปลูกในกระถาง เทียบเท่า N 15-15-15 ที่อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่

หลังจากย้ายปลูกได้ 30 วัน เทียบเท่า N 46-0-0 ที่อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ โดยปริมาณการใส่ปุ๋ยแต่ละครั้งแสดงในตารางที่ 9

5. บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดระหว่างทำการทดลอง โดยทำการบันทึกข้อมูลทุกสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 45 วันโดยศึกษาถึงการเจริญเติบโต ความสูงของต้น จำนวนใบต่อต้น

6. เมื่อครบ 45 วัน ทำการวิเคราะห์น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณธาตุอาหารพืชในต้นข้าวโพดในห้องปฏิบัติการ โดยทำการวิเคราะห์ N ด้วยวิธี Kjeldahl, วิเคราะห์ P ด้วยวิธี Vanadomolybdate แล้ววัดด้วย UV-visible spectrophotometer, วิเคราะห์ K ด้วยวิธี Frame photometer วิเคราะห์ปริมาณ Ca, Mg, Fe, Mn, Cu และ Zn ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

7. นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของ ความสูง จำนวนใบ ความยาวใบ น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และปริมาณธาตุอาหารในดิน และในพืช โดยโปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 22 (One-way ANOVA) โดยวิธี DMRT (Duncan' New Multiple Range Test)

ตารางที่ 9 อัตราการใช้วัสดุปรับปรุงดินที่ใส่ในแต่ละครั้ง

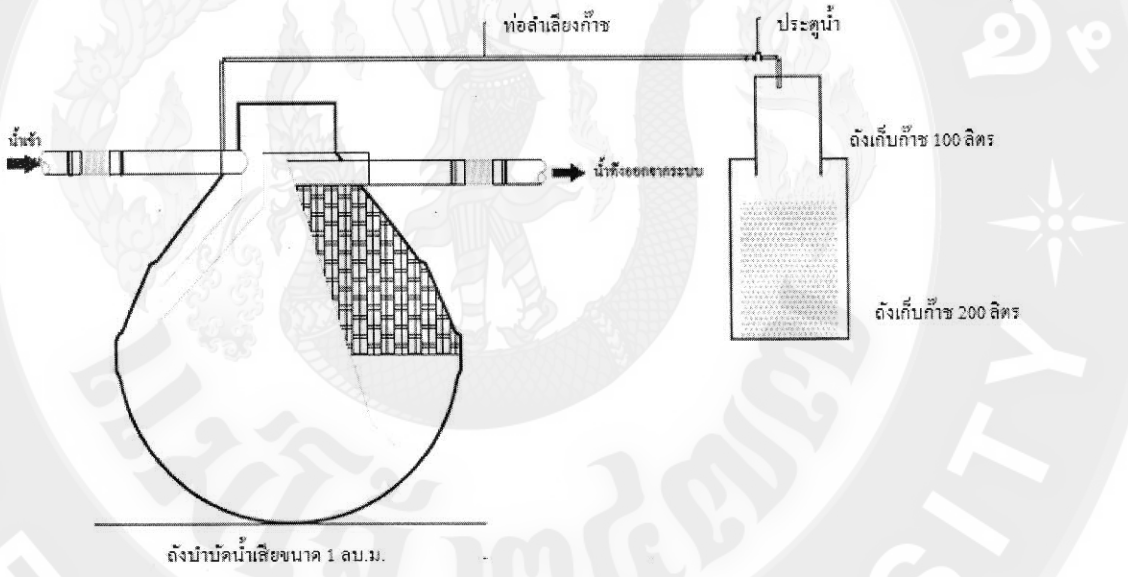
Treatment	วัสดุปรับปรุงดิน	ปริมาณการใส่ครั้งที่ 1	วัสดุปรับปรุงดิน	ปริมาณการใส่ครั้งที่ 2
1	ไม่ใส่	0	ไม่ใส่	0
2	ทางการค้า	2.48 กรัม	ทางการค้า	5.22 กรัม
3	ที่ผลิตได้จากกากตะกอน	6.86 กรัม	ที่ผลิตได้จากกากตะกอน	12.3 กรัม
4	น้ำหมัก	120 มิลลิลิตร	น้ำหมัก	220 มิลลิลิตร
5	ที่ผลิตได้จากกากตะกอน	6.86 กรัม	น้ำหมัก	220 มิลลิลิตร

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการทดลองตอนที่ 1

1. การศึกษาองค์ประกอบของกากตะกอนและน้ำล้นที่ออกจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

กากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านการบำบัดจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมเพื่อผลิตก๊าชชีวภาพของฟาร์มสุกร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ (ภาพที่ 5) ที่มีการสูบเติมน้ำเสียเข้าระบบวันละ 100 ลิตรและในขั้นตอนนี้ยังมีการสูบน้ำทิ้งที่ล้นออกจากถังหมักวนกลับเข้าไปในระบบอีกครั้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ (ฐปน และคณะ, 2556)



ภาพที่ 5 ถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

ที่มา: ฐปน และคณะ 2556

การเก็บตัวอย่างกากตะกอนและน้ำล้นเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำซึ่งการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของกากตะกอนและน้ำล้น พบว่ากากตะกอนมีลักษณะเป็นของแข็งสีดำ ร่วน น้ำหนักเบา

ไม่มีกลิ่น (ภาพที่ 6ก) ส่วนน้ำล้นมีลักษณะเป็นของเหลว สีเหลืองใส ไม่มีกลิ่น (ภาพที่ 6ข) ค่า pH ของกากตะกอนและน้ำล้นมีค่าเท่ากับ 6.95 และ 7.37 ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ทั้งในกากตะกอนและน้ำล้นมีค่าเท่ากับ 3.86 ms/cm. และในน้ำล้นมีค่าเท่ากับ 2.34 ms/cm. แสดงในตารางที่ 10

(ก) (ข)

ภาพที่ 6 ลักษณะของกากตะกอน (ก) และน้ำล้น (ข) จากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

ตารางที่ 10 ลักษณะทางกายภาพ ค่า pH และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

วัสดุที่ผ่านถังหมักไร้อากาศ	ลักษณะทางกายภาพ	กากตะกอน		น้ำล้น	
		EC ms/cm	pH	EC ms/cm	pH
ถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม	ตะกอนสีดำ น้ำหนักเบา ไม่มีกลิ่น/ของเหลว สีเหลืองใส ไม่มีกลิ่น	3.86	6.95	2.34	7.37
ถังหมักไร้อากาศฟาร์มสุกรทั่วไป*	-	3.70	6.23	6.15	6.71

ที่มา: *ฐปน และคณะ (2553)

ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารของกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ในกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (ตารางที่ 11) พบว่าปริมาณธาตุอาหารหลักในกากตะกอนและน้ำล้นมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยในกากตะกอนมีค่าไนโตรเจนเท่ากับ 0.912% ฟอสฟอรัสเท่ากับ 110 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียม มีค่าเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในน้ำล้นมีปริมาณธาตุอาหารหลักต่ำกว่ากากตะกอนเป็นอย่างมาก โดยมีค่าไนโตรเจนเท่ากับ 0.136% ฟอสฟอรัสเท่ากับ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร และโพแทสเซียมมีค่าเท่ากับ 900 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะเห็นว่ากากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ซึ่งได้กำหนดให้ค่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ต้องไม่น้อยกว่า 1%, 0.5% และ 0.5% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าธาตุอาหารมีค่าต่ำกว่าฟาร์มสุกรทั่วไป (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ปริมาณธาตุอาหารหลักของกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

แหล่งที่มา	กากตะกอน			น้ำล้น		
	N (%)	P (มก./กก.)	K (มก./กก.)	N (%)	P (มก./ล.)	K (มก./ล.)
ถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม	0.912	110	500	0.136	60	900
ถังหมักไร้อากาศฟาร์มสุกรทั่วไป*	1.84	6,900	2,200	0.19	2,000	ไม่มี

ที่มา: *ฐปน และคณะ (2553)

ตารางที่ 12 ปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุในกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

วัสดุที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม	Ca	Mg	Zn	Fe	Cu	Mn
กากตะกอน (มก./กก.)	1,424	204.8	75	20.72	14.15	10.11
น้ำล้น (มก./ล.)	1,184	148.8	37	20.86	14.5	10.14

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุ (แคลเซียม, แมกนีเซียม, สังกะสี, เหล็ก, ทองแดง และแมงกานีส) ในกากตะกอนและน้ำล้น (ตารางที่ 12) พบว่าธาตุอาหารรองในกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยแคลเซียม และแมกนีเซียม ในกากตะกอนและน้ำล้นมีค่าเท่ากับ 1424, 1184 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 204.8, 148.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนจุลธาตุในกากตะกอนพบว่ามีสังกะสี เหล็ก ทองแดง และแมงกานีส มีค่าเท่ากับ 75, 20.72, 14.15 และ 10.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนในน้ำล้นมีปริมาณสังกะสีต่ำกว่ากากตะกอนโดยมีค่าเท่ากับ 37 มิลลิกรัมต่อลิตร เหล็ก ทองแดงและแมงกานีสมีค่าใกล้เคียงกันโดยเท่ากับ 20.86, 14.5 และ 10.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ตารางที่ 13 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อินทรียวัตถุ และค่า C/N ในกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

วัสดุที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม	%OC	%OM	C/N
กากตะกอน	10.58	18.23	11.60
น้ำล้น	1.58	2.72	11.62

ปริมาณอินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (ตารางที่ 13) ในกากตะกอนอินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนมีปริมาณเท่ากับ 18.23% และ 10.58% ตามลำดับ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ในกากตะกอนและน้ำล้นจากถัง

หมักไร้อากาศแบบกวนผสมมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยค่า C/N ในกากตะกอนและน้ำล้นเท่ากับ 11.60 และ 11.62 ตามลำดับ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ากากตะกอนที่ได้มีค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ทั้งในกากตะกอนและน้ำล้นมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2551) ปริมาณธาตุอาหารหลักในกากตะกอนและน้ำล้นมีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งได้กำหนดให้ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ต้องไม่น้อยกว่า 1%, 0.5% และ 0.5% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าธาตุอาหารมีค่าต่ำกว่าฟาร์มสุกรทั่วไป เนื่องจากปริมาณของเสียที่เข้าระบบน้อยโดยเฉพาะของแข็งแขวนลอย (ของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 571.7 มิลลิกรัมต่อลิตร) รวมไปถึงขนาดของถังหมักที่มีปริมาณเล็กกว่าจึงทำให้ระยะเวลาเก็บกักในระบบที่สั้นกว่าซึ่งส่งผลให้ปริมาณค่าอายุตะกอนในถังมีค่าต่ำกว่าด้วย ซึ่งค่าอายุตะกอนนี้มีผลต่อคุณภาพของกากตะกอนในระบบย่อยสลายสารอินทรีย์โดยถังหมักแบบไร้อากาศ ส่วนปริมาณธาตุอาหารรอง (แคลเซียม และแมกนีเซียม) และจุลธาตุ (สังกะสี, เหล็ก, ทองแดง และแมงกานีส) พบว่าธาตุอาหารรองและจุลธาตุมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันในกากตะกอนและน้ำล้น มีเพียงสังกะสีในน้ำล้นที่มีปริมาณต่ำกว่า

อินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมมีปริมาณต่ำกว่ากากตะกอนฟาร์มสุกรทั่วไปรวมไปถึงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ซึ่งอินทรียวัตถุนั้นถือเป็นหัวใจสำคัญที่แสดงถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยเป็นแหล่งให้พลังงานและคาร์บอนโดยตรงแก่สิ่งมีชีวิตในดิน (สุนทรี, 2554) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมวัสดุอื่นๆ เพื่อให้ได้กากตะกอนที่มีคุณภาพเมื่อนำไปใช้ประโยชน์เป็นวัสดุปรับปรุงดิน โดย Rao et al. (2007) ได้ทดลองผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากวัสดุที่มีอินทรียวัตถุสูงโดยผสมมูลสุกรในปริมาณ 20% (w/w) มูลไก่ 26% (w/w) ก้อนเห็ดที่ใช้แล้ว 26% (w/w) กากกาแฟ 18% (w/w) และเศษกระดาษ 10% (w/w) ได้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 2.3, 1.6 และ 3.1% ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยในสนามกอล์ฟได้ ส่วนผลการวิเคราะห์ค่า C/N ในกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม พบว่ามีค่าเท่ากับ 11.60 ซึ่งกากตะกอนและน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมนี้เป็นวัสดุอินทรีย์ที่สามารถสลายตัวได้ดี และมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้มีค่า C/N ไม่เกิน 20

2. การทดสอบการปลดปล่อยธาตุอาหารของกากตะกอน

ในการทดสอบการปลดปล่อยธาตุอาหารของกากตะกอน ใช้ดินจากแปลงนา มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มาบ่มร่วมกับกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 14 โดยดินตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองมีปริมาณดินทรายเท่ากับ

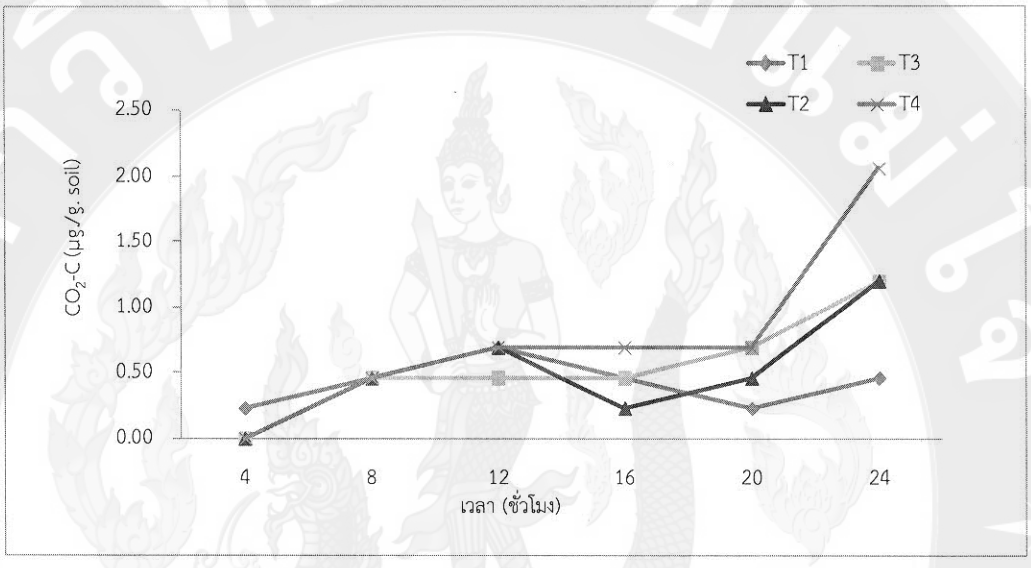
63.21% ซิลท์ 23.41% และดินเหนียว 13.37% เมื่อนำมาเทียบคุณสมบัติของเนื้อดินในตารางสามเหลี่ยมสำหรับใช้พิจารณาประเภทเนื้อดิน (ภาพภาคผนวกที่ 5) แล้วพบว่ามีคุณสมบัติเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy loam) เป็นดินที่อยู่ในชุดดินสันทราย ค่า pH ของดินมีค่า 7.67 จัดว่ามีความเหมาะสมต่อการเจริญของพืช แต่ปริมาณอินทรียวัตถุต่ำซึ่งมีค่าไม่ถึง 1% ส่วนปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีประมาณ 0.05% และ 23.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ด้านคุณสมบัติของกากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม พบว่ามีค่า pH เป็นกลาง (7.22) อินทรียวัตถุรวมไปถึงไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีปริมาณเท่ากับ 18.23% 0.91% และ 110 มก/กก ตามลำดับ ซึ่งมีสูงกว่าน้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม ที่มีปริมาณอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเท่ากับ 2.72% 0.14% และ 60 มก/กก ตามลำดับ และวัสดุทั้ง 2 ชนิดมีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 11.6 และ 11.62 ตามลำดับ ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้

ตารางที่ 14 คุณสมบัติเบื้องต้นของดินและกากตะกอน (น้ำหนักแห้ง)

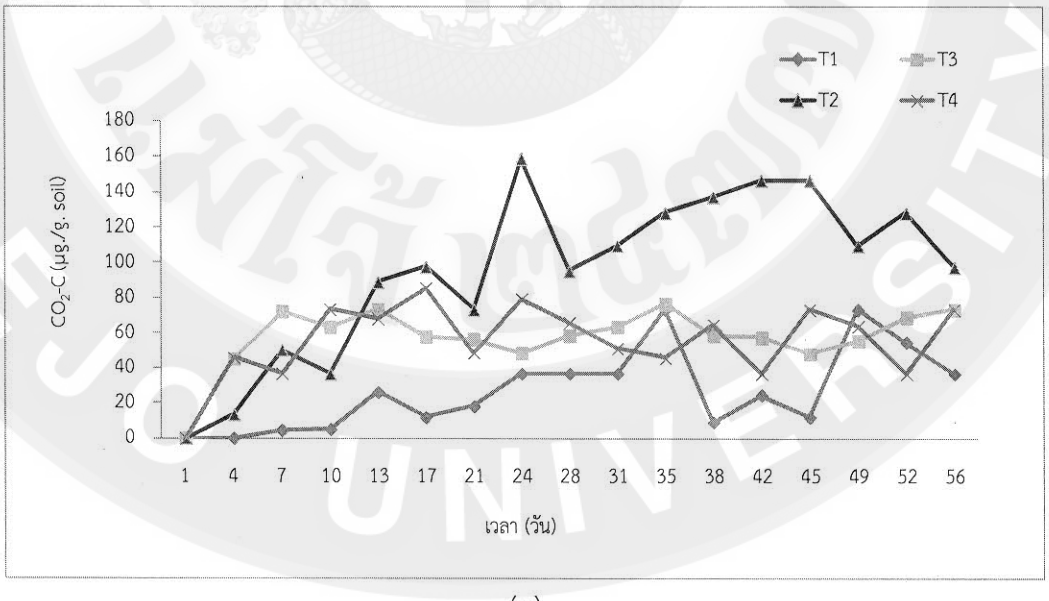
คุณสมบัติ	ดินตัวอย่าง (ชุดดินสันทราย)	วัสดุ	
		กากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม	น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม
อนุภาคดิน (%)			
ดินทราย	63.21	ไม่วิเคราะห์	ไม่วิเคราะห์
ซิลท์	23.41	ไม่วิเคราะห์	ไม่วิเคราะห์
ดินเหนียว	13.37	ไม่วิเคราะห์	ไม่วิเคราะห์
เนื้อดิน	ดินร่วนปนทราย	ไม่วิเคราะห์	ไม่วิเคราะห์
pH	7.67	7.22	7.37
อินทรียวัตถุ (%)	0.95	18.23	2.72
อินทรีย์คาร์บอน (%)	0.55	10.58	1.58
ไนโตรเจน (%)	0.05	0.91	0.14
ฟอสฟอรัส (available-P, mg/kg)	23.27	110	60
อัตราส่วน C/N	11	11.6	11.62

2.1 การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการบ่มวัสดุปรับปรุงดิน

การทดลองวิเคราะห์การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดิน โดยวิธีการบ่มดินนี้ แบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย ชุดควบคุม (T1) ชุดทดลองบ่มดินร่วมกับกากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (T2) ชุดทดลองบ่มดินร่วมกับน้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (T3) และชุดทดลองบ่มดินร่วมกับปุ๋ยเคมีทางการค้า (T4) ได้ ซึ่งผลการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงดังภาพที่ 7



(ก)



(ข)

ภาพที่ 7 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากกากตะกอน

(ก) 24 ชั่วโมงแรก และ (ข) ตลอดการทดลอง

หมายเหตุ T1 = ดิน (ชุดควบคุม)

T2 = ดิน + กากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

T3 = ดิน + น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

T4 = ดิน + ปุ๋ยเคมีทางการค้า

ผลของการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน (ภาพที่ 7ก) พบว่าในช่วง 4 ชั่วโมงแรก ชุดควบคุม (T1) มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ส่วนในชุดที่ใส่กากตะกอนถังหมักไร้อากาศ น้ำล้นถังหมักไร้อากาศ และปุ๋ยเคมี (T2, T3 และ T4) จะเริ่มมีการปลดปล่อยในช่วงชั่วโมงที่ 8 และมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดในชั่วโมงที่ 24 โดยชุดที่ใส่ปุ๋ยเคมี (T4) มีการปลดปล่อยสูงสุดเท่ากับ 2.06 ไมโครกรัมต่อกรัมดิน รองลงมาเป็นชุดทดลอง T2 และ T3 ที่มีปริมาณการปลดปล่อยเท่ากันที่ 1.20 ไมโครกรัมต่อกรัมดิน ส่วน T1 มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุดเท่ากับ 0.46 ไมโครกรัมต่อกรัมดิน การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดการทดลอง (ภาพที่ 7ข) พบว่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยจะมีปริมาณสูงที่สุดในดินที่มีการเติมกากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (T2) (95.32 ไมโครกรัมต่อกรัมดิน) และมีการปลดปล่อยสูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 3 โดยมีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เท่าส่วนกับ 158.89 ไมโครกรัมต่อกรัมดิน น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (T3) มีปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมี (T4) โดยมีการปลดปล่อยเฉลี่ยเท่ากับ 57.64 และ 55.88 ไมโครกรัมต่อกรัมดินตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินหลังการใส่กากตะกอนจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม น้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม และปุ๋ยเคมีทางการค้านั้น (ตารางที่ 15) พบว่าหลังการใส่วัสดุวัสดุต่างๆมีผลทำให้คุณสมบัติทางเคมีของดินเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยเฉพาะอินทรียวัตถุที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นในดิน โดยเฉพาะชุดทดลองที่ใส่กากตะกอนจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (T2) ที่มีปริมาณเท่ากับ 1.90±0.10% รองลงมาเป็นชุดทดลองที่ใส่น้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (T3) ที่มีปริมาณเท่ากับ 0.95±0.09% แสดงให้เห็นว่าการใส่กากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม สามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินและมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ ส่วนรูปแบบการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินในแต่ละชุดการทดลองนั้น จะมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 2 และ 3 หลังจากนั้นจะมีปริมาณลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการลดลงของกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยปริมาณอินทรียวัตถุมีค่าสูงสุดในชุดทดลอง T2 รองลงมาเป็นชุดทดลอง T3 ส่วนชุดทดลอง T1 (ชุดควบคุม) และชุดทดลอง T4 มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักโดยมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.75±0.08 และ 0.86±0.09% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 8

ตารางที่ 15 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินเมื่อผ่านการใส่วัสดุปรับปรุงดิน

ชุดการทดลอง	คาร์บอนไดออกไซด์ มค.ก./ก. ดิน	อินทรียวัตถุ %	แอมโมเนียไนโตรเจน มก./กก. ดิน	ไนเตรทไนโตรเจน มก./กก. ดิน	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มก./กก. ดิน
T1	27.10±5.66a	0.75±0.08a	108.30±8.17a	45.40±4.66a	77.60±5.53a
T2	95.32±4.25C	1.90±0.10b	177.99±15.20b	233.55±27.51c	168.94±2.65d
T3	57.64±11.42b	0.95±0.09a	123.47±5.91a	131.10±13.87b	111.49±4.47b
T4	55.88±5.16b	0.86±0.09a	259.96±32.87c	294.48±34.96c	136.96±5.87c
F-test	*	*	*	*	*
CV (%)	64.26	57.44	67.60	87.55	33.24

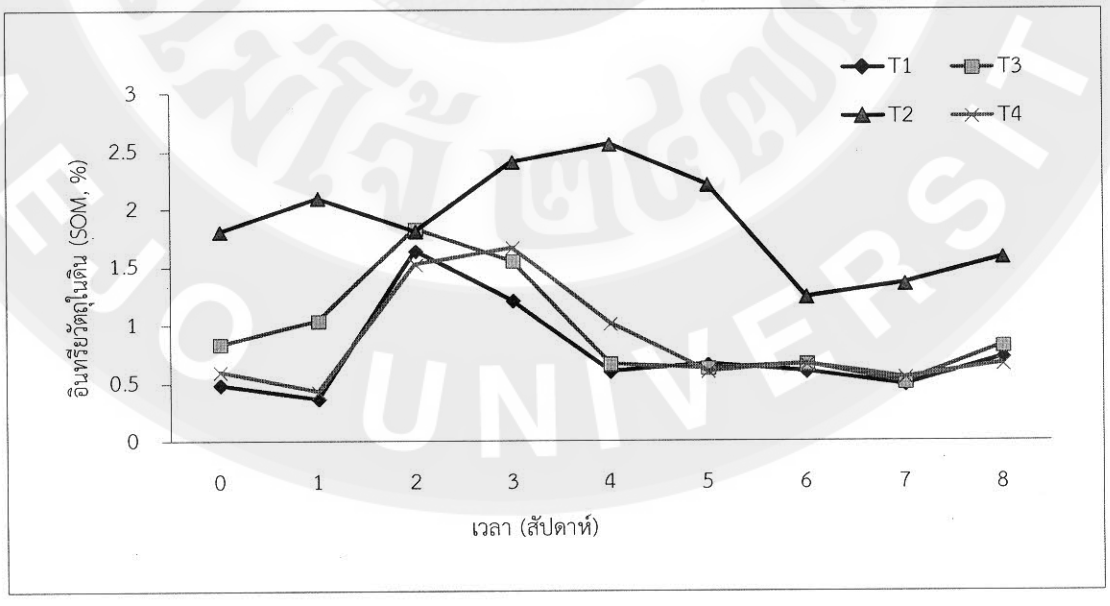
หมายเหตุ *ค่าที่ตามด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (DMRT)

T1 = ดิน (ชุดควบคุม)

T2 = ดิน + กากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

T3 = ดิน + น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

T4 = ดิน + ปุ๋ยเคมีทางการค้า



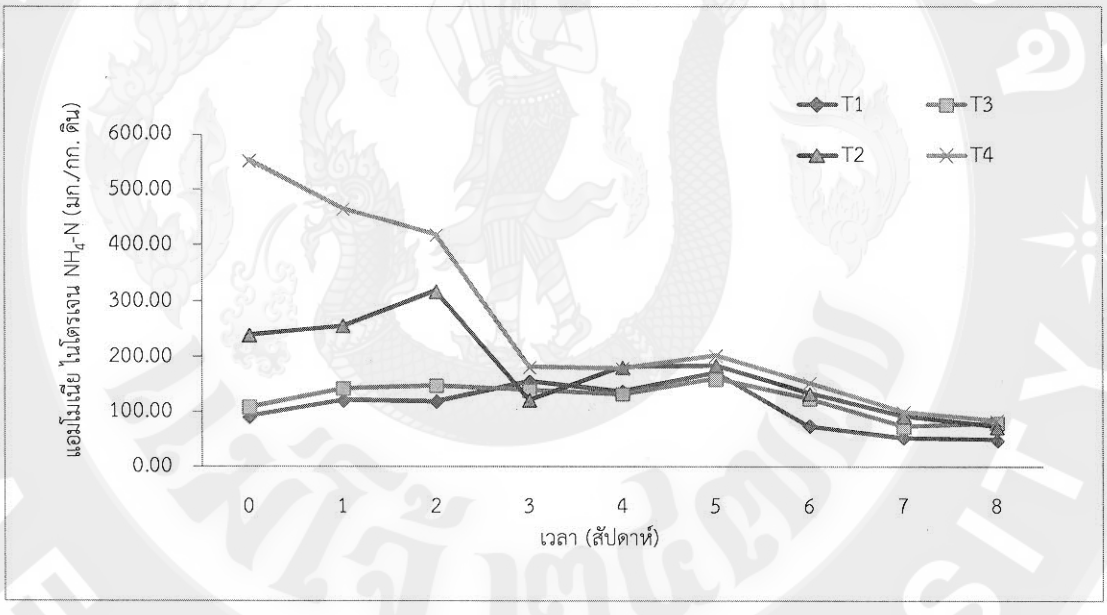
ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณอินทรียวัตถุในดินหลังใส่กากตะกอน

รูปแบบการสลายตัวของอินทรียวัตถุในกากตะกอนที่เกิดจากกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดินจะพบในช่วง 3-4 สัปดาห์แรกของการบ่มดิน ซึ่งเกิดจากการสลายสารอินทรีย์ที่สลายตัวได้ง่าย ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จุลินทรีย์ปลดปล่อยออกมาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และจะมีค่าลดลงหลังจากนั้นเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ลดลง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นนั้นนอกจากจะเกิดจากการย่อยสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ยังพบว่าเกิดจากการหายใจของจุลินทรีย์ด้วย (อานัฐ และคณะ, 2557) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่ามีเพียงชุดที่ใส่กากตะกอนที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูง ส่วนน้ำล้นและปุ๋ยเคมีทางการค้านั้นมีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งส่วนหนึ่งเกิดจากปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่มีในกากตะกอนมีค่าที่ไม่ต่างกัน และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงนี้ยังพบว่ามีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ที่มีค่าน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Cayuela et al. (2010) ที่ได้เปรียบเทียบอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุอินทรีย์ 6 ชนิดพบว่าวัสดุที่มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่น้อยจะเกิดการย่อยสลายและปลดปล่อยคาร์บอนได้ง่ายกว่าวัสดุที่มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง ส่วนปัจจัยอื่นๆ เช่นความชื้นในดินจะมีผลให้สารอินทรีย์ในวัสดุปรับปรุงดินเกิดการย่อยสลายได้ดีขึ้น (Mekki et al. 2009) และจากกราฟจะเห็นว่ารูปแบบและปริมาณการปลดปล่อยจะลดลงในช่วงหลังจากสัปดาห์ที่ 4 ซึ่ง Hartz et al. (2000) ได้อธิบายว่าเกิดจากปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายลดลง โดยมีผลให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินลดลงด้วย ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่าจะมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 2 และ 3 หลังจากนั้นจะมีปริมาณลดลงเนื่องจากเป็นผลมาจากการลดลงของกิจกรรมของจุลินทรีย์ สอดคล้องกับผลการทดลองของ สุนทรี (2554) ที่ได้อธิบายว่าในช่วงแรกของการใส่วัสดุปรับปรุงดิน จะเกิดการย่อยสลายอินทรียวัตถุกลุ่มที่อยู่ในรูปที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย เช่น แป้ง น้ำตาล และโปรตีน ซึ่งจะเป็นการกระตุ้นให้เกิดกิจกรรมของจุลินทรีย์อย่างมาก ทำให้มีการผลิตและปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดินเมื่อผ่านไประยะหนึ่ง จะพบว่าอินทรียวัตถุในดินกลุ่มนี้ก็จะลดลงไปเป็นอินทรียวัตถุที่มีสภาพคงตัว (ฮิวมัส) พร้อมๆกับระดับของกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินที่ลดลง ส่วน นงลักษณ์ และ วีณา (2557) ได้อธิบายว่าการเติมวัสดุปรับปรุงดินสามารถเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินได้ โดยธาตุอาหารพืชจะถูกปลดปล่อยออกมาในดินที่ใส่วัสดุอินทรีย์ และปริมาณการปลดปล่อยจะขึ้นกับปริมาณธาตุอาหารในวัสดุอินทรีย์ที่นำมาใช้ รวมไปถึงสภาพแวดล้อมและคุณสมบัติของจุลินทรีย์ในดินด้วย

2.2 การปลดปล่อยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในกากตะกอน

2.2.1. การสลายตัวและปลดปล่อยไนโตรเจน

การสลายตัวและการปลดปล่อยไนโตรเจน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยในช่วงแรกของการบ่มดินร่วมกับกากตะกอน แอมโมเนียไนโตรเจน (ภาพที่ 9) มีปริมาณสูงเนื่องจากมีปริมาณไนโตรเจนสูงโดยเฉพาะในปุ๋ยเคมี (T4) และกากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (T2) โดยมีปริมาณเท่ากับ 552.65 และ 216.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ ส่วน T1 และ T3 มีปริมาณการปลดปล่อยที่ใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำกว่าโดยมีค่าเท่ากับ 91.17 และ 114.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ และหลังจากนั้นในช่วงสัปดาห์ที่ 3 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าลดลง โดย T4 มีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยสูงสุดเท่ากับ 259.96±32.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน



ภาพที่ 9 การปลดปล่อยไนโตรเจนจากกากตะกอนในรูปแอมโมเนีย ไนโตรเจน

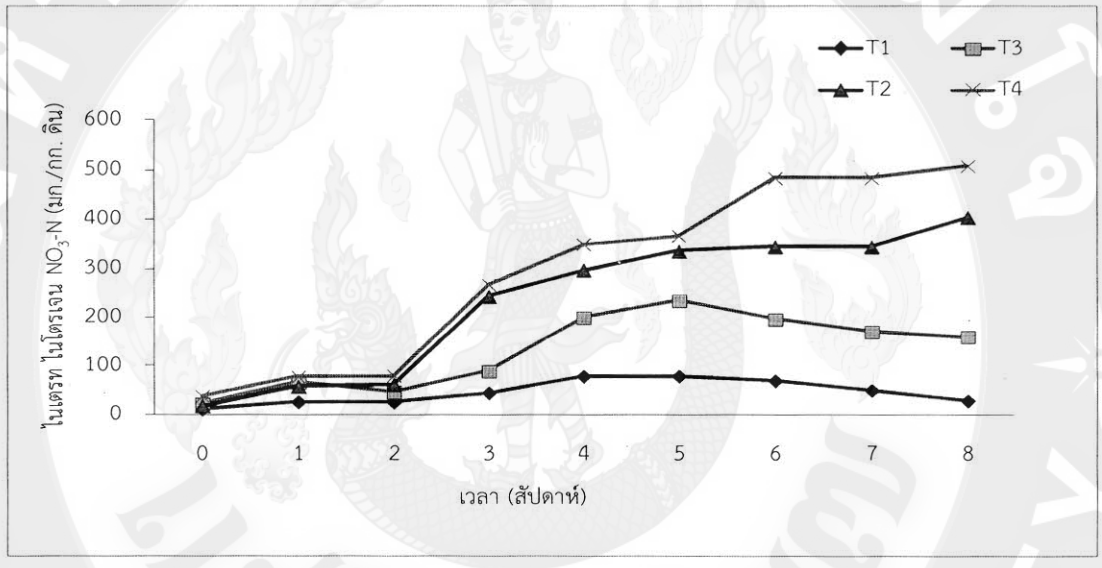
หมายเหตุ T1 = ดิน (ชุดควบคุม)

T2 = ดิน + กากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

T3 = ดิน + น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

T4 = ดิน + ปุ๋ยเคมีทางการค้า

ปริมาณไนเตรท ไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมา พบว่าพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อีกทั้งยังพบว่าในช่วงเวลาเดียวกันไนเตรท ไนโตรเจนมีปริมาณเพิ่มขึ้นตรงข้ามกับแอมโมเนียไนโตรเจน (ภาพที่ 10) โดยชุดที่ใส่ปุ๋ยเคมี (T4) มีปริมาณการปลดปล่อยเฉลี่ยสูงสุด (294.48±34.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน) รองลงมา คือชุดทดลอง T2 (233.55±27.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน) ส่วน T3 มีปริมาณการปลดปล่อยเฉลี่ยเท่ากับ 131.10±13.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน และชุดควบคุม (T1) มีปริมาณการปลดปล่อยต่ำสุดเท่ากับ 45.40±4.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน จากกราฟจะเห็นว่าไนเตรท ไนโตรเจนจะเริ่มมีการปลดปล่อยในช่วงตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนเตรท (nitrification)



ภาพที่ 10 การปลดปล่อยไนโตรเจนจากกากตะกอนในรูปไนเตรท ไนโตรเจน

หมายเหตุ T1 = ดิน (ชุดควบคุม)
T2 = ดิน + กากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม
T3 = ดิน + น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม
T4 = ดิน + ปุ๋ยเคมีทางการค้า

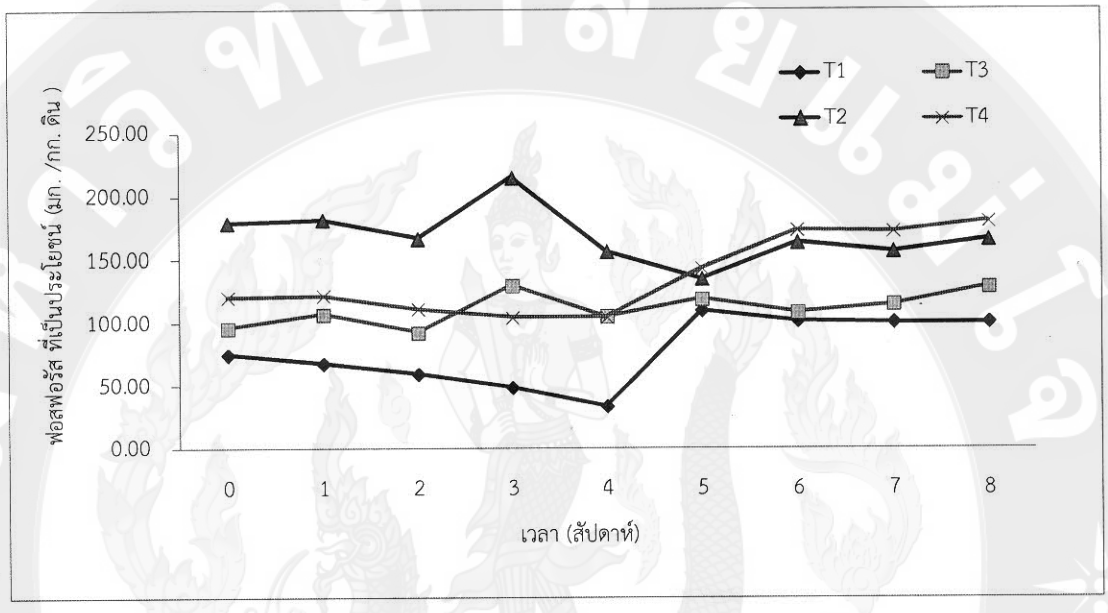
การสลายตัวและปลดปล่อยไนโตรเจนในดิน พบว่า NH_4-N มีปริมาณลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 3 ในขณะที่ NO_3-N มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Walpola and Wanniarachchi (2009) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินและยังพบว่ามีการสูญหายไปจากดินโดยการใช้ของพืชและกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยการชะล้าง (Leaching)

และโดยการระเหยเป็นแก๊ส (Volatilization) เนื่องจากไนโตรเจนในดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาโดยกิจกรรมดังที่กล่าวแล้วข้างต้น ดังนั้น ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจึงไม่นิยมวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในดิน แต่จะประเมินปริมาณไนโตรเจนในดินจากปริมาณอินทรียวัตถุที่มีในดินนั้นๆ แทน (นันทรัตน์, 2558) ซึ่งโดยทั่วไปนั้นอินทรียวัตถุจะมีไนโตรเจน (Total N) เป็นองค์ประกอบประมาณ 5% และมีเพียง 5% เท่านั้นที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืช ซึ่งไนโตรเจนในอินทรียวัตถุนี้ต้องผ่านกระบวนการ Mineralization (Ammonification และ Nitrification) ก่อนพืชจึงจะนาไปใช้ประโยชน์ได้ ในการปลูกพืชโดยทั่วไปจึงมักใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มเติมอยู่เสมอ โดยในดินอินทรีย์จะพบไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในรูปของ NH_4^+ และ NO_3^- (Havlin et al., 2005 อ้างโดย พัชรี, 2553) โดยปรกติ NH_4^+ จะถูกดูดซับไว้ที่ผิวอนุภาคดินเนื่องจากมีประจุตรงกันข้ามกับประจุที่ผิวอนุภาคดิน แต่ NH_4^+ จะถูกเปลี่ยนเป็น NO_3^- ได้โดยจุลินทรีย์ดิน ซึ่งดินไม่ดูดซับ NO_3- จึงทำให้ NO_3- ในปริมาณที่สูงกว่าในดินที่มีการระบายอากาศดี จากการทดลองการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนีย ไนโตรเจน ในระยะแรกของการบ่มดินนั้นเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนไปเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจน ซึ่งเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Nitrogen mineralization) (อานัฐ และคณะ, 2557) อีกทั้งศุภกาญจน์ และคณะ (2553) ได้สรุปว่าเป็นผลมาจากกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนเตรท (nitrification) ซึ่งการย่อยสลายและปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจน (NH_4-N, NO_3-N) ได้ดีในกากตะกอนนั้นจะขึ้นอยู่กับย่อยสลายได้ง่ายของกากตะกอน โดยพิจารณาจากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของดินและกากตะกอน ซึ่งกากตะกอนทั้ง 2 ชนิดมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน โดย Velthof et al. (2003) ได้วิเคราะห์การปลดปล่อยไนโตรเจนของมูลสัตว์ 6 ชนิดพบว่าการปลดปล่อยคาร์บอนมีปริมาณสูงในมูลสุกรซึ่งมีค่า C/N เท่ากับ 7 ซึ่งมีค่าเป็น 3 เท่าของมูลเป็ดที่มีค่า C/N เท่ากับ 15 และปนัดดา (2553) ได้กล่าวถึงอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมจะมีค่าไม่เกิน 25/1 ถึง 30/1

2.1.2. การสลายตัวและปลดปล่อยฟอสฟอรัส

การปลดปล่อยฟอสฟอรัสเมื่อทำการทดลองบ่มดิน พบว่าค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยฟอสฟอรัสมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) จากภาพที่ 11 จะเห็นได้ว่าในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการทดลองนั้นปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยมีปริมาณสูงสุดในชุดทดลองที่มีการใส่กากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (T2) รองลงมาเป็นชุดทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมี (T4) ชุดทดลองที่ใส่น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (T3) และชุดควบคุม (T1) โดยมีค่าเท่ากับ 179.44, 121.07, 96.50 และ 75.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน ตามลำดับ และปริมาณการปลดปล่อยจะเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 3 ปริมาณการปลดปล่อยฟอสฟอรัสมีค่าสูงสุดในชุดทดลอง T2 (214.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมดิน) และมีปริมาณลดลงในสัปดาห์ที่ 4 และ 5 (ค่าเฉลี่ย

เท่ากับ 168.94±2.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนในดินที่ใส่ปุ๋ยเคมีทางการค้า (T4) พบว่ามีการปลดปล่อยที่น้อยในช่วงแรกของการทดลอง และจะเพิ่มปริมาณหลังจากสัปดาห์ที่ 4 (เฉลี่ย 136.96±5.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และมีปริมาณสูงสุดในสัปดาห์ที่ 8 (เท่ากับ 180.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)



ภาพที่ 11 การปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากกากตะกอน

หมายเหตุ T1 = ดิน (ชุดควบคุม)
T2 = ดิน + กากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม
T3 = ดิน + น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม
T4 = ดิน + ปุ๋ยเคมีทางการค้า

ฟอสฟอรัสนั้นเป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิกและนิวคลีโอโปรตีนซึ่งเกี่ยวข้องกับการทำงานของเซลล์ และเป็นองค์ประกอบของสารฟอสเฟตที่เป็นแหล่งสะสม และถ่ายทอดพลังงานระหว่างสารต่างๆในการเคลื่อนย้ายสารประกอบเคมีของระบบต่างๆภายในพืช (นันทรัตน์, 2558) ฟอสฟอรัสในดินโดยธรรมชาติพบมีอยู่น้อยมากเมื่อเทียบกับไนโตรเจน โดยพบทั้งที่อยู่ในรูปของอินทรีย์ฟอสเฟตซึ่งได้จากอินทรียวัตถุในดิน และอนินทรีย์ฟอสเฟตซึ่งได้จากการสลายตัวผุพังของหินและแร่ที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบและจากปุ๋ยฟอสเฟตที่ใส่ลงไปในดิน ในธรรมชาติฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่ถูกตรึงได้ง่ายให้อยู่ในรูปที่พืชดูดใช้ไม่ได้ และฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เคลื่อนที่ได้ยากในดิน ซึ่ง

การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพียงเล็กน้อยนี้ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดยึดฟอสฟอรัสสูงของดิน ซึ่งในดินที่มีความสามารถในการดูดยึดฟอสฟอรัสสูงนี้จำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการใช้ การใส่กากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม และปุ๋ยเคมีทางการค้า สามารถเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินได้ (ตารางที่ 16) โดยมีการเปลี่ยนไปตามช่วงระยะการบ่มดิน (ประพิศและคณะ, 2544) โดยในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการทดลองนั้นปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์ที่ 3 ของการบ่ม ซึ่งมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังมีความสอดคล้องกับผลของ พัชรี (2549) ที่กล่าวว่าการใช้วัสดุปรับปรุงดินที่มีอินทรียวัตถุสูง จะมีแนวโน้มที่ช่วยลดการตรึงฟอสฟอรัสในดินได้ เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ จะช่วยปลดปล่อยฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยพืชจะดูดใช้ฟอสฟอรัสในรูปของอนินทรีย์ฟอสเฟต คือ $H_2PO_4^{-1}$ HPO_4^{-2} และ PO_4^{-3} ฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินพบอยู่ 3 สถานะ คือ สารละลาย (Soluble P) ดูดซับที่ผิวอนุภาค (Active P) และถูกตรึง (Fixed P) ฟอสฟอรัสในสารละลายดินมีอยู่เพียงเล็กน้อยแต่พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันที ฟอสฟอรัสที่ดูดซับอยู่ที่ผิวอนุภาคดินเป็นแหล่งใหญ่ของฟอสฟอรัสสาหรับพืช จะถูกปลดปล่อยมาอยู่ในสารละลายดินเมื่อฟอสฟอรัสในสารละลายดินถูกดูดไปใช้ ฟอสฟอรัสที่ถูกตรึงเป็นส่วนที่พืชดูดไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ ดังนั้นในการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสจึงควรใส่บริเวณรากพืช และใส่ปริมาณมากกว่าที่พืชต้องการ หรือให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ง่ายครั้งละน้อยๆไปทางระบบน้ำทุกครั้งที่มีการให้น้ำดังนั้นการใส่ฟอสฟอรัสเป็นระยะเวลานานอาจเกิดการสะสมของฟอสฟอรัสในดินปริมาณสูง (ประพิศ และคณะ, 2544) ทำให้เพิ่มความเสี่ยงในการสะสมของฟอสฟอรัสในน้ำและพืชได้

ผลการทดลองตอนที่ 2

1. การปรับปรุงกากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมให้เป็นวัสดุปรับปรุงดินและการใช้น้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมเป็นน้ำหมักที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในกากตะกอนที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (ตารางที่ 11) พบว่ากากตะกอนมีค่า pH และค่าการนำไฟฟ้าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลักมีค่าค่อนข้างต่ำ (ตารางที่ 12) โดยกากตะกอนมีปริมาณไนโตรเจนใกล้เคียงกับปริมาณไนโตรเจนของค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในกากตะกอนมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งในการปรับปรุงคุณภาพกากตะกอนให้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ทำการนำวัสดุดังต่อไปนี้คือ แกลบดำ หินฟอสเฟต และกากน้ำตาล มาเป็นส่วนผสม ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในวัสดุทั้ง 3 ชนิด แสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ปริมาณธาตุอาหารพืชจากการวิเคราะห์ในแกลบดำ หินฟอสเฟตและกากน้ำตาล

วัสดุ	N (%)	P (%)	K (%)
แกลบดำ	0.112	0.0139	0.0293
หินฟอสเฟต	0	3	0
กากน้ำตาล	0.92	0.12	4.19

จากนั้นทำการคำนวณหาอัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนกับแกลบดำ หินฟอสเฟต และกากน้ำตาล (ภาคผนวก ค1) เพื่อปรับปรุงกากตะกอนให้เป็นวัสดุปรับปรุงดินที่มีคุณภาพเทียบเท่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2551) พบว่าได้อัตราส่วนผสมของวัสดุต่างๆดังตารางที่ 17 ซึ่งผลจากการคำนวณเบื้องต้นทำการผสมวัสดุต่างๆให้ได้วัสดุปรับปรุงดินปริมาณ 1 กิโลกรัมต้องใช้กากตะกอน 690 กรัม หินฟอสเฟต 10 กรัมและแกลบดำ 340 กรัม ผสมกับกากน้ำตาล 100 มิลลิลิตร คลุกให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 1 วัน พบว่าวัสดุที่ได้มีลักษณะเป็นของแข็งสีดำ ร่วน มีกลิ่นกากน้ำตาลเล็กน้อย จากนั้นนำไปวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช เพื่อประเมินความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 17 อัตราส่วนผสมของกากตะกอน แกลบดำ หินฟอสเฟตและกากน้ำตาลจากการคำนวณ

วัสดุ	ปริมาณที่ผสม	อัตราส่วนที่ใช้
กากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม	110 กรัม	69
แกลบดำ	55 กรัม	34
หินฟอสเฟต	1.6 กรัม	1
กากน้ำตาล	100 มิลลิลิตร	100 มิลลิลิตร

ตารางที่ 18 ปริมาณธาตุอาหารพืชจากการวิเคราะห์วัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้

ตัวอย่าง	EC (ms/cm)	pH	ความชื้น (%)	OM (%)	N (%)	P (%)	K (%)	C/N
วัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้	0.16	6.28	5.32	48.96	2.45	0.5	0.94	11.45
มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์*	<10	-	<30	>20	>1	>0.5	>0.5	<30

ที่มา: *กรมวิชาการเกษตร (2551)

จากผลการวิเคราะห์วัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้พบว่า ธาตุอาหารพืชในวัสดุปรับปรุงดินมีปริมาณสูงโดยเฉพาะไนโตรเจนและโพแทสเซียม (2.45% และ 0.94% ตามลำดับ) ส่วนฟอสฟอรัสมีค่าเท่ากับ 0.5% โดยมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (0.5%) อินทรียวัตถุมีปริมาณสูง (48.96%) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 11.45 ส่วนค่าการนำไฟฟ้าและพีเอช อยู่ในช่วงที่มีความเหมาะสมและอยู่ในมีค่าดังตารางที่ 18 ซึ่งการปรับปรุงกากตะกอนให้เป็นวัสดุปรับปรุงดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช จะพิจารณาถึงองค์ประกอบต่างๆที่มีในกากตะกอนเช่น ปริมาณธาตุอาหารหลัก ค่า pH และ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) การปรับปรุงกากตะกอนให้อยู่ในมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์จำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆของวัสดุที่นำมาผสม รวมถึงต้นทุนของวัสดุปรับปรุงดินที่เพิ่มขึ้นด้วย ในการทดลองนี้ผู้วิจัยมีความต้องการสนับสนุนให้เกษตรกรฟาร์มสุกรใช้ประโยชน์จากกากตะกอนที่ผ่านการหมักเพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพแล้ว ยังสามารถนำกากตะกอนมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินเพื่อทดแทนปุ๋ยอินทรีย์และสามารถลดต้นทุนค่าปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ทางการค้าได้

จากข้อมูลปริมาณธาตุอาหารที่มีปริมาณน้อยในกากตะกอน จึงได้มีการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพของกากตะกอนให้มีปริมาณธาตุพืชให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ โดยมีการคัดเลือกวัสดุอินทรีย์ที่มีอยู่ในท้องถิ่นสามารถหาได้ง่ายและราคาถูก นำมาผสมกับกากตะกอนที่ผลิตได้ โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้แกลบดำ กากน้ำตาล และหินฟอสเฟต มาเป็นวัสดุเสริมในการปรับปรุงคุณภาพกากตะกอน ซึ่งพบว่าแกลบดำ กากน้ำตาล และหินฟอสเฟต มีธาตุอาหารพืชในปริมาณค่อนข้างสูงราคาถูก อีกทั้งยังสามารถจัดหาได้ง่าย โดยในงานวิจัยที่เกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์ พบว่ามีการใช้แกลบดำ กากน้ำตาล และหินฟอสเฟต อย่างแพร่หลาย โดย ศิราณี และ บัญชา (2558) พบว่าการผสมแกลบดำกับดินทำให้ดินเบาช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ลดความเป็นกรดของดิน และ

กระตุ้นการทำงานของจุลินทรีย์ดิน ซึ่งมี ซิลิกา (SiO_2) 95% ที่ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำและเป็นประโยชน์ต่อพืช โดยประเสริฐ และคณะ (2541) ยังได้รายงานว่าการใช้แกลบดำ 500-1000 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี 16-20-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นจากแปลงควบคุม 37.7-41.5 % ส่วนกรมพัฒนาที่ดิน (2554) ได้ใช้กากน้ำตาลเป็นวัสดุผสมในปุ๋ยหมักร่วมกับมูลสัตว์ซึ่งทำให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูง (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเท่ากับ 4.0-5.0, 3.0-4.0 และ 1.0-2.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) รวมไปถึงใช้เป็นส่วนผสมในปุ๋ยอินทรีย์น้ำสำหรับฉีดพ่นด้วย นอกจากนี้ยังผลิตปุ๋ยหมักโดยหมักหินฟอสเฟตร่วมกับปุ๋ยหมักและรำข้าว สามารถได้ปุ๋ยหมักที่มีฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูงถึง 6 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ Hue & Silva (2000) ยังพบว่าหินฟอสเฟตทำให้เกิดการสะสมฟอสฟอรัสในระยะยาว เนื่องจากการละลายได้น้อยและการถูกตรึงได้ง่ายในดินและนอกจากนี้การใช้หินฟอสเฟตยังเป็นการเพิ่มแคลเซียมในดินไปด้วย งานวิจัยของ วิวัฒน์ และคณะ (2551) ที่ใช้กากน้ำตาลร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีในนาข้าว พบว่าการใส่กากน้ำตาลร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราที่เหมาะสมสามารถเพิ่มผลผลิตข้าวได้ 7-15% และสามารถปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินนาได้เมื่อใส่ต่อเนื่องกันระยะยาว

ในส่วนของน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมที่นำมาใช้เป็นน้ำหมักนั้น ทางผู้วิจัยไม่ได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติ เนื่องจากพิจารณาค่า พีเอช และค่าการนำไฟฟ้าในน้ำล้นแล้วพบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานซึ่งสามารถนำไปใช้กับพืชได้ ซึ่งสอดคล้องกับ มนัส และสมชัย (2538) ที่พบว่าน้ำล้นจากบ่อก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรสามารถนำมาเป็นปุ๋ยสำหรับพืชได้ โดยน้ำล้นจากบ่อก๊าซชีวภาพที่มีไนโตรเจน 0.003 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.002 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 0.014 เปอร์เซ็นต์ นำมาทดลองโดยใช้น้ำล้นอย่างเดียว พบว่าคะน้า ผักกาดหัว ผักกาดหอม และทานตะวันให้ผลผลิต 2,060 กก./ไร่, 1,660 กก./ไร่, 1,040 กก./ไร่ และ 217.06 กก./ไร่ ตามลำดับ และไม่พบอาการขาดธาตุอาหารและโรคแก่พืช และการใช้น้ำล้นร่วมกับปุ๋ยเคมีในสัดส่วน 75:25 และ 50:50 มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตสูงกว่าการใช้เคมีอย่างเดียว รวมไปถึง เสาวภา (2554) ที่ได้ศึกษาน้ำหมักมูลสุกรที่ได้จากน้ำล้นของระบบไบโอก๊าซแบบโดมคงที่ประมาณ 30-45 วัน พบว่ามีเพียง 2 พารามิเตอร์ คือความเป็นกรดด่างและค่าการนำไฟฟ้า ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามกำหนดของกรมวิชาการเกษตร ส่วนธาตุอาหารพืชมีปริมาณน้อย แต่อย่างไรก็ตามเกษตรกรได้นำปุ๋ยน้ำหมักมูลสุกรนี้ จากบ่อพักปุ๋ยน้ำหมักมูลสุกรไปใช้ประโยชน์แทนการใช้ปุ๋ยเคมี โดยวิธีปล่อยไปตามร่อง ไร่อ้อย ไร่มันสำปะหลัง การใส่ปุ๋ยน้ำหมักมูลสุกร ใส่เดือนละ 1 ครั้งหรือ 2 เดือนต่อ 1 ครั้ง กับแปลงเกษตรประมาณ 50 ไร่ พบว่าให้ผลผลิตทางการเกษตรดี สอดคล้องกับอุทัย และสุกัญญา (2552) ที่พบว่าน้ำสกัดมูลสุกรมีปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช สามารถใช้เป็นปุ๋ยรดทางดินและฉีดพ่นทางใบเพื่อเร่งการเจริญเติบโต การเพิ่มผลผลิตของพืช โดยพืชสามารถดูดธาตุอาหารไปใช้ได้เร็วกว่า และจะช่วยเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตของพืช

2. การวิเคราะห์ค่าดัชนีการงอกของพืชต่อวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้

ผลของการทดสอบการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของกากตะกอนและน้ำหมักนี้ ทำการทดสอบโดยใช้น้ำสกัดจากกากตะกอน น้ำหมักและวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้กับเมล็ดผักกวางตุ้งเป็นเวลา 48 ชั่วโมงจากนั้นนำเมล็ดมาวัดจำนวนที่งอกและวัดความยาวของรากเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การงอกสัมพัทธ์ของเมล็ด (%RSG) เปอร์เซ็นต์ความยาวรากสัมพัทธ์ (%RRG) และเปอร์เซ็นต์ดัชนีการงอกของเมล็ด (%GI) แล้วนำมาหาความแตกต่างทางสถิติ (One-Way ANOVA) โดยวิธี DMRT (Duncan' New Multiple Range Test) (ตารางที่ 19) จากการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกและความยาวของรากไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการงอกพบว่าวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้ (T4) มีค่าดัชนีการงอกสูงที่สุดที่ 83.2% รองลงมาคือน้ำหมักจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (T3 เท่ากับ 79.3%)

จากผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการงอกพบว่า วัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้นี้สามารถนำไปใช้โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการเจริญของพืช โดยค่าดัชนีการงอกของวัสดุปรับปรุงดินที่ได้มีค่าตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดให้มีดัชนีการงอกไม่น้อยกว่า 80% ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการย่อยสลายที่สมบูรณ์ของกากตะกอนจากถังหมักไร้อากาศรวมไปถึงเมื่อนำมาผสมกับวัสดุอื่นแล้วไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการงอกของเมล็ดพืช โดยในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำโดยวิธีการหมักนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบความสมบูรณ์ของการย่อยสลายของปุ๋ย เพราะว่าถ้ามีการนำกากตะกอนหรือปุ๋ยอินทรีย์ที่มีการย่อยสลายที่ไม่สมบูรณ์ กากตะกอนจะเกิดการย่อยสลายตัวต่อไปอีกซึ่งจะเข้าไปแย่งการใช้น้ำ อากาศ รวมไปถึงการดึงธาตุอาหารพืชมาใช้ และกากตะกอนยังก่อให้เกิดความร้อนขึ้นบริเวณรากพืชอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ อุษณีย์ และคณะ (2552) ที่ได้วิเคราะห์ค่าดัชนีการงอกของปุ๋ยจากกากตะกอนที่ย่อยสลายดีแล้ว เทียบกับกากตะกอนที่ยังไม่ถูกย่อยสลาย พบว่าค่าดัชนีการงอกของปุ๋ยจากกากตะกอนที่ย่อยสลายดีแล้ว (88%) สูงกว่ากากตะกอนที่ยังไม่ย่อยสลาย (36%) และยังพบว่าการหมักปุ๋ยที่สมบูรณ์จะทำให้สารประกอบที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อพืชลดลง (intermediate compounds เช่น แอมโมเนียอิสระ และ กรดอินทรีย์) ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะยับยั้งการงอกของเมล็ดและความยาวรากได้

ตารางที่ 19 การงอกของเมล็ดผักกวางตุ้งเมื่อเพาะในน้ำสกัดจากกากตะกอน น้ำหมักจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม และวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้

ชุดการทดลอง	จำนวนเมล็ดที่งอก	% การงอกของเมล็ด	ความยาวรากของเมล็ดเฉลี่ย (มม.)	การงอกสัมพัทธ์ (% RSG)	ความยาวรากสัมพัทธ์ (% RRG)	ดัชนีการงอกของเมล็ด (% GI)
เมล็ดผักกวางตุ้ง						
T1	8	80a	61a	100	100	100
T2	7	70a	50a	87.5	83	72.6
T3	7	70a	55a	87.5	90.7	79.3
T4	7	70a	58a	87.5	95.1	83.2
F- test		ns	ns			
% C.V		0.12	0.30			

หมายเหตุ * ค่าที่ตามด้วยอักษรเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (DMRT)

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

T1 = น้ำกลั่น (ชุดควบคุม)

T2 = กากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม

T3 = น้ำหมัก

T4 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้

ผลการทดลองตอนที่ 3

1. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้และน้ำหมักต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดเทียบกับวัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

อัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้ฐานของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเทียบจากการใช้ปุ๋ยเคมี ในการปลูกข้าวโพดโดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง (วิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค2) มีปริมาณการใช้ดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 อัตราการใส่วัสดุปรับปรุงดินในแต่ละครั้ง

วัสดุปรับปรุงดิน	ปริมาณการใส่ครั้งที่ 1 (อัตราเทียบเท่าปุ๋ยเคมี 15-15-15)	ปริมาณการใส่ครั้งที่ 2 (อัตราเทียบเท่าปุ๋ยเคมี 46-0-0)
วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนน้ำหมัก	306.12 กิโลกรัม/ไร่ 5,514.7 ลิตร/ไร่	563.27 กิโลกรัม/ไร่ 10,147 ลิตร/ไร่

จากการคำนวณอัตราการใส่วัสดุปรับปรุงดินต่างๆพบว่าการใส่วัสดุปรับปรุงดินและน้ำหมักเพื่อให้ได้ปริมาณไนโตรเจนเทียบเท่าอัตราแนะนำในการปลูกข้าวโพดบนพื้นที่ 1 ไร่ โดยมีการแบ่งใส่ 2 ครั้ง ซึ่งครั้งที่ 1 ใส่ในช่วงเตรียมดินก่อนปลูกในอัตราเทียบเท่าปุ๋ยเคมี 15-15-15 จะต้องใช้วัสดุปรับปรุงดินเท่ากับ 306.12 กิโลกรัม และน้ำหมักเท่ากับ 5,514.7 ลิตร ตามลำดับ ครั้งที่ 2 ใส่หลังจากนำต้นลงปลูกแล้ว 30 วันในอัตราเทียบเท่าปุ๋ยเคมี 46-0-0 จะต้องใช้วัสดุปรับปรุงดินเท่ากับ 563.27 กิโลกรัม และน้ำหมักเท่ากับ 10,147 ลิตร ตามลำดับ การทดลองทำโดยการเพาะเมล็ดข้าวโพดในถาดเพาะเมล็ด หลังจากนั้นได้ทำการย้ายต้นข้าวโพดที่มีความสูงประมาณ 5 เซนติเมตร มาปลูกในกระถางพลาสติก แล้วทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดในช่วงเวลาต่างๆ ทั้งในด้านความสูง จำนวนใบ ความยาวใบ รวมไปถึงการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารทั้งในต้นข้าวโพดและในดินหลังการปลูกด้วย ซึ่งได้ผลดังต่อไปนี้

1.1 ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อการเจริญของข้าวโพด

1.1.1 การเจริญเติบโตของข้าวโพด

ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อความสูงของข้าวโพด (ตารางที่ 21) ในวันที่ 1 ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นการทดลอง พบว่าแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยความสูงของต้นข้าวโพด

อยู่ในช่วง 4.70–4.94 เซนติเมตร ผลการเจริญเติบโตด้านความสูงวันที่ 14 เริ่มเห็นความแตกต่าง โดยแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างทางสถิติ T3 ให้ความสูงที่สุด (26.20±1.46 เซนติเมตร) และ T1 มีความสูงต่ำสุด (20.40±0.58 เซนติเมตร) ขณะที่อายุ 28 วัน เห็นความแตกต่างกันชัดเจน (T2 > T3 > T5 > T4 > T1) โดย T2 ให้ความสูงที่สุดเท่ากับ 44.00±2.07 เซนติเมตร ส่วนที่ระยะเวลา 45 วัน แต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย T5 ให้ความสูงที่สุดเท่ากับ 63.28±2.14 เซนติเมตร ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อความสูงของข้าวโพดแสดงดังภาพที่ 12

ตารางที่ 21 ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อความสูงของข้าวโพด

ชุดทดลอง	ความสูงต้นข้าวโพด			
	วันที่ 1	วันที่ 14	วันที่ 28	วันที่ 45
T1	4.90±0.12	20.40±0.58a	32.80±1.02a	62.74±4.71a
T2	4.86±0.13	24.70±1.22b	44.00±2.07b	63.00±3.88a
T3	4.70±0.09	26.20±1.46b	41.40±3.50b	62.14±3.67a
T4	4.94±0.11	24.70±1.22b	38.20±2.65ab	62.88±1.55a
T5	4.94±0.09	25.20±1.11b	41.00±2.70b	63.28±2.14a
F-test	ns	*	*	ns
CV (%)	4.99	12.87	16.37	11.06

หมายเหตุ *ค่าที่ตามด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (DMRT)

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

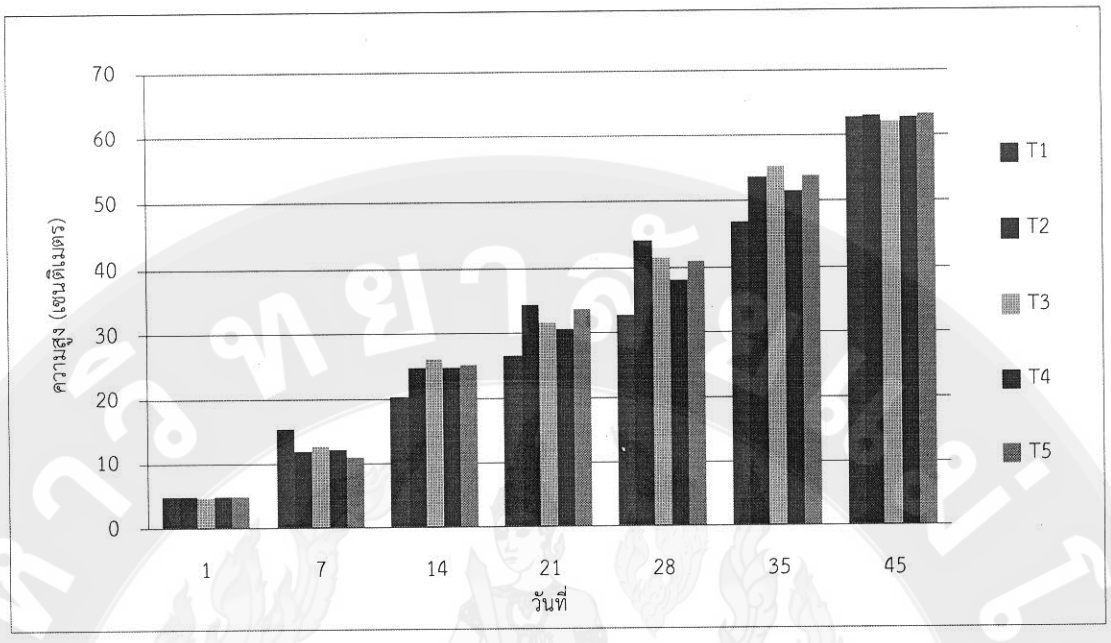
T1 = ดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)

T2 = วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

T3 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้

T4 = น้ำหมัก

T5 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้+น้ำหมัก



ภาพที่ 12 ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อความยาวใบของข้าวโพด

หมายเหตุ T1 = ดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)
T2 = วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า
T3 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้
T4 = น้ำหมัก
T5 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้+น้ำหมัก

ตารางที่ 22 แสดงผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อจำนวนใบของข้าวโพดในระยะต่างๆ พบว่าจำนวนใบในวันเริ่มต้นทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ในช่วงวันที่ 14 จำนวนใบมีความแตกต่างกันทางสถิติโดย T3 และ T5 มีจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุดที่ 5.4 ใบ และ T1 มีจำนวนใบน้อยสุดที่ 4.8 ใบ วันที่ 28 และวันที่ 45 พบว่าจำนวนใบข้าวโพดแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน โดยวันที่ 45 มีจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 8.2 ใบ ดังแสดงในภาพที่ 13

ตารางที่ 22 ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อจำนวนใบของข้าวโพด

ชุดทดลอง	จำนวนใบของต้นข้าวโพด			
	วันที่ 1	วันที่ 14	วันที่ 28	วันที่ 45
T1	3.0±0.32	4.8±0.20a	6.8±0.37	8.2±0.86
T2	3.2±0.20	5.0±0.00ab	6.4±0.25	7.4±0.60
T3	3.4±0.25	5.4±0.25b	7.2±0.20	8.2±0.58
T4	3.0±0.00	5.0±0.00ab	6.6±0.25	8.0±0.32
T5	3.2±0.20	5.4±0.25b	7.2±0.20	8.6±0.40
F-test	ns	*	ns	ns
CV (%)	14.96	8.59	9.13	15.54

หมายเหตุ *ค่าที่ตามด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (DMRT)

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

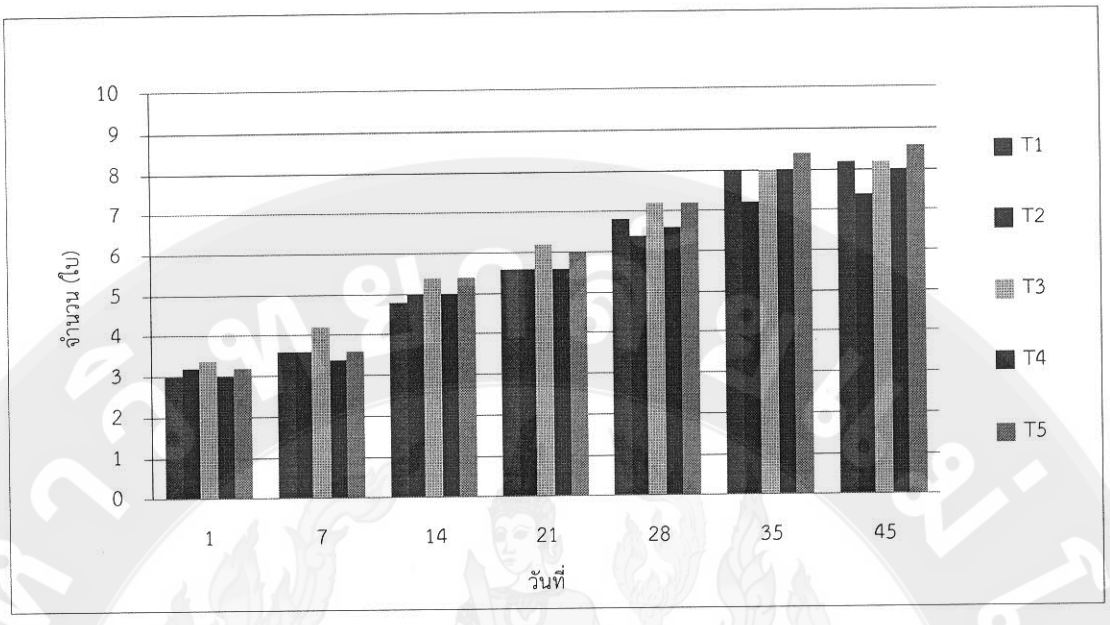
T1 = ดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)

T2 = วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

T3 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้

T4 = น้ำหมัก

T5 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้+น้ำหมัก



ภาพที่ 13 ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อจำนวนใบของข้าวโพด

การเจริญเติบโตของข้าวโพดด้านความยาวใบ (ตารางที่ 23) พบว่าความยาวใบเริ่มต้นการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน โดย T4 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 3.60±0.37เซนติเมตร T3 มีค่าเฉลี่ยน้อยสุดเท่ากับ 2.98±0.17 เซนติเมตร ความยาวใบในช่วงวันที่ 14 มีความแตกต่างทางสถิติโดย (T2 > T3 > T5 > T4 > T1) โดย T2 มีความยาวใบสูงสุดเท่ากับ 44.00±2.07เซนติเมตร วันที่ 28 ความยาวใบมีความแตกต่างทางสถิติโดย (T4 > T2 > T5 > T3 > T1) โดย T4 มีความยาวใบสูงสุดเท่ากับ 59.60±1.94 เซนติเมตร และ T1 มีความยาวใบเท่ากับ 48.60±1.86 เซนติเมตร วันที่ 45 ความยาวใบแต่ละชุดไม่มีความแตกต่างทางสถิติโดย T2 มีความยาวใบสูงสุดเท่ากับ 71.82±3.59เซนติเมตร และ T1 มีความยาวใบต่ำสุดเท่ากับ 64.50±3.05 เซนติเมตร ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อความยาวใบของข้าวโพดแสดงดังภาพที่ 14

ตารางที่ 23 ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อความยาวใบของข้าวโพด

ชุดทดลอง	ความยาวใบของต้นข้าวโพด			
	วันที่ 1	วันที่ 14	วันที่ 28	วันที่ 45
T1	3.04±0.28	32.80±1.02a	48.60±1.86a	64.50±3.05
T2	3.24±0.28	44.00±2.07b	59.40±2.77b	71.82±3.59
T3	2.98±0.17	41.40±3.50b	56.60±1.72b	69.36±2.36

ตารางที่ 23 (ต่อ)

ชุดทดลอง	ความยาวใบของต้นข้าวโพด			
	วันที่ 1	วันที่ 14	วันที่ 28	วันที่ 45
T4	3.60±0.37	38.20±2.65ab	59.60±1.94b	69.90±4.96
T5	3.06±0.29	41.00±2.70b	57.40±0.81b	65.70±2.35
F-test	ns	*	*	ns
CV (%)	19.79	16.37	10.09	10.95

หมายเหตุ *ค่าที่ตามด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (DMRT)

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

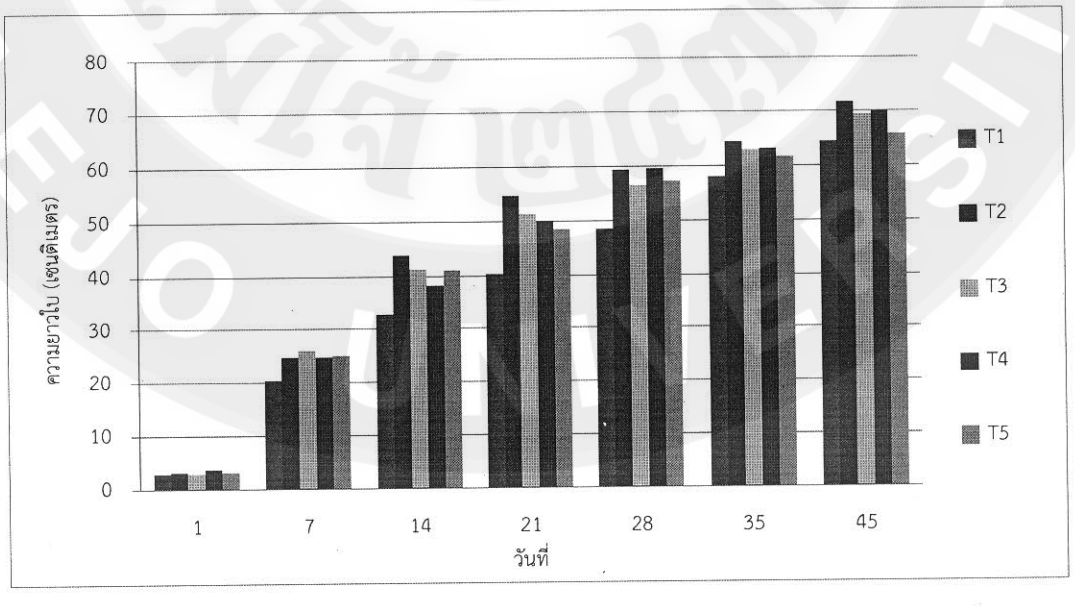
T1 = ดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)

T2 = วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

T3 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้

T4 = น้ำหมัก

T5 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้+น้ำหมัก



ภาพที่ 14 ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อความยาวใบของข้าวโพด

หมายเหตุ T1 = ดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)
T2 = วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า
T3 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้
T4 = น้ำหมัก
T5 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้+น้ำหมัก

1.2 ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพด

ผลการวิเคราะห์ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อน้ำหนักของต้นข้าวโพด (ตารางที่ 24) พบว่าน้ำหนักสดในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยชุดทดลอง T4 ให้น้ำหนักสดต้นข้าวโพดสูงที่สุด (269.54 กรัม) รองลงมาคือวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้ร่วมกับน้ำหมัก (T5) ให้น้ำหนักสดต้นข้าวโพดเท่ากับ 212.58±7.99 กรัม ส่วนชุดควบคุม (T1) ให้น้ำหนักสดมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 193.16±4.26 กรัม ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้งในแต่ละชุดการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยชุดทดลอง T4 ให้น้ำหนักสดต้นข้าวโพดสูงที่สุด (88.76±11.12 กรัม) รองลงมาคือวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้ (T3) ให้น้ำหนักสดต้นข้าวโพดเท่ากับ 74.42±8.63 กรัม ชุดทดลองที่ใส่วัสดุทางการค้า (T2) มีค่าเท่ากับ 65.38±6.50 กรัม ชุดทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้ร่วมกับการฉีดพ่นน้ำหมัก (T5) มีค่าน้ำหนักแห้งเท่ากับ 65.16±4.33 กรัม ส่วนชุดควบคุม (T1) ให้น้ำหนักสดมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 64.22±5.14 กรัม (ตารางที่ 24)

ตารางที่ 24 ผลของวัสดุปรับปรุงดินต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพด

ชุดทดลอง	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
T1	193.16±4.26a	64.22±5.14
T2	207.86±6.05ab	65.38±6.50
T3	203.10±6.22ab	74.42±8.63
T4	269.54±32.06b	88.76±11.12
T5	212.58±7.99ab	65.16±4.33
F- test	*	ns
CV (%)	23.09	29.17

หมายเหตุ *ค่าที่ตามด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (DMRT)

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

T1 = ดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)

T2 = วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

T3 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้

T4 = น้ำหมัก

T5 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้+น้ำหมัก

1.3 ปริมาณธาตุอาหารในข้าวโพด

ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักในต้นข้าวโพด (ตารางที่ 25) เมื่อเปรียบเทียบทางสถิติแล้วพบว่ามีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) โดยทุกชุดการทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินมีปริมาณธาตุอาหารหลักสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนและโพแทสเซียม ซึ่งต่างกับปริมาณฟอสฟอรัสที่มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละชุดทดลอง โดยไนโตรเจนพบมีปริมาณสูงสุดในชุดทดลองที่ใส่น้ำหมักและชุดทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินร่วมกับน้ำหมัก (T4 และ T5) มีค่าเท่ากับ 0.45% ฟอสฟอรัสพบปริมาณสูงในชุดควบคุมและโพแทสเซียมพบปริมาณสูงในชุดทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า (T2) โดยมีค่าเท่ากับ 0.38% ปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุในต้นข้าวโพด พบว่าปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียม (Ca, Mg) มีปริมาณสูงสุดในชุดทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า (T2) โดยมีปริมาณแคลเซียม 17.3 มก./กก. และแมกนีเซียมเท่ากับ 328.60 มก./กก.

ตารางที่ 25 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองในต้นข้าวโพด

ชุดทดลอง	N (%)	P (mg/kg)	K (%)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
1	0.18±0.007a	42.30±0.24e	0.31±0.005a	10.82±0.53b	278.55±1.64a
2	0.41±0.007b	40.61±0.18c	0.38±0.004e	17.3±2.46d	328.60±2.82e
3	0.41±0.005b	39.99±0.22b	0.37±0.004d	7.95±1.02s	302.75±1.73c
4	0.45±0.007c	41.90±0.31d	0.35±0.004b	15.05±1.48c	291.50±2.98b
5	0.45±0.009c	38.66±0.15a	0.36±0.004c	10.82±0.53b	306.50±2.24d
F- test	*	*	*	*	*
CV (%)	0.27	0.04	0.07	0.29	0.06

หมายเหตุ *ค่าที่ตามด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (DMRT

T1 = ดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)

T2 = วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

T3 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้

T4 = น้ำหมัก

T5 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้+น้ำหมัก

ส่วนปริมาณจุลธาตุในต้นข้าวโพด (ตารางที่ 26) พบว่า เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ในชุดทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า (T2) มีค่าสูงที่สุด (244.60 และ และ637.20 มก/กก) รองลงมาในชุดทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้ร่วมกับน้ำหมัก (T5) ส่วนสังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) มีปริมาณสูงในชุดควบคุม (T1)

ตารางที่ 26 แสดงปริมาณจุลธาตุในต้นข้าวโพด

ชุดทดลอง	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)
1	91.20±1.10d	105.20±3.35a	13.20±1.10b	253.60±1.67a
2	79.20±3.35b	244.60±2.97c	9.60±1.82a	637.20±3.35d
3	86.80±3.35c	197.20±4.38b	7.00±1.73a	265.40±11.31b
4	68.80±3.63a	204.00±8.60b	9.80±3.35a	246.20±6.42a
5	69.20±3.35a	249.80±4.71c	7.40±0.89a	418.60±4.67c
F- test	*	*	*	*
CV (%)	0.12	0.27	0.31	0.42

หมายเหตุ *ค่าที่ตามด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (DMRT)

T1 = ดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)

T2 = วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

T3 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้

T4 = น้ำหมัก

T5 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้+น้ำหมัก

1.4 คุณสมบัติของดินและธาตุอาหารพืชในดินหลังการปลูกข้าวโพด

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินหลังการปลูกต้นข้าวโพด (ตารางที่ 27) พบว่า แต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) และอีกทั้งยังพบว่าการใส่วัสดุปรับปรุงดินชนิดต่างๆยังสามารถปรับปรุงโครงสร้างของดินได้ โดยสังเกตจากปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ที่เหลือในดินแต่ละตำรับการทดลองมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับตำรับควบคุม โดยมีค่าสูงสุดในชุดทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้ร่วมกับน้ำหมัก (T5 มีค่าเท่ากับ 1.59%) และยังพบว่าสามารถเพิ่มปริมาณธาตุอาหารหลักในดินให้มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งโครงสร้างของดินที่เปลี่ยนไปนี้เกิดจากการเพิ่มศักยภาพในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดิน โดย นิสิต (2550) ได้อธิบายว่าน้ำหมักชีวภาพไม่มีบทบาทเป็นแหล่งธาตุอาหารหลักสำหรับการเจริญเติบโตของพืชโดยองค์ประกอบทางเคมี แต่มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นกิจกรรมการทำงานของจุลินทรีย์ในดิน และการเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินนี้จะช่วยเร่งการย่อยสลายปุ๋ยอินทรีย์ในดิน ซึ่งจุลินทรีย์ดินเหล่านี้จะช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของพืชเป็นระยะ (เรืองฤทธิ์, 2547)

ตารางที่ 27 แสดงคุณสมบัติของดินและปริมาณธาตุอาหารหลักในดินหลังปลูกต้นข้าวโพด

ชุดทดลอง	pH	EC (µs/cm.)	OM (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (%)
1	7.22d	105.20b	0.58±0.28a	0.03±0.00a	12.18±0.48a	173.70±2.17c
2	5.55b	0.65a	0.98±0.34b	0.05±0.00b	22.12±0.17c	75.60±2.70a
3	5.65c	0.66a	1.13±0.18c	0.06±0.00c	21.11±0.08b	84.20±2.28b
4	5.33a	0.73a	1.28±0.05c	0.06±0.01d	22.07±0.23c	75.00±1.87a
5	5.55b	0.65a	1.59±0.04d	0.08±0.00e	22.22±0.15c	85.60±2.61b
F- test	*	*	*	*	*	*
CV (%)	0.12	1.98	0.32	0.30	0.20	0.39

หมายเหตุ *ค่าที่ตามด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (DMRT)

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

T1 = ดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)

T2 = วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

T3 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้

T4 = น้ำหมัก

T5 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้+น้ำหมัก

1.5 ธาตุอาหารรองในดินหลังการปลูกข้าวโพด

ปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุในดินหลังปลูกต้นข้าวโพด (ตารางที่ 28) พบว่าแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) และยังพบว่าปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุที่เหลือในดินมีปริมาณเพิ่มสูงด้วย โดยแคลเซียมมีปริมาณสูงสุดในชุดทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้ (T3 มีค่าเท่ากับ 1,673 มก./กก.) แมกนีเซียมสูงสุดในชุดทดลอง T5 (162 มก./กก.) และในส่วนของจุลธาตุทุกชนิดพบว่ามีปริมาณเหลืออยู่สูงสุดในชุดทดลองที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้ร่วมกับน้ำหมัก

ตารางที่ 28 แสดงปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุในดินหลังปลูกต้นข้าวโพด

ชุดทดลอง	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)
1	1,099±129.04a	107±43.17a	1.30±0.01a	26.43±1.30b	0.37±0.03a	26.56±0.38e
2	2,016±118.53c	149±45.28b	6.04±0.57b	16.11±0.87a	0.88±0.08c	6.69±0.21a
3	2,670±569.62bc	157±43.71b	6.06±0.46b	46.95±0.69d	0.70±0.02b	12.85±0.26b
4	1,173±315.78a	124±48.95b	6.48±0.35b	37.19±1.29c	0.71±0.04b	15.67±0.45c
5	2,325b±434.19c	179±44.05c	7.60±0.22c	69.87±1.66e	1.92±0.01d	27.43±0.40d
F- test	*	*	*	*	*	*
CV (%)	0.39	0.34	0.41	0.48	0.59	0.46

หมายเหตุ *ค่าที่ตามด้วยอักษรต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% (DMRT)

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

T1 = ดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)

T2 = วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

T3 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้

T4 = น้ำหมัก

T5 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้+น้ำหมัก

ผลการใช้วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนและน้ำหมักถังหมักที่ได้จากไร้อากาศแบบกวนผสมต่อการเจริญของข้าวโพด พบว่าวัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอน และน้ำหมัก ที่ได้จากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมนั้นต่อการเจริญของต้นข้าวโพดได้ดีกว่าการใช้วัสดุปรับปรุงดินทางการค้าและนอกจากนี้ยังพบว่าการใส่วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนร่วมกับน้ำหมักนั้นมีผลต่อการเจริญของข้าวโพดดีกว่าการใส่วัสดุปรับปรุงดินหรือน้ำหมักเพียงอย่างเดียว ทั้งในแง่ของความสูง ความยาวใบ รวมไปถึงน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ วณิช และคณะ (2552) พบว่าผักบุ้งจีนที่ใช้สารปรับปรุงดินร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าใส่ปุ๋ยชนิดอื่นๆ เนื่องจากสารปรับปรุงดินจะทำให้แร่ธาตุต่างๆมีการปลดปล่อยอย่างช้าๆตรงกับความต้องการของพืช ซึ่งรวมไปถึงในส่วนของน้ำหมักที่ประกอบไปด้วยฮอร์โมนต่างๆ เช่น ออกซิน จิบเบอร์เรลลิน และไซโตไคนินในปริมาณสูงกว่าวัสดุอินทรีย์ (เรืองฤทธิ์, 2547) ซึ่งฮอร์โมนเหล่านี้เป็นสารอินทรีย์ที่พืชสร้างขึ้นมาตามธรรมชาติและมีปริมาณน้อย แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีระวิทยา และด้านพันธุกรรมของพืช นอกจากพืชสร้างขึ้นได้เองแล้ว ยังพบว่ามีจุลินทรีย์หลายชนิดเช่น แบคทีเรีย รา แอคทิโนมัยซีส สาหร่าย ที่มีขนาดเล็ก สามารถสร้างฮอร์โมนพืชได้ ซึ่งน้ำหมักที่ใช้มูลสัตว์เป็นวัสดุหลักในการหมักพบว่าจะมีปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชหรือฮอร์โมนในปริมาณสูง

การดูดใช้ธาตุอาหารและการสะสมธาตุอาหารในต้นข้าวโพดพบว่าการที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินทุกชนิดมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าข้าวโพดที่ไม่ใส่วัสดุปรับปรุงดิน อีกทั้งจะเห็นได้ว่าธาตุอาหารที่มีในวัสดุปรับปรุงดินที่ใช้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของพืช สังเกตได้จากปริมาณธาตุอาหารที่เหลือในดินหลังการเพาะปลูก ดังนั้นการใส่วัสดุปรับปรุงดินนี้จะเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งอินทรียวัตถุในดินนี้จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ดิน ทำให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชออกมาซึ่งพืชสามารถดูใช้ธาตุอาหารได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชวนพิศ และ อรรถศิษฐ์ (2549) ที่พบว่าอินทรียวัตถุถือเป็นหัวใจในการปรับปรุงโครงสร้างของดิน โดยการใส่วัสดุปรับปรุงดินเป็นการปรับโครงสร้างและคุณภาพของดินให้เป็นประโยชน์ต่อการเจริญของพืช และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้

ธาตุอาหารพืชในดิน แต่เนื่องจากธาตุอาหารในวัสดุปรับปรุงดินมีปริมาณน้อย การใช้วัสดุปรับปรุงดิน จึงไม่ใช่การเพิ่มปริมาณธาตุอาหารแก่พืชโดยตรง

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินและน้ำหมักที่ผลิตจากกากตะกอนและน้ำล้นจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ถังหมักไร้อากาศขนาด 1,000 ลิตรทดสอบกับของเสียมูลสุกรของคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีผลการทดลองดังนี้

การทดลองตอนที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ในกากตะกอนมีค่าไนโตรเจนเท่ากับ 0.912% ฟอสฟอรัสเท่ากับ 110 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมมีค่าเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนในน้ำล้นมีค่าไนโตรเจนเท่ากับ 0.136% ฟอสฟอรัสเท่ากับ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร และโพแทสเซียมมีค่าเท่ากับ 900 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งได้กำหนดให้ค่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ต้องไม่น้อยกว่า 1%, 0.5% และ 0.5% ตามลำดับ ปริมาณธาตุอาหารรอง (แคลเซียม และแมกนีเซียม) ในกากตะกอนมีค่าเท่ากับ 1,424, 1,184 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในน้ำล้นมีค่าเท่ากับ 204.8 และ 148.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนจุลธาตุ (สังกะสี เหล็ก ทองแดง และแมงกานีส) ในกากตะกอนพบว่ามีค่าเท่ากับ 75, 20.72, 14.15 และ10.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนในน้ำล้นมีปริมาณสังกะสีเท่ากับ 37 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนเหล็ก ทองแดง และแมงกานีสมีค่าเท่ากับ 20.86, 14.5 และ 10.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

การทดสอบการปลดปล่อยธาตุอาหารของกากตะกอนพบว่ามีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยสูงสุดในดินที่ผสมตะกอนจากกากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม ส่วนการปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาจากกากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมมีปริมาณสูง โดย NH_4-N มีปริมาณลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 3 ในขณะที่ NO_3-N มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน ส่วน available–P มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในกากตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม อีกทั้งยังพบว่าการเติมวัสดุปรับปรุงดินนี้สามารถเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินได้

การทดลองตอนที่ 2 การปรับปรุงกากตะกอนให้เป็นวัสดุปรับปรุงดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยได้ใช้แกลบดำ หินฟอสเฟต และกากน้ำตาลมาเป็นวัสดุเสริมพบว่าวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้มีปริมาณอินทรียวัตถุสูง (48.96%) ธาตุอาหารพืชในวัสดุปรับปรุงดินมีปริมาณสูงขึ้นโดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม (2.48%, 0.50% และ 0.94% ตามลำดับ) ซึ่ง

อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ไม่น้อยกว่า 1%, 0.5% และ 0.5% ตามลำดับ) ส่วนน้ำล้นที่ผ่านถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมนี้สามารถนำมาใช้เป็นน้ำหมักสำหรับพืชได้ และเมื่อนำมาทดสอบค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพืชในสารละลายวัสดุปรับปรุงดินพบว่า วัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตจากกากตะกอนจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม และน้ำหมักที่ได้จากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมนี้ไม่มีความเป็นพิษต่อการเจริญของพืช โดยค่าดัชนีการงอกอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์

การทดลองตอนที่ 3 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตจากกากตะกอนจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมและจากน้ำหมักพบว่า การใช้วัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตจากกากตะกอนจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมร่วมกับน้ำหมักมีผลต่อการเจริญของพืชสูงสุดทั้งในแง่ ความสูง น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง อีกทั้งยังพบว่าในต้นข้าวโพดที่ใส่วัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตจากกากตะกอนจากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมและจากน้ำหมักนั้นมีปริมาณธาตุอาหารพืชสูงกว่าทุกตำรับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า วัสดุปรับปรุงดินและน้ำหมักที่ได้จากถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมนี้ มีปริมาณธาตุอาหารเพียงพอต่อการเจริญของพืช อีกทั้งยังช่วยในการปรับโครงสร้างดิน จึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการปลูกพืชได้

ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลที่ได้จากการวิจัย มีประโยชน์ในด้านการนำระบบถังหมักแบบไร้อากาศไปใช้ในการจัดการของเสียที่เกิดจากฟาร์มสุกรขนาดเล็ก นอกจากก๊าซชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการหมักแล้วผลพลอยได้เช่นกากตะกอนและน้ำล้นยังสามารถใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินที่ดี เป็นการประหยัดค่าปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ทางการค้า รวมไปถึงการลดปริมาณของเสียที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย เพื่อให้ได้กากตะกอนและน้ำหมักที่มีคุณภาพยิ่งขึ้น สามารถเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์โดยการเพิ่มปริมาณของแข็งเข้าไปในระบบของถังหมักรวมไปถึงระยะเวลาเก็บกักในถังซึ่งต้องมีการทดลองต่อไป และกากตะกอนที่ได้ควรมีการวิเคราะห์ดินในเบื้องต้น หรือการหาวัสดุอินทรีย์อื่นๆเพื่อมาเติมให้มีปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มมากขึ้น และมีการทดสอบอัตราการใช้ที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด รวมไปถึงการเพิ่มขนาดแปลงทดลองเพื่อให้เห็นผลที่ชัดเจนยิ่งขึ้นและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

บรรณานุกรม

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คลินิกเทคโนโลยี. 2554. **เอกสารประกอบการอบรมแก๊สชีวภาพ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.clinictech.most.go.th/ online/techlist/attachFile/20111261832311.pdf (23 มิถุนายน 2558).

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2539. **การบำบัดน้ำเสีย.** กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2548. **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม.

กรมปศุสัตว์. 2533. **สรุปผลการฝึกอบรมเกษตรกร เรื่องการจัดการน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ประจำปีงบประมาณ 2532-2533.** กรุงเทพฯ: กรมปศุสัตว์.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2550. **การใช้สารปรับปรุงดินในพื้นที่เกษตรกรรม.** เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

_____. 2554. **ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง สูตรไนโตรเจน และฟอสฟอรัส.** เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี ชุดความรู้และเทคโนโลยีการพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน.

กรมวิชาการเกษตร. 2551. **คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ควิกปริ๊นท์ออฟเซ็ท.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2553. **แผ่นพับเรื่องข้าวโพดหวาน.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://agrimedia.agritech.doae.go.th/book/book-rice/RB%20036.pdf (23 มิถุนายน 2558).

จตุพร แก้วอ่อน, ภักดิ์ ชูขาว และ สัมภาส ฉีดเกตุ. 2548. **การผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำทิ้งฟาร์มสุกรและการประยุกต์ใช้ในครัวเรือนในจังหวัดพัทลุง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://e-nett.sut.ac.th/ download/ECI/ECI05.pdf. (30 พฤศจิกายน 2551).

จำเป็น อ่อนทอง. 2547. **คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช**. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จีราภรณ์ อินทสาร, ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร และจักรพงษ์ ไชยวงศ์. 2556. **รายงานผลการวิจัย เรื่อง การใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่สามารถละลายฟอสเฟตได้ ภายใต้การผลิตลำไยอินทรีย์ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

เจนศักดิ์ รัตนลัมภ์. 2545. **แนวทางการลดปัญหามลภาวะจากการเลี้ยงสุกร ในระบบฟาร์มของเกษตรกรรายย่อย**. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา www.agri.ubu.ac.th/masterstu/seminar/jensak.pdf (30 เมษายน 2559).

ชวนพิศ อรุณรังสิกุล และ อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์. 2549. **ผลของการใช้วัสดุปรับสภาพดินต่อคุณภาพของดินและผลผลิตคะน้า.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.lib.ku.ac.th/KUCONF/KC4401059.pdf (30 เมษายน 2559).

ฐปน ชื่นบาล, ศุภธิดา อ่ำทอง และ ณิชมน ธรรมรักษ์. 2553. **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการผลิตวัสดุปรับปรุงดินจากมูลสุกรที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศ.** กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

ฐปน ชื่นบาล, ศิราภรณ์ ชื่นบาล และ ณิชมน ธรรมรักษ์. 2556. **รายงานผลการวิจัยการออกแบบและพัฒนาถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรขนาดเล็ก.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. **การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ.** กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

ธวัชชัย ศุภดิษฐ์. 2550. **การจัดการอนามัยสิ่งแวดล้อมในภาคปศุสัตว์.** กรุงเทพฯ: ทิพเนตร์การพิมพ์.

นิพนธ์ จันทร์โพธิ์. 2526. **การจัดการการเลี้ยงสุกร.** ขอนแก่น: ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นิสิต คำหล้า. 2550. **บทบาทของน้ำหมักชีวภาพต่อกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์ดินและต่อการเจริญเติบโตของพืช.** ดุษฎีนิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นงลักษณ์ ปูระณะพงษ์ และ วีณา นิลวงศ์. 2557. **รายงายผลการวิจัยเรื่อง การปลดปล่อยธาตุอาหารพืชในดินที่มีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

นรีลักษณ์ ชูวรเวช. ม.ป.ป. **เรื่องควรรู้เกี่ยวกับปุ๋ยอินทรีย์.** กรมวิชาการเกษตร. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://ag-ebook.lib.ku.ac.th/ebooks/2011/ 2011-004-0108/index.html (15 เมษายน 2559).

นันทรัตน์ ศุภกำเนิด. 2558. **การจัดการดินและปุ๋ยสำหรับพืชสวน.** กรมวิชาการเกษตร. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.doa.go.th/hort/images/stories/knowledgemanagement/soilfertihort170958full.pdf (25 เมษายน 2559).

ปนัดดา เปียผึ้ง. 2553. การศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่ได้จากการนำการตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาหมักร่วมกับเศษหญ้าที่สภาวะต่างๆ โดยผ่านกระบวนการหมักแบบกองแถวเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร. น. 412-422. ใน **การประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 6.** 18 กันยายน 2553. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.

ปัญญา คำพยา. 2554. **การพัฒนาวัสดุปรับปรุงดินจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ผ่านกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อน.** เค้าโครงวิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์.

ประพิศ แสงทอง และ ภาวนา ลิกขนานนท์. 2544. การปลดปล่อยไนโตรเจนในดินจากการใส่ตะกอนน้ำเสีย. **ดินและปุ๋ย,** 23, 99-110.

ประพิศ แสงทอง, ภาวนา ลิกขนานนท์ และ สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์. 2544. การปลดปล่อยฟอสฟอรัสในดินจากการใส่กากตะกอนน้ำเสีย. **ดินและปุ๋ย,** 23, 148-159.

ประเสริฐ สองเมือง, วิทยา ศรีนานันท์, กรีพล ลิ้มสมวงศ์ม อนนท์ สุขสวัสดิ์ม ดิเรก อินตาพรม, กรรณิการ์ นากลาง และ สว่าง โรจนกุศล. 2541. การใช้แกลบและขี้เถ้าแกลบเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว. น. 1-11. ใน **รายงานผลการค้นคว้าวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2536 - 2539**. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

พัชรี ธีรจินดาขจร. 2549. ดินดีเมื่อมีอินทรียวัตถุ. **วารสารศูนย์บริการวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่น,** 14(3), 11-16.

_____. 2554. **การแปลผลค่าวิเคราะห์ดินทางเคมีเพื่อประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์.** ขอนแก่น : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ภาวนา ลิกขนานนท์, สุปราณี มั่นหมาย, ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต และ ธูปหอม พิเนตรเสถียร. 2553. การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตปุ๋ยหมักกากตะกอน. น. 73-78. ใน **ผลการปฏิบัติงานประจำปีงบประมาณ 2553**. กรุงเทพฯ: กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.

มนัส กำพุกุล และ สมชัย จันทร์สว่าง. 2538. การใช้น้ำล้นจากบ่อก๊าซชีวภาพเป็นธาตุอาหาร. น. 283-291. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์** ครั้งที่ 33 สาขาพืช. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548. **การผลิตปุ๋ยน้ำหมัก ตอน 1.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.ku.ac.th/e-magazine/dec48/agri/manure.htm (21 เมษายน 2558).

มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2553. ฐานเกษตรทฤษฎีใหม่ ภาควิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร. **วิธีการปลูกข้าวโพดหวานแม่โจ้ 84.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.agric-prod.mju.ac.th/agronomy/File/วิธีปลูกหวานแม่โจ้%2084.pdf (11 มกราคม 2558).

_____. 2559. **ข้าวโพดหวาน.** ฐานข้อมูลพันธุ์พืชและสัตว์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://portal.rae.mju.ac.th/dbplant/index.php/crops/sweetcorn/item/zea-mays-l-saccharata (15 มกราคม 2559).

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. 2543. **เอกสารประกอบคำสอนวิชา หลักการกสิกรรม.** ภาควิชาพืชศาสตร์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มาhttp://natres.psu.ac.th/Department/plantscience/510-111web/index.htm (23 มิถุนายน 2558).

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน.** กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. 2552. **การปรับปรุงบำรุงดิน.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.tapiocathai.org/F1.html (17 มกราคม 2559).

เรืองฤทธิ์ ริณพัฒน์. 2547. **การทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์น้ำที่ผลิตจากวัสดุอินทรีย์เหลือใช้จากอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการผลิตผักชนิดต่างๆ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

วณิช ลิ่มโอภาสมณี, ฐิติมา คงรัตน์อาภรณ์, ทศพล แทนรินทร์, วไลลักษณ์ แพทย์วิบูลย์, สุชาดา เสกสรรวิริยะ, เสาวพงศ์ เจริญ, สุรศักดิ์ สัจจบุตร, จารุรัตน์ เอี่ยมศิริ, วิชัย ภูริปัญญาวานิช, วชิราภรณ์ ผิวล่อง และ งามนิจ เสริมเกียรติพงศ์. 2552. การทดสอบประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์ที่ผสมสารปรับปรุงดินต่อการเติญเติบโตของผักบุ้งจีน. **วิทยาศาสตร์เกษตร,** 40(1), 217-220.

วราภรณ์ หม่อมงาม, อุทัย คันโธ, คณพล จุฑามณี, และ ธงชัย มาลา. 2548. ผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นปุ๋ยทางใบมันสำปะหลัง ต่อผลผลิตเปอร์เซ็นต์แป้งของหัวมันสำปะหลัง และต่อคุณค่าทางอาหารของมันเส้น. น. 140-147. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์** ครั้งที่ 43. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิลาวัณย์ วิเชียรนพรัตน์. 2553. **การปรับปรุงดินเพื่อการปลูกสร้างสวนป่า.** กรุงเทพฯ: กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

วิวัฒน์ อิงคะประดิษฐ์, จัตุรงค์ พิพัฒน์พิริยานนท์ และ วิญญู วงศ์อุบล. 2551. การปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินนาในการผลิตข้าวโดยใช้ปุ๋ยเคมีและวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลทราย. น. 26-34. ใน **รายงานผลการค้นคว้าวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2540 - 2545.** กรุงเทพฯ: กรมการข้าว.

ศุภกาญจน์ ล้วนมณี, สมฤทัย ตันเจริญ, ภาวนา ลิกขนานนท์ และ สุปราณี มั่นหมาย. 2553. **ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยผสมอินทรีย์เคมี ภายใต้สภาพความชื้นสนาม: การทดลองย่อย ศึกษาการสลายตัวและพฤติกรรมการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยหมัก.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.it.doa.go.th/refs/files/1933_2553.pdf (15 กุมภาพันธ์ 2556).

ศิราณี วงศ์กระจ่าง และ บัญชา รัตนีทู. 2558. การจัดการดินทรายจัด เพื่อใช้ประโยชน์ทางการเกษตร. **วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์,** 5(4), 184-194.

สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2549. **ปัญหามลภาวะในฟาร์มเลี้ยงสัตว์และการบำบัด**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/farmpollution03.php#0230 (30 พฤศจิกายน 2551).

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. 2557. **ธาตุอาหารพืชในดิน**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=18&chap=8&page=t18-8-infodetail05.html (30 พฤศจิกายน 2551).

เสาวภา ชูมณี. 2554. **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์การศึกษากระบวนการผลิตและคุณภาพปุ๋ยน้ำหมักมูลสุกรของเกษตรอินทรีย์ ตำบลกองทูล อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์.** เพชรบูรณ์: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

สำนักพัฒนาคุณภาพสินค้าเกษตร. 2557. **ข้อดี ข้อด้อย และข้อควรระวังของปุ๋ยอินทรีย์.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.agriqua.doae.go.th/pdf_agricultural_data/organic/notice_ororgan fertilizer.pdf (1 กุมภาพันธ์ 2556).

สุกัญญา จตุรพรพงษ์. 2550. **การใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์และน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์เป็นปุ๋ยอินทรีย์แบบต่างๆ สำหรับพืชเศรษฐกิจ.** นครปฐม: สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์. 2554. **ใช้อินทรียวัตถุให้ถูกประเภท.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.cab.ku.ac.th/suntaree/pdf/54OrganiMatterExplain.pdf (1 กุมภาพันธ์ 2558).

สุรพล เข้าฉ้อง, สุปราณี งามประสิทธิ์ และ ประพนธ์ บุญรำพรรณ. 2549. ผลของปุ๋ยมูลสุกรและปุ๋ยเคมีที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพ ของข้าวโพดหวาน (พันธุ์อินทรี 2) ในไร่เกษตรกร. น. 738-744. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์** ครั้งที่ 44. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวิมล สวยสม. 2548. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี: UASB. **เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ,** 2(4), 6.

อานัฐ ตันโช, ศุภธิดา อ่ำทอง, สุชาดา สานุสันต์ และวราภรณ์ ภูมิ์พิพัฒน์. 2557. **รายงานผลการวิจัยเรื่อง การศึกษากิจกรรมของจุลินทรีย์ดินและชนิดอินทรียวัตถุที่เกิดขึ้นจากไส้เดือนดินและปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดิน.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อพัสภรณ์ ขวัญนุ้ย และ วิเชียร จาฏุพจน์. 2557. การละลายได้ของหินฟอสเฟตและอิทธิพลของซิโอไลต์ ซิลิคอนต่อการละลายได้ของหินฟอสเฟตในดินกรดที่ดอน. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**, 32(1), 59-67.

อุทัย คันโธ และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2552. **การใช้ประโยชน์มูลสัตว์เป็นปุ๋ยให้กับพืชอย่างมีประสิทธิภาพ**. สถาบันสุวรรณวาจกกสิกิจฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch52/08-intregration /Uthai/ intregration_00.html (25 มกราคม 2558).

อุษณีย์ อุยะเสถียร, สิริพร เอกวรานุกูลศิริ และ ปพิชญา ศรีเทพ. 2552. การศึกษาลักษณะสมบัติและความเป็นพิษต่อพืชของกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเพื่อนำไปใช้ในการเกษตร. **วารสารสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ,** Environment and Natural Resources Journal, 7(1), 25-35.

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ์. 2554. **ดินเพื่อการปลูกพืช.** นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, สุธน ช่วยเกิด และ สัตตะพงศ์ ชอบกตัญญู. 2552. การทดแทนปุ๋ยด้วยกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเพื่อการเพาะชำต้นยางชำถุง. น. 93-100. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่** 47. 17-20 มี.ค. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Adave, S.S ., Lee, D. J. & Tay, J. H. 2008. Aerobic granular sluge: Recent advances. **Biotechnology advances**, 26, 411-423.

Alburquerque, J. A., De la Fuente, C., Carrasco, L., Cegarra, J. & Bernal, M. P. 2010. Carbon and nitrogen mineralization in soil amended with digestates from anaerobic codigestion processes. pp. 12-15. In **Proceedings of the 14th Ramiran International Conference "Treatment and use of organic residues in agriculture: Challenges and opportunities towards sustainable management"**. Portugal: Lisbon.

Alef, K., Kassem, A. & Paolo, N. 1995. Estimation of Soil Respiration. pp. 464-467. In **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry.** London: Academic Press.

Arkhipchenko, I. A., Salkinoja-Salonen, M. S., Karyakina, J. N. & Tsitko, I. 2005. Study of three fertilizers produced from farm waste. **Applied Soil Ecology**, 30, 126-132.

Cayuela, M. L., Velthof, G. L., Mondini, C., Sinicco, T. & Groenigen, J. W. van. 2010. Nitrous oxide and carbon dioxide emissions during initial decomposition of animal by-products applied as fertilisers to soils. **Geoderma**, 157, 235-242.

Feng, C., Shimada, S., Zhang, Z. & Maekawa, T. 2007. A pilot plant two-phase anaerobic digestion system for bioenergy recovery from swine wastes and garbage. **Waste Management,** 28(10), 1827-1834.

Hartz, T. K., Mitchell, J. P. & Giannini, C. 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and compost. **Hortsciense,** 35(2), 209-212.

Hue, N. V. & Silva, J. A. 2000. Organic Soil Amendment for Sustainable Agriculture. pp. 133-144. In **Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture**. Hawaii: University of Hawaii at Manoa.

Mekki, A., Dhouib, A. & Sayadi, S. 2009. Evolution of several soil properties following amendment with olive mill wastewater. **Progress in Natural Science,** 19(11), 1515-1521.

Rao, J. R., Watabe, M., Stewart, T. A., Millar, B. C. & 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.

Velthof, G. L., Kuikman, P. J. & Oenema, O. 2003. Nitrous oxide emissions from animal manures applied to soil under controlled conditions. **Biology and Fertility of Soil,** 37, 221–230.

Walpola, B. C. & Wanniarachchi, S. D. 2009. Microbial respiration and nitrogen mineralization in soil amended with different proportions of vermicompost and coir dust. **Bangladesh J. Agril. Res,** 34(4), 537-543.

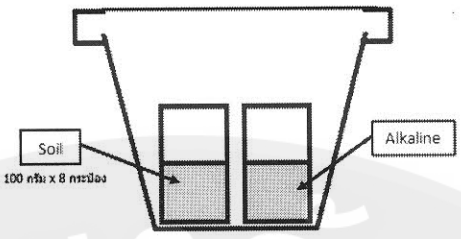
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

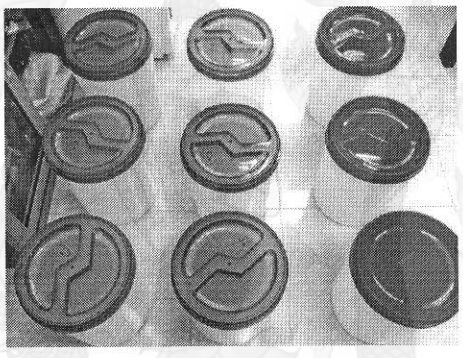
ภาพผนวก

ภาพผนวกที่ 1 ลักษณะน้ำเสียมูลสุกร ฟาร์มสุกรมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่

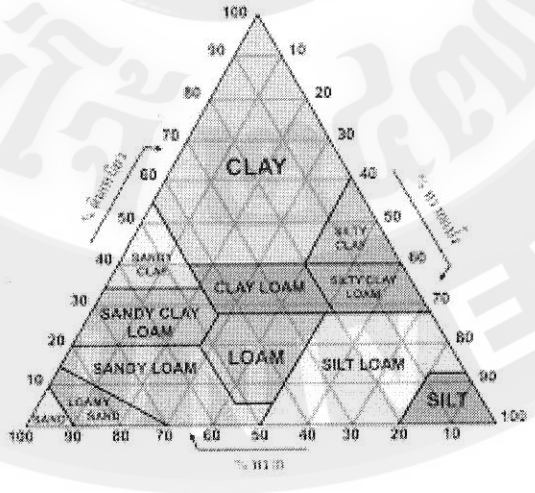
ภาพผนวกที่ 2 แสดงลักษณะถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม



ภาพผนวกที่ 3 การทดลองการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์โดยวิธีบ่มดิน

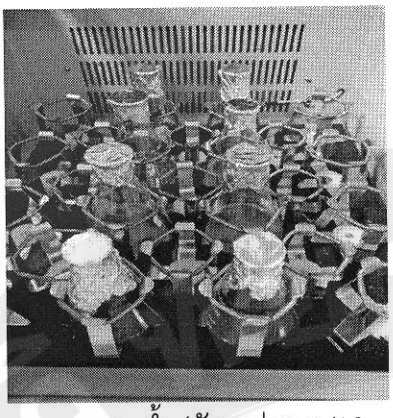


ภาพผนวกที่ 4 การทดลองการย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหาร
ของกากตะกอนโดยวิธีการบ่มดิน



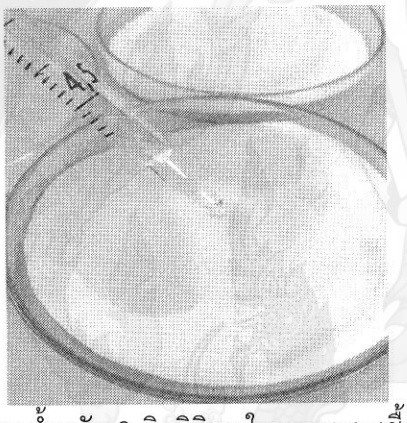
ภาพผนวกที่ 5 แสดงตารางสามเหลี่ยมสำหรับใช้พิจารณาประเภทเนื้อดิน

ที่มา: วิลาวัณย์ (2553)

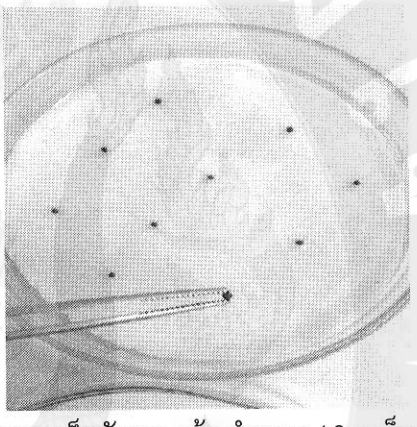


กากตะกอนผสมน้ำ (อัตราส่วน 1/10 w/v)
เขย่า 180 รอบ/นาที, 1 ชั่วโมง

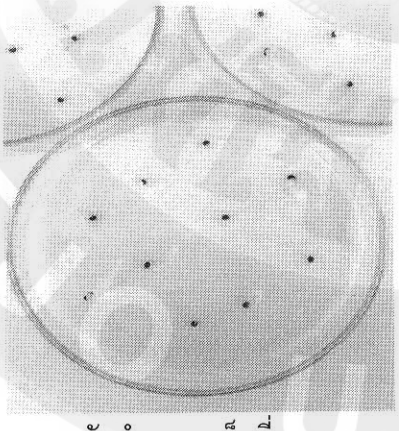
กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1



หยดน้ำสกัด 3 มิลลิลิตร ในจานเพาะเชื้อ
ที่มีกระดาษกรองวางอยู่



วางเมล็ดผักกวางตุ้ง จำนวน 10 เมล็ด
ปิดฝาแล้วนำไปไว้ที่มืด 48 ชั่วโมง

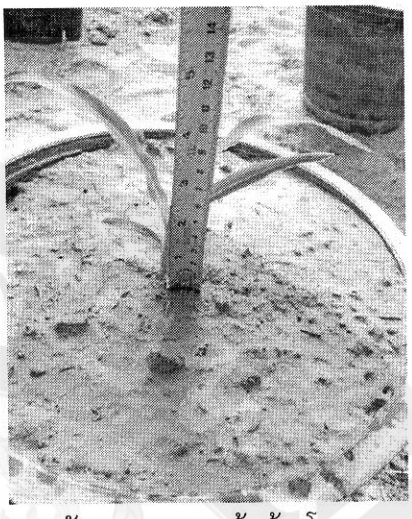


นับจำนวนเมล็ดที่งอก

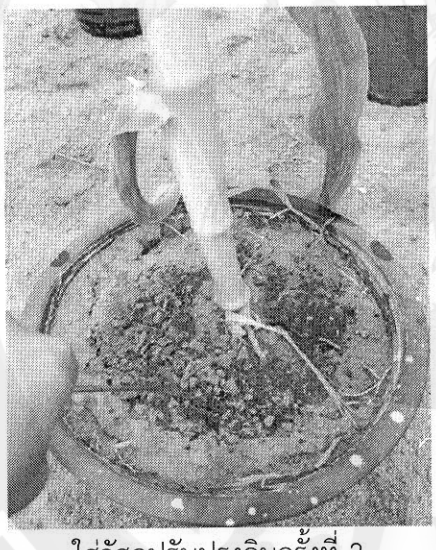
วัดความยาวราก

ภาพผนวกที่ 6 การทดลองวิเคราะห์ค่าดัชนีการงอกของกากตะกอนและน้ำหมัก

ย้ายต้นอ่อนจากหลุมเพาะมาใส่กระถาง



วัดความสูงของต้นข้าวโพด



ใส่วัสดุปรับปรุงดินครั้งที่ 2

ฉีดพ่นน้ำหมักทางใบและราก

ภาพผนวกที่ 7 การทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุปรับปรุงดินและน้ำหมักต่อการเจริญของข้าวโพด

ภาคผนวก ข

ตารางผลการวิเคราะห์

ตารางผนวกที่ 1 การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในการบ่มดินร่วมกับกากตะกอน

วัน	ชุดควบคุม (มคก./ก.ดิน)	ตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (มคก./ก.ดิน)	น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (มคก./ก.ดิน)	ปุ๋ยยูเรีย (มคก./ก.ดิน)
1	0	0.01	0.017	0.006
4	0	13.75	45.16	45.83
7	4.58	50.42	72.18	36.67
10	5.24	36.66	63.48	73.33
13	26.19	89.04	73.32	68.09
17	12.22	97.78	58.12	85.56
21	18.33	73.33	56.67	48.89
24	36.67	158.89	48.81	79.44
28	36.67	95.33	58.67	66
31	36.67	110	63.72	51.33
35	73.33	128.33	76.51	45.83
38	9.17	137.5	58.96	64.71
42	24.47	146.73	57.63	36.77
45	12.23	146.7	48.21	73.3
49	73.33	110	55.83	64.17
52	55	128.33	69.18	36.67
56	36.67	97.7	73.33	73.33

ตารางผนวกที่ 2 แสดงการปริมาณอินทรียวัตถุในการบ่มดินร่วมกับกากตะกอน

สัปดาห์	ชุดควบคุม (%)	ตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (%)	น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (%)	ปุ๋ยยูเรีย (%)
0	0.49	1.81	0.84	0.6
1	0.37	2.1	1.04	0.43
2	1.64	1.81	1.83	1.52
3	1.21	2.41	1.55	1.67
4	0.6	2.56	0.67	1.01
5	0.66	2.21	0.63	0.6
6	0.6	1.24	0.67	0.66
7	0.49	1.35	0.51	0.55
8	0.72	1.58	0.82	0.66

ตารางผนวกที่ 3 แสดงการปลดปล่อยแอมโมเนียไนโตรเจนในการบ่มดินร่วมกับกากตะกอน

สัปดาห์	ชุดควบคุม (มก./กก.ดิน)	ตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (มก./กก.ดิน)	น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (มก./กก.ดิน)	ปุ๋ยยูเรีย (มก./กก.ดิน)
0	91.17	240.26	109.22	552.65
1	120.77	256.89	143.13	466.73
2	119.26	318.24	148.33	418.65
3	155.4	121.86	139.1	181.5
4	137.43	181.31	133.00	179.34
5	172.44	185.25	159.67	202.98
6	74.94	133.40	124.49	152.23
7	54.13	91.78	73.88	100.70
8	49.17	72.96	80.47	84.85

ตารางผนวกที่ 4 แสดงการปลดปล่อยไนเตรทไนโตรเจนในการบ่มดินร่วมกับกากตะกอน

สัปดาห์	ชุดควบคุม (มก./กก.ดิน)	ตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (มก./กก.ดิน)	น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (มก./กก.ดิน)	ปุ๋ยยูเรีย (มก./กก.ดิน)
0	10.78	17.907	21.73	37.38
1	25.513	56.563	65.33	76.56
2	24.86	60.95	45.67	79.22
3	43.91	242.31	88.67	266.78
4	78.06	296.67	199	349.02
5	78.39	335.12	234	366.19
6	69.02	344.04	195.56	483.59
7	49.73	344.04	170.63	483.59
8	28.31	404.34	159.29	508.02

ตารางผนวกที่ 5 แสดงปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกปลดปล่อยในการบ่มดินร่วมกับกากตะกอน

สัปดาห์	ชุดควบคุม (มก./กก.ดิน)	ตะกอนถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (มก./กก.ดิน)	น้ำล้นถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสม (มก./กก.ดิน)	ปุ๋ยยูเรีย (มก./กก.ดิน)
0	75.12	179.44	96.49	121.07
1	68.03	181.89	107.33	122.16
2	59.62	166.85	92.63	111.52
3	33.49	156.56	130.00	104.58
4	33.49	156.56	105.67	104.58
5	110.03	135.14	119.00	143.30
6	101.78	163.58	108.52	173.18
7	100.85	107.82	115.19	172.25
8	100.85	106.58	128.57	180.00

ตารางผนวกที่ 6 ผลของวัสดุปรับปรุงดินและน้ำหมักต่อการเจริญของต้นข้าวโพด

ชุดทดลอง	จำนวนใบ (ใบ)	ความยาวใบ (เซนติเมตร)	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (กรัม)
T1	6	64	45	20.2	182.6	47.8
T1	8	61.3	61.9	18.9	203.19	67.8
T1	11	55.4	66.2	34.1	194.6	78.5
T1	9	73.2	71.4	25.6	184.1	59
T1	7	68.6	69.2	22.3	201.3	68
T2	6	67.6	55.7	36.1	195.3	75.2
T2	8	79.8	53.6	27.4	203.8	72.2
T2	8	71.2	67.2	28.8	219.6	75.5
T2	6	61	63.6	26.1	196	41
T2	9	79.5	74.9	37.2	224.6	63
T3	7	73.5	62.2	29.4	216.3	97.2
T3	7	63	56.4	38,5	214.2	81.4
T3	9	67.1	69.2	36.9	191.4	57.6
T3	8	76	51.8	38	185.4	51.3
T3	10	67.2	71.1	41	208.2	84.6
T4	8	68.5	61	36.7	203	66.9
T4	8	84.5	68.7	35.4	385.5	130.2
T4	8	56.2	60.4	38.1	264.4	81.6
T4	7	63.5	63.5	40.2	276.3	91.2
T4	9	76.8	60.8	39.6	218.5	73.9
T5	9	63	60.9	42.3	200.8	65.5
T5	8	64.3	61	28.9	242.3	80.7
T5	10	64.5	58.6	26.1	209.9	62.9
T5	8	75	70.7	33.2	196.8	54.1
T5	8	62	65.2	27.3	213.1	62.6

หมายเหตุ T1 = ดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)

T2 = วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

T3 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้

T4 = วัสดุปรับปรุงดินจากน้ำล้น

T5 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้+วัสดุปรับปรุงดินจากน้ำล้น

ตารางผนวกที่ 7 ปริมาณธาตุอาหารหลักในต้นข้าวโพด

ชุดทดลอง	OM (%)	N (%)	P ppm	K (%)
T1	3.62	0.181	43.01	0.305
T1	3.79	0.190	42.54	0.307
T1	3.53	0.177	42.68	0.312
T1	3.41	0.186	42.96	0.300
T1	3.64	0.173	42.47	0.309
T2	8.28	0.414	40.70	0.371
T2	8.10	0.405	40.70	0.379
T2	8.36	0.418	40.37	0.374
T2	8.40	0.420	40.50	0.380
T2	8.10	0.410	40.80	0.380
T3	8.19	0.409	40.17	0.369
T3	8.28	0.414	39.71	0.366
T3	8.02	0.401	40.17	0.362
T3	8.20	0.410	40.10	0.360
T3	8.20	0.410	39.80	0.370
T4	9.05	0.453	42.28	0.343
T4	8.96	0.448	41.69	0.348
T4	8.79	0.440	42.02	0.348
T4	8.60	0.450	42.00	0.350
T4	8.40	0.460	41.50	0.340
T5	9.22	0.461	38.66	0.356
T5	8.88	0.444	38.46	0.360
T5	8.79	0.440	38.86	0.358
T5	9.10	0.450	38.70	0.360
T5	8.70	0.460	38.60	0.350

หมายเหตุ T1 = ดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)

T2 = วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

T3 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้

T4 = วัสดุปรับปรุงดินจากน้ำล้น

T5 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้+วัสดุปรับปรุงดินจากน้ำล้น

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุในต้นข้าวโพด

ชุดทดลอง	Cu	Zn	Fe	Mn	Ca	Mg
	มก./กก	มก./กก	มก./กก	มก./กก	มก./กก	มก./กก
T1	12	90	104	252	11.25	277.5
T1	14	92	108	256	10	276.25
T1	12	92	100	252	11.25	280
T1	14	92	106	254	10.6	279
T1	14	90	108	254	11	280
T2	8	76	240	636	18.75	327.5
T2	8	84	244	640	13.75	325
T2	12	76	248	632	20	332.5
T2	9	80	246	640	16	328
T2	11	80	245	638	18	330
T3	4	92	196	284	6.25	305
T3	8	88	192	256	8.75	302.5
T3	8	84	204	268	8.75	301.25
T3	7	86	198	259	8	301
T3	8	84	196	260	8	304
T4	4	72	208	244	15	287.5
T4	12	64	192	236	17.5	291.25
T4	12	72	212	252	13.75	293.75
T4	11	70	210	250	15	295
T4	10	66	198	249	14	290
T5	8	72	257	412	11.25	310
T5	6	72	244	416	10	307.5
T5	8	64	248	424	11.25	305
T5	7	70	250	421	11	305
T5	8	68	250	420	10.6	305

หมายเหตุ T1 = ดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)

T2 = วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

T3 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้

T4 = วัสดุปรับปรุงดินจากน้ำล้น

T5 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้+วัสดุปรับปรุงดินจากน้ำล้น

ตารางผนวกที่ 9 คุณสมบัติและปริมาณธาตุอาหารหลักในดินหลังปลูกต้นข้าวโพด

ชุดทดลอง	pH	EC (uS/m)	OC %	OM %	N %	P มก./กก	K มก./กก
T1	7.24	109.5	0.35	0.60	0.03	12.25	176.12
T1	7.27	100.8	0.34	0.59	0.03	12.77	170.17
T1	7.18	105.7	0.31	0.53	0.03	11.47	174.21
T1	7.20	105	0.31	0.58	0.03	12.00	174
T1	7.20	105	0.31	0.56	0.03	12.40	174
T2	5.56	0.67	0.54	0.93	0.05	22.00	79
T2	5.55	0.65	0.57	0.98	0.05	22.08	77
T2	5.55	0.63	0.59	1.02	0.05	22.13	72
T2	5.60	0.65	0.56	1.00	0.05	22.00	76
T2	5.50	0.64	0.56	0.98	0.05	22.40	74
T3	5.67	0.63	0.65	1.12	0.06	21.17	83
T3	5.62	0.66	0.67	1.16	0.06	21.04	88
T3	5.66	0.69	0.65	1.12	0.06	21.13	84
T3	5.60	0.66	0.66	1.40	0.06	21	82
T3	5.70	0.67	0.67	1.50	0.06	21	84
T4	5.32	0.7	0.77	1.33	0.07	22.61	78
T4	5.33	0.71	0.74	1.28	0.06	22.17	75
T4	5.30	0.75	0.72	1.24	0.06	22.13	73
T4	5.30	0.75	0.73	1.30	0.07	22.2	75
T4	5.40	0.73	0.74	1.20	0.06	22	74
T5	5.54	0.65	0.95	1.64	0.08	22.47	82
T5	5.56	0.62	0.91	1.57	0.08	22.39	84
T5	5.54	0.66	0.9	1.55	0.08	22.34	88

ตารางผนวกที่ 9 (ต่อ)

ชุดทดลอง	pH	EC (uS/m)	OC %	OM %	N %	P มก./กก	K มก./กก
T5	5.60	0.64	0.93	1.60	0.08	22.6	88
T5	5.50	0.67	0.95	1.62	0.08	22.2	86

หมายเหตุ T1 = ดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)

T2 = วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

T3 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้

T4 = วัสดุปรับปรุงดินจากน้ำล้น

T5 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้+วัสดุปรับปรุงดินจากน้ำล้น

ตารางผนวกที่ 10 ปริมาณธาตุอาหารรองและจุลธาตุในดินหลังปลูกต้นข้าวโพด

ชุดทดลอง	Cu มก./กก	Zn มก./กก	Fe มก./กก	Mn มก./กก	Ca มก./กก	Mg มก./กก
T1	0.32	1.29	28.32	26.32	1078	96
T1	0.41	1.31	24.72	26.88	1126	107
T1	0.37	1.28	26.72	26.8	1029	180
T1	0.38	1.3	26	26	960	85
T1	0.36	1.3	26.4	26.8	1302	68
T2	0.83	6.56	17.52	7	1859	176
T2	0.77	5.08	15.12	6.4	2014	113
T2	0.97	6.16	15.92	6.64	1960	92
T2	0.88	6.1	16	6.7	2176	164
T2	0.92	6.3	16	6.7	2069	201
T3	0.67	5.48	47.12	13.2	3391	139
T3	0.69	6.52	47.92	12.76	2718	164
T3	0.73	5.68	46.72	12.8	2015	213
T3	0.70	6.2	47	12.5	3026	174
T3	0.70	6.4	46	13	2201	95
T4	0.72	6.28	35.92	15.56	1035	110

ตารางผนวกที่ 10 (ต่อ)

ชุดทดลอง	Cu	Zn	Fe	Mn	Ca	Mg
	มก./กก	มก./กก	มก./กก	มก./กก	มก./กก	มก./กก
T4	0.67	7.04	38.72	15.88	996	75
T4	0.77	6.48	38.32	16.2	1127	84
T4	0.7	6.1	36	15	980	169
T4	0.69	6.5	37	15.8	1729	182
T5	1.93	7.32	70.72	27.2	2012	208
T5	1.91	7.76	67.12	27.92	1988	226
T5	1.91	7.72	71.52	27.24	2028	165
T5	1.92	7.8	70	27	2744	112
T5	1.92	7.4	70	27.8	2853	184

หมายเหตุ T1 = ดินที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน (ชุดควบคุม)

T2 = วัสดุปรับปรุงดินทางการค้า

T3 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้

T4 = วัสดุปรับปรุงดินจากน้ำล้น

T5 = วัสดุปรับปรุงดินจากกากตะกอนที่ผลิตได้+วัสดุปรับปรุงดินจากน้ำล้น

ภาคผนวก ค

การคำนวณและการวิเคราะห์ทางเคมี

วิธีการคำนวณอัตราส่วนผสมของวัสดุต่างๆ ในการปรับปรุงวัสดุปรับปรุงดิน

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณหาปริมาณกากตะกอนเพื่อจะได้ N-P-K (1-0.5-0.5)

1. คำนวณหา N จากกากตะกอน

   กากตะกอนมี N = 0.912 % ใน 100 กรัม

   กากตะกอนมี N = 1 จะได้ $\frac{100 \times 1}{0.912} = 110$

   เพราะฉะนั้นจะได้ N = 1 ตามที่ต้องการจะต้องนำกากตะกอนมา 110 กรัม

2. คำนวณหา P จากกากตะกอน

   กากตะกอนมี P = 100 กรัม จะมี 0.011 %

   กากตะกอนมี P = 110 กรัม จะมี $P = \frac{110 \times 0.011}{100} = 0.012$

   เพราะฉะนั้นจะได้ P = 0.5 จะต้องเอา 0.5-0.012 = 0.488 กรัม

3. คำนวณหา K จากกากตะกอน

   กากตะกอนมี K = 100 กรัม จะมี 0.05 %

   กากตะกอนมี P = 110 กรัม จะมี $P = \frac{110 \times 0.05}{100} = 0.055$ กรัม

   เพราะฉะนั้นจะได้ P = 0.5 จะต้องเอา 0.5-0.054 = 0.445 กรัม

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาแกลบดำที่จะนำมาเติมให้ได้ K=0.5

แกลบดำมี K = 0.81 % ใน 100

ปริมาณ K คำนวณจากขั้นที่ 1 = 0.445 จากนั้น $\frac{0.445 \times 100}{0.81} = 55$ กรัม

แกลบดำมี P= 100 กรัม จะมี P=0.15 %

แกลบดำมี P= 55 กรัม จะมี $P = \frac{55 \times 0.15}{100} = 0.0825$ กรัม

เพราะฉะนั้นปริมาณ P = 0.0825 + 0.012 = 0.0945

ฉะนั้นปริมาณ P จากแกลบดำ = 0.5 - 0.0945 = 0.4055 %

4. คำนวณ P จากการนำ 0-3-0 มาเติมให้ได้ P=0.5

จาก 0-3-0 มีปริมาณ P_2O_5 ประมาณ 25 % .ใน 100

จาก 0-3-0 มีปริมาณ P_2O_5 ประมาณ 0.4055 $= \frac{0.4055 \times 100}{25} = 1.62$ กรัม

การคำนวณอัตราการใช้วัสดุปรับปรุงดิน

การคำนวณอัตราการใช้ปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้ฐานของเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเทียบจากการใช้ปุ๋ยเคมี ในการปลูกข้าวโพดโดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ดังนี้

กำหนดให้ ดินชั้นไถพรวนที่ความลึก 15 เซนติเมตร

พื้นที่1 ไร่ เท่ากับ 1600 ตารางเมตร

ดินมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.34 กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร

ดังนั้นดิน 1 ไร่ ที่ความลึกชั้นไถพรวนจะมีน้ำหนัก 0.15 x 1600 x 1.34 = 321,600 กิโลกรัม

การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1

ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตราการใช้ 50 กิโลกรัมต่อไร่

หมายความว่าต้องการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 15% ปริมาณ 50 กิโลกรัม

ในวัสดุปรับปรุงดินมีไนโตรเจนเท่ากับ 2.45 %

ดังนั้นจะใช้วัสดุปรับปรุงดินเท่ากับ $\frac{15 \times 50}{2.45}$ 306.12 กิโลกรัมต่อไร่

ดิน 7 กิโลกรัมจะใช้ $\frac{306.12 \times 7}{321600}$ 6.86 กรัม

จะใช้น้ำล้นเท่ากับ $\frac{15 \times 50}{0.136}$ 5,514.7 ลิตรต่อไร่

ดิน 7 กิโลกรัมจะใช้ $\frac{5514.7 \times 7}{321600}$ 120 มิลลิลิตร

การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2

หลังปลูกได้ 30 วัน ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตราการใช้ 30 กิโลกรัมต่อไร่

หมายความว่าต้องการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน 46% ปริมาณ 30 กิโลกรัม

ในวัสดุปรับปรุงดินมีไนโตรเจนเท่ากับ 2.45 %

ดังนั้นจะใช้วัสดุปรับปรุงดินเท่ากับ $\frac{46 \times 30}{2.45}$ 563.27 กิโลกรัมต่อไร่

ดิน 7 กิโลกรัมจะใช้ $\frac{563.27 \times 7}{321600}$ 12.3 กรัม

จะใช้น้ำล้นเท่ากับ $\frac{46 \times 30}{0.136}$ 10,147 ลิตรต่อไร่

ดิน 7 กิโลกรัมจะใช้ $\frac{10147 \times 7}{321600}$ 220 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์ อินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอน

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 N $K_2Cr_2O_7$:

เตรียมโดยอบ $K_2Cr_2O_7$ AR grade เพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 ไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้น ชั่ง $K_2Cr_2O_7$ 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 $(Fe(NH_4)_2(SO_4)_26(H_2O)$ 196.07 กรัม ในน้ำประมาณ 500 cm^3 เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้นลงไป 15 cm^3 คนให้ละลายแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 dm^3

4. สารละลาย 0.025 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 0.5-2.0 กรัม (ดินที่มีสีเข้มใช้น้ำหนักน้อย ส่วนดินทราย หรือดินที่มีสีจางให้ใช้น้ำหนักมาก ดินทรายจัดอาจต้องใช้มากถึง 5 กรัม) ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 cm^3

2. เติมสารละลาย 1.0 N $K_2Cr_2O_7$ ลงไปด้วย pipet 10 cm^3 เขย่าให้ดินผสมกับสารละลาย

3. เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้นลงไป 15 cm^3 โดยใช้กระบอกตวง (ขั้นตอนนี้ให้ทำในตู้ดูดควัน โดยเอียง flask เข้าด้านใน แล้วค่อย ๆ เทกรดใส่ลงไปอย่างช้า ๆ)

4. ทิ้งไว้ในตู้ดูดควันไม่น้อยกว่า 30 นาที ใช้ขวดฉีดน้ำไล่ดินและสารเคมีที่เกาะอยู่ด้านข้าง flask ลงไปให้หมด และให้สารมีปริมาตรรวมประมาณ 75 cm^3 (ดูจากขีดปริมาตรด้านข้าง flask)

5. หยด Ferroin indicator ลงไป 4-6 หยด แล้วนำไปไทเทรตด้วยสารละลาย Fe_2^+ จนสีของสารแขวนลอย เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นน้ำตาลอมแดง (สีของสารแขวนลอยจะเปลี่ยนจากสีส้มของ $Cr_2O_7^{2-}$ เป็นสีเขียวของ Cr^{3+} และเป็นสีน้ำตาลอมแดงของสารประกอบเชิงซ้อน Fe-1,10-phenantroline อย่างไรก็ตามสีของดินอาจทำให้สีที่เห็นต่างไป)

6. ทำ Sample blank ตามวิธีเดียวกันจากข้อ 2-5 โดยใส่ flask เปล่าจำนวน 2 ใบ

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินคำนวณได้จากสูตร

$$OM = \{N_cV_c - V_t\frac{V_cN_c}{V_b}\}\frac{12.01}{40W} \times \frac{100}{77}\ \%$$

ส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินคำนวณได้จากสูตร

$$Org.C = \{N_cV_c - V_t\frac{V_cN_c}{V_b}\}\frac{12.01}{40W} \times \frac{100}{77} \times \frac{100}{58}\ \%$$

เมื่อ N_c = ความเข้มข้นของสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ (N)

V_c = ปริมาตรของสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ (cm^3)

V_t = ปริมาตรของสารละลาย Fe^{2+} ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างดินนั้น ๆ (cm^3)

V_B = ปริมาตรของสารละลาย Fe^{2+} ที่ใช้ไทเทรต Sample blank (cm^3)

W = น้ำหนักของตัวอย่างดินที่ใช้ (g)

ภาคผนวก ง

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล นายพนมเทียน ทนคำดี

เกิดเมื่อ 6 มีนาคม 2523

ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2546 ปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

พ.ศ. 2542 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบ้านม่วงพิทยาคม จ.สกลนคร

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2546-2547	เจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อม บริษัท บีเจที วอเตอร์ จำกัด กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2547-2548	นักวิทยาศาสตร์ บริษัท เชียงใหม่ริมดอย จำกัด จ. เชียงใหม่
พ.ศ. 2548-ปัจจุบัน	นักวิทยาศาสตร์ กองสวัสดิการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่

อีเมล panomtian411@gmail.com