บทที่ 1

บทนำ (introduction)

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ข้าวไร่เป็นธัญพืชที่เกษตรกรในเขตพื้นที่สูงนิยมปลูกเพื่อใช้บริโภคเป็นหลักในแต่ละครอบครัว แต่พื้นที่สูงส่วนใหญ่มักประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำเพราะต้องอาศัยน้ำฝน ซึ่งจะทำการปลูกได้เพียง 1 ครั้งต่อปี นอกจากนี้เกษตรกรมีปัญหาพื้นที่ปลูกมีจำนวนจำกัด รวมทั้งเกษตรกรส่วนใหญ่ยังขาดความรู้ในเรื่องการบำรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิต แต่เนื่องจากมีการปลูกข้าวอย่างต่อเนื่องทำให้ผลผลิตข้าวไร่ลดต่ำลง การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ดินเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มผลผลิต และการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นวิธีการหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพดิน ทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตและปรับปรุงคุณภาพของข้าวได้ โดยใส่เพื่อมีวัตถุประสงค์ในการบำรุงดินเพิ่มแร่ธาตุอาหารให้แก่ดิน โดยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักของพืช เนื่องจากในธรรมชาติแม้สามารถพบธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ทั่วไป แต่ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ เพื่อให้การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ในพื้นที่สูงมีความยั่งยืน เกษตรกรสามารถนำไปปฏิบัติได้ด้วยตัวเองโดยอาศัยวัตถุดิบที่มีในพื้นที่ที่สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อพื้นที่การปลูกข้าวไร่ของเกษตรกรจึงมีวัตถุประสงค์ 2 ประการด้วยกัน คือ หนึ่งมีต้นทุนต่ำ สามารถผลิตและจัดการได้ง่ายโดยเกษตรกร และสามารถลดข้อจำกัดต่างๆ โดยใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นโดยพิจารณาฤดูกาลที่มีวัตถุดิบนั้นด้วยเช่นกัน สองคือการศึกษาบทบาทของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ที่พบในการเตรียมปุ๋ยอินทรีย์ โดยเป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการย่อยสลาย และเปลี่ยนแร่ธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ ซึ่งจุลินทรีย์ที่พบมีบทบาทและความจำเพาะกับวัตถุดิบและวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จะทำให้เป็นประโยชน์ต่อเนื่องสำหรับการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่สามารถคัดกรองได้ เพื่อการเพิ่มผลผลิตข้าวไร่และพืชต่างๆ ในเขตจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการศึกษาสูตรปุ๋ยอินทรีย์และวิธีการผลิตที่เหมาะสมในพื้นที่และมีราคาต้นทุนต่ำ โดยคำนึงถึงวัตถุดิบในพื้นที่ ปัจจัยการผลิต และข้อจำกัดของเกษตรกรและพื้นที่เพาะปลูก
2. เพื่อคัดกรองจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์จากวัตถุดิบที่ใช้เตรียมปุ๋ยอินทรีย์ รวมทั้งสูตรปุ๋ยอินทรีย์แต่ละชนิดที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงจุลินทรีย์ที่สามารถตรึงไนโตรเจน และละลายฟอสเฟตจากดินให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ โดยจุลินทรีย์ที่คัดเลือกได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ ปรับปรุงคุณภาพดิน เพื่อเพิ่มผลผลิตให้แก่ข้าวไร่และพืชชนิดอื่นๆ ต่อไปในอนาคต

3.ขอบเขตการวิจัย

ทำการศึกษาการผลิตสูตรปุ๋ยอินทรีย์ที่มีราคาต้นทุนต่ำ มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ รวมถึงมีวิธีการผลิตที่สะดวกเหมาะสำหรับเกษตรกร โดยทำการคัดเลือกสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวไร่ในพื้นที่สูง นอกจากนี้แล้ววัตถุดิบแต่ละชนิดในการนำมาเตรียมปุ๋ยอินทรีย์ และสูตรปุ๋ยอินทรีย์ในแต่ละสูตร จะถูกนำไปศึกษาคัดกรองจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการเพิ่มธาตุอาหารให้กับพืช เช่น ความสามารถในการตรึงไนโตรเจน การละลายฟอสเฟต และการย่อยสลายสารอินทรีย์

4. ทฤษฎี แนวความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

จากสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่สูงของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่มีพื้นที่การเกษตรจำกัดต่อครอบครัว ไม่มีระบบการชลประทาน และเกษตรกรขาดความรู้ด้านการบำรุงดิน ทำให้ทรัพยากรดินเสื่อมโทรมลง ส่งผลให้ข้าวไร่ซึ่งเป็นผลผลิตหลักของเกษตรกรมีจำนวนลดลง ไม่เพียงพอต่อการบริโภค และการสำรองใช้ต่อปี ส่งผลกระทบต่อวิถีการดำเนินชีวิต รวมถึงประเพณีและวัฒนธรรมของเกษตรกรที่ต้องเปลี่ยนจากรูปแบบการเป็นเกษตรกรและทำงานในท้องถิ่นหรือในพื้นที่ต้องปรับเปลี่ยนอาชีพเป็นการรับจ้างทั่วไปนอกถิ่นที่อาศัยเพื่อหารายได้

ปุ๋ยอินทรีย์เป็นทางเลือกสำหรับเกษตรกรในการปรับปรุงบำรุงดิน แต่จากปัญหาในข้อจำกัดของพื้นที่ ปริมาณน้ำ วัตถุดิบที่มีในท้องถิ่น กำลังแรงงาน และรายได้ ทำให้มีการจัดการค่อนข้างยาก และได้ผลไม่เท่าที่ควร ดังนั้นจุดมุ่งหมายในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการช่วยเกษตรกรให้รู้จักวิธีการบำรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตโดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ โดยการศึกษาการเตรียมปุ๋ยอินทรีย์จากวัตถุดิบที่หาได้ในท้องถิ่นด้วยวิธีการและการจัดการที่เหมาะสมกับพฤติกรรมของเกษตรกร และมีราคาต้นทุนต่ำจะสามารถช่วยบรรเทาและแก้ไขปัญหาผลผลิตของข้าวไร่ให้ดีขึ้น พร้อมกันนี้การคัดกรองจุลินทรีย์ที่มีความจำเพาะต่อพื้นที่ วัตถุดิบ และวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ นอกจากทราบบทบาทของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในพื้นที่แล้ว ยังสามารถนำไปต่อยอดเพื่อการพัฒนาการผลิตพืชในที่สูงได้ อันจะเป็นวิธีการหนึ่งที่ปลอดภัยทั้งต่อเกษตรกร ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม เพื่อสร้างความยั่งยืนในการผลิตข้าวไร่หรือการทำการเกษตรประเภทอื่นๆ ในพื้นที่สูงได้ต่อไป

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้สูตรปุ๋ยอินทรีย์ที่มีความเหมาะสมต่อข้าวไร่ในพื้นที่สูงในเขตจังหวัดประจวบคีรีขันธ์
- ได้จุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือตรึงไนโตรเจนหรือช่วยละลายฟอตเฟตเพื่อช่วยปรับคุณภาพของดิน และช่วยในการเพิ่มผลข้าวไร่
- เผยแพร่ในวารสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาชุมชน หรือวารสารทางวิทยาศาสตร์

หน่วยงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์

- เกษตรกรทั้งที่ปลูกข้าวและข้าวไร่
- หน่วยงานท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องด้านการพัฒนาอาชีพและเสริมสร้างความมั่นคงให้แก่เกษตรกร
- มหาวิทยาลัย หรือหน่วยงานการศึกษา

6. แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี หรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

- ตั้งแต่ขั้นตอนกระบวนการวิจัยมีการทำงานร่วมกับเกษตรกรและชุมชน ด้วยเหตุนี้ในแต่รอบการศึกษาวิจัย จะมีการถ่ายทอดผลการวิจัยสู่กลุ่มเกษตรกร ทายาทเกษตรกร ผู้ปลูกข้าวไร่ในพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
- จัดทำหนังสือที่เกี่ยวข้องกับสูตรปุ๋ยอินทรีย์ และจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการเพิ่มผลผลิตข้าวไร่ โดยมอบให้ตัวแทนกลุ่มหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสำหรับใช้ในการให้ความรู้แก่เกษตรกร

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปัญหาการขาดความอุดมสมบูรณ์ในพื้นที่สูงและวิธีการบำรุงดิน

สาเหตุที่ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงเป็นผลมาจากทั้งการปลูกพืชต่อเนื่องเป็นเวลานานและจากการพังทลายของดินซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหาการผลิตอาหารให้เกิดความยั่งยืนในเกษตรกรรายเล็กในแถบพื้นที่ร้อนชื้นและกึ่งร้อนชื้น (Sanchez *et al*., 1997; Shepherd and Soule, 1998; Kwesiga *et al*., 2003; Akinnifesi *et al*., 2006) เช่น พบผลผลิตข้าวตกต่ำในระบบการปลูกในที่สูงของเอเชียซึ่งมีสภาพการปลูกในพื้นที่เล็กและปลูกได้เพียงหนึ่งครั้งต่อปี (Mutert and Fairhurst, 2002) ซึ่งในพื้นที่สูงเหล่านี้มักมีการปลูกข้าวไร่เนื่องจากเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ไม่มีการใช้ปุ๋ย หรือพื้นที่ที่ปล่อยทิ้งร้าง (Mghase *et al*., 2011) อย่างไรก็ตามเนื่องจากประชากรที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้การปล่อยพื้นที่ทิ้งร้างมีระยะเวลาที่สั้นลง ดังนั้นการปลูกข้าวไร่จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ดินเสื่อมคุณภาพและขาดธาตุอาหารในหลายๆ พื้นที่ของแอฟริกาและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Mutert and Fairhurst, 2002; Oteng and Sant’ Anna, 1999) โดยปัญหานี้มักพบในการทำเกษตรที่มีการใช้ปุ๋ยระดับต่ำหรือการใช้ปุ๋ยคอก การแก้ปัญหาอย่างหนึ่งคือการทำวนเกษตรสำหรับการปลูกพืชที่เกิดอย่างต่อเนื่องเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพิ่มผลผลิตพืชได้ เป็นการเสริมสร้างรายได้และความมั่นคงในการผลิตอาหารในสภาวะที่ปุ๋ยเคมีราคาแพง (Mafongoya *et al*., 2006; Kimaro *et al*., 2008)

เกษตรกรในแถบเขตร้อนชื้น (Tropical) มีการทำการเกษตรแบบใช้ปัจจัยต่ำโดยมีการใส่ธาตุอาหารในดินที่จำกัด อย่างไรก็ตามมีการใช้มูลสัตว์หรือเศษซากพืชในการปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มผลผลิตและไม่ได้นับว่าเป็นเรื่องไม่ยุ่งยากสำหรับเกษตรกร (Mweta *et al*., 2007; Makumba and Akinnifesi, 2008; Kang *et al*., 2009) นอกจากนี้มีการใช้พืชตระกูลถั่วหลากหลายชนิดในการบำรุงดินเช่นเดียวกัน (Ikerra *et al*., 1999; Chirwa *et al*., 2003; Makumba and Akinnifesi, 2008; Akinnifesi *et al*., 2009) การใช้ปุ๋ยพืชสดสามารถเพิ่มไนโตรเจนได้ถึง 20-50 กิโลกรัมไนโตรเจน และ 15-30 กิโลกรัมโพแทสเซียมต่อเฮกตาร์ (Zingore *et al*., 2003; Baggie *et al*., 2004) อย่างไรก็ตามผลจากการใช้ปุ๋ยพืชสดในการผลิตพืชนั้นมีผลที่แตกต่างหลากหลาย การใช้ปุ๋ยพืชสดต่อการเกษตรนั้นอาจเห็นผลได้ค่อนข้างช้า (Sileshi and Mafongoya, 2006; Kimaro *et al*., 2007; Makumba *et al*., 2007) แต่อาจมีบางงานวิจัยเช่นกันที่การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ได้ผลเร็ว (Sangakkara *et al*., 2004; Reddy *et al*., 2008; Silva *et al*., 2008)

2. การใช้ปุ๋ยฟางข้าวในการบำรุงดิน

ตัวอย่างเศษซากแห้งที่ใช้ในการบำรุงดิน เช่น ฟางข้าว ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการปลูกข้าว เป็นวัตถุดิบอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบทางเคมีของธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.2-1.0 เปอร์เซ็นต์ และโปแทสเซียม 0.8-1.0เปอร์เซ็นต์ (Mongkol and Anan, 2006) แม้จะมีฟางข้าวมากภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต แต่ไม่สามารถทำการไถกลบเพื่อการบำรุงดินได้โดยตรงเนื่องจากมี C:N ration สูง (Man *et al*., 2002) ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการบำรุงดินเช่นเดียวกับซากพืชอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความอุดม

สมบูรณ์ให้แก่ดินและเพิ่มผลผลิตพืช (Gill and Meelu, 1986; Eneji *et al*., 2001; Singh *et al*., 2001) ขณะที่ในหลายพื้นที่โดยเฉพาะประเทศกำลังพัฒนามีการเผาฟางข้าวเพื่อเป็นปุ๋ยและเพื่อเป็นการเตรียมพื้นที่แปลง (Man *et al*., 2002; Polthanee *et al*., 2008) ซึ่งมีงานวิจัยที่พบว่าการใช้ฟางเป็นปุ๋ยอินทรีย์ให้ผลผลิตข้าวไม่ต่างจากการเผา (Polthanee *et al*., 2008) แต่การเผาแปลงส่งผลกระทบอย่างมากต่อสภาพแวดล้อมโดยมีส่วนในการเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก (Samar *et al*., 1999) นอกเหนือจากฟางข้าวแล้วในการผลิตพืชมีการใช้ปุ๋ยพืชสดเพื่อปรับปรุงกายภาพ เคมี และลักษณะทางชีวภาพของดินเพื่อเพิ่มผลผลิต (Fageria, 2007) อย่างไรก็ตามมีการวิจัยทั้งที่พบว่าการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์และปุ๋ยอินทรีย์มีผลในการเพิ่มผลผลิตได้สูงกว่าการใช้ฟางและแปลงควบคุมที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (Polthanee *et al*., 2008) และงานวิจัยที่มีการใช้ฟางข้าวร่วมกับเชื้อ *Trichoderma* sp. ในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินจากการใช้ปุ๋ยฟางข้าว ซึ่งพบว่าเมื่อมีการใช้ปุ๋ยฟางข้าวอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งแม้จะพบเปอร์เซ็นต์การเพิ่มต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี ขณะการใช้ปุ๋ยฟางข้าวร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยเคมีโดยเฉพาะในฤดูแล้ง แต่อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยฟางข้าวทำให้ประชากรของจุลินทรีย์และการทำงานในดินมีสูงกว่าในแปลงที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีและแปลงควบคุม (Man *et at*., 2002)

การนำฟางข้าวไปผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์แม้จะมีประโยชน์ในการปรับปรุงดิน แต่พบว่าในกระบวนการย่อยสลายมีการสร้างสาร phyto-toxic หรือสารที่เป็นพิษต่อพืช (Martin *et al*., 1978; Elliott *et al*., 1981) เพื่อการแก้ปัญหาดังกล่าวการนำฟางข้าวมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ต้องมีการให้ความชื้นที่เพียงพอกับกองหรือหลุมพืชหมัก รวมทั้งต้องมีจุลินทรีย์ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นปุ๋ยหมักอินทรีย์สำหรับแปลงข้าวได้ (Gaur *et al*., 1990)

3. ปุ๋ย

ปุ๋ย คือ วัสดุที่มีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบ หรือสิ่งมีชีวิตที่ก่อให้เกิดธาตุอาหารพืช เมื่อใส่ลงไปในดินแล้วจะปลดปล่อย หรือสังเคราะห์ธาตุอาหารที่จำเป็นให้แก่พืช

ปุ๋ยอินทรีย์ คือสารประกอบที่ได้จากสิ่งที่มีชีวิต ได้แก่ พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ ผ่านกระบวนการผลิตทางธรรมชาติ ปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย ระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี รากพืชจึงชอนไชไปหาธาตุอาหารได้ง่ายขึ้น

ปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณธาตุอาหารอยู่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี และธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น ไนโตรเจนอยู่ในสารประกอบจำพวกโปรตีน เมื่อใส่ลงไปในดินพืชจะไม่สามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันที แต่ต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน แล้วปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นออกมาในรูปสารประกอบอินทรีย์ เช่นเดียวกันกับปุ๋ยเคมี จากนั้นพืชจึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ ปุ๋ยอินทรีย์มี 3 ประเภท ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด

1. ปุ๋ยคอก

เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้มาจากสิ่งขับถ่ายของสัตว์เลี้ยง เช่น โค กระบือ สุกร เป็ด ไก่ และห่าน ฯลฯ โดยอาจจะใช้ในรูปปุ๋ยคอกแบบสด แบบแห้ง หรือ นำไปหมักให้เกิดการย่อยสลายก่อนแล้วค่อยนำไปใช้ก็ได้ ซึ่งต้อง

คำนึงถึงชนิดของดินและพืชที่ปลูกด้วย โดยเฉพาะการใช้แบบสดอาจทำให้เกิดความร้อน และมีการดึงธาตุอาหารบางตัวไปใช้ในการย่อยสลายมูลสัตว์ ซึ่งอาจจะทำให้พืชเหี่ยวตายได้
การใช้ปุ๋ยคอกนั้น นอกจากจะมีประโยชน์ในการช่วยเพิ่มธาตุอาหารพืชในดินแล้ว ยังช่วยทำให้ดินโปร่งและร่วนซุย ทำให้การเตรียมดินง่าย การตั้งตัวของต้นกล้าเร็วทำให้มีโอกาสรอดได้มากด้วย

2. ปุ๋ยหมัก

เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ซึ่งได้จากการนำชิ้นส่วนของพืช วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น หญ้าแห้ง ใบไม้ ฟางข้าว ซังข้าวโพด กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล และแกลบจากโรงสีข้าว ขี้เลื่อยจากโรงงานแปรรูปไม้ เป็นต้น มาหมักในรูปของการกองซ้อนกันบนพื้นดิน หรืออยู่ในหลุม เพื่อให้ผ่านกระบวนการย่อยสลายให้เน่าเปื่อยเสียก่อน โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์จนกระทั่งได้สารอินทรียวัตถุที่มีความคงทน ไม่มีกลิ่น มีสีน้ำตาลปนดำ

การทำปุ๋ยหมักสามารถทำได้เอง โดยนำวัสดุต่างๆ มากองสุมให้สูงขึ้นจากพื้นดิน 30-40 เซนติเมตร แล้วโรยปุ๋ยคอกผสมปุ๋ยเคมีสูตรเสมอ 15-15-15 ประมาณ 1-1.5 กิโลกรัม ต่อเศษพืชหนัก 1,000 กิโลกรัม เสร็จแล้วก็กองเศษพืชซ้อนทับลงไปอีกแล้วโรยปุ๋ยคอกผสมปุ๋ยเคมี ทำเช่นนี้เรื่อยไปเป็นชั้นๆ จนสูงประมาณ 1.5 เมตรควรมีการรดน้ำแต่ละชั้นเพื่อให้มีความชุ่มชื้น และเป็นการทำให้มีการเน่าเปื่อยได้เร็วขึ้น กองปุ๋ยหมักนี้ทิ้งไว้ 3-4 สัปดาห์ ก็ทำการกลับกองปุ๋ยครั้งหนึ่ง

3. ปุ๋ยพืชสด

เป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการปลูกพืชบำรุงดิน ซึ่งได้แก่พืชตระกูลถั่วต่าง ๆ แล้วทำการไถกลบ เมื่อพืชเจริญเติบโตมากที่สุด ซึ่งเป็นช่วงที่กำลังออกดอก พืชตระกูลถั่วที่ควรใช้เป็นปุ๋ยพืชสดควรมีอายุสั้น มีระบบรากลึก ทนแล้ง ทนโรคและแมลงได้ดี เป็นพืชที่ปลูกง่าย และมีเมล็ดมาก ตัวอย่างพืชเหล่านี้ก็ได้แก่ ถั่วพุ่ม ถั่วเขียว ถั่วลาย ปอเทือง ถั่วขอ ถั่วแปบ และโสน เป็นต้น

3.1 การใส่ปุ๋ยในปริมาณที่พอเหมาะ

ปริมาณปุ๋ยที่พอเหมาะ หมายถึง จำนวนหรืออัตราปุ๋ยที่ใช้ต่อไร่หรือต่อต้นที่พืชจะได้รับ ความพอเหมาะนี้มีอยู่ 2 ลักษณะคือ พอเหมาะในแง่ของปริมาณที่พืชควรจะได้รับเพื่อให้ได้ผลิตผลสูงสุด ถ้าน้อยกว่านั้นก็จะทำให้พืชไม่เจริญเติบโต และให้ผลิตผลไม่สูงเท่าที่ควร หรือถ้าให้มากเกินกว่านั้นก็อาจเป็นพิษแก่พืช หรือไม่ทำให้พืชเติบโตและให้ผลิตผลเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอาจทำให้เสียเงินโดยเปล่าประโยชน์ประการหนึ่ง และอีกประการหนึ่งก็คือพอเหมาะในแง่ของหลักเศรษฐกิจ กล่าวคือ ปริมาณของปุ๋ยที่ใช้จะต้องพิจารณาเกี่ยวกับราคาของปุ๋ย และราคาของผลิตผลที่จะขายได้เสียก่อน การใช้ปุ๋ยที่พอเหมาะในแง่นี้เป็นการใส่ปุ๋ยจำนวนหนึ่ง (ต่อไร่หรือต่อต้น) ซึ่งจะมีผลทำให้ผลิตผลสูงขึ้นที่ระดับหนึ่ง (ไม่จำเป็นต้องเป็นผลิตผลสูงสุด) อันจะทำให้ได้กำไรต่อเงินลงทุนในการซื้อปุ๋ยมาใช้มากที่สุด

การพิจารณาความพอเหมาะพอดีของจำนวนปุ๋ยหรืออัตราปุ๋ยที่จะใช้ จะต้องอาศัยหลักเกณฑ์และวิธีการต่างๆ หลายประการมาประกอบ การพิจารณา อาทิ ชนิดของพืช ระดับความชื้นและความอุดมสมบูรณ์เดิมของดิน วิธีการปลูก การดูแลและการบำรุงรักษาของกสิกร ตลอดจนราคาของปุ๋ยและของพืชที่ปลูกประกอบด้วย

ใส่ปุ๋ยให้พืชในขณะที่พืชต้องการ พืชที่ปลูกในดินที่ไม่อุดมสมบูรณ์ด้วยธาตุอาหารมักจะแคระแกร็น และให้ผลิตผลต่ำ การใส่ปุ๋ยจะช่วยยกระดับธาตุอาหารที่ขาดแคลนให้มีปริมาณเพียงพอกับความต้องการของพืช อย่างไรก็ตาม ปุ๋ยที่ใส่ลงไปในดินเดียวกันกับพืชชนิดเดียวกัน อาจจะให้ผลแตกต่างกันได้เป็นอย่างมากทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจังหวะเวลา (timing) ของการให้ปุ๋ยแก่พืชนั้น ตรงกับระยะเวลาที่พืชมีความต้องการธาตุอาหารนั้นๆ มากที่สุดหรือไม่ ช่วงจังหวะความต้องการธาตุอาหารมากที่สุดของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป พืชที่มีอายุสั้น เช่น พืชไร่และข้าวจะมีจังหวะการดึงดูดธาตุอาหารที่แตกต่างกันอย่างเด่นชัดอย่างน้อย 3 ช่วงด้วยกันคือ (1) ช่วงแรกที่พืชเริ่มงอกและการเติบโตในระยะ 30-45 วันแรก พืชมักจะต้องการธาตุอาหารน้อยและช้า เพราะระยะนี้ระบบรากยังน้อย และต้นยังเล็กอยู่ (2) ช่วงที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เป็นระยะที่พืชต้องการธาตุอาหารเป็นจำนวนมาก สำหรับข้าวจะเป็นระยะที่กำลังแตกกอและระยะที่กำลังสร้างตาดอก ถ้าเป็นข้าวโพดจะเป็นระยะที่มีอายุ 45 – 60 วัน ถ้าเป็นข้าวก็ระยะประมาณ 30 วัน ก่อนออกดอก และ (3) ช่วงที่มีการเติบโตเต็มที่แล้วและเป็นระยะสร้างเมล็ดหรือสร้างผล ความต้องการธาตุอาหารในระยะนี้จะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งฝักหรือเมล็ดแก่

ระยะที่พืชต้องการธาตุอาหารจากดินมากที่สุดและดึงดูดธาตุอาหารจากดินในอัตราที่รวดเร็วมากที่สุดก็คือช่วงที่สอง เพราะเป็นระยะที่กำลังเติบโตอย่างรวดเร็วและต้องการสะสมธาตุอาหารไว้ในต้นและใบ ให้เพียงพอสำหรับการสร้างเมล็ดและผลที่จะมีขึ้นในช่วงที่สาม ดังนั้นการให้ปุ๋ยแก่พืชระยะที่สำคัญก็คือ ระยะที่สองนี้ ซึ่งพืชควรจะได้รับธาตุอาหารจากปุ๋ยที่ให้เพียงพอที่สุด

ดังนั้นการให้ปุ๋ยแก่พืชจึงต้องแบ่งใส่จังหวะการใส่ควรให้พอเหมาะกับระยะที่พืชต้องการจะยังผลให้ประสิทธิภาพของปุ๋ยที่ใส่สูงความเหมาะสมของจังหวะเวลาการให้ปุ๋ยกับพืชได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง พืชแต่ละชนิดจะมีช่วงที่ควรจะแบ่งใส่ปุ๋ยเพื่อให้มีผลดีแก่พืชมากที่สุดแตกต่างกันออกไป แต่อาจจะถือเป็นหลักเกณฑ์กว้างๆ ได้คือ

1. การแบ่งใส่ปุ๋ยมักจะให้ผลดีกว่าการใส่ปุ๋ยจำนวนเดียวกันนั้นเพียงครั้งเดียวตอนปลูก ยกเว้นเมื่อใช้ปุ๋ยในอัตราต่ำมากๆ

2. การใส่ครั้งแรกคือใส่ตอนปลูก ควรใส่แต่น้อย โดยเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจน ส่วนปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมนั้นจะใส่ทั้งหมดในตอนปลูกก็ได้

3. การใส่ครั้งที่สองควรใส่ระยะที่พืชกำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว เช่น ระหว่างระยะแตกกอสูงสุดถึงใกล้ออกดอก ส่วนใหญ่การใส่ครั้งที่สองจะเป็นปุ๋ยไนโตรเจน ถ้าอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้สูงมากๆ การแบ่งใส่ควรเป็นสามครั้งคือ ตอนปลูก ตอนเริ่มการเติบโตอย่างรวดเร็วและตอนระยะใกล้ออกดอก และจะไม่ช้าไปกว่าระยะหลังจากพืชออกดอกแล้ว หรือระยะที่พืชเริ่มแก่

ใส่ปุ๋ยให้พืชตรงจุดที่พืชสามารถดึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายและเร็วที่สุด นอกจากจังหวะการใส่แล้ว วิธีการใส่เพื่อให้พืชดึงดูดไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นก็มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากในทันทีทันใดที่ปุ๋ยลงไปอยู่ในดิน ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงและการเคลื่อนย้ายของปุ๋ยจะเกิดขึ้นทันที

ธาตุไนโตรเจนในปุ๋ยจะเคลื่อนที่ได้รวดเร็วมากเพราะละลายน้ำได้ง่าย ไนโตรเจนในรูปไนเทรตจะถูกน้ำพัดพาออกไปจากชั้นของดินได้อย่างรวดเร็ว ถ้ารากพืชดึงดูดเอาไว้ไม่ทันก็จะสูญเสียไปหมดและไม่เกิดประโยชน์ต่อพืชแต่อย่างใด ปกติแล้วปุ๋ยไนโตรเจนในดินจะสูญเสียไปโดยการชะล้างประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนที่ใส่ลงไป ไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียม ถึงแม้จะดูดยึดอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวได้ และถูกชะล้างได้ยากก็จริง เมื่อดินมีการถ่ายเทอากาศดีจะถูกแปรรูปโดยจุลินทรีย์ในดินจะทำปฏิกิริยาเพิ่มออกซิเจน (oxidized) ให้กลายเป็นไนเทรตไนโตรเจน (NO_3^- Nitrogen) ได้ง่ายและเร็วมาก

ฟอสฟอรัสในปุ๋ยถึงแม้จะละลายน้ำได้ง่ายแต่เมื่ออยู่ในดินจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับแร่ธาตุต่างๆ ในดินกลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยาก ความเป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง และไม่เคลื่อนย้ายไปไหน ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตตรงจุดไหน ฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ง่ายก็มักจะอยู่ตรงจุดนั้น ถ้าจะเคลื่อนย้ายจากจุดเดิมก็เป็นระยะใกล้ๆ ในรัศมี 1-5 ซม. เท่านั้น ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตให้กับพืชจึงต้องให้อยู่ใกล้กับรากมากที่สุดเพื่อที่รากจะไม่เป็นอันตรายจากปุ๋ยนั้น การใส่บนผิวดินจะเป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยกว่าใส่ใต้ผิวดินในบริเวณที่รากจะแพร่กระจายไปได้ ถึงซึ่งผิดกับปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่บนผิวดินก็สามารถซึมลงมายังบริเวณรากที่อยู่ใต้ผิวดินได้ง่าย ดังนั้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนใต้ผิวดินจึงไม่มีข้อดีไปกว่าใส่บนผิวดิน

ปุ๋ยโพแทสเซียมจะเคลื่อนย้ายได้ง่ายกว่าฟอสเฟตแต่จะช้ากว่าไนโตรเจน โพแทสเซียมในปุ๋ยละลายน้ำได้ง่ายพอๆ กับไนโตรเจนก็จริงแต่เนื่องจากมีประจุบวกซึ่งดูดยึดอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวได้ จึงถูกชะล้างได้ยาก แต่ก็ยังเป็นประโยชน์ได้ง่ายแก่พืชอยู่ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมจึงสามารถใส่บนผิวดินหรือใต้ผิวดินก็ได้ แต่การเคลื่อนย้ายจะช้ากว่าไนโตรเจนและในเวลาเดียวกันการสูญเสียโดยการชะล้างก็จะน้อยกว่าด้วย

3.2 ปัจจัยสำคัญในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

การหมักปุ๋ยเพื่อให้ได้ปุ๋ยอินทรีย์หรือหมักจำเป็นต้องมีการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมของกองปุ๋ย ให้เหมาะสมต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนอยู่เสมอจนกว่าการย่อยสลายจะสิ้นสุด ปัจจัยหลักที่สำคัญมีดังนี้

1. มีความชื้นพอดี จุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนต้องการความชื้นที่เหมาะสม การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะหยุดชะงักถ้าวัตถุดิบแห้งเกินไปหรือมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8-12 แต่ถ้าเปียกโชกมากเกินไป การทำงานของจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนจะหยุดชะงักเช่นเดียวกัน และจุลินทรีย์กลุ่มไม่ใช้ออกซิเจนจะเริ่มทำงานแทนซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นและการทำปุ๋ยหมักจะเสร็จช้า ความชื้นที่เหมาะสมคือร้อยละ 45-55

2. มีจุลินทรีย์มากพอ การย่อยสลายจะเกิดได้รวดเร็วถ้าในกองปุ๋ยมีจุลินทรีย์อยู่มาก แหล่งจุลินทรีย์ที่หาได้ง่าย ได้แก่ มูลสัตว์ทุกชนิด ปุ๋ยหมักที่เพิ่งหมักเสร็จ หรือหัวเชื้อ พด 1 เป็นต้น จุลินทรีย์ที่อยู่ในกองปุ๋ยจะมีการพัฒนาจำนวนและคัดเลือกสายพันธุ์ตามธรรมชาติ มีการทำงานเป็นระบบนิเวศประกอบด้วย รา แบคทีเรีย แอคติโนมัยซิส และโรติเฟอร์ เป็นต้น

3. มีออกซิเจนภายในกองปุ๋ยเพียงพอ เนื่องจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนจะมีปฏิกิริยาที่รวดเร็วกว่าจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจนหลายเท่า การหมักปุ๋ยมีการเติมออกซิเจนแก่กองปุ๋ย ให้ภายในกองปุ๋ยมีออกซิเจนอย่างเพียงพออยู่เสมอ

4. มีอุณหภูมิสูงภายในกองปุ๋ย ปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยจะให้ความร้อนออกมาภายในเวลา 2-5 วันแรกของการหมักปุ๋ยระบบกองเติมอากาศ อุณหภูมิในกองปุ๋ยอาจจะขึ้นสูงถึง 60-70 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมินี้จุลินทรีย์กลุ่มเทอร์โมฟิลิก (Thermophiles) ที่ชอบอุณหภูมิสูงและส่วนใหญ่เป็นพวกรา (Fungi) ที่มีอยู่ในมูลโคอยู่แล้วจะพัฒนาตัวเองขึ้นมา จะย่อยสลายเศษพืชได้เร็วมาก และเมื่อค่าอุณหภูมิลดต่ำลงเป็น 45-60 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์กลุ่มเมโซฟิลิก (Mesophiles) ที่ชอบความร้อนปานกลางซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียและรา ก็จะเข้ามาทำหน้าที่ย่อยสลายแทน (ธีรพงษ์, 2549)

5. ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบ ธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนมีความสำคัญต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เพราะจุลินทรีย์ต้องการทั้งสองธาตุในการเมทาบอลิซึมเพื่อให้ได้พลังงานและสร้างเซลล์ใหม่ โดยปกติแล้วคาร์บอนจะได้จากเศษพืชและเศษกระดาษ ส่วนไนโตรเจนจะได้จากเศษอาหารและมูลสัตว์ การผลิตปุ๋ยหมักระบบเติมอากาศต้องการค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ใน ช่วง 20:1 ถึง 25:1 (Diaz *et al*, 1993) วัตถุดิบที่มีค่าสัดส่วนแตกต่างไปจากนี้ มีแนวโน้มที่การย่อยสลายจะช้าลง (ธีรพงษ์, 2551)

3.3 วัตถุดิบอินทรีย์

ฟางข้าว เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ถูกผลิตขึ้นเป็นปริมาณมากจากการเพาะปลูกข้าวและมีองค์ประกอบที่หลากหลายของชีวพอลิเมอร์ เช่น เซลลูโลส (32-27 เปอร์เซ็นต์) เฮมิเซลลูโลส (29-37 เปอร์เซ็นต์) และลิกนิน (5-15 เปอร์เซ็นต์) โดยโพลีแซคคาร์ไลต์ในฟางข้าวเป็นแหล่งสารตั้งต้นที่สำคัญสำหรับเป็นอาหารให้จุลินทรีย์หลากหลายสายพันธุ์ โดยจุลินทรีย์สามารถหลั่งเอนไซม์ เช่น เซลลูเลส และไซแลเนส ออกมาย่อยสลายโครงสร้างดังกล่าว ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถดูดซึมเข้าไปในเซลล์ได้ (Nunkaew *et al*., 2012)

ดินขุยไผ่ ในบริเวณโคนกอไผ่ที่มีการทับถมกันของใบและรากไผ่ที่เน่าเปื่อยผุพัง เป็นบริเวณหนึ่งที่สามารถพบจุลินทรีย์พื้นบ้านหรือจุลินทรีย์ในพื้นที่ (indigenous micro organism) ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายอินทรียวัตถุทั้งสด และแห้งที่ผิวดิน ส่งผลต่อบทบาทในการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช โดยไม่ต้องใช้สารเคมีหรือปุ๋ยเคมีสังเคราะห์ ซึ่งเป็นการป้องกันและแก้ไขปัญหาการเสื่อมสภาพของดิน ช่วยสร้างความสะอาดและความแข็งแรงให้แก่รากพืช ทำให้พืชต้านทานโรค ดูดธาตุอาหารขึ้นไปเลี้ยงลำต้นได้ดีส่งผลให้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตดีขึ้น ทั้งยังเป็นการรักษาสมดุลของระบบนิเวศเกษตร และเป็นหนทางสู่การทำการเกษตรไร้สารพิษได้อย่างยั่งยืน

สมาพร (2554) รายงานการคัดเลือกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตจากบริเวณไรโซสเฟียร์ของไผ่ 8 ชนิด คือ ไผ่ข้าวหลาม ไผ่ไร่ ไผ่รวก ไผ่ผาก ไผ่ตาดำ ไผ่หนามหรือไผ่ป่า ไผ่นวล และไผ่ปล้องยาว จากจังหวัดกาญจนบุรี พบแบคทีเรียละลายฟอสเฟต 16 ไอโซเลต และยีสต์ 1 ไอโซเลต โดยที่ *Pseudomonas aeruginosa* จากไผ่รวก *Burkholderia pyrrocinia* จากไผ่ไร่ *Burkholderia cepacia* จากไผ่ปลองยาว และ *Cedecea neteri* จากไผ่

ข้าวหลาม ตามลำดับ สามารถละลายฟอสเฟตได้ดีที่สุด ดังนั้นจากงานวิจัยพบว่าแหล่งของดินบริเวณรากไผ่ เป็นอีกแหล่งหนึ่งที่มีความหลากหลายของจุลินทรีย์

อังคณา (2556) ได้ทำการศึกษาการแยกเชื้อรา *Trichoderma* spp. จากดินขุยไผ่บริเวณอุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 10 ตัวอย่าง โดยวิธี soil dilution บนอาหาร Matin'sสามารถแยกเชื้อราไตรโคเดอร์ม่าสปีชีส์ ได้จำนวนทั้งสิ้น 5 ไอโซเลท เมื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพจุลินทรีย์ในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Pytophtho rapalmivora* ซึ่งเป็นสาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียน พบว่าเชื้อรา *Trichoderma* spp. ทั้ง 5 ไอโซเลท สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใย *P. palmivora* โดยมค่าเปอร์เซ็นต์ยับยั้งเท่ากับ 82.33, 81.15, 69.38, 69.35 และ 41.10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเทียบกับเชื้อรา *T. harzianum* (สายพันธุ์การค้า) พบว่ามีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นับว่าดินขุยไผหรือดินโคนกอไผซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติที่เกิดจากการผุเปื่อยของใบไผ่และรากไผที่ทับถมกันมานาน ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่ดีของเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอยางยิ่ง เชื้อรา *Trichoderma* spp. นอกจากนี้ดินขุยไผ่มีลักษณะรวนโปร่งเบาเหมาะสำหรับการปลูกพืช สำหรับประเทศไทยนั้นมีการปลูกไผ่กันทุกภูมิภาคและมีความหลากหลายของชนิดไผ่ เช่น ไผ่หวานไผ่หนาม ไผ่สีสุก ไผ่เลี้ยง ไผ่น้ำเตา ไผ่เหลือง ไผ่ตง และไผ่รวก เป็นต้น ปัจจุบันมีการนำดินขุยไผ่มาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรมากมายเช่น เป็นสวนผสมของดินเพาะปลูกพืช (อรรถกร และคณะ, 2551)

จากการศึกษาพบว่า นอกเหนือจากการนำดินขุยไผ่มาใส่ลงในแปลงปลูกแล้วยังไม่พบข้อมูลในการนำดินจากโคนไผ่มาประยุกต์ใช้ในด้านอื่น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงมีการศึกษาโดยนำดินขุยไผ่มาเป็นแหล่งทดแทนมูลโคในการหมักปุ๋ยฟางข้าว และศึกษาผลของปุ๋ยหมักฟางข้าวดังกล่าวต่อการงอก และการเจริญเติบโตของข้าวไร่และพืชผัก

มูลสัตว์ ประกอบด้วยเศษของพืชและสัตว์ซึ่งเป็นอาหารที่สัตว์กินเข้าไปแล้วไม่สามารถย่อยหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้หมด จึงเหลือเป็นกากที่สัตว์ขับถ่ายออกมา โดยเศษอาหารเหล่านี้ได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายไปบางส่วนแล้วในทางเดินอาหาร รวมทั้งจุลินทรีย์บางส่วนจากระบบทางเดินอาหาร ดังนั้นส่วนที่เป็นมูลสัตว์จึงอุดมไปด้วยธาตุอาหารชนิดต่างๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้หลายชนิด ซึ่งเมื่อรวมกันเข้าก็จะมีองค์ประกอบที่สามารถใช้เป็นธาตุอาหารที่สมบูรณ์ของพืชได้ และเป็นแหล่งของจุลินทรีย์หลายชนิด ส่วนมูลสัตว์แต่ละชนิดจะมีธาตุอาหารชนิดใดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์ชนิดนั้นกินเข้าไปเป็นปัจจัยสำคัญรวมทั้งปัจจัยอื่นๆได้แก่ ระบบการย่อยอาหารของสัตว์ วิธีการให้อาหาร รวมทั้งการจัดการรวบรวมมูล การเก็บรักษา ฯลฯ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน, 2549 อ้างโดย ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดนครราชสีมา (พืชสวน), 2553)

4. จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตร

ในธรรมชาติของแต่ละระบบนิเวศจะมีจุลินทรีย์เข้ามามีบทบาทสำคัญในการหมุนเวียนทรัพยากรให้นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่ โดยเฉพาะทำหน้าที่ในย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นสารอนินทรีย์ หรือธาตุอาหาร เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารกลับมาใช้ใหม่ของสารอินทรีย์ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือเศษเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรให้กลับมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช หรือสามารถเปลี่ยนแปลงสารประกอบที่เป็นพิษไปเป็น

สารอื่น ดังนั้นจุลินทรีย์จึงเป็นสิ่งมีชีวิตที่ถูกนำมาใช้มากที่สุดเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และปัญหาที่เกิดจากการทำการเกษตร

จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทางการเกษตร หมายถึง จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืชและสัตว์ที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรกรรม เช่น จุลินทรีย์ที่ผลิตสารป้องกันและทำลายโรคพืช จุลินทรีย์ที่ผลิตฮอร์โมนพืช และจุลินทรีย์ที่ละลายฟอตเฟตและธาตุอาหารพืชอื่น จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจน และจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งจุลินทรีย์ดังกล่าวมีบทบาทในการช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดี เพิ่มแร่ธาตุอาหาร ส่งผลให้มีผลผลิตเพิ่มขึ้น (อานัฐ, 2550)

การเพิ่มผลผลิตสำหรับพืชอีกทางเลือกหนึ่งคือการปรับปรุงคุณภาพดิน เพิ่มแร่ธาตุอาหารให้แก่ดิน ซึ่งส่วนใหญ่ก็คือการเติมปุ๋ยใส่ลงไป ซึ่งปุ๋ยที่นิยมใช้คือปุ๋ยประเภทอินทรีย์ เป็นที่ทราบกันดีกว่าการเตรียมปุ๋ยอินทรีย์ เตรียมได้จากวัสดุอินทรีย์ เช่น มูลสัตว์ ซากต้นไม้ ใบไม้ เป็นต้น และกระบวนการย่อยสลายที่เกิดขึ้นมาจากจุลินทรีย์ ซึ่งจะทำให้พืชสามารถรับธาตุอาหารจากการย่อยสลายได้ นอกจากนี้ปุ๋ยอินทรีย์มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ลงไปในดินรอบโคนต้นพืชจะช่วยให้จุลินทรีย์ในดินเจริญเติบโต เพิ่มจำนวนมากขึ้น รวมทั้งจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืช เช่น แบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนให้กับพืช และจุลินทรีย์ละลายฟอตเฟต (รายงานผลการวิจัยดิน-ปุ๋ยพืชไร่, 2533)

4.1 จุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจน

ในอากาศพบไนโตรเจน (N_2) อยู่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไนโตรเจนเป็นสารอาหารหลักของพืชเพื่อใช้สำหรับการเจริญเติบโต แต่อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปพืชไม่สามารถดึงนำมาใช้ประโยชน์ได้ สำหรับในดินมีสารประกอบของไนโตรเจนอยู่ 2 ส่วน คือ ในรูปสารอินทรีย์ และเกลือชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ โดยทั่วไปประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนในดินเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของอินทรียวัตถุในดิน อินทรียวัตถุจึงเป็นแหล่งสำคัญของธาตุไนโตรเจนสำหรับพืช

ธาตุอาหารไนโตรเจนที่พบในดินเกิดจากการตรึงไนโตรเจนของกลุ่มจุลินทรีย์ (nitrogen fixing microorganisms) ที่มีความจำเพาะ โดยการตรึงไนโตรเจนจากจุลินทรีย์มีความสำคัญทำให้ระบบนิเวศของดินมีความสมดุล ซึ่งไนโตรเจนที่เกิดขึ้นส่งผลต่อผลผลิตพืช การตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์เป็นทางเลือกหนึ่งของการเปลี่ยนธาตุไนโตรเจนให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ โดยจุลินทรีย์บางชนิดสามารถใช้ก๊าซไนโตรเจนจากอากาศและเปลี่ยนให้เป็นสารอินทรีย์ โดยทั่วไปจุลินทรีย์กลุ่มใหญ่ที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้คือกลุ่มแบคทีเรียเพราะทำงานได้เร็วและมีอยู่เป็นจำนวนมาก แบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจน (nitrogen fixing bacteria, NFB) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ตรึงไนโตรเจนได้อย่างอิสระ (non-symbiotic nitrogen fixer) โดยอยู่อย่างอิสระในดินและตรึงก๊าซไนโตรเจนได้ เช่น *Azotobacter* sp, *Azospirillium* sp., Blue green algae, *Rhizobium* sp., *Frankia* sp., และ *Azolla* sp. โดย *Azolla* sp. ถูกใช้เป็นหัวเชื้อปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการเพาะปลูกข้าวในประเทศเวียดนาม จีน ไทย และฟิลิปปินส์ ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตข้าวมากขึ้น 0.5-2 ตันต่อเฮกเตอร์ ขณะที่พบ *Azobacter* sp. และ *Azospirillum* sp. ในธัญพืชที่ไม่ได้อยู่อาศัยแบบพึ่งพากันสามารถตรึงไนโตรเจนในอากาศได้ และ Blue green algae มีประสิทธิภาพในการผลิตข้าวและกล้วย

อีกกลุ่มหนึ่งคือจุลินทรีย์ที่ต้องอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่นถึงจะตรึงไนโตรเจนในอากาศได้ ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตแบบพึ่งพาอาศัยกันและกัน (symbiotic nitrogen fixer) เช่น *Rhizobium* sp. ที่พบในปมรากพืชตระกูลถั่ว ทำให้เซลล์รากพืชขยายขนาดและเพิ่มจำนวนเซลล์มากกลายเป็นปม ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชตระกูลถั่ว แบคทีเรียจะตรึงก๊าซไนโตรเจนและเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์ให้แก่พืช ส่วนแบคทีเรียก็ได้สารอาหารจากพืชเป็นการตอบแทน การตรึงไนโตรเจนของ *Rhizobium* sp. คือการใช้เอนไซม์ไนโทรจีเนส (nitrogenase) เร่งปฏิกิริยาเปลี่ยน N_2 ให้เป็นแอมโมเนีย (NH_3) แล้วส่งผ่านแอมโมเนียไปให้เซลล์ของรากถั่วซึ่งเป็นพืชให้อาศัย ใช้สังเคราะห์กรดอะมิโน เพื่อการสร้างโปรตีนและสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ สำหรับเอนไซม์ไนโทรจีเนส มีธาตุเหล็ก กำมะถันและโมลิบดีนัมเป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้การตรึงไนโตรเจนจะสำเร็จได้ ต้องใช้สาร leg-hemoglobin ช่วยควบคุมการส่งออกซิเจนในการหายใจระดับเซลล์ในปม สารนี้มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ และการสังเคราะห์สาร leg-hemoglobin ต้องการธาตุทองแดง และโคบอลต์ นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียชนิดอื่นในกลุ่มนี้ที่อาศัยอยู่กับธัญพืชอื่นที่ไม่ใช่ถั่ว เช่น *Achromobacter* sp., *Alcaligenes* sp., *Arthrobacter* sp., *Acetobacter* sp., *Azomonas* sp., *Beijerinckia* sp., *Bacillus* sp., *Clostridium* sp., *Enterobacter* sp., *Erwinia* sp., *Derxia* sp., *Desulfovibrio* sp., *Corynebacterium* sp., *Campylobacter* sp., *Herbaspirillum* sp., *Klebsiella* sp., *Lignobacter* sp., *Mycobacterium* sp., *Rhodospirillum* sp., *Rhodo-pseudomonas* sp., *Xanthobacter* sp., *Mycobacterium* sp. และ *Methylosinus* sp. (Gothwal *et al*., 2008; Mohammadi and Sohrabi, 2012; Orr *et al*., 2011)

4.2 จุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟต

ฟอสฟอรัส (P) เป็นธาตุอาหารหลักของพืชเกี่ยวข้องกับการเจริญและการสร้างผลผลิตของพืช มีบทบาทเกี่ยวข้องกับกิจกรรมทางสรีรวิทยาของพืช เช่น การแบ่งเซลล์ การสังเคราะห์แสง การสังเคราะห์แป้ง โปรตีน และไขมัน เป็นส่วนประกอบของ DNA และ RNA ฟอสฟอรัสมีผลต่อการงอกของราก การออกดอก และการสุกของผลเป็นต้น พืชที่ขาดฟอสฟอรัสจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงักลง ลำต้นแคระแกร็น ผอม สูง จำนวนใบและขนาดใบลดลง และเปลี่ยนสีเป็นสีเขียวเข้มออกน้ำเงิน โดยทั่วไปฟอสฟอรัสที่พบในดินมีทั้งรูปสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปละลายยากหรือไม่ละลายเป็นฟอสฟอรัสที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การขาดธาตุฟอสฟอรัสในดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดปริมาณผลผลิต การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายได้ (soluble phosphate fertilizer) เช่น ซูเปอร์ฟอสเฟตเป็นการทดแทนปริมาณฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในดินปริมาณน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปที่ละลายได้จะถูกเปลี่ยนรูปไปอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้

จุลินทรีย์ดินมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนรูปของธาตุอาหารต่างๆในดิน รวมทั้งมีความเกี่ยวข้องในกระบวนการแปรสภาพฟอสฟอรัส ซึ่งมีทั้งกลุ่มที่ทำหน้าที่เปลี่ยนอินทรีย์ฟอสฟอรัสและอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช จุลินทรีย์มีกลไกในการปลดปล่อยฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกันออกไป เช่น กระบวนการทำให้เกิดกรด (acidification) กระบวนการคีเลต (chelation) และกระบวนการแลกเปลี่ยน (exchange) ในกรณีของสารอินทรีย์ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะอยู่ในรูปของไฟทิน และกรดฟอสฟอรัส จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะสร้างเอนไซม์ phytase, phosphatase, nucleotidases และ glecerophosphatase เพื่อแปรสภาพอินทรีย์ฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่เรียกว่า ออโธฟอสเฟต (orthophosphate) ซึ่งเป็นพวกโมโน (mono) และ ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (dihydrogen phosphate)

จุลินทรีย์ดังกล่าวได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Bacillus* sp. และราในสกุล *Aspergillus* sp., *Thiobacillus* sp., *Penicillium* sp. และ *Rhizopus* sp. เป็นต้น นอกจากนี้สารประกอบอนินทรีย์ฟอสฟอรัสบางชนิดในรูปของหินฟอสเฟตซึ่งพืชยังไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จุลินทรีย์บางชนิดในสกุล *Bacillus* sp. และ *Aspergillus* sp. จะใช้กลไกในการผลิตกรดอินทรีย์ละลายฟอสฟอรัสออกมาให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช นอกจากนี้ mycorrhizal fungi ยังมีบทบาทในการละลายและส่งเสริมการดูดใช้ธาตุฟอสฟอรัส (Khan *et al*., 2009; Sharma *et al*., 2011)

Alam *et al*. (2002) และ Chen *et al*. (2006) รายงานว่าแบคทีเรียมีประสิทธิภาพในการละลายฟอสฟอรัสมากกว่ารา จากจำนวนจุลินทรีย์ที่พบในดิน แบคทีเรียสามารถละลายฟอสเฟต (phosphate solubilizing bacteria, PSB) ได้ประมาณ 1-50 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่รา (phosphate solubilizing fungi, PSF) ทำได้เพียง 0.1-0.5 เปอร์เซ็นต์

Junrungreang *et al*. (2009) กล่าวไว้ว่าจุลินทรีย์ดินนอกจากจะเปลี่ยนรูปฟอสฟอรัสเป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแล้ว ยังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของรากพืชในการดูดซับฟอสฟอรัส แบคทีเรียที่คัดแยกได้จากดินและดินบริเวณรอบรากพืชที่สามารถละลายฟอสเฟตได้ เช่น *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Rhizobium* sp., *Burkholderia* sp. *Achromobacter* sp. *Agrobacterium* sp., *Micrococcus* sp., *Aerobacter* sp., *Flavobacterium* sp. และ *Erwinia* เป็นต้น

4.3 จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ หรือปุ๋ยหมักได้จากกระบวนการทางชีวภาพที่ย่อยสลายอินทรียวัตถุด้วยเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดที่ทำหน้าที่ร่วมกันภายใต้สภาวะที่เหมาะสม จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสารอินทรีย์คงตัวที่เป็นประโยชน์ต่อดินและการปลูกพืช ทั้งนี้ปัจจัยสภาวะแวดล้อมหรือวัสดุที่นำมาผลิตปุ๋ยอาจมีความจำเพาะต่อชนิดจุลินทรีย์ จึงทำให้เชื้อที่ขายทางการค้าเมื่อนำมาใช้กับบางพื้นที่แล้วไม่ได้ผล ประสิทธิภาพในการทำงานของจุลินทรีย์ลดลง

จุลินทรีย์ย่อยสลายเซลลูโลส (cellulolytic microorganisms หรือ cellulolytic decomposers) เป็นพวกที่ย่อยสลายเซลลูโลส หรือซากพืช ซากสัตว์ โดยเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืช (ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง) การย่อยสลายเซลลูโลสทำให้เกิดการหมุนเวียนวัฏจักรคาร์บอนเกิดขึ้นในธรรมชาติ จุลินทรีย์ที่พบว่ามีการย่อยสลายเซลลูโลส ได้แก่ แบคทีเรีย รา แอคติโนมัยซิท และโปรโตซัว จุลินทรีย์พวกนี้พบได้ทั่วไประหว่างการสลายตัวของเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่างๆ ซากพืช ซากสัตว์ ใบไม้ กิ่งไม้ เศษหญ้า ฟางข้าว และขยะอินทรีย์ชนิดต่างๆ ทำให้เกิดปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ขึ้นมาได้เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยคอก ปุ๋ยอินทรีย์น้ำ น้ำหมักชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งปุ๋ยดังกล่าวใช้ปรับปรุงโครงสร้างของดินที่เสื่อมโทรมให้เหมาะสมต่อการเพาะปลูก และนอกจากนี้ยังเป็นการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารปุ๋ยเคมี และลดการตกค้างของสารเคมีในสิ่งแวดล้อม

ราเป็นแหล่งผลิตเซลลูเลสที่สำคัญ ทั้งนี้รวมถึงระบบเอนไซม์ทั้งหมด (multienzyme systems) ที่เกี่ยวข้อง เช่น endoglucanases (หรือ CMCase) exoglucanases (cellobiohydrolase) และ β-glucosidase (หรือ cellobiases) โดยทำงานเสริมกันเพื่อช่วยย่อยเซลลูโลสให้สมบูรณ์ โดยราสายพันธุ์ที่มีรายงานเป็นครั้งแรกคือ *Trichoderma viride* (Kim *et al*., 2012)

Sudto *et al*. (2008) ได้รายงานว่าราและแบคทีเรียที่สามารถผลิต CMCase ได้ คือ *Trichoderma longibranchiatum, Aspergillus niger, A. japonicas, T. reesei. Paenibaillus* sp. *Sinorhizobium fredii*, *Bacillus cereus*, *Myxobacter* sp., *Bacillus circulans, Cellulomonas flavigena, B. megaterium, Rhizobium leguminosarum, Clostridium thermocellum, Thermonospora fusca* และ *Cellulomonas uda* นอกจากนี้มีรายงานความแตกต่างของวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรส่งผลต่อการผลิตเอนไซม์ CMCase ของจุลินทรีย์แต่ละชนิด เช่น *Thermoascus aurantiacus* จะผลิตเอนไซม์ได้ปริมาณสูงเมื่อใช้ซังข้าวโพด หญ้า และฟางข้าวโพดเป็นสารตั้งต้น และ *Trichoderma viride* แสดงกิจกรรมเอนไซม์สูงสุดเมื่อมีการผสมสารตั้งต้นที่เป็นฟางข้าวและรำข้าวสาลี ในขณะที่แบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Escherichia coli* ATCC 25922 และ *Rhizobium* sp. DASA 23010 แสดงกิจกรรมเอนไซม์ CMCase เมื่อใช้เปลือกสัปปะรด ผักเหลือทิ้ง และซังข้าวโพดเป็นสารตั้งต้น

5. ข้าวไร่ (Upland rice)

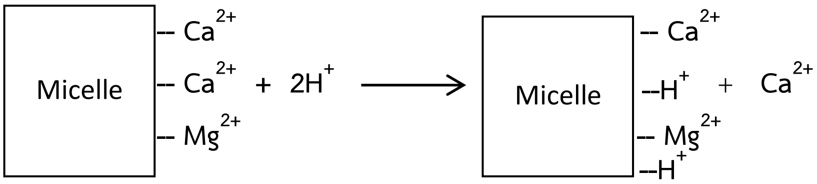
การปลูกข้าวไร่ หมายถึง การปลูกข้าวบนที่ดอนและไม่มีน้ำขังในพื้นที่ปลูก ชนิดของข้าวที่ปลูกก็เรียกว่าข้าวไร่ พื้นที่ดอนส่วนมาก เช่น เชิงภูเขามักจะไม่มีระดับ คือ สูงๆ ต่ำๆ จึงไม่สามารถไถเตรียมดินและปรับระดับได้ง่ายๆ เหมือนกับพื้นที่ราบ เพราะฉะนั้นชาวนามักจะปลูกแบบหยอด โดยขั้นแรกทำการตัดหญ้าและต้นไม้เล็กออกแล้วทำความสะอาดพื้นที่ที่จะปลูกแล้วใช้หลักไม้ปลายแหลมเจาะดินเป็นหลุมเล็กๆ ลึกประมาณ 3 เซนติเมตร ปากหลุมมีขนาดกว้างประมาณ 1 นิ้ว หลุมนี้มีระยะห่างกันประมาณ 25 x 25 เซนติเมตร ระหว่างแถวและระหว่างหลุมภายในแถว ปกติจะต้องหยอดเมล็ดพันธุ์ทันทีหลังจากที่ได้เจาะหลุม โดยหยอด 5-8 เมล็ดต่อหลุม หลังจากหยอดเมล็ดพันธุ์ข้าวแล้วก็ใช้เท้ากลบดินปากหลุม เมื่อฝนตกลงมาหรือเมล็ดได้รับความชื้นจากดิน ก็จะงอกและเจริญเติบโตเป็นต้นข้าว เนื่องจากที่ดอนไม่มีน้ำขังและไม่มีการชลประทาน การปลูกข้าวไร่จึงต้องใช้น้ำฝนเพียงอย่างเดียว พื้นดินที่ปลูกข้าวไร่จะแห้งและขาดน้ำทันทีเมื่อสิ้นฤดูฝน ดังนั้นการปลูกข้าวไร่จะต้องใช้พันธุ์ที่มีอายุเบา โดยปลูกในต้นฤดูฝน และแก่เก็บเกี่ยวได้ในปลายฤดูฝน การปลูกข้าวไร่ ชาวนาจะต้องหมั่นกำจัดวัชพืช เพราะที่ดอนมักจะมีวัชพืชมากกว่าที่ลุ่ม เนื้อที่ที่ใช้ปลูกข้าวไร่ในประเทศไทยมีจำนวนน้อย และมีปลูกมากในภาคเหนือและภาคใต้ ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางปลูกข้าวไร่น้อยมาก (ประภาส, 2531)

Dada et al. (2014) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปลูกข้าวไร่ในดินที่ขาดสารอาหารที่เป็นสาเหตุให้ได้ผลผลิตต่ำ โดยสนใจที่จะทำการศึกษาประสิทธิภาพของข้าวพันธุ์ NERICA ในดินที่ขาดสารอาหารโดยใส่ปุ๋ยหมักชนิดที่แตกต่างกัน ดังนั้นได้ทำการทดลองเพาะปลูกบนแปลงในปี 2010 และ 2011 ในเมือง Ibadan โดยได้ประเมินการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้ง ประสิทธิภาพการดูดซึมสารอาหารและผลผลิตของข้าวไร่ที่ปลูกในดินที่ขาดสารอาหารที่เพิ่มปุ๋ยหมักชนิดที่แตกต่างกันลงไป โดยมี 9 กรรมวิธีประกอบด้วยข้าวไร่ 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ NERICA 1 พันธุ์ NERICA 2 และ พันธุ์ Ofada ปุ๋ยหมัก 2 ชนิด โดยใช้ในอัตรา 8 ตัน/เฮกตาร์ : โดยชนิดแรกจะใช้มูลสัตว์ปีก ผสมข้าวโพด (PDMC) และชนิดที่สองจะใช้มูลวัว ผสมซังข้าวโพด (CDMC) และกลุ่มควบคุม โดยได้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อคและทำ 3 ซ้ำ ผลพบว่าปุ๋ยชนิดที่ใช้มูลวัวและเพิ่มซังข้าวโพด ช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้สารอาหาร น้ำหนักแห้ง และผลผลิตเมล็ดของข้าวไร่ สมรรถนะการเจริญเติบโตของข้าว Ofada ดีกว่าข้าว NERICA (จากข้อมูลก็สามารถสังเกตเห็นได้ว่าพันธุ์ Ofada มีการเจริญเติบโตของต้นรวมทั้งผลผลิตมากกว่า ในขณะที่มีการดูดซึมแร่ธาตุน้อยกว่า พันธุ์ NERICA กล่าวง่ายๆ กินน้อย แต่โตมากกว่า ปุ๋ยสูตร CDMC

ช่วยส่งเสริมให้มีการดึงดูดแร่ธาตุ N (24.55 กรัมต่อต้น) P (12.45 กรัมต่อต้น) และ K (35.41 กรัมต่อต้น) และยังช่วยเพิ่มผลผลิตเมล็ด (5.45 ตัน/เฮกตาร์) ในข้าวพันธุ์ Ofada สรุปได้ว่า สิ่งเหลือใช้ทางการเกษตร และปุ๋ยหมัก มีผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและประสิทธิภาพในการดูดซึมสารอาหารของข้าวไร่ที่ปลูกในดินที่ขาดสารอาหารเพียงเล็กน้อย

Sarwar et al. (2008) ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาการผลิตพืชในปากีสถานซบเซาลงมาก หนึ่งปัจจัยหลักมาจากอินทรียวัตถุมีอยู่น้อยมาก ในการศึกษานี้โดยการนำปุ๋ยหมักไปปรับปรุงพารามิเตอร์ของดินปกติที่ไม่ได้มีความเค็ม โดยใส่ปุ๋ยหมัก 12 และ 14 ตันต่อเฮกตาร์ ศึกษาเปรียบเทียบโดยการใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี และใช้ปุ๋ยหมักเดี่ยวๆ แล้วได้มีการตรวจวัดผลของการใช้ปุ๋ยหมักในแปลงและสภาพของดิน การใช้ปุ๋ยหมักช่วยลดสภาพความเป็นกรดของดินลง และลดอัตราส่วนการดูดซับโซเดียม (sodium absorption ratio, SAR) เป็นผลเนื่องมาจากความเป็นกรดของปุ๋ยหมัก การเกิดสารประกอบที่เป็นกรด และการปลดปล่อย (release) แคลเซียม และการชะล้าง (leaching) ของโซเดียม ดินมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ธาตุอาหารหลัก (N P K) ที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และอินทรียวัตถุในดินมีปริมาณที่สูงขึ้น ผลจากการทดลองนี้วัตถุประสงค์หลัก คือได้มีการแนะนำให้ชาวนาสามารถสร้างปุ๋ยหมักจากเศษพืชและนำไปใช้ในการปรับปรุงดินทำให้มีการผลิตพืชที่ยั่งยืน

การใช้ปุ๋ยหมักเป็นผลดีต่อสภาพความเป็นกรด-ด่างของดินซึ่งพบว่าดินมีค่า pH ลดลงภายหลังการใช้อินทรียวัตถุ สามารถอธิบายได้ว่า การสร้างกรดอินทรีย์ (ได้แก่ กรดอะมิโน ไกลซีน ซีสติอีน และกรดฮิวมิค) ในระหว่าง กระบวนการ mineralization (amminization and ammonification) ของอินทรียวัตถุโดยสิ่งมีชีวิตกลุ่มที่ไม่สามารถสร้างอาหารได้เอง (heterotrophs) และการตรึงไนโตรเจน (nitrification) ของสิ่งมีชีวิตกลุ่มที่สามารถสร้างอาหารได้เอง (autotrophs) เป็นสาเหตุให้ช่วยลด pH ของดินลง สภาพ pH ของดินที่มีสภาพเป็นกรด จะถูกควบคุมโดยไอออนบวก เช่น H^+, Fe^{2+} และ Al^{3+} ในขณะที่ในดินที่เป็นด่างดังเช่นในการศึกษาของ Sarwar et al. (2008) จะถูกควบคุมโดย Ca^{2+} and Mg^{2+} (Brady, 2005) และในขณะที่ Na^+ จะอยู่ในตำแหน่งควบคุมเมื่อดินมีโซเดียมสูง ซึ่งมีปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ว่า เมื่อสุทธิแล้วมีการลดลงของ pH แล้วจะมีการปลดปล่อยแคลเซียมออกมาดังแผนภาพด้านล่าง

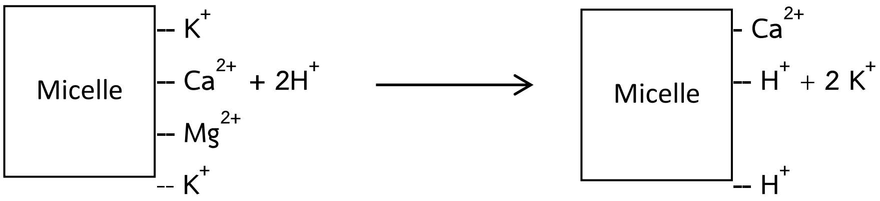


(ดินที่มีสภาพเป็นด่าง)

หรือสามารถสังเกตได้จากค่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในดินที่มีการใช้ปุ๋ยหมักจาก เดิมมีค่าการนำไฟฟ้า 2.40 dS m^{-1} (ไม่ได้มีการใส่ปุ๋ย) เพิ่มเป็น 3.23 dS m^{-1} ในกลุ่มที่มีการใส่ปุ๋ยอัตรา 24 ตันต่อเฮกตาร์

เมื่อสารประกอบที่เป็นกรดที่เกิดจากปุ๋ยหมักถูกเติมลงสู่ดิน จะช่วยเพิ่มโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ซึ่งเป็นผลดีต่อพืช เกิดขึ้นเนื่องจาก H^+ ที่ถูกปลดปล่อยจากอินทรียวัตถุเกิดการแลกเปลี่ยนกับ K^+ บน exchange site

หรือ K^+ ในรูปอิสระที่เกาะอยู่กับ micelle ดังนั้น กลไกการแลกเปลี่ยนนี้จึงช่วยปรับปรุงทำให้มีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เพิ่มมากขึ้นดังสมการด้านล่าง Sarwar et al. (2008)



นอกจากนี้ Selvakumari et al., (2000), Singh et al., (2001), Khoshgoftarmanesh and Kalbasi (2002), Verma et al., (2002), Singh et al., (2002) ได้รายงานว่าการใช่ปุ๋ยเคมี (chemical fertilizers) ปุ๋ยคอก (farm yard manure, FYM) ปุ๋ยหมัก (compost) และปุ๋ยพืชสด (green manure) จะช่วยส่งเสริมโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ให้แก่ดิน

เกษตรกรชาวปกาเกอะญอในหมู่บ้านป่าละอู จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีการทำเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ เกษตรกรยังคงมีการปลูกข้าวไร่เพื่อใช้บริโภคในครัวเรือน พื้นที่ที่เกษตรกรแต่ละรายได้รับการจัดสรรนั้นมีอาณาบริเวณจำกัด จำเป็นต้องปลูกพืชในพื้นที่ที่ได้รับการจัดสรรเท่านั้น ไม่สามารถย้ายไปปลูกพืชในพื้นที่อื่นๆ ได้ดังในอดีต อีกทั้งยังอยู่ในราบเชิงเขานั้นมีพื้นที่ลาดเอียง และถึงแม้เกษตรกรจะอาศัยอยู่ลัดเลาะไปตามลำน้ำ แต่เกษตรกรบางส่วนที่อยู่ในพื้นที่สูงขึ้นไป ซึ่งจะใช้พื้นที่ในการปลูกข้าวอาศัยน้ำทำการเกษตรจากน้ำฝนแต่เพียงอย่างเดียว จากการสำรวจ พบว่าดินที่ทำการเพาะปลูกยังคงมีความอุดมสมบูรณ์ มีอินทรีย์วัตถุในดินค่อนข้างสูง แต่ตัวเกษตรกรยังไม่มีความเข้าใจในด้านการบำรุงรักษา เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน สิ่งที่เกษตรกรมีค่อนข้างอุดมสมบูรณ์คือเศษวัสดุสิ่งเหลือจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งเกษตรกรมักจะเผาทิ้ง อีกทั้งบริเวณโดยรอบเต็มไปด้วยป่าไผ่ซึ่งทำให้บริเวณนี้มีดินขุยไผ่ปริมาณมากมาย น่าจะนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านการเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเป็นปุ๋ยอินทรีย์เพื่อในการบำรุงรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งคณะผู้วิจัยคาดหวังว่า องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะช่วยเพิ่มความรู้และความเข้าใจแก่เกษตรกรในการจัดการเศษวัสดุอินทรีย์ต่างๆ เพื่อใช้ในการบำรุงรักษาดิน หรือเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการบำรุงรักษาความอุดมสมบูรณ์ของพื้นเกษตรกรด้วยตนเองได้ต่อไป

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย (Material and Method)

การผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพื่อพื้นที่การปลูกข้าวไร่ของเกษตรกรจึงมีวัตถุประสงค์ 2 ประการประกอบด้วย ประการที่หนึ่งมีต้นทุนต่ำ สามารถผลิตและจัดการได้ง่ายโดยเกษตรกร และสามารถลดข้อจำกัดต่างๆ โดยใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นโดยพิจารณาฤดูกาลที่มีวัตถุดิบนั้น ประการที่สองเป็นการศึกษาบทบาทของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ที่พบในการเตรียมปุ๋ยอินทรีย์ โดยเป็นจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลาย และเปลี่ยนแร่ธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ได้ ซึ่งจุลินทรีย์ที่พบมีความจำเพาะกับวัตถุดิบและวิธีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ทำให้เป็นประโยชน์อย่างต่อเนื่องสำหรับการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่สามารถคัดกรองได้ ซึ่งจะส่งเสริมการเพิ่มผลผลิตพืชในเขตจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ต่อไป ผู้วิจัยได้แบ่งการศึกษาวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ต้นทุนต่ำ ส่วนที่สองทำการคัดกรองจุลินทรีย์จากวัตถุดิบที่ใช้ทำปุ๋ยอินทรีย์ และส่วนที่สามเป็นการผลิตปุ๋ยจากสูตรที่คัดเลือกเพื่อเตรียมเป็นปุ๋ยที่ใช้ศึกษาในแปลงเกษตรกรต่อไป

ส่วนที่ 1 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ต้นทุนต่ำ

1. วัสดุในการเตรียมปุ๋ยหมัก

วัสดุที่ใช้ในการเตรียมปุ๋ยหมัก จัดหามาจากเขตพื้นที่ราบรอยต่อระหว่าง ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และตำบลหนองพลับ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ **ได้**แก่ ฟางข้าว มูลวัว ดินขุยไผ่ และเศษพืชสดประกอบด้วยเศษหญ้าสด และเศษต้นข้าวโพด

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

เนื่องด้วยระยะเวลาที่จำเป็นต้องเริ่มงานวิจัยเป็นช่วงระยะเวลาที่เกษตรกรในพื้นที่ป่าละอูยังไม่ถึงฤดูเก็บเกี่ยว ทำให้ยังไม่สามารถใช้วัสดุเหลือทางการเกษตรของเกษตรกรในพื้นที่ได้ จึงจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองการวิจัยก่อน โดยการใช้วัสดุที่จัดหาได้ในพื้นที่ราบในเขตอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ในการศึกษาเบื้องต้นเพื่อเตรียมสูตรปุ๋ยหมักก่อน และรวมทั้งศึกษาผลของปุ๋ยหมักที่ได้ต่อการเจริญเติบโตของพืชเพื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาพิจารณาสูตรการเตรียมปุ๋ยหมัก โดยใช้สิ่งเหลือทางการเกษตร และวัสดุอินทรีย์ในพื้นที่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลองดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 1 การเตรียมสูตรปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการหมักปุ๋ยและการประเมินการใช้ประโยชน์ได้ของปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงทดลองขนาดเล็ก

1.1. วัสดุสำหรับการทำปุ๋ยหมัก

วัสดุที่พบว่ามีปริมาณมากภายหลังการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรคือ ฟางข้าว และเศษพืชสด และดินขุยไผ่ ในขณะที่วัสดุที่เกษตรกรมีอยู่อย่างจำกัดคือ มูลสัตว์และ น้ำ ดังนั้น จึงเลือกวัสดุที่ศึกษาได้แก่ ฟางข้าว เศษพืชสด มูลสัตว์ ดินขุยไผ่ และน้ำ ซึ่งวัสดุดังกล่าวนี้ สามารถจัดหาได้ในเขตพื้นที่ราบในอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

1.2. การวางแผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design ; CRD) โดยศึกษาผลของดินขุยไผ่เพื่อทดแทนมูลโคต่อกระบวนการหมักปุ๋ย สำหรับเกษตรกรบนพื้นที่สูง

1.3. **กลุ่มทดลอง** มีสูตรปุ๋ยหมักที่ใช้วัสดุเพียง ฟางข้าว โดยมีเศษพืชสด และดินขุยไผ่ทดแทนการใช้มูลสัตว์จำนวน 2 สูตร โดยศึกษาเปรียบเทียบกับสูตรปุ๋ยหมักมาตรฐานจากกรมพัฒนาที่ดิน และสูตรปุ๋ยหมักจากสำนักนวัตกรรมแห่งชาติ (2554) (หรือมีชื่อเรียกรูปแบบการตั้งกองปุ๋ยหมักอีกชื่อว่า แบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1) ดำเนินการตั้งกองปุ๋ยหมักทดลองทั้งหมด 4 สูตร คือ สูตรของกรมพัฒนาที่ดิน สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 สูตร เป็นสูตรมาตรฐาน และสูตรทดแทนมูลวัวและฟาง และสูตรทดแทนมูลวัวและฟางแบบขาดน้ำ เป็นสูตรทดลอง โดยมีรายละเอียดองค์ประกอบปุ๋ยหมักแต่ละสูตร ดังนี้

1.3.1 สูตรของกรมพัฒนาที่ดิน (ปุ๋ยกองที่ 1) ขนาด กว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 1.5 เมตร โดยตั้งกองปุ๋ยให้เป็นทรงลูกบาศก์ ซึ่งประกอบไปด้วยอัตราส่วน

ฟาง	500	กิโลกรัม
มูลวัว	100	กิโลกรัม
ปุ๋ยยูเรีย	1	กิโลกรัม
พด.1	½	ซอง

1.3.2 สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (ปุ๋ยกองที่ 2) กว้าง 2.5 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 1.5 เมตร โดยตั้งกองปุ๋ยให้เป็นทรงปริซึมสามเหลี่ยม ซึ่งประกอบไปด้วยอัตราส่วน

ฟาง : มูลวัว สัดส่วน 4:1 โดยปริมาตร

1.3.3 สูตรทดแทนมูลวัวและฟาง (ปุ๋ยกองที่ 3) กว้าง 2.5 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 1.5 เมตร โดยตั้งกองปุ๋ยให้เป็นทรงปริซึมสามเหลี่ยม ซึ่งประกอบไปด้วยอัตราส่วน

ฟาง : เศษพืชสด : มูลวัว : ดินขุยไผ่ สัดส่วน 3 : 1 : 0.25 : 0.75 โดยปริมาตร

1.3.4 สูตรทดแทนมูลวัวและฟางแบบขาดน้ำ (ปุ๋ยกองที่ 4) กว้าง 2.5 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 1.5 เมตร โดยตั้งกองปุ๋ยให้เป็น ทรงปริซึมสามเหลี่ยม ซึ่งประกอบไปด้วยอัตราส่วนที่เหมือนกับกองปุ๋ยหมัก (ปุ๋ยกองที่ 3) ดังนี้

ฟาง : เศษพืชสด : มูลวัว : ดินขุยไผ่ สัดส่วน 3 : 1 : 0.25 : 0.75 โดยปริมาตร

หมายเหตุ : ตัวแทนพืชสดในการศึกษาครั้งนี้คือ เศษหญ้าสด และเศษตอซังข้าวโพด ท่อนขนาด 1 นิ้ว อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร

1.4 การดูแลกองปุ๋ยหมัก

1.4.1 การให้น้ำ กองปุ๋ยหมักที่ 1, 2 และ 3 จะมีการรดน้ำภายนอกกองปุ๋ยทุกๆ วันจนชุ่ม ส่วนกองปุ๋ยหมักที่ 4 จะมีการให้น้ำภายนอกจนชุ่ม ทุกๆ 3 วัน และกองปุ๋ยหมัก 2, 3, 4 ที่มีการตั้งกองทรงสามเหลี่ยมปริซึม ทุกๆ 10 วัน จะมีการใช้ไม้แทงกองปุ๋ยในแนวทแยง 45 องศา จนถึงพื้นดินบริเวณรอบกองปุ๋ย โดย

มีระยะห่างระหว่างรู 40 เซนติเมตร จากนั้นให้รดน้ำลงไปแล้วปิดรูกองปุ๋ยเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนในกองปุ๋ย

1.4.2 การกลับกองปุ๋ย กองปุ๋ยหมักสูตรของกรมพัฒนาที่ดิน จะมีการกลับกองทุก 15 วัน เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนและเกิดการย่อยสลายทั่วกองปุ๋ย ส่วนกองปุ๋ยหมัก 2, 3, 4 ไม่มีการกลับกอง

1.5 **การเก็บตัวอย่าง** ทำการเก็บตัวอย่างทุกสัปดาห์ โดยเก็บกองละ 5 จุด (ตามภาคผนวก ก) โดยตัวอย่างที่เก็บจะนำไปวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1.5.1 ตัวอย่างสดที่เก็บมานั้น จะนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพทันที คือ การวัดค่า pH การนำไฟฟ้า (Electric conductivity) การหาความชื้น และสำหรับตัวอย่างปุ๋ยหมักในสัปดาห์ที่ 7 และ 9 จะมีการศึกษาผลต่อพืชด้วย

1.5.2 แบ่งตัวอย่างส่วนหนึ่งที่นำไปวิเคราะห์นั้นต้องผ่านการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน แล้วนำไปบดให้ละเอียด ตัวอย่างที่บดแล้ว จะนำไปวิเคราะห์ทางเคมี คือ การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสทั้งหมดและ โพแทสเซียมทั้งหมด

1.6 การบันทึกข้อมูล

1.6.1 ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ, pH, EC, และความชื้น

1.6.2 วิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์ไนโตรเจน, การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน, อินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด

1.7 การศึกษาผลของปุ๋ยต่อการงอกของเมล็ดพืช

เลือกใช้ข้าวไร่นาสารเป็นตัวแทนข้าวไร่ และเลือกใช้ผักบุ้งเป็นตัวแทนพืชใบเลี้ยงคู่เป็นตัวแทนพืชชนิดอื่นๆ ที่เกษตรกรใช้ปลูกแทรกในแปลงข้าวไร่

1.7.1 การศึกษาผลของปุ๋ยต่อการงอกของเมล็ดพืชในขณะที่ปุ๋ยยังย่อยไม่สมบูรณ์ (สัปดาห์ที่ 7) การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่นำปุ๋ยไปนึ่งฆ่าเชื้อกับกลุ่มที่ไม่ฆ่าเชื้อ

1.7.1.1 นำตัวอย่างปุ๋ยที่เก็บได้มาสกัดด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วนที่ 1:10 โดยน้ำหนัก

1.7.1.2 นำตัวอย่างปุ๋ยที่สกัดแล้วแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่นำปุ๋ยไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันสูง ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที กับกลุ่มที่ไม่ฆ่าเชื้อ

1.7.1.3 นำน้ำสกัดปุ๋ยแต่ละกลุ่มไปทดสอบต่อเมล็ดพืชใน plate โดยกำหนดให้น้ำสกัดจากปุ๋ยสัมผัสเมล็ดพืช (2 ชนิด) โดยมี 3 กรรมวิธี แต่ละกรรมวิธีละ 4 ซ้ำ ดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 ปิเปตสารสกัดจากปุ๋ย 5 มิลลิลิตร ลงใน plate ที่มีกระดาษกรอง หลังจากนั้นนำเมล็ดพืช มาวางบนกระดาษกรอง plate ละ 10 เมล็ด

กรรมวิธีที่ 2 เตรียมกระดาษกรองวางบนถาดเพาะ แล้วนำเมล็ดข้าวและเมล็ดผักบุ้งมาวางบนกระดาษกรอง หลังจากนั้นนำสารสกัดจากปุ๋ยมาใส่ในขวดฉีดพ่น และฉีดพ่นลงบนถาดเพาะ 5 มิลลิลิตร

กรรมวิธีที่ 3 เตรียมกระดาษกรองชุบน้ำและวางบนถาดเพาะ หลังจากนั้นก็นั้นเมล็ดข้าวและผักบุ้งแช่ในสารสกัดปุ๋ย เวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาวางบนการะดาษกรองที่เตรียมไว้

1.7.1.4 นับจำนวนเมล็ดทีมีการงอกทุกๆ วัน และมีการให้น้ำใน plate ที่เริ่มสูญเสียความชื้นจนแห้งของแต่ละ plate เมื่อครบ 7 วัน บันทึกข้อมูล เปอร์เซ็นต์การงอก ความยาวราก และรากแขนง

1.7.2 การศึกษาผลของปุ๋ยต่อการงอกของเมล็ดพืชในขณะที่ปุ๋ยย่อยสมบูรณ์ (สัปดาห์ที่ 9) โดยเลือกสูตรปุ๋ยที่มีค่าความไวในการงอก ความยาวราก และรากแขนง เหมาะสมมา 1 สูตร เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของปุ๋ยและผลของเชื้อจุลินทรีย์ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของข้าวไร่ กับผักบุ้ง

1.7.2.1 นำตัวอย่างปุ๋ยที่คัดเลือกมาสกัด โดยมีสัดส่วนน้ำหนักปุ๋ย (กรัม) ต่อปริมาตรน้ำ (มิลลิลิตร) ในอัตราส่วนที่ 1:1, 1:10 และ 1:100

1.7.2.2 นำตัวอย่างปุ๋ยที่สกัดแล้ว แต่ละอัตราส่วนแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่นำปุ๋ยไปนึ่งฆ่าเชื้อกับกลุ่มที่ไม่ฆ่าเชื้อ

1.7.2.3 จากการศึกษาในหัวข้อ 1.7.1 พบว่าควรเลือกใช้วิธีการให้ปุ๋ยสัมผัสกับเมล็ดพืช โดยเมล็ดข้าวจะใช้วิธีแช่ในสารสกัดปุ๋ยในแต่ละความเข้มข้นและปลอดเชื้อและไม่ปลอดเชื้อ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเมล็ดข้าวมาวางในถาดเพาะที่มีกระดาษกรองที่ชุบน้ำแล้ว ถาด ละ 10 เมล็ด ส่วนเมล็ดผักบุ้งเลือกใช้วิธีปิเปตสารสกัดปุ๋ยในแต่ละความเข้มข้นและปลอดเชื้อกับไม่ปลอดเชื้อ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในถาดเพาะที่มีกระดาษกรองวางอยู่ หลังจากนั้นนำเมล็ดผักบุ้งไปวาง ถาด ละ 10 เมล็ด

1.7.2.4 นับจำนวนเมล็ดที่มีการงอกทุกๆ วัน และให้น้ำในถาดเพาะที่สูญเสียความชื้นจนเริ่มแห้ง เมื่อครบ 7 วัน บันทึกข้อมูลความไวในการงอก ความยาวราก และรากแขนง

1.8 การประเมินการใช้ประโยชน์ได้ของปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงทดลองขนาดเล็ก

1.8.1 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลอง แบบแฟคทอเรียลที่สุ่มแบบสมบรูณ์ (Factorial in CRD) ที่ศึกษาการเจริญเติบโตของพืช เมื่อให้ปุ๋ยหมักสูตรต่างๆ รวมกับปริมาณการให้ปุ๋ยหมักที่ต่างกัน

แฟคเตอร์ A คือ ชนิดของปุ๋ยหมัก ประกอบด้วย 4 สูตร คือ

a_2 = ปุ๋ยหมักสูตรมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน

a_3 = ปุ๋ยหมักสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1

a_4 = ปุ๋ยหมักสูตร A

a_5 = ปุ๋ยหมักสูตร B

แฟคเตอร์ B คือ ปริมาณการให้ปุ๋ยหมักกับพืช 2 ระดับ

b_1 = การใส่ปุ๋ยหมักในอัตราส่วน 2 ตันต่อไร่

b_2 = การใส่ปุ๋ยหมักในอัตราส่วน 20 ตันต่อไร่

กลุ่มทดลอง (treatment) จำนวน 8 กลุ่มทดลอง ตามแผนการทดลอง 4x2 Factorial in CRD และในกรณีที่นำมาเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ไม่มีการใส่ปุ๋ย) (a_1) จะศึกษาโดยการใช้แผนทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยทำการศึกษาจำนวน 4 ซ้ำ

1.8.2 การเตรียมปุ๋ยหมัก และการเตรียมดินการปลูก

1.8.2.1 ปุ๋ย

1.8.2.2 ปุ๋ยหมัก 4 สูตร มีส่วนประกอบของปุ๋ยหมัก ดังนี้

1) ปุ๋ยสูตรมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน มีส่วนผสมของฟาง 500 กิโลกรัม มูลโค 100 กิโลกรัม ปุ๋ยยูเรีย 1 กิโลกรัม สารเร่ง พด.1 1/2 ซองและให้น้ำทุกวัน (a_2)

2) ปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีส่วนผสมของ ฟาง:มูลโค สัดส่วน 4:1 โดยปริมาตร และให้น้ำทุกวัน (a_3)

3) ปุ๋ยสูตร A มีส่วนผสมของ ฟาง: พืชสด: มูลโค: ดินขุยไผ่ สัดส่วน 3: 1: 0.25: 0.75 โดยปริมาตร และให้น้ำทุกวัน (a_4)

4) ปุ๋ยสูตร B มีส่วนผสมของ ฟาง: พืชสด: มูลโค: ดินขุยไผ่ สัดส่วน 3: 1: 0.25: 0.75 โดยปริมาตร ให้น้ำทุก 3 วัน (a_5)

1.8.2.3 การเตรียมดินก่อนปลูก

1.8.2.3.1 ชุดดินหัวหิน

1.8.2.3.2 อัตราการใส่ปุ๋ย 2 ระดับ ได้แก่

- อัตรา 2 ตันต่อไร่ (หรือใส่ปุ๋ย 0.0416 กิโลกรัม ในดิน 5 กิโลกรัม) (b_1)
- อัตรา 20 ตันต่อไร่ (หรือใส่ปุ๋ย 0.4160 กิโลกรัม ในดิน 5 กิโลกรัม) (b_2)

*หมายเหตุ คำนวณในอัตราส่วนดังกล่าวและนำมาปรับกับการศึกษาในกระถาง

1.8.3 การปลูกและดูแลผักบุ้งจีน

1.8.3.1 การปลูกผักบุ้งจีน

- ใช้เมล็ดผักบุ้งจำนวน 7 เมล็ดต่อกระถาง
- นำเมล็ดผักบุ้งโรยลงในกระถางทดลอง
- เมื่อเมล็ดผักบุ้งงอกให้ทำการถอนให้เหลือ 5 ต้นต่อกระถาง

1.8.3.2 การปฏิบัติดูแลรักษาผักบุ้งจีน

- การให้น้ำ รดน้ำด้วยบัวรดน้ำวันละ 1 ครั้ง เวลาเย็น
- การกำจัดวัชพืช ใช้วิธีถอนเมื่อพบวัชพืชในกระถาง
- การเก็บเกี่ยว เก็บเกี่ยว เมื่อผักบุ้งมีอายุ 27 วัน ซึ่งเป็นอายุการเก็บเกี่ยวผลผลิตของเกษตรกร โดยการรดน้ำแปลงทดลองก่อนให้ชุ่มแล้วถอนต้นผักบุ้งทั้งรากล้างให้สะอาด

1.8.4 การปลูกและดูแลข้าวไร่

1.8.4.1 การปลูกข้าวไร่ (พันธุ์นาสาร)

- ใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวไร่จำนวน 5 เมล็ดต่อกระถาง
- นำเมล็ดข้าวไร่โรยลงในกระถางทดลองแล้วใช้ดินกลบบาง ๆ
- เมื่อเมล็ดข้าวไร่งอกให้ทำการถอนให้เหลือ 3 ต้นต่อกระถาง

1.8.4.2 การปฏิบัติดูแลรักษาข้าวไร่

- การให้น้ำ รดน้ำด้วยบัดรดน้ำวันละ 1 ครั้ง เวลาช่วงเย็น
- การกำจัดวัชพืช ใช้วิธีถอนเมื่อพบวัชพืชในกระถาง
- การเก็บเกี่ยว เก็บเกี่ยวข้าวไร่ เมื่อมีอายุ 71 วัน ระยะสิ้นการเจริญทางลำต้นและใบของข้าวไร่พันธุ์นาสาร โดยการรดน้ำแปลงทดลองก่อนให้ชุ่มแล้วถอนข้าวไร่ต้นทั้งรากพยายามอย่าให้รากขาด ล้างให้สะอาด

1.8.5 การเก็บข้อมูล

1.8.5.1 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตผักบุ้ง

- ความสูงจากลำต้น วัดจากพื้นดินถึงข้อสุดของยอดใบ เมื่อผักบุ้งมีอายุ 7 วัน 14 วัน อายุ 21 วัน และ 27 วัน หลังปลูก มีหน่วยเป็นเซนติเมตร โดยวัดจำนวน 5 ต้นต่อกระถาง
- ความกว้างของใบ วัดตามแนวกว้างของใบช่วงกลางใบ ใบที่ใช้วัดเป็นใบกึ่งแก่จำนวน 3 ใบต่อต้น เมื่อผักบุ้งมีอายุ 15 วัน อายุ 21 วันหลังปลูก มีหน่วยเป็นเซนติเมตร โดยวัดจำนวน 5 ต้นต่อกระถาง
- ความยาวของใบ วัดจากโคนใบถึงปลายใบ ใบที่ใช้วัดเป็นใบกึ่งแก่จำนวน 3 ใบต่อต้น เมื่อผักบุ้งมีอายุ 15 วัน อายุ 21 วัน วันหลังปลูก มีหน่วยเป็นเซนติเมตร โดยวัดจำนวน 5 ต้นต่อกระถาง
- น้ำหนักสด นำผักบุ้งอายุ 27 วัน จำนวน 5 ต้นต่อกระถาง ชั่งน้ำหนักสดทีละต้นโดยแยกส่วนของของลำต้นและรากออกจากกัน มีหน่วยเป็นกรัม
- น้ำหนักแห้ง นำผักบุ้งอายุ 27 วัน จำนวน 5 ต้นต่อกระถาง โดยนำผักบุ้งแต่ละต้นที่ผ่านการชั่งน้ำหนักสดแล้ว ใส่ถุงกระดาษสีน้ำตาลถุงละ 1 ต้น อบด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 วัน แล้วนำมาชั่งหาน้ำหนักแห้งรายต้น มีหน่วยเป็นกรัม
- จำนวนใบ นำผักบุ้งอายุ 27 วัน จำนวน 5 ต้นต่อกระถาง นับจำนวนจำนวนใบต่อต้น
- คะแนนราก นำผักบุ้งอายุ 27 วัน จำนวน 5 ต้นต่อกระถาง โดยการเปรียบเทียบระดับความมากน้อยของราก 1-5 ระดับ 1 คือมีรากน้อยที่สุด ระดับ 2 คือมีรากน้อย ระดับ 3 คือมีรากปานกลางระดับ 4 คือมีรากมาก และระดับ 5 คือมีรากมากที่สุด

1.8.5.2 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวไร่

- ความสูงจากลำต้น วัดจากพื้นดินถึงข้อสุดของยอดใบ เมื่อข้าวไร่มีอายุ 7 วัน 14 วัน อายุ 21 วันหลังปลูก มีหน่วยเป็นเซนติเมตร โดยวัดจำนวน 3 กอต่อกระถาง

- นับจำนวนการแตกกอ โดยนับจำนวนต้นภายในกอ จำนวน 3 กอต่อกระถาง เมื่อข้าวไร่มีอายุ 27 วัน อายุ 47 วันหลังปลูก
- น้ำหนักสด นำข้าวไร่อายุ 47 วัน จำนวน 3 กอต่อกระถาง ไปชั่งน้ำหนักสดทีละต้น โดยแยกส่วนของของลำต้นและรากออกจากกัน มีหน่วยเป็นกรัม
- น้ำหนักแห้ง นำข้าวไร่อายุ 47 วัน จำนวน 3 กอต่อกระถาง โดยนำแต่ละต้นที่ผ่านการชั่งน้ำหนักสดแล้ว ใส่ถุงกระดาษสีน้ำตาลถุงละ 1 กอ อบด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 วัน แล้วนำมาชั่งหาน้ำหนักแห้งรายต้น มีหน่วยเป็นกรัม
- คะแนนราก นำข้าวไร่อายุ 47 วัน จำนวน 3 กอต่อกระถาง โดยการเปรียบเทียบระดับความมากน้อยของราก 1-5 ระดับ 1 คือมีรากน้อยที่สุด ระดับ 2 คือมีรากน้อย ระดับ 3 คือมีรากปานกลาง ระดับ 4 คือมีรากมาก และระดับ 5 คือมีรากมากที่สุด

1.8.6 การเก็บข้อมูลดินและปุ๋ยเพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมี

นำดินก่อนปลูกข้าวและผักบุ้งและปุ๋ย โดยสุ่มตัวอย่างดินที่ได้ทำการผสมปุ๋ยหมักสูตรต่างๆ ตามอัตราส่วนดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช

1.8.6.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

- ไนโตรเจน (N)
- ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P)
- โพแทสเซียมทั้งหมด (K)

1.8.6.2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

- ค่าการนำไฟฟ้า (EC)
- ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
- อินทรียวัตถุ (organic matter)
- อินทรีย์คาร์บอน (organic carbon)

1.8.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้โปรแกรม Excel ร่วมกับการวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดลองที่ 2 **ผลของปุ๋ยหมักฟางข้าวและดินขุยไผ่โดยใช้วัสดุจากพื้นที่เกษตรกรบนป่าละอูเขตพื้นที่ตำบลห้วยสัตว์ใหญ่ต่อลักษณะในแปลงของข้าวไร่**

1. อุปกรณ์

1.1 วัสดุ อุปกรณ์ในแปลงปลูก

วัสดุการเตรียมปุ๋ยหมัก

- ฟางข้าว บนพื้นที่ป่าละอู ตำบลห้วยสัตว์ใหญ่ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
- ดินขุยไผ่ บนพื้นที่ป่าละอู ตำบลห้วยสัตว์ใหญ่ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
- มูลวัว

วัสดุดิน สำหรับทดสอบอิทธิพลของปุ๋ยหมักต่อข้าวไร่ เป็นดินชนิดที่ขาดแร่ธาตุ ชื่อชุดดินหัวหิน จากฟาร์มคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร เขตพื้นที่รอยต่อระหว่าง ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และ ตำบลหนองพลับ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

วัสดุเมล็ดพันธุ์ข้าว ข้าวไร่ 2 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์บอแผ่ซู และบือกอบิ

อุปกรณ์ในแปลงปลูก

- กระถางดินเผาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร
- เครื่องชั่ง 60 กิโลกรัม และ 3 กิโลกรัม
- บัวรดน้ำ

2. แผนการทดลอง การแบ่งกลุ่มทดลอง และวิธีการทดลอง

2.1 การทดลองที่ 1 การเตรียมปุ๋ยหมัก

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ศึกษาค่าทางฟิสิกส์ต่อการหมักปุ๋ยอินทรีย์

2.1.1 เตรียมสูตรปุ๋ยหมักทดลองในภาชนะกล่องพาสติกทรงลูกบาศก์ขนาด 35×47×60 ลูกบาศก์เซนติเมตร เจาะรูโดยรอบ ใช้วัสดุสำหรับเตรียมสูตรปุ๋ยหมัก 2 ชนิด ได้แก่ ฟางข้าว และ ดินขุยไผ่ ผสมด้วยอัตราส่วนฟางต่อดินขุยไผ่ ที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักสูตรควบคุมสัดส่วนฟางต่อมูลวัวตามกรรมวิธีของวิศวกรรมแม่โจ้ 1 แต่ละกลุ่มทดลองทำ 3 ซ้ำ รายละเอียดกลุ่มทดลอง ดังนี้

2.1.1.1 สูตรควบคุม (T1) ฟางข้าว : มูลวัว (4:1 โดยปริมาตร)
2.1.1.2 สูตรทดลอง (T2) ฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1 โดยปริมาตร)
2.1.1.3 สูตรทดลอง (T3) ฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1 โดยปริมาตร)
2.1.1.4 สูตรทดลอง (T4) ฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1 โดยปริมาตร)
2.1.1.5 สูตรทดลอง (T5) ฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1 โดยปริมาตร)

2.1.2 วิธีการเตรียมและดูแลกองหมักปุ๋ย

2.1.2.1 สูตรควบคุม (T1) ประกอบด้วย ฟางข้าว : มูลวัว (4:1 โดยปริมาตร) หรือฟางข้าว 5.28 กิโลกรัม ต่อ มูลวัว 14.4 กิโลกรัม ผสมให้เข้ากันใส่ลงกล่องที่เตรียมโดยไม่ต้องกดอัด ผ่านกระบวนการหมักโดยได้รับน้ำปริมาณปกติ จะรดน้ำกองปุ๋ยหมักทุกวัน พอชุ่มทั่วกองปุ๋ย

2.1.2.2 สูตรทดลอง (T2) ประกอบด้วย ฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1 โดยปริมาตร) หรือฟางข้าว 5.28 กิโลกรัม ต่อ ดินขุยไผ่ 14.4 กิโลกรัม ผสมให้เข้ากันใส่ลงกล่องที่เตรียมโดยไม่ต้องกดอัด ผ่านกระบวนการหมักโดยได้รับน้ำปริมาณปกติ จะรดน้ำกองปุ๋ยหมักทุกวัน พอชุ่มทั่วกองปุ๋ย

2.1.2.3 สูตรทดลอง (T3) ประกอบด้วย ฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1 โดยปริมาตร) หรือฟางข้าว 5.28 กิโลกรัม ต่อ ดินขุยไผ่ 14.4 กิโลกรัม ผสมให้เข้ากันใส่ลงกล่องที่เตรียมโดยไม่ต้องกดอัด หมักโดยได้รับน้ำต่ำกว่าปกติ จะรดน้ำกองปุ๋ยหมักทุก 3 วัน พอชุ่มทั่วกองปุ๋ย

2.1.2.4 สูตรทดลอง (T4) ประกอบด้วย ฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1 โดยปริมาตร) หรือฟางข้าว 5.87 กิโลกรัม ต่อ ดินขุยไผ่ 7.99 กิโลกรัม ผสมให้เข้ากันใส่ลงกล่องที่เตรียมโดยไม่ต้องกดอัด ผ่านกระบวนการหมักโดยได้รับน้ำปกติ จะรดน้ำกองปุ๋ยหมักทุกวัน พอชุ่มทั่วกองปุ๋ย

2.1.2.5 สูตรทดลอง (T5) ประกอบด้วย ฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1 โดยปริมาตร) หรือฟางข้าว 5.87 กิโลกรัม ต่อ ดินขุยไผ่ 7.99 กิโลกรัม ผสมให้เข้ากันใส่ลงกล่องที่เตรียมโดยไม่ต้องกดอัด ผ่านกระบวนการหมักโดยได้รับน้ำต่ำกว่าปกติ จะรดน้ำกองปุ๋ยหมักทุกๆ 3 วัน พอชุ่มทั่วกองปุ๋ย

2.1.3 การเก็บข้อมูลการหมักปุ๋ย

2.1.3.1 อุณหภูมิกองปุ๋ย (องศาเซลเซียส) ทุกวัน ในช่วงเช้า 8.00-9.00 ตั้งแต่วันที่เริ่มทำกองปุ๋ยหมัก จนปุ๋ยหมักอายุครบ 63 วัน

2.1.3.2 วัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นกองปุ๋ยหมัก ทุก 7 ณ วันที่ 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 และ 63 วัน

2.1.3.3 วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของกองปุ๋ยหมักเมื่ออายุหมักครบ ณ วันที่ 7, 14, 28, 35, 49 และ 63 วัน

2.1.3.4 วัดค่าการนำไฟฟ้า (Electro conductivity; EC) ของกองปุ๋ยหมักเมื่ออายุหมักครบ ณ วันที่ 7, 14, 21, 35, 49 และ 63 วัน

2.1.3.5 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ อินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ของกองปุ๋ยหมักเมื่ออายุหมักครบ ณ วันที่ 0, 7, 14, 21, 35, 49 และ 63 วัน

2.1.3.6 การนับจำนวนจุลินทรีย์ในตัวอย่างปุ๋ยหมัก 1 เมื่ออายุหมักครบ ณ วันที่ 7, 14, 21, 35, 49 และ 63 วัน

2.1.3.6.1 การเก็บตัวอย่างปุ๋ย

1) ทำการเก็บตัวอย่างปุ๋ยสูตร T1-T5 โดยแต่ละสูตรมี 3 ซ้ำ (R1-R3) นำซ้ำ R1-R3 ของแต่ละสูตรมาใส่รวมกันในถุงซิปพลาสติก และทำการระบุตัวอย่างเป็น T1, T2, T3, T4 และ T5

2) ตัวอย่างปุ๋ยสูตร T1-T4 จะทำการเก็บตัวอย่างที่ทำการหมักที่ 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน ในขณะที่ T5 เก็บวันที่ 0, 7, 14, 21, 35, 49 และ 63 วัน โดยทุกตัวอย่างจะถูกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C และทำการศึกษา ณ ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร

2.1.3.6.2 การนับจำนวนจุลินทรีย์

1) ชั่งตัวอย่างปุ๋ยแต่ละสูตรที่ทำการหมักในวันที่ต่างๆ มา 5 กรัม และเติมลงไปในฟลาสก์ขนาด 100 มิลลิลิตร ที่บรรจุ 0.85 เปอร์เซ็นต์ NaCl ปริมาตร 45 มิลลิลิตร (10^{-1}) ทำการเขย่าที่อุณหภูมิห้อง นาน 2 ชั่วโมง

2) นำตัวอย่างจากข้อ 1.2.1 มาทำการเจือจางโดยวิธี 10 fold ด้วย 0.85เปอร์เซ็นต์ NaCl

3) ดูดตัวอย่างแต่ละความเจือจางมา 0.1 มิลลิลิตร และทำการเกลี่ย (spread) ลงบนอาหารแข็ง Nutrient agar (NA, Difco) สำหรับเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย และ Potato dextrose agar (PDA, Difco) สำหรับเชื้อรา โดยแต่ละความเข้มข้นทำ 3 ซ้ำ

4) การบ่มจานอาหารเพาะเชื้อแบ่งเป็น 2 อุณหภูมิ เพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์ระดับ mesophile และ thermophile โดยแบคทีเรียบ่มที่อุณหภูมิ 37 และ 55°C นาน 2 วัน ขณะที่ราบ่มที่ 30 และ 50°C นาน 7 วัน

5) ทำการนับจำนวนจุลินทรีย์ในช่วง 25-250 CFU คำนวณเป็น CFU/ml และ Log CFU

2.2 การทดลองที่ 2 การทดสอบอิทธิพลของปุ๋ยหมักต่อข้าวไร่

ใช้แผนการทดลองแบบ 2x2x5 Factorial in CRD เพื่อศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยหมักต่อลักษณะในแปลงบางประการของข้าวไร่บางพันธุ์

2.2.1 การทดสอบโดยการปลูกข้าวพันธุ์บอแผ่ซู และบือกอบิ โดยไม่ใส่ปุ๋ย

2.2.2 จากการเตรียมการทดสอบอิทธิพลของปุ๋ยหมัก มี 3 ปัจจัย คือ ข้าว 2 พันธุ์ (พันธุ์บอแผ่ซู และบือกอบิ) อัตราการใส่ปุ๋ย 2 ระดับ (2 ตันต่อไร่ และ20 ตันต่อไร่) และปุ๋ยหมัก 5 สูตร มีกรรมวิธี 5 กรรมวิธี ดังนี้

2.2.1.1 พันธุ์ข้าวบอแผ่ซู และบือกอบิ โดยอัตราการใส่ปุ๋ย 2 ตันต่อไร่ และ 20 ตันต่อไร่ ใส่ปุ๋ยสูตร T1 ฟางข้าว : มูลวัว (4:1 โดยปริมาตร)

2.2.1.2 พันธุ์ข้าวบอแผ่ซู และบือกอบิ โดยอัตราการใส่ปุ๋ย 2 ตันต่อไร่ และ 20 ตันต่อไร่ ใส่ปุ๋ยสูตร T2 ฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1 โดยปริมาตร)

2.2.1.3 พันธุ์ข้าวบอแผ่ซู และบือกอบิ โดยอัตราการใส่ปุ๋ย 2 ตันต่อไร่ และ 20 ตันต่อไร่ ใส่ปุ๋ยสูตร T3 (4:1 โดยปริมาตร)

2.2.1.4 พันธุ์ข้าวบอแผ่ซู และบือกอบิ โดยอัตราการใส่ปุ๋ย 2 ตันต่อไร่ และ 20 ตันต่อไร่ ใส่ปุ๋ยสูตร T4 (8:1 โดยปริมาตร)

2.2.1.5 พันธุ์ข้าวบอแผ่ซู และบือกอบิ โดยอัตราการใส่ปุ๋ย 2 ตันต่อไร่ และ 20 ตันต่อไร่ ใส่ปุ๋ยสูตร T5 (8:1 โดยปริมาตร)

2.2.3 วิธีการทดลองการทดสอบอิทธิพลของปุ๋ยหมักต่อการเจริญเติบโตของข้าวไร่

2.2.3.1 เตรียมดินปลูก ใช้ดินในอัตราส่วน 2 ตันต่อไร่ ใช้ดิน 16.8 กิโลกรัม ใส่ปุ๋ย 97.1979 กรัม และดินปลูกในอัตราส่วน 20 ตันต่อไร่ ใช้ดิน 16.8 กิโลกรัม ใส่ปุ๋ย 971.979 กรัม โดยใช้ปุ๋ยหมักทั้ง 5 สูตรในการทดลอง

2.2.3.2 ชั่งดินและปุ๋ยตามที่กำหนดแล้วนำมาผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปใส่ในกระถางดินเผา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร แบ่งเป็นปุ๋ย 5 สูตร สูตรละ 5 ซ้ำ ข้าว 2 พันธุ์ คือ บอแผ่ซู และบือกอบิ

2.2.3.3 นำเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่ปลูก กระถางละ 3-5 เมล็ดต่อกระถาง เมื่อข้าวงอกเป็นต้นสมบูรณ์แล้วให้ถอนออกเหลือเพียง 3 ต้นต่อกระถาง

2.2.3.4 ระยะเวลาในการปลูกข้าวไร่ 60 วัน ดูแลโดยการให้น้ำทุกวัน ยกเว้นวันที่ฝนตก

2.2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูลการทดสอบอิทธิพลของปุ๋ยหมักต่อการเจริญเติบโตของข้าวไร่

2.2.4.1 เปอร์เซนต์การงอกของข้าวไร่ที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ

2.2.4.2 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของข้าวไร่

2.2.4.2.1 ความสูง วัดโดยการใช้ไม้วัด หน่วย เซนติเมตร จากพื้นถึงใบที่สูงที่สุด เก็บข้อมูลดังกล่าวเมื่อข้าวอายุที่ 30 และ 60 วัน บันทึกผล

2.2.4.2.2 ความยาวใบ ใช้ไม้บรรทัดวัดความยาวจนถึงปลายใบ หน่วยเซนติเมตรโดยวัด 1 กอต่อ 3 ใบ เก็บข้อมูลดังกล่าวเมื่อข้าวอายุที่ 30 และ60 วัน บันทึกผล

2.2.4.2.3 จำนวนใบ นับจำนวนใบในแต่ละกอ ใน 1 กระถาง จะมีทั้งหมด 2-3 กอ เก็บข้อมูลดังกล่าวเมื่อข้าวอายุที่ 30 และ60 วัน บันทึกผล

2.2.4.2.4 การแตกกอ จะนับจำนวนกอ ใน 1 กระถางจะมี 2-3 กอ เก็บข้อมูลดังกล่าวเมื่อข้าวอายุที่ 30 และ60 วัน บันทึกผล

2.2.4.3 การเก็บข้อมูลผลผลิตของข้าวไร่

I ข้อมูลการเจริญเติบโต
- ความสูง
- เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น
- ความยาวรวง
- ความยาวคอรวง

II ข้อมูลผลผลิต
- น้ำหนักเมล็ด กรัมต่อต้น

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลข้อมูล โดยใช้โปรแกรม Excel ช่วยในการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูล

ส่วนที่ 2 การคัดกรองจุลินทรีย์จากตัวอย่างดินขุยไผ่

1. การเก็บตัวอย่างดินขุยไผ่

ทำการเก็บตัวอย่างดินขุยไผ่ ซึ่งอยู่บริเวณรอบรากไผ่ จากพื้นที่ตำบลห้วยสัตว์ใหญ่ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยทำการขุดดินแต่ละตัวอย่างลึกลงไปประมาณ 15 เซนติเมตร (Balakrishna et al., 2012) เก็บใส่ถุงซิปพลาสติก ระบุสถานที่ วันที่เก็บตัวอย่าง และนำไปศึกษาต่อ ณ ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร

2. การคัดกรองจุลินทรีย์ที่มีบทบาทต่อการเพิ่มผลผลิตข้าวไร่

นำตัวอย่างดินที่เก็บมาทำการคัดแยกจุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีท และเชื้อราที่มีบทบาทในการละลายฟอสเฟต การย่อยสลายวัตถุดิบอินทรีย์ (การผลิตเซลลูเลส) และการตรึงไนโตรเจน บนอาหารแข็ง ดังขั้นตอนต่อไปนี้

2.1 ชั่งตัวอย่างดินมา 5 กรัม และเติมลงไปในฟลาสก์ขนาด 100 มิลลิลิตร ที่บรรจุ 0.85 เปอร์เซ็นต์ NaCl ปริมาตร 45 มิลลิลิตร (10^{-1}) ทำการเขย่าที่อุณหภูมิห้อง นาน 2 ชั่วโมง สำหรับการคัดกรองกลุ่มแอคติโนมัยซีท ทำเช่นเดียวกัน แต่เพื่อเป็นการลดจำนวนจุลินทรีย์อื่นๆ ให้นำตัวอย่างดินไปอบที่อุณหภูมิ 70°C นาน 15 นาที ก่อน (Janaki et al., 2014)

2.2 นำตัวอย่างจากข้อ 2.1 มาทำการเจือจางโดยวิธี 10 fold ด้วย 0.85 เปอร์เซ็นต์ NaCl

2.3 ดูดตัวอย่างแต่ละความเจือจางมา 0.1 มิลลิลิตร และทำการ spread ลงบนอาหารแข็ง โดย

2.3.1 *การคัดกรองจุลินทรีย์ละลายฟอสเฟต* ใช้อาหารแข็ง Pikovskaya’s agar (PVK) สำหรับแบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีท (Sharma et al., 2011) ขณะที่เชื้อราใช้อาหาร PVK ที่ผสม Rose Bengal ความเข้มข้น 1/15000 ปริมาตร 10 มิลลิลิตรต่อลิตร (Yasser et al., 2014) ทำการบ่มจานอาหารเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 30°C นาน 5-7 วัน

2.3.1.1 คัดเลือกโคโลนีที่แสดงวงใสล้อมรอบโคโลนี แล้วทำการเขี่ยเชื้อ (streak) ลงในอาหารชนิดเดิม วัดขนาดวงใสล้อมรอบโคโลนี เพื่อคำนวณหาค่าดัชนีการละลายฟอสเฟต (Phosphate solubilizing index; PSI) (Nosrati et al., 2014)

$$\text{PSI} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส (มิลลิเมตร)}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (มิลลิเมตร)}}$$

2.3.1.2 ทำการ subculture สำหรับแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีท และเชื้อรา ลงในอาหารเอียง NA, Yeast starch agar (YSA) และ PDA ตามลำดับ

2.3.2 *การคัดกรองจุลินทรีย์ที่ผลิตเซลลูเลส* ใช้อาหารแข็ง Carboxymethyl cellulose (CMC) agar ที่มี Na-CMC เป็นสารตั้งต้น โดยแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีท และเชื้อราใช้อาหาร CMCb, CMCa และ CMCf ตามลำดับ (ดัดแปลงจาก Jeffrey and Azrizal, 2007; Patagundi et al., 2014; Ram et al., 2014) ทำการบ่มจานอาหารเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 30°C นาน 5-7 วัน

2.3.2.1 คัดเลือกโคโลนีที่มีลักษณะแตกต่างกัน แล้วทำการเขี่ยเชื้อลงบนอาหารชนิดเดิม

2.3.2.2 คัดแยกโคโลนีที่บริสุทธิ์แล้ว subculture ลงในอาหารเอียง เช่นเดียวกับข้อ 2.3.1.2

2.3.2.3 นำจานอาหารจากข้อ 2.3.2.1 มาราดทับด้วย 1% Congo red นาน 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง แล้วล้างด้วย 1M NaCl สังเกตวงใสล้อมรอบโคโลนี แล้วคำนวณหาค่า Hydrolysis Capacity (HC) (Gupta et al., 2012)

$$\text{HC} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส (มิลลิเมตร)}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (มิลลิเมตร)}}$$

2.3.3 *การคัดกรองแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจน* ใช้อาหารแข็ง Nitrogen free malate (NM) ที่ผสม bromothymol blue (BTB) เป็นอินดิเคเตอร์ (Okon et al., 1977; Gothwat et al., 2008) ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37°C นาน 1-2 วัน

2.3.3.1 คัดเลือกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนโดยสังเกตบริเวณอาหารล้อมรอบโคโลนีจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

2.3.3.2 ทำการวัดบริเวณการเปลี่ยนสี (Zone of coloration; ZC)

$$\text{ZC} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณการเปลี่ยนสีล้อมรอบโคโลนี (มิลลิเมตร)}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี (มิลลิเมตร)}}$$

2.3.3.3 ทำการ subculture แบคทีเรียลงในอาหาร NA slant

3. การวิเคราะห์ค่าการละลายฟอสเฟตจากจุลินทรีย์ที่คัดเลือกได้

3.1 การเตรียมปริมาณหัวเชื้อ

3.1.1 เตรียมปริมาณหัวเชื้อแบคทีเรียที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3.1 โดยทำการเขี่ยเชื้อลงในน้ำกลั่นปราศจากเชื้อปริมาตร 3 ปรับความขุ่นเชื้อให้เท่ากับ McFarland No.0.5 (1×10^8 cfu/ml)

3.1.2 จากนั้นดูดสารละลายเชื้อ 250 ไมโครลิตร (1% inoculum) ลงในอาหารเหลว PVK ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 30°C ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 วัน จากนั้นนำตัวอย่างมาทำการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็วรอบ 3,300 รอบต่อนาที นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C เก็บส่วนน้ำใส (supernatant หรือ crude enzyme) เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าการละลายฟอสเฟต

3.1.3 ในส่วนของแอคติโนมัยซีทและเชื้อราทำการเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็ง จากนั้นใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร เจาะวุ้นอาหารที่มีแอคติโนมัยซีทและเชื้อราใส่ลงในฟลาสก์ที่บรรจุอาหารเหลว PVK และทำเช่นเดียวกันกับข้อ 3.1.2

3.2 วิเคราะห์ค่าการละลายฟอสเฟต (Phosphate solubilized ; PS) โดยวิธี Ascorbic acid (ดัดแปลงจาก Watanabe and Olsen, 1965)

ทำการดูดส่วนน้ำใสของตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มีน้ำกลั่น 4.9 มิลลิลิตร และ colour reagent 2.5 มิลลิลิตร (ภาคผนวก ค) บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 15 นาที และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 880 นาโนเมตร

สำหรับหลอดทดลอง sample blank เตรียมโดยใช้น้ำกลั่นแทนส่วนน้ำใสของตัวอย่าง และคำนวณค่าการละลายฟอสเฟตเป็น มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (Alam et al., 2002)

4. การวิเคราะห์กิจกรรมเซลลูเลสจากจุลินทรีย์ที่คัดเลือกได้

4.1 การเตรียมปริมาณหัวเชื้อ

4.1.1 เตรียมปริมาณหัวเชื้อแบคทีเรียที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.3.2 โดยทำการเขี่ยเชื้อลงในน้ำกลั่นปราศจากเชื้อปริมาตร 3 มิลลิลิตร ปรับความขุ่นเชื้อให้เท่ากับ McFarland No.0.5 (1×10^8 cfu/ml)

4.1.2 จากนั้นดูดสารละลายเชื้อ 200 ไมโครลิตร (1% inoculum) ลงในอาหารเหลว CMCb ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 30°C ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำตัวอย่างมาทำการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็วรอบ 3,300 รอบต่อนาที นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C เก็บส่วนน้ำใส (supernatant หรือ crude enzyme) เพื่อนำไปวิเคราะห์กิจกรรมเซลลูเลส

4.1.3 ในส่วนของแอคติโนมัยซีทและเชื้อราทำการเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็ง จากนั้นใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร เจาะวุ้นอาหารที่มีแอคติโนมัยซีทและเชื้อราใส่ลงในฟลาสก์ที่บรรจุอาหารเหลว CMCa และ CMCf ตามลำดับ และทำเช่นเดียวกันกับข้อ 4.1.2

4.2 วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสโดยวิธี Dinitrosalicylic acid (Miller, 1959)

โดยใช้ Sodium-Carboxymethyl cellulose (Na-CMC) เป็นสารตั้งต้น และวัดปริมาณกลูโคสที่ถูกปลดปล่อย โดยวิธีดัดแปลงจาก Yang *et al.,* 2014 ทำโดยดูดส่วนน้ำใส 0.5 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย 0.5 มิลลิโมลาร์ ซิเตรตฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7.0) 0.5 มิลลิลิตร เริ่มปฏิกิริยาโดยเติม 1% Na-CMC ในสารละลาย 0.5 มิลลิโมลาร์ ซิเตรตฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.5 มิลลิลิตร บ่มปฏิกิริยาที่ 37°C ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ นาน 10 นาที หยุดปฏิกิริยาด้วยสารละลาย Dinitrosalicylic acid (DNS) 2.5 มิลลิลิตร แล้วต้มในน้ำเดือด 5 นาที และทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วในอ่างน้ำแข็ง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร

สำหรับหลอดทดลอง sample blank เตรียมโดยการเติมสารละลาย DNS ลงในหลอดทำปฏิกิริยาก่อนการเติม 1% Na-CMC ปริมาณกิจกรรมของเอนไซม์ 1 IU/ml คือ ปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ในการปลอดปล่อยน้ำตาลกลูโคส 1 ไมโครโมล ในเวลา 1 นาที ต่อสารละลายส่วนใส 1 มิลลิลิตร ภายใต้สภาพ pH 7.0 อุณหภูมิ 37°C

5. พิสูจน์เอกลักษณ์ของจุลินทรีย์ที่คัดเลือกได้

5.1 การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา

5.1.1 ศึกษาลักษณะของเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เช่น การติดสีแกรม รูปร่างการจัดเรียงตัว สำหรับแบคทีเรีย (Barrow and Feltham, 1993) และลักษณะเส้นใย การสร้างสปอร์ สำหรับเชื้อรา

5.1.2 ศึกษาลักษณะโคโลนีบนอาหารแข็ง เช่น ขนาด สี รูปร่าง เป็นต้น

5.2 การศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาและชีวเคมี

5.2.1 ศึกษาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้ที่สภาวะต่างๆ เช่น ความเป็นกรดด่าง อุณหภูมิ ความเข้มข้นของเกลือ NaCl เป็นต้น

5.2.2 ศึกษาลักษณะทางชีวเคมี เช่น Catalase, Oxidase, Indole production, Methyl red (MR), Voges-Proskauer (VP), Simmons' citrate , Acid production from carbohydrates

5.3 การวิเคราะห์ลำดับเบสและการสร้างลำดับวิวัฒนาการ phylogenetic tree

การวิเคราะห์ลำดับเบส 16S rRNA gene sequence สำหรับแบคทีเรีย (Khianngam *et al*., 2012) และ ITS regions (ITS1/ITS4) สำหรับเชื้อรา (Kim *et al*., 2013) ส่งวิเคราะห์ที่บริษัท Macrogen ประเทศเกาหลีใต้ จากนั้นทำการสร้างลำดับวิวัฒนาการ (Phylogenetic tree) ตามวิธีของ Felsenstein, 1985; Saitou & Nei, 1987 ; Thompson et al., 1997

ส่วนที่ 3 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงเกษตรกรจากสูตรที่คัดเลือก

ภายหลังการคัดเลือกสูตรปุ๋ยที่เหมาะสม และร่วมกับเกษตรกรผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในพื้นที่ของตัวแทนเกษตรแล้วมีการดูแลกองปุ๋ยหมักด้วยตัวเกษตรกรเอง แล้วใช้ปุ๋ยหมักที่เตรียมได้นี้ในการทดสอบผลของการใช้ปุ๋ยในแปลงของเกษตรกรต่อไป

จากข้อมูลการทดลองและจากผลการศึกษาผลของปุ๋ยต่อพืช คัดเลือกจากสูตรปุ๋ยทดลองที่เมื่อผ่านกระบวนการหมักแล้วมีการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ และมีผลช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ นอกจากนี้พิจารณาร่วมกับวัตถุดิบที่สามารถจัดหาได้ในพื้นที่ของเกษตรกรด้วย

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ส่วนที่ 1 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ต้นทุนต่ำ

การทดลองที่ 1 การเตรียมสูตรปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการหมักปุ๋ย และการประเมินการใช้ประโยชน์ได้ของปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงทดลองขนาดเล็ก

1.1. การเตรียมสูตรปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการหมัก

แผนการทดลอง คือ การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกองปุ๋ยหมักเปรียบเทียบกับสูตรการทำปุ๋ยหมักสูตรมาตรฐาน 2 กองแรก คือ สูตรของกรมพัฒนาที่ดิน, สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 และสูตรทดลองอีก 2 กองหลัง เป็นสูตรที่ทดแทนมูลวัวและฟางด้วย ดินขุยไผ่ และเศษพืชสด และสูตรทดแทนมูลวัวและฟางด้วยดินขุยไผ่ และเศษพืชสด ซึ่งดูแลกองปุ๋ยแบบขาดน้ำ วิเคราะห์ผลของอุณหภูมิ ค่า pH ค่าการนำไฟฟ้า ความชื้น เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียม โดยทำการเก็บตัวอย่างทุกสัปดาห์ โดยเก็บกองละ 5 จุด (ตามภาคผนวก ก) ตัวอย่างที่เก็บจะนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และทางเคมี ส่วนการศึกษาผลของปุ๋ยหมักต่อการงอกของเมล็ดพืช จะทำการเก็บตัวอย่างในสัปดาห์ที่ 7 และสัปดาห์ที่ 9 มาวิเคราะห์ความยาวราก ความไวในการงอก และคะแนนรากแขนง โดยมีผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ผลการทดลองดังนี้

1. ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุในการทำกองปุ๋ย

ตารางที่ 1.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุที่ใช้เตรียมของปุ๋ยหมัก

วัตถุดิบ	ฟาง	มูลสัตว์	เศษหญ้า	เศษข้าวโพด	ดินขุยไผ่
เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	9.36	21.56	84.90	85.26	19.21
เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด	0.54	0.38	0.26	0.10	0.37
เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน	36.81	14.68	32.87	38.60	5.49
เปอร์เซ็นต์ อินทรียวัตถุ	89.05	38.72	87.79	79.72	22.42
อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน	68.16	38.63	126.42	386.00	14.84
เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส	0.15	0.11	0.03	0.08	0.13
เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียม	1.71	2.91	3.75	3.10	0.10
ค่า pH	6.44	9.32	10.08	3.95	8.10
ค่าการนำไฟฟ้า (ds/m)	3.42	0.24	4.00	4.00	3.46

ฟางมีค่าอินทรียวัตถุสูง (89.05 เปอร์เซ็นต์) (ตารางที่ 1.1) ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ฟางยังช่วยถ่ายเทอากาศภายในกองปุ๋ยหมักได้ดี มูลสัตว์มีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนสูง (0.38

เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายอีกด้วย ดินขุยไผ่ถึงแม้ว่ามีเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุต่ำ (22.42 เปอร์เซ็นต์) แต่เมื่อพิจารณาดูค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (14.84) แล้วมีค่าต่ำ และมีค่าไนโตรเจนสูง (0.37 เปอร์เซ็นต์) เทียบเท่ากับมูลสัตว์ ส่วนเศษหญ้า และเศษข้าวโพดมีข้อดี คือมีความชื้นสูง อีกทั้งยังมี อินทรียวัตถุสูง (89.79 และ 79.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) หากเรานำวัสดุนี้มาทดแทนฟาง ทำให้สามารถเก็บความชื้นภายในกองปุ๋ยหมักได้

ตารางที่ 1.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุในกองปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 0 สัปดาห์

วัตถุดิบ	กองที่ 1	กองที่ 2	กองที่ 3	กองที่ 4
เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	59.09	56.37	56.24	71.87
เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด	0.73	1.02	0.61	0.47
เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน	34.85	30.07	27.30	32.58
เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ	81.87	81.52	53.85	65.99
อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน	47.74	29.48	44.75	47.22
เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส	0.06	0.12	0.11	0.11
เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียม	1.76	2.24	1.25	1.20
ค่า pH	8.79	8.58	8.30	8.36
ค่าการนำไฟฟ้า (ds/m)	2.04	2.98	1.20	2.06

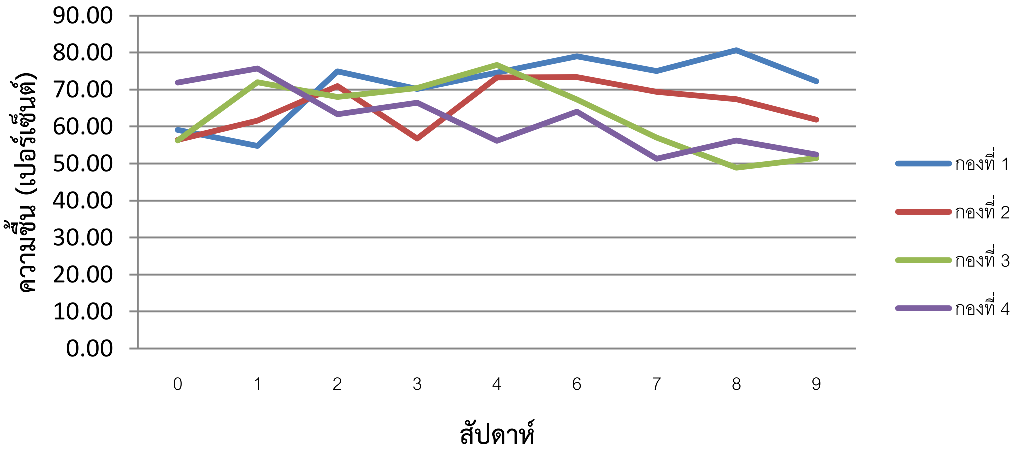
หมายเหตุ : กองที่ 1 สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน กองที่ 2 สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1
กองที่ 3 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ

2. ผลของลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาหมัก 63 วัน

2.1. ความชื้น

จากการทดลองเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกองปุ๋ยในระยะแรก กองปุ๋ยสูตรทดแทนมูลวัวด้วยดินขุยไผ่ (กองที่ 4) หมักโดยให้ขาดน้ำมีค่าสูงสุด เท่ากับ 71.87 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ กองปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน (กองที่ 1) เท่ากับ 59.09 เปอร์เซ็นต์ กองปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (กองที่ 2) เท่ากับ 56.37 เปอร์เซ็นต์ และกองปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ (กองที่ 3) เท่ากับ 56.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าความชื้นของกองปุ๋ยทุกกองปุ๋ยจะอยู่ในช่วง 50-80 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 1.1) ตลอดกระบวนการหมักปุ๋ย แต่ในกองปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ นั้นมีความชื้นต่ำว่ากองปุ๋ยอื่นๆ เนื่องจากมีการดูแลกองปุ๋ยที่มีความแตกต่างกัน โดยมีการให้น้ำกองปุ๋ยทุก 3 วัน ในขณะที่กองอื่นที่มีการให้น้ำทุกวัน ซึ่งความชื้นนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนที่ต้องการความชื้นที่เหมาะสม การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะถูกชะงักหากกองปุ๋ยมีความชื้นที่ต่ำมาก เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายสารอาหารต่างๆ เพื่อไปใช้ในกิจกรรมของจุลินทรีย์การหมักปุ๋ยจะต้องรักษาความชื้นของกองปุ๋ยให้ได้ 50-60 เปอร์เซ็นต์ หากความชื้นต่ำเกินไป การย่อยสลายอนินทรียสารจะช้ามาก ใช้เวลาหมักนานกว่าปกติหรือได้ปุ๋ยที่ไม่ดีพอ (Tom *et al.*, 2002) แต่ถ้าหากมีความชื้นสูงเกินไปความชื้นจะไปสกัดกั้นการไหลเวียนของอากาศ ปริมาณอากาศจะไม่เพียงต่อความต้องการของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์จะต้องใช้ออกซิเจนในการ

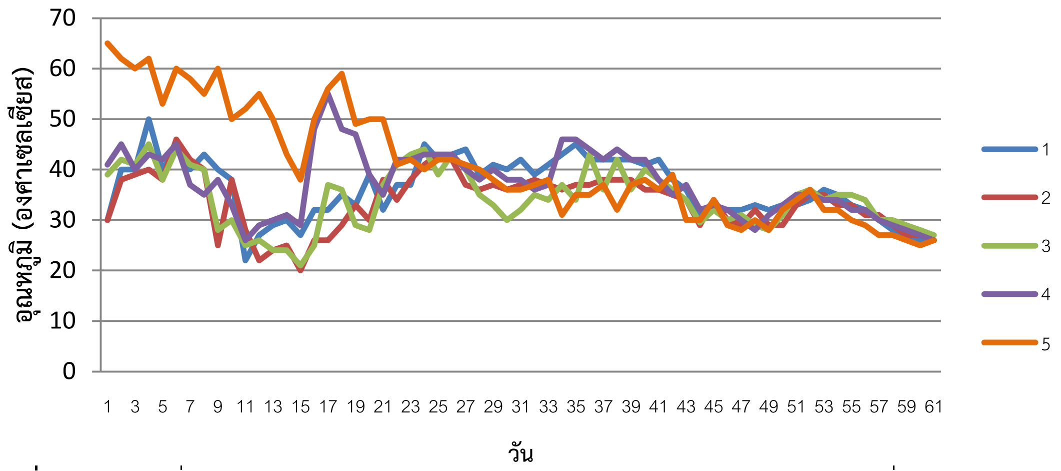
รับส่งอิเล็กตรอนเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ทำให้การย่อยสลายช้าลงอาจเกิดการสะสมกรดอินทรีย์เป็นปริมาณมาก กรดอินทรีย์อาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์หรือเป็นผลเสียต่อการเจริญของรากพืชได้ (ยงยุทธ, 2551)



ภาพที่ 1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลา 9 สัปดาห์ของปุ๋ยหมัก

หมายเหตุ กองที่ 1 สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน กองที่ 2 สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1
กองที่ 3 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ

2.2 อุณหภูมิ

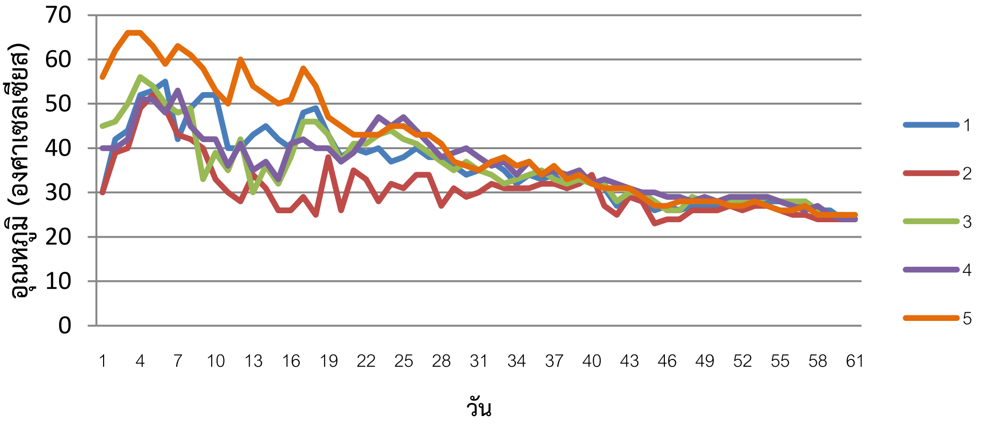


ภาพที่ 1.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักสูตรมาตรฐานตามแบบกรมพัฒนาที่ดิน ตลอดระยะเวลาการหมัก

หมายเหตุ 1-4 คือ ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ ณ ด้านข้างของกองปุ๋ยหมัก 5 คือตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ ณ ด้านบนของกองปุ๋ยหมัก

อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักตามกรมพัฒนาที่ดิน อายุ 1 วัน มี อุณหภูมิของตำแหน่งด้านข้างของกองปุ๋ยหมักจะอยู่ในช่วง 30-40 องศาเซลเซียส ส่วนตำแหน่งด้านบนของกองปุ๋ยหมัก อุณหภูมิจะสูงกว่าตำแหน่งด้านข้างของกองปุ๋ยหมัก (65 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 2-3 วันแรก ช่วงวันที่ 1-21 อุณหภูมิด้านบนกองปุ๋ยหมักสูงกว่าบริเวณด้านข้างกองปุ๋ยหมัก แต่หลังจากวันที่ 21 ของการหมัก อุณหภูมิด้านบนกองปุ๋ยหมักจะไม่แตกต่างจากบริเวณด้านข้างกองปุ๋ยหมัก โดยอุณหภูมิที่ในช่วง 40-65 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 40 วัน ของ

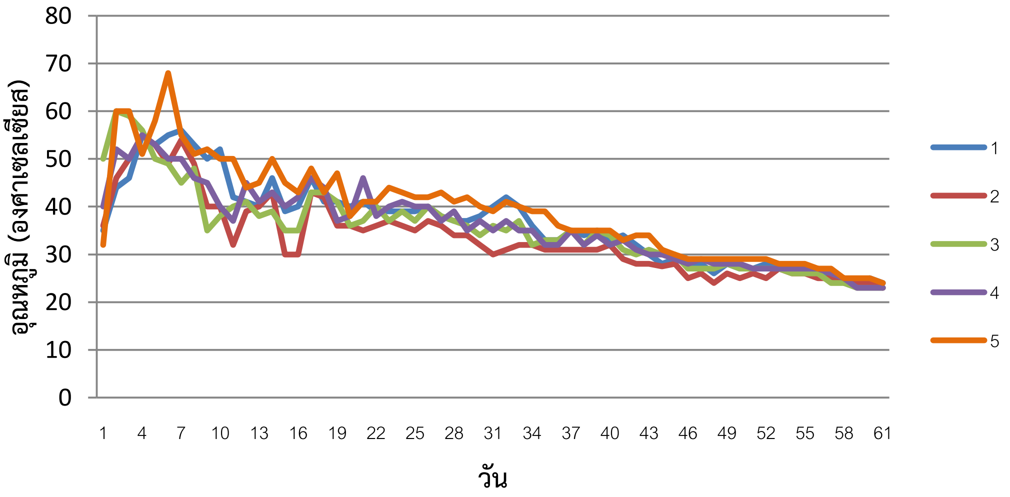
การหมักและหลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการหมักปุ๋ยซึ่งอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 30-25 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 1.2)



ภาพที่ 1.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักสูตรมาตรฐานตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ตลอดระยะเวลาการหมัก

หมายเหตุ 1-4 คือ ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ ณ ด้านข้างของกองปุ๋ยหมัก 5 คือ ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ ณ ด้านบนของกองปุ๋ยหมัก

อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก สูตรแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 อายุ 1 วัน มี อุณหภูมิของตำแหน่งด้านข้างของกองปุ๋ยหมักจะอยู่ในช่วง 30-45 องศาเซลเซียส ส่วนตำแหน่งด้านบนของกองปุ๋ยหมักมีอุณหภูมิจะสูงกว่าตำแหน่งด้านข้างของกองปุ๋ยหมัก อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจนถึงวันที่ 4 ของการหมัก โดยอุณหภูมิในช่วง 55-66 องศาเซลเซียส อุณหภูมิด้านบนกองปุ๋ยหมักสูงกว่าด้านข้างกองปุ๋ยหมักช่วง 21 วันแรกของกระบวนการหมัก เมื่ออายุกองปุ๋ยหมักมากขึ้นหลังจากวันที่ 21 ไปแล้ว อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักทั้ง 5 ด้านไม่แตกต่างกัน และหลังจากนั้นอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการหมักปุ๋ยซึ่งอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30-24 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 1.3)

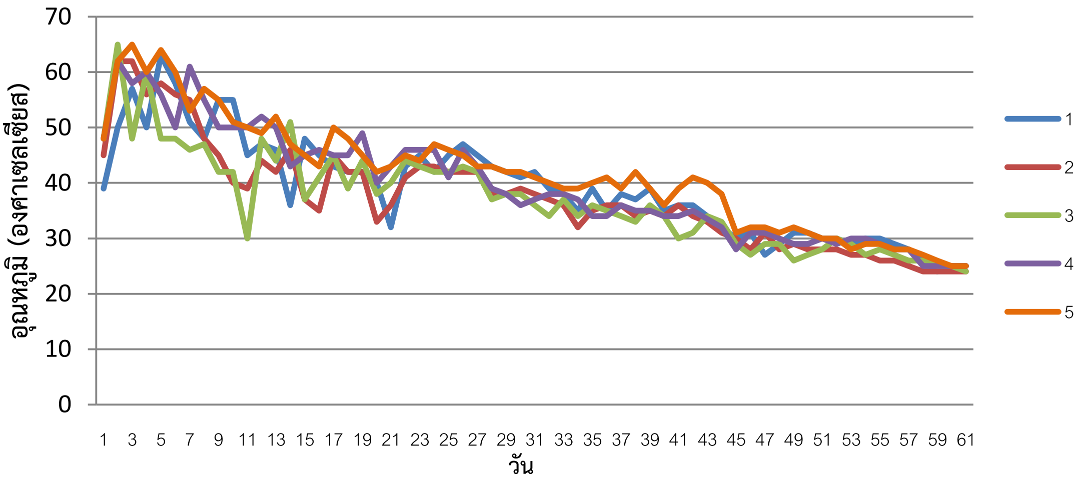


ภาพที่ 1.4 การแปลงเปลี่ยนอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมัก ระยะเวลาตลอดช่วงการหมักของกองปุ๋ยที่มีการปรับสัดส่วนโดยมีฟางข้าว: เศษพืชสด : มูลสัตว์ : ดินขุยไผ่ (3 : 1 : 0.25 : 0.75 โดยปริมาตร)

หมายเหตุ 1-4 คือ ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ ณ ด้านข้างของกองปุ๋ยหมัก 5 คือ ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ ณ ด้านบนของกองปุ๋ยหมัก

อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูตรทดลองที่มีการปรับสัดส่วนโดยมีฟางข้าว: เศษพืชสด : มูลสัตว์ : ดินขุยไผ่ (3 : 1 : 0.25 : 0.75 โดยปริมาตร) มีการดูแลโดยให้น้ำตามปกติ อายุหมัก 1 วัน มีอุณหภูมิของตำแหน่งด้านข้างของกองปุ๋ยหมักอยู่ในช่วง 35-60องศาเซลเซียส ส่วนตำแหน่งด้านบนของกองปุ๋ยหมัก (32 องศาเซลเซียส) จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 2-3 วันแรก โดยอุณหภูมิจะสูงสุดที่ในช่วง 40-70 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 40 วันของการหมักปุ๋ยและหลังจากนั้นอุณหภูมิค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการหมักปุ๋ยซึ่งอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 30-24 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 1.4)

อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักสูตรทดลองที่มีการปรับสัดส่วนโดยมีฟางข้าว: เศษพืชสด : มูลสัตว์ : ดินขุยไผ่ (3 : 1 : 0.25 : 0.75 โดยปริมาตร) มีการดูแลโดยให้น้ำต่ำกว่าปกติ อายุหมัก 1 วัน มีอุณหภูมิของกองหมักทั้ง 5 จุดที่ค่าสูงขึ้นอยู่ในช่วง 39-48 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ใน 2-3 วันแรก โดยอุณหภูมิจะสูงในช่วง 50-65 องศาเซลเซียส และหลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการหมักปุ๋ยซึ่งอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 30-24 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 1.5)

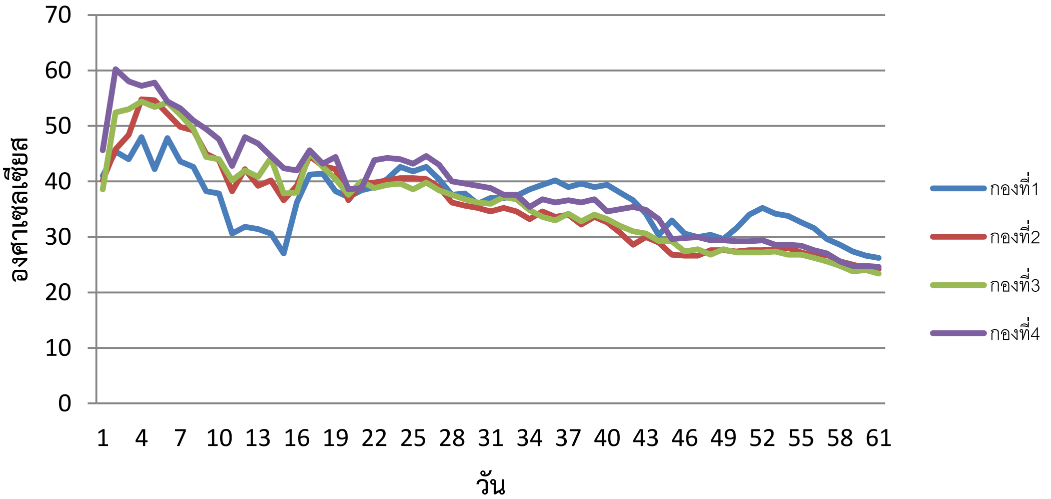


ภาพที่ 1.5 การแปลงเปลี่ยนอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมัก ระยะเวลาตลอดช่วงการหมักของกองปุ๋ยที่มีการปรับสัดส่วนโดยมีฟางข้าว: เศษพืชสด : มูลสัตว์ : ดินขุยไผ่ (3 : 1 : 0.25 : 0.75 โดยปริมาตร) และมีการดูแลการให้น้ำต่ำกว่าระดับปกติ

หมายเหตุ 1-4 คือ ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ ณ ด้านข้างของกองปุ๋ยหมัก 5 คือ ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ ณ ด้านบนของกองปุ๋ยหมัก

จากผลการทดลองอุณหภูมิในกองปุ๋ยทุกกองจะมีอุณหภูมิสูงในระยะแรก (ภาพที่ 1.6) เพราะอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่บ่งบอกความสามารถในการย่อยสลายวัสดุของจุลินทรีย์โดยปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยจะปลดปล่อยความร้อนออกมา จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในช่วงนี้คือ จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงซึ่งมีบทบาทบทบาทสำคัญในการย่อยสลายวัสดุในช่วงแรก (ทัศนีย์, 2557) และอุณหภูมิจะค่อยลดลงตลอดระยะเวลาการหมักจนถึงการหมักได้เสร็จสิ้น นอกจากนี้วัสดุอินทรีย์ที่ใช้นำมาทำปุ๋ยหมักอาจมีเชื้อโรคปะปนมา ไม่ว่าจะเป็นเชื้อโรคที่ติดจากมูลสัตว์หรือเชื้อสาเหตุจากโรคพืชที่ติดมาจากเศษพืชจากแปลง ซึ่งเชื้อโรคเหล่านี้ส่วนมากจะถูกทำลายเมื่ออุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสูง (ยงยุทธ, 2551)

แนวโน้มอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดิน มีค่าลดลงเมื่อกระบวนการหมักดำเนินไปถึงวันที่ 15 (เฉลี่ยอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส) (ภาพที่ 1.6) เนื่องมาจากกองปุ๋ยหมักที่มีการเหยียบกองจนแน่น อาจเป็นไปได้ว่าเมื่อจุลินทรีย์ดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ดำเนินกิจกรรมมีการใช้อากาศ จนลดน้อยลง ดังนั้น การดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์จึงชะลอตัว ทำให้ระดับความร้อนของกองปุ๋ยหมักลดลง จนวันที่ 16 มีการกลับกองปุ๋ย ซึ่งเป็นการเติมอากาศให้กับกองปุ๋ยหมักอีกครั้ง เป็นผลให้จุลินทรีย์สามารถดำเนินกิจกรรมต่อได้ ทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นที่ประมาณ 38-41 องศาเซลเซียส และเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักค่อยลดลงอย่างช้าๆ และทุกครั้งที่มีการกลับกองปุ๋ย (ในวันที่ 31 และ 45) จะมีผลทำให้อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้น (Keeling *et al.*, 1995)



ภาพที่ 1.6 การแปลงเปลี่ยนค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมัก ระยะเวลาตลอดช่วงการหมักของกองปุ๋ยแต่ละกอง

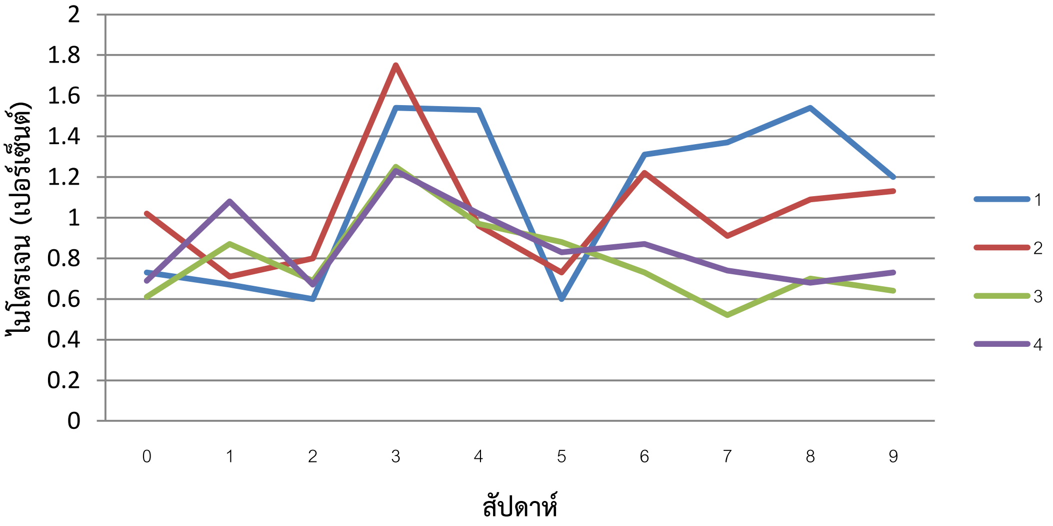
หมายเหตุ กองที่ 1 สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน กองที่ 2 สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1
กองที่ 3 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ

แนวโน้มอุณหภูมิกองปุ๋ยหมักสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีภาพรวมของอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสูงกว่าของสูตรของกรมพัฒนาที่ดิน (ภาพที่ 1.6) อาจเป็นไปได้ว่า สูตรของวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ดีกว่า เนื่องมาจาก 2 สาเหตุ คือ สูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีสัดส่วนของธาตุไนโตรเจนสูงกว่า เนื่องจากสัดส่วนของวัสดุที่ใช้มีองค์ประกอบของมูลโคสูงกว่า (วิเคราะห์มีไนโตรเจน 1.02 เปอร์เซ็นต์ และสูตรกรมพัฒนาที่ดินเท่ากับ 0.73 เปอร์เซ็นต์) และมีการตั้งกองปุ๋ยหมักวางลักษณะกองเป็นรูปสามเหลี่ยมปริซึม และมีการวางกองวัสดุโดยไม่มีการอัดวัสดุหมักให้แน่น ทำให้อากาศสามารถไหลเวียนเข้าไปภายในกองปุ๋ยหมักได้ ถึงแม้กองปุ๋ยหมักตามสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ไม่มีการพลิกกลับกอง แนวโน้มของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจึงยังคงสูง และค่อยๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป (ภาพที่ 1.6)

สำหรับอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักที่มีการทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ (75 เปอร์เซ็นต์) และทดแทนฟางข้าวด้วยเศษวัสดุสด (25 เปอร์เซ็นต์) มีอุณหภูมิสูง และแนวโน้มของอุณหภูมิกองปุ๋ยหมักคล้ายกับสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 อาจเนื่องมาจากมีรูปแบบการตั้งกองปุ๋ยหมักแบบเดียวกัน

จากการทดลอง วัสดุเริ่มต้นที่ใช้ในกระบวนการหมักปุ๋ยคือ ฟาง มูลสัตว์ หญ้า ข้าวโพด และดินขุยไผ่ซึ่งจะมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนเท่ากับ 0.54, 0.38, 0.26, 0.10 และ 0.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเมื่อเริ่มกระบวนการหมักปุ๋ยพบว่า ปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนมากที่สุดคือ 0.73 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน (0.75 เปอร์เซ็นต์) ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ (0.69 เปอร์เซ็นต์) และปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ (0.61 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ โดยในระหว่างกระบวนการหมักในช่วง 2 สัปดาห์แรก ค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนจะค่อยๆ ลดลง และเพิ่มขึ้น ในช่วงสัปดาห์ที่ 3-4 ถัดจากนั้นในสัปดาห์ที่ 6 จะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ย ปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนสูงที่สุดคือ 1.2 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (1.2 เปอร์เซ็นต์) ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ (0.73 เปอร์เซ็นต์) และปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ (0.64 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ

2.3. ไนโตรเจน



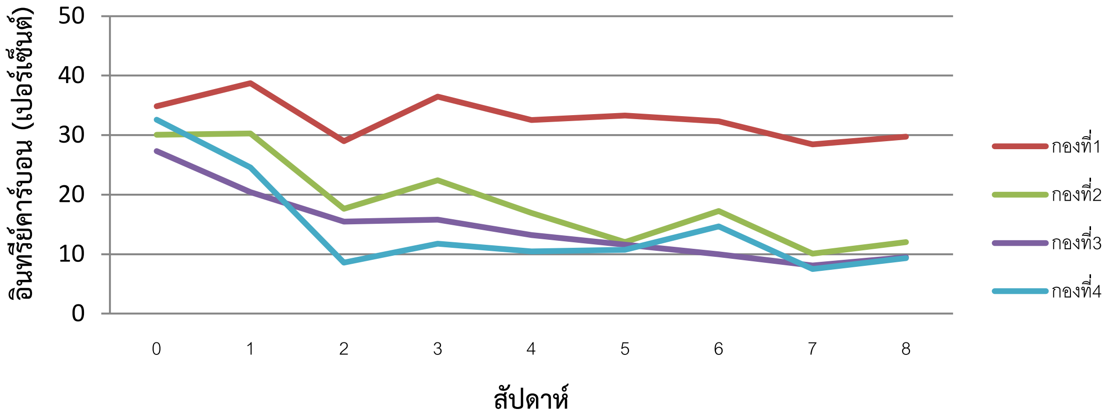
ภาพที่ 1.7 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดของวัสดุปุ๋ยหมัก ตลอดระยะเวลาการหมัก
หมายเหตุ กองที่ 1 สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน กองที่ 2 สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1
กองที่ 3 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ

จากการทดลองจะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดหนึ่งถึงสองสัปดาห์แรก จะมีค่าลดลง (ภาพที่ 1.7) ไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมาถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ (Azeez and Avebeke, 2010) เนื่องจากไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบของเซลล์จุลินทรีย์ที่ส่วนใหญ่เป็นพวกโปรตีนและกรดนิวคลีอิก หลังจากนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์จะเปลี่ยนรูปเป็น NH_3 โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่ง NH_3 ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเปลี่ยนเป็น NH_4^+ ทันที และ NH_4^+ ที่เกิดจากปฏิกิริยาแอมโมนิฟิเคชั่น (Fang *et al.*, 1999) ก็จะเปลี่ยนรูปเป็น NO_3^- ซึ่งต้องอาศัยออกซิเจนในการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นในการทดลองจะเห็นได้ว่าปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน และปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่ากองปุ๋ยอื่น เนื่องจากวัสดุในกองปุ๋ยมีส่วนประกอบของยูเรียและมูลสัตว์ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนสูงหลังจากนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน

ทั้งหมดจะลดลงจนสิ้นสุดกระบวนการหมัก เนื่องจากการระเหยและการเปลี่ยนรูปของ NH_4^+ และ NO_3^- ไปเป็นสารประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ (Hung *et al*., 2004)

จากการทดลอง วัสดุเริ่มต้นที่ใช้ในกระบวนการหมักปุ๋ยคือ ฟาง มูลสัตว์ หญ้า ข้าวโพด และดินขุยไผ่ ซึ่งจะมีค่าอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 36.81, 14.68, 32.87, 38.60 และ 5.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเริ่มเข้าสู่กระบวนการหมักปุ๋ยพบว่าปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน มีค่าอินทรีย์คาร์บอนสูงสุด คือ 34.85 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ (32.58 เปอร์เซ็นต์) ปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (30.57 เปอร์เซ็นต์) และปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ (30.07 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ โดยในระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ยค่าอินทรีย์คาร์บอนจะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 2 สัปดาห์แรก ค่าอินทรีย์คาร์บอนจะค่อยๆ ลดลง และจะสูงขึ้นเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์ที่ 3 หลังจากนั้นค่าอินทรีย์คาร์บอนจะค่อยๆ ลดลงเล็กน้อยจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการหมัก พบว่าปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน มีค่าอินทรีย์คาร์บอนสูงที่สุด คือ 29.71 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ และปุ๋ยกองสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ ตามลำดับ โดยปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่และปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำมีค่าอินทรีย์คาร์บอนไม่ต่างกันมากนักคือ 12.04, 9.51 และ 9.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 1.8)

2.4. อินทรีย์คาร์บอน



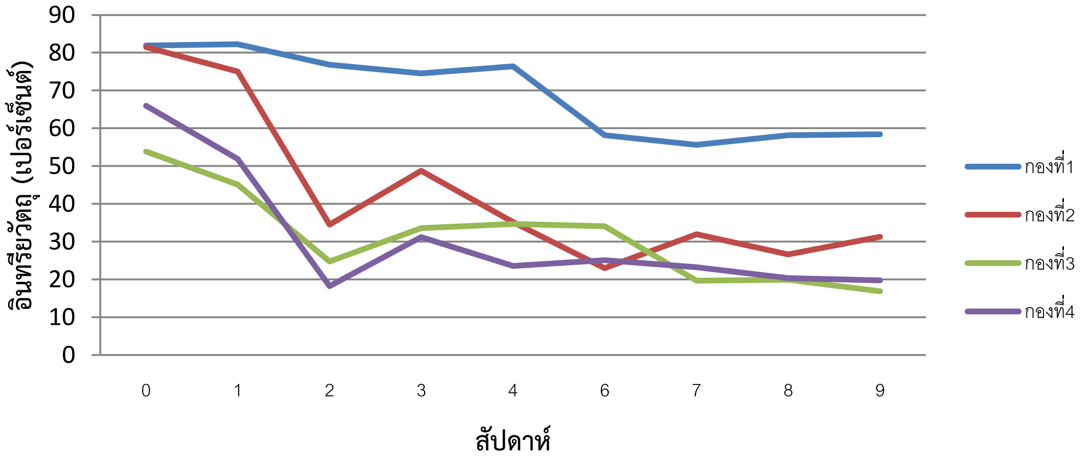
ภาพที่ 1.8 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดของวัสดุปุ๋ยหมัก ตลอดระยะเวลาการหมัก

หมายเหตุ	กองที่ 1 สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน	กองที่ 2 สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1
	กองที่ 3 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่	กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ

จากการทดลองพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุทั้งหมดของทุกกองปุ๋ยมีการลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วง 1-2 สัปดาห์แรก (ภาพที่ 1.9) อาจเป็นเพราะการสูญเสียในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซรูปต่างๆ สู่บรรยากาศ สารอินทรีย์คาร์บอนจะถูกจุลินทรีย์ใช้เป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโต และถูกปลดปล่อยโดยการหายใจ (Benito *et al*., 2003) หลังจากนั้นสารอินทรีย์คาร์บอนจะมีการเพิ่มเล็กน้อยจนสิ้นสุดระยะเวลาการหมักปุ๋ย เพราะมีการลดลงของแหล่งคาร์บอนในกองปุ๋ยหมักและการสร้างสารประกอบและสารอินทรีย์อื่นๆ ในกระบวนการหมักปุ๋ย (Pullicino *et al*., 2007)

จากการทดลอง วัสดุเริ่มต้นที่ใช้ในกระบวนการหมักปุ๋ย คือ ฟาง มูลสัตว์ หญ้า ข้าวโพด และดินขุยไผ่ ซึ่งจะมีค่าอินทรียวัตถุ เท่ากับ 89.05, 38.72, 87.79, 79.72 และ 22.42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเมื่อเริ่มเข้าสู่กระบวนการหมักปุ๋ยพบว่าปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน มีค่าอินทรียวัตถุสูงที่สุดคือ 81.87 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (81.53 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งไม่ค่อยแตกต่างจากปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน (81.52 เปอร์เซ็นต์) มากคือ ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ (65.99 เปอร์เซ็นต์) และปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ (53.85 เปอร์เซ็นต์) มีเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุต่ำกว่า โดยในระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ยจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการค่าอินทรียวัตถุมีการเปลี่ยนแปลงไม่จากเดิมคือค่อยๆ ลดลงเรื่อย อินทรียวัตถุของปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน (58.41 เปอร์เซ็นต์) มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (31.24 เปอร์เซ็นต์) ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ (19.77 เปอร์เซ็นต์) และปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ (16.86 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ

2.5. อินทรียวัตถุ (organic matter: OM)



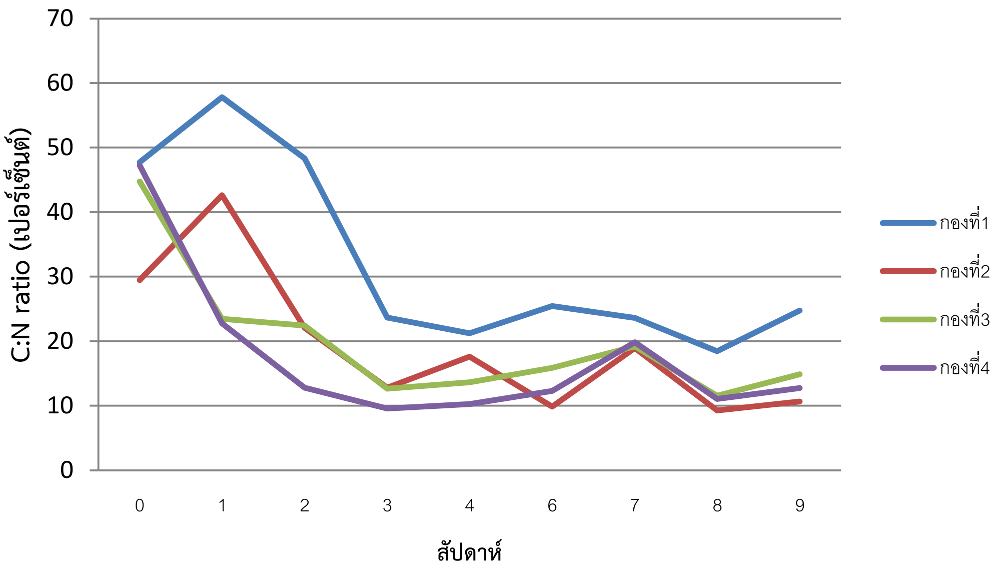
ภาพที่ 1.9 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุทั้งหมดของวัสดุปุ๋ยหมัก ตลอดระยะเวลาการหมัก
หมายเหตุ กองที่ 1 สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน กองที่ 2 สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1
กองที่ 3 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าอินทรียวัตถุคล้ายกับค่าอินทรีย์คาร์บอน (ภาพที่ 1.8 และ 1.9) เนื่องจากคาร์บอนคือ องค์ประกอบหลักของอินทรียวัตถุ จากผลการทดลองการเริ่มต้นกระบวนการหมักปุ๋ยจะมีค่าอินทรียวัตถุสูง เนื่องจากอินทรียวัตถุยังไม่ได้ถูกย่อยสลายให้กลายเป็นฮิวมัส ซึ่งอินทรียวัตถุจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิ คือ ในช่วงแรกมีการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์สูง ซึ่งการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ก่อให้เกิดความร้อน ซึ่งอินทรียวัตถุส่วนใหญ่คือ เซลลูโลส ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช และในช่วงแรกของกระบวนการหมักปุ๋ยก็จะมีอุณหภูมิสูง (ภาพที่ 1.2-1.5) เช่นเดียวกับปริมาณอินทรียวัตถุที่จะสูงในช่วงแรกของกระบวนการหมักปุ๋ย ทำให้มีการย่อยสลายเร็วเป็นผลให้ให้ช่วงแรกเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งใกล้สิ้นสุดกระบวนการหมักจะค่อยๆ ลดลงในขณะเดียวกันอุณหภูมิในช่วงท้ายของการหมักลดลงเช่นกัน เป็นการบ่งชี้ว่าการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลสก็ลดลงเช่นกัน (ยงยุทธ, 2551) ซึ่งอินทรียวัตถุมีประโยชน์ต่อพืชในด้าน

แหล่งเก็บธาตุอาหารแก่พืช ซึ่งประกอบไปด้วยฮิวมัสก็เป็นประโยชน์ต่อพืชในด้านการเปลี่ยนธาตุอาหารในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ในอยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ได้ (Johnsgradnson, 2558a)

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นของกองปุ๋ยหมักสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน และสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ มีค่าใกล้เคียงกันคือ 44.75:1 และ 47.22:1 ตามลำดับ ในขณะที่ปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำที่สุดคือ 29.48:1 ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 ปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน และปุ๋ยสูตรตามแบบวิวรรมแม่โจ้ 1 มีค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 2-9 ค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนลดลงเรื่อยๆ จนสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ย ค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนค่อนข้างที่จะคงที่ โดยปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน มีค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนมากที่สุดคือ 24.76:1 รองลงมาคือปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ (14.86:1) ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ (12.75:1) และปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (10.65:1) ตามลำดับ (ภาพที่ 1.10)

2.6. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)



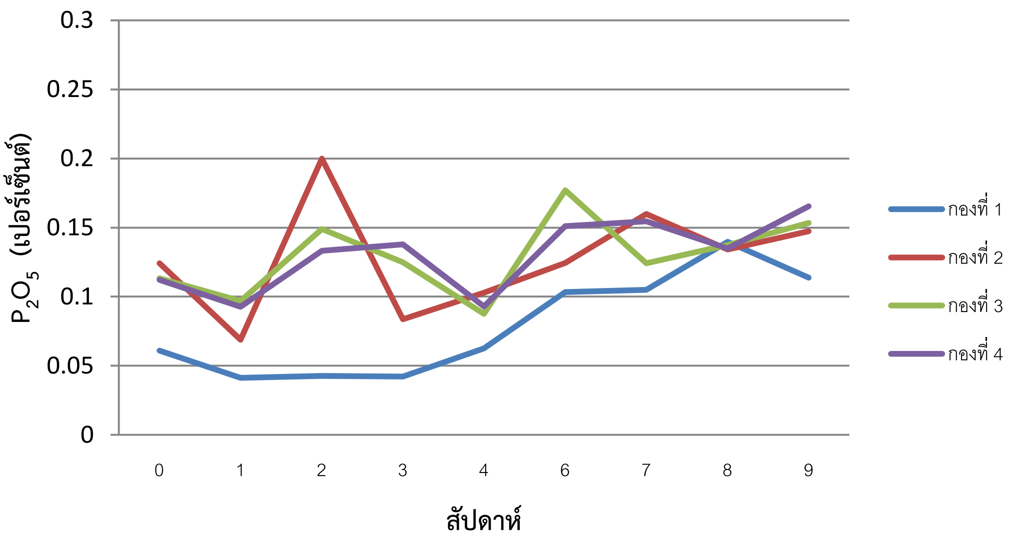
ภาพที่ 1.10 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุปุ๋ยหมัก ตลอดระยะเวลาการหมัก

หมายเหตุ กองที่ 1 สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน กองที่ 2 สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1
กองที่ 3 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ

7. ฟอสฟอรัสในรูป pyrophosphate (P_2O_5)

จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจนเสร็จสิ้นกระบวนการหมักปุ๋ย ซึ่งปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1, สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่, สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ เป็นไปตามเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตรและกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ 1.1) ปุ๋ยหมักที่แปรสภาพดีแล้วจะมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ต่ำกว่า 20:1 (Golueke, 1977) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของกองปุ๋ย อินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดมีความสำคัญต่อกระบวนการหมักอย่างยิ่ง เนื่องจากอินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณ ส่วนไนโตรเจนก็

เป็นธาตุอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการในปริมาณมาก เนื่องจากส่วนประกอบของเซลล์จุลินทรีย์ในระยะเริ่มต้นของกระบวนการหมักปุ๋ยทุกกองนั้น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจะมีการลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีสารอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายง่ายอยู่มาก อินทรีย์สารที่ย่อยสลายจะแปรสภาพเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาการหมักเพิ่มขึ้นปริมาณคาร์บอนในวัสดุจะลดลง ในขณะที่ไนโตรเจนยังไม่มีการสูญเสียไปในรูปของก๊าซมากนั้นมีเพียงการที่จุลินทรีย์นำมาใช้สร้างเซลล์ใหม่และจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่สามารถดึงไนโตรเจนในอากาศมาใช้ประโยชน์ได้ (ยงยุทธ, 2551)



ภาพที่ 1.11 แสดงการเปลี่ยนของเปอร์เซ็นต์ของ P_2O_5 ในวัสดุปุ๋ยหมัก ตลอดระยะเวลาการหมัก
หมายเหตุ กองที่ 1 สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน กองที่ 2 สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1
กองที่ 3 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ

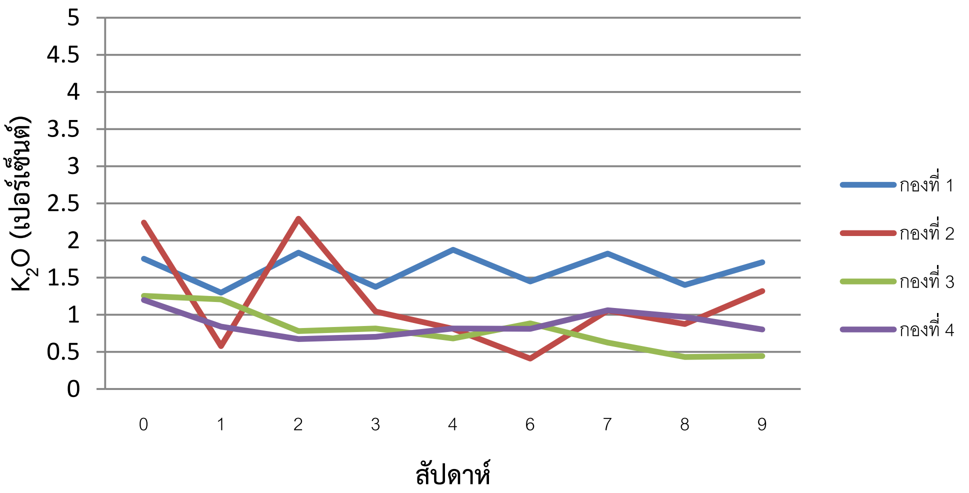
จากการทดลอง วัสดุที่ใช้ในกองปุ๋ยหมักคือ ฟาง มูลสัตว์ หญ้า ข้าวโพด และดินขุยไผ่ ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ของ P_2O_5 เท่ากับ 0.15, 0.11, 0.03, 0.08 และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1.2) ในกระบวนการหมักปุ๋ยจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ของ P_2O_5 ในกองปุ๋ยแต่ละกองไม่แตกต่างกัน และไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ค่อนข้างจะคงที่ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ย พบว่าปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่หมักโดยให้ขาดน้ำ มีเปอร์เซ็นต์ของ P_2O_5 สูงที่สุด คือ 0.17 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ (0.15 เปอร์เซ็นต์) ปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (0.15 เปอร์เซ็นต์) และปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน (0.11 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ (ตารางที่ 1.3)

จากการทดลองพบว่า เปอร์เซ็นต์ของ P_2O_5 มีแนวโน้มเช่นเดียวกับไนโตรเจนทั้งหมดเปอร์เซ็นต์ของ P_2O_5 นั้น จะขึ้นอยู่กับวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของกองปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน ที่มีค่าต่ำสุด เนื่องจากมีวัสดุที่ให้ธาตุฟอสฟอรัสน้อยกว่ากองปุ๋ยอื่นๆ แต่เปอร์เซ็นต์ของ P_2O_5 ในแต่ละกองปุ๋ยไม่แตกต่างกันมากระยะเริ่มต้นของกระบวนการหมักปุ๋ยจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสของทุกกอง มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย (ภาพที่ 1.11) อาจเป็นไปได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนองค์ประกอบทั้งหมด เมื่อเวลาการหมักผ่านไปส่วน

ของอินทรียวัตถุถูกย่อยสลายหายไป ในขณะที่ปริมาณแร่ธาตุยังคงเดิมเมื่อเทียบต่อน้ำหนักทั้งหมดจึงพบว่า มีเปอร์เซ็นต์ P_2O_5 สูงขึ้น (Gagnon and Simard, 1999)

2.8. โพแทสเซียมในรูปโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)

จากการทดลอง วัสดุที่ใช้ในกองปุ๋ยหมักคือ ฟาง มูลสัตว์ หญ้า ข้าวโพด และดินขุยไผ่ ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ของ K_2O เท่ากับ 1.17, 2.91, 0.03, 0.08 และ 0.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1.2) ในกระบวนการหมักปุ๋ยจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ของ K_2O ในกองปุ๋ยแต่ละกองไม่แตกต่างกัน และเกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ทุกสัปดาห์ ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มของค่า เปอร์เซ็นต์ของ K_2O_2 ลดลงเพียงเล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ย พบว่าปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน มีเปอร์เซ็นต์ของ P_2O_5 สูงที่สุด คือ 1.70 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (1.32 เปอร์เซ็นต์) ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ (0.88 เปอร์เซ็นต์) และปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ (0.45 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ (ตารางที่ 1.2 และ ภาพที่ 1.12)



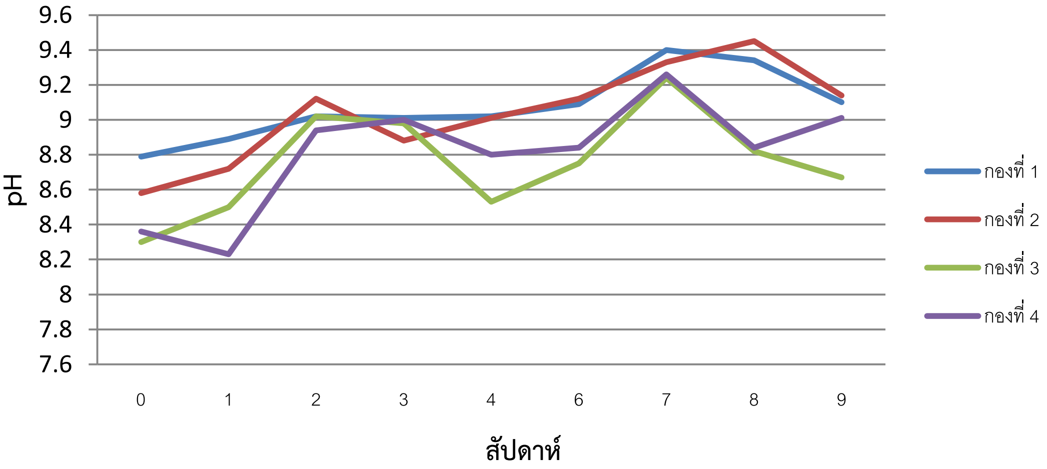
ภาพที่ 1.12 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ K_2O ในวัสดุปุ๋ยหมัก ตลอดระยะเวลาการหมัก
หมายเหตุ กองที่ 1 สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน กองที่ 2 สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1
กองที่ 3 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ

จากการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์ของ K_2O ในกองปุ๋ยแต่ละกองเป็นไปตามเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตรและกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ 1.3) เปอร์เซ็นต์ของ K_2O กองปุ๋ยเป็นไปตามวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของกอง ในกองปุ๋ยที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์ของ K_2O สูงสุด เนื่องจากวัสดุที่เป็นองค์ประกอบในกองมีเปอร์เซ็นต์ของ K_2O สูงกว่ากองปุ๋ยอื่นๆ การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ของ K_2O ในแต่ละกองปุ๋ยตลอดระยะเวลาการหมักจนเสร็จสิ้นกระบวนการหมักมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก โพแทสซียมที่ได้จากวัสดุจะอยู่ในเซลล์รูปไอออน และถูกชะล้างจากเนื้อเยื่อ (ยงยุทธ, 2551) และโพแทสเซียมอาจสูญหายได้จากการชะล้างของโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ ในกรณีที่น้ำในกองปุ๋ยมีมากเกินไป (Rawat and Suthar, 2014)

2.9. pH

จากการทดลอง การหมักปุ๋ยนั้นวัสดุที่ใช้ในแต่ละกองจะกอบด้วย ฟางข้าว มูลสัตว์ หญ้า ข้าวโพด และดินขุยไผ่ ซึ่งมีค่า pH เท่ากับ 6.44, 9.32, 10.08, 3.95 และ 8.10 ตามลำดับ (ตารางที่ 1.2) โดยในระยะเริ่มต้น ปุ๋ย

สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน มีค่า pH สูงสุด เท่ากับ 8.79 รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 เท่ากับ 8.58 ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำเท่ากับ 8.36 และปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ เท่ากับ 8.30 ตามลำดับ โดยระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย ค่า pH จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ย ปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีค่า pH สูงสุด เท่ากับ 9.14 รองลงมา คือ ปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน เท่ากับ 9.10 ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ เท่ากับ 9.01 และปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ เท่ากับ 8.67 ตามลำดับ ((ตารางที่ 1.3 และ ภาพที่ 1.13)



ภาพที่ 1.13 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในกองปุ๋ยหมัก ในแต่ละสัปดาห์ของกองปุ๋ยหมัก

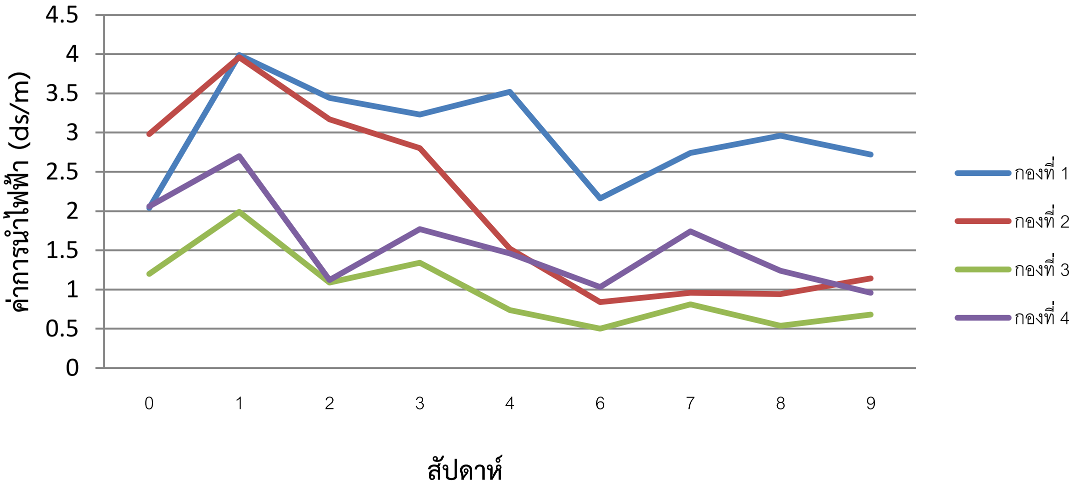
หมายเหตุ กองที่ 1 สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน กองที่ 2 สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1
กองที่ 3 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าในช่วงระยะแรกของการหมักปุ๋ย ปุ๋ยทุกกองจะมีค่า pH ที่ต่ำกว่าช่วงอื่น ซึ่งเป็นค่า pH ที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เมื่อมีการย่อยสลายวัสดุ pH ก็จะค่อยๆ เปลี่ยนแปลง การมี pH ที่ต่ำลงในช่วงแรกนั้น เนื่องจากจุลินทรีย์มีการย่อยสลายวัสดุจำพวกคาร์บอไฮเดรตแล้วเกิดกรดอินทรีย์ออกมา (Jang *et al*., 2002) รวมทั้งการแปรสภาพของแอมโมเนียไปเป็นไนไทรต์ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชั่นที่มีการปลดปล่อย H^+ โดย Nitrifying bacteria (Eklind and Kirchmann, 2000) เมื่อ H^+ เพิ่มขึ้น pH จึงต่ำ และการที่ pH เพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากกรดอินทรีย์เปลี่ยนเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ pH ของกองปุ๋ยจึงเพิ่มขึ้น (ยงยุทธ, 2551) ซึ่งช่วง pH ที่เหมาะสมที่สุดของกองปุ๋ยหมักควรจะอยู่ในช่วง 5.5-8.5 (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

2.10 ค่าการนำไฟฟ้า

จากการทดลองการหมักปุ๋ยนั้นวัสดุที่ใช้ในแต่ละกองจะกอบด้วย ฟางข้าว มูลสัตว์ หญ้า ข้าวโพด และดินขุยไผ่ ซึ่งมีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 3.42, 0.24, 4.00, 4.00 และ 3.46 ds/m ตามลำดับ (ตารางที่ 1.2) โดยในแต่ละกองปุ๋ย จะมีส่วนประกอบของวัสดุที่แตกต่างกัน กองปุ๋ยตามสูตรของกรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วยประกอบด้วย ฟางข้าว มูลสัตว์ ปุ๋ยยูเรีย และ พ.ด.1 การตั้งกองปุ๋ยจะเป็นทรงลูกบาศก์ กองปุ๋ยตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ประกอบด้วย ฟางข้าวและมูลสัตว์ สัดส่วน 4:1 โดยปริมาตร) การตั้งกองปุ๋ยจะเป็นทรงปริซึมสามเหลี่ยม กองปุ๋ย

สูตรทดแทนมูลวัวด้วยดินขุยไผ่ ประกอบด้วย ฟางข้าว มูลสัตว์ เศษพืชสด และดินขุยไผ่ การตั้งกองปุ๋ยจะเป็นทรงปริซึมสามเหลี่ยม โดยเปรียบเทียบระหว่างกองปุ๋ยที่มีการให้น้ำตามปกติ และลดการให้น้ำเหลือเพียงการให้น้ำทุกๆ 3 วัน ในระยะเริ่มต้นปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 2.98 ds/m รองลงคือปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน เท่ากับ 2.06 ds/m ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ เท่ากับ 2.04 ds/m และปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ เท่ากับ 1.2 ds/m ตามลำดับ โดยในกระบวนการหมักปุ๋ยนั้นค่าการนำไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักค่าการนำไฟฟ้าในปุ๋ยตามสูตรของกรมพัฒนาที่ดิน เท่ากับ 2.72 ds/m มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 เท่ากับ 1.14 ds/m ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ เท่ากับ 0.96 ds/m และปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ เท่ากับ 0.68 ds/m



ภาพที่ 1.14 การเปลี่ยนค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุปุ๋ยหมัก ตลอดระยะเวลาการหมัก
หมายเหตุ กองที่ 1 สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน กองที่ 2 สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1
กองที่ 3 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าการนำไฟฟ้าของทุกกองปุ๋ยที่มีค่าตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2551 ไม่เกิน 10 ds/m ในระยะเริ่มต้นของกระบวนการหมักนั้นมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการปลดปล่อยเกลือ เช่น ฟอสเฟต และแอมโมเนียมไอออน จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ (Huang *et al*., 2004) และเมื่อระยะเวลาผ่านไปตลอดจนกระบวนการหมักเสร็จสิ้นค่าการนำไฟฟ้าจะลดลง เนื่องจากมีการระเหยของแอมโมเนียและการตกตะกอนของเกลือ (Wong *et al*,. 1995) ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยตามสูตรของกรมพัฒนาที่ดินสูงกว่ากองปุ๋ยอื่นๆ นั้น อาจมาจากองค์ประกอบในกองปุ๋ยที่ทำให้มีการปล่อยปลดแร่ธาตุมาก ทำให้มีค่าการนำไฟฟ้าสูง ค่าการนำไฟฟ้าจะเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพของปุ๋ยที่มีผลโดยตรงกับการงอกของเมล็ดพืชและการเจริญเติบโตของพืช (Rawatand and Suthar, 2014)

2.11 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเมื่อปุ๋ยหมักอายุ 9 สัปดาห์

จากตารางที่ 1.3 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกองปุ๋ยหมักทั้ง 4 กอง มีค่าอยู่ในช่วง 51.44 – 72.27 เปอร์เซ็นต์ จึงต้องนำกองปุ๋ยมาผึ่งให้ความชื้นลดลงจนถึงเกณฑ์ที่กำหนดจึงสามารถนำไปใช้ได้ ผลการ

ตารางที่ 1.3 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยหมักแต่ละกอง เมื่อกองปุ๋ยหมักอายุ 63 วัน เปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักที่รายงานโดยกรมพัฒนาที่ดิน และกรมวิชาการเกษตร

ปุ๋ยหมัก	กรมพัฒนาที่ดิน	กรมวิชาการเกษตร	กองที่ 1	กองที่ 2	กองที่ 3	กองที่ 4
เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 30	72.27	61.87	51.49	52.44
เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด	ไม่น้อยกว่า 1.0	ไม่น้อยกว่า 1.0	1.20	1.13	0.64	0.73
เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน	-	-	29.71	12.04	9.51	9.31
เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ	25-50	ไม่ต่ำกว่า 20	58.41	31.24	16.86	19.77
อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไม่เกิน 20:1	ไม่เกิน 20:1	24.76:1	10.65:1	14.86:1	12.75:1
เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส	ไม่น้อยกว่า 0.5	ไม่น้อยกว่า 0.5	0.12	0.15	0.15	0.17
เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียม	ไม่น้อยกว่า 0.5	ไม่น้อยกว่า 0.5	1.75	1.33	0.45	0.81
ค่า pH	5.5-8.5	5.5-8.5	9.10	9.14	8.67	9.01
ค่าการนำไฟฟ้า (ds/m)	ไม่เกิน 3.5	ไม่เกิน 10	2.72	1.14	0.68	0.96

หมายเหตุ : กองที่ 1 สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน กองที่ 2 สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1
กองที่ 3 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแสดงในตารางที่ 1.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดพบว่า กองปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดิน (1.20 เปอร์เซ็นต์) และสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (1.13 เปอร์เซ็นต์) มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดินและกรมวิชาการเกษตร มีค่าสูงกว่า สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ (0.64 เปอร์เซ็นต์) และสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ (0.73 เปอร์เซ็นต์) ค่าเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุพบว่า สูตรกรมพัฒนาที่ดิน (58.41 เปอร์เซ็นต์) มีค่าสูงกว่าสูตรอื่นๆ ค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนพบว่า สูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ และสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดินและกรมวิชาการเกษตร ส่วนสูตรกรมพัฒนาที่ดินมีค่าสูงกว่าเกณฑ์เล็กน้อย ซึ่งไม่มีผลเสียต่อพืชมากนัก ค่าเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสพบว่า กองปุ๋ยหมักทั้ง 4 สูตร ต่ำกว่าตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดินและกรมวิชาการเกษตร ค่าเปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมพบว่า สูตรกรมพัฒนาที่ดินมีค่าสูงกว่าสูตรอื่นๆ และเป็นไปตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดินและกรมวิชาการเกษตร ค่า pH พบว่า กองปุ๋ยหมักทั้ง 4 สูตร มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดินและกรมวิชาการเกษตรเล็กน้อย (ไม่เกิน 0.64 เปอร์เซ็นต์) ส่วนค่าการนำไฟฟ้าพบว่า กองปุ๋ยหมักทั้ง 4 สูตร เป็นไปตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดินและกรมวิชาการเกษตร สำหรับปุ๋ยหมักสูตรที่ทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ ที่มีการทดแทนฟางด้วยเศษพืชสดและเศษต้นข้าวโพด จะมีแร่ธาตุหลักทั้ง 3 (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ต่ำกว่าเกณฑ์ แต่

ลักษณะเด่นของปุ๋ยนี้คือ มีค่าอินทรียวัตถุสูง ซึ่งบทบาทของปุ๋ยหมักคือการช่วยเสริมอินทรียวัตถุให้แก่ดิน ซึ่งช่วยปรับปรุงด้านโครงสร้างของดิน อีกทั้งการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ เป็นการจัดการเศษเหลือทางการเกษตร และทรัพยากรธรรมชาติอย่างดี

ภาพที่ 1.15 ลักษณะกองปุ๋ยสูตรตามสูตรกรมวิชาการเกษตรมีลักษณะ ยุ่ย อ่อนนุ่ม เปียกชื้น เป็นก้อนๆ จับตัวกัน สีน้ำตาลเข้ม

ภาพที่ 1.16 ลักษณะกองปุ๋ยตามสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีลักษณะ ยุ่ย ร่วนซุย คล้ายดินสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ

ภาพที่ 1.17 ลักษณะกองปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ที่ให้น้ำตามปกติมีลักษณะ ยุ่ย ร่วนซุย คล้ายดิน สีน้ำตาลเข้มจนถึงดำและยังมีเศษฟางหลงเหลือบางส่วน

ภาพที่ 1.18 ลักษณะกองปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่และดูแลกองปุ๋ยด้วยการให้น้ำต่ำกว่าปกติ มีลักษณะ ยุ่ย ร่วนซุย คล้ายดิน สีน้ำตาลเข้มจนถึงดำเศษฟางหลงเหลือบางส่วน

2.12. ผลของปุ๋ยหมักที่อายุหมัก 7 สัปดาห์ และอายุ 9 สัปดาห์ ต่อข้าวไร่ และผักบุ้ง

2.12.1 ผลของปุ๋ยหมักที่อายุ 7 สัปดาห์ ต่อข้าวไร่ และผักบุ้ง

จากการทดลองพบว่าปัจจัยปุ๋ยหมักแต่ละกองส่งผลให้ความไวในการงอกของข้าวไร่ไม่แตกต่างกัน ส่วนปัจจัยการฆ่าเชื้อหรือไม่ฆ่าเชื้อนั้นส่งผลให้ความไวในการงอกของข้าวไร่นาสารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ซึ่งการฆ่าเชื้อ (29.34 เปอร์เซ็นต์) ทำให้ความไวในการงอกได้ดีกว่า การไม่ฆ่าเชื้อ (26.01 เปอร์เซ็นต์) ส่วนปัจจัยวิธีการให้ปุ๋ยกับข้าวไร่พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ซึ่งวิธีที่ให้ผลดีที่สุดคือ วิธีการแช่ (29.74 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาคือ วิธีการพ่น (27.45 เปอร์เซ็นต์) และวิธีการปิเปต (25.38 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งให้ผลไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 1.4)

จากการทดลองพบว่าปัจจัยปุ๋ยหมักแต่ละกอง ปัจจัยการฆ่าเชื้อหรือไม่ฆ่าเชื้อนั้น ไม่แตกต่างกัน ส่วนปัจจัยวิธีการให้ปุ๋ยนั้นส่งผลให้ความยาวรากของข้าวไร่นาสารมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ซึ่งวิธีการแช่ให้ความยาวรากดีที่สุด (6.09 เซนติเมตร) รองลงมาคือ วิธีการพ่น (5.40 เซนติเมตร) และวิธีการปิเปต (5.19 เซนติเมตร) ซึ่งให้ผลไม่ต่างกัน (ตารางที่ 1.5)

จากการทดลองพบว่าปัจจัยปุ๋ยหมักแต่ละกองส่งผลให้คะแนนความยากรากของข้าวไร่นาสารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ และสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำให้ผลดีที่สุดคือ 3.39 และ 3.79 คะแนน ตามลำดับ รองลงมาคือ สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน (2.92) และสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (2.84 คะแนน) ส่วนปัจจัยการฆ่าเชื้อหรือไม่ฆ่าเชื้อนั้นไม่แตกต่างกัน ส่วนปัจจัยวิธีการให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยวิธีการแช่ให้ผลดีที่สุด คือ 3.50 คะแนน ส่วนวิธีปิเปตนั้นไม่แตกต่างกันวิธีการแช่ และการพ่น (3.24 คะแนน) วิธีการพ่นให้ผลน้อยที่สุด (3.00 คะแนน) สำหรับปัจจัยร่วมนั้นมีปัจจัยกองปุ๋ยและการฆ่าเชื้อร่วมกันปรากฏว่าให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ซึ่งปัจจัยร่วมที่ดีที่สุดคือ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำกับ ฆ่าเชื้อ และไม่ฆ่าเชื้อ (3.92 และ 3.79 คะแนน) และสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่กับการฆ่าเชื้อ (3.79 คะแนน) (ตารางที่ 1.6)

สรุปได้ว่ารูปแบบการให้ข้าวไร่ได้สัมผัสกับปุ๋ยแตกต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโต ซึ่งการปิเปตหรือการแช่เมล็ดในน้ำสกัดเป็นการเปิดโอกาสให้พืชมีการสัมผัสกับเนื้อปุ๋ยมากที่สุด แสดงว่าในปุ๋ยอาจมีสารอาหารที่เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของข้าวไร่ รวมทั้งการนำน้ำสกัดปุ๋ยไปกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ออกโดยการนึ่งที่ความดันและอุณหภูมิสูง พบว่าปุ๋ยที่ระยะการหมัก 7 สัปดาห์ ยังคงมีจุลินทรีย์ที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของข้าวไร่

จากการทดลองพบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่ทำให้ความไวในการงอกของผักบุ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1.7)

จากการทดลองพบว่าปัจจัยกองปุ๋ยหมักกับปัจจัยการฆ่าเชื้อต่อความยาวรากของผักบุ้งไม่แตกต่างกัน ส่วนปัจจัยวิธีการส่งผลให้ความยาวรากของผักบุ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) ซึ่งวิธีการปิเปตให้ผลดีที่สุด 5.95 เซนติเมตร รองลงมา การพ่น (4.36 เซนติเมตร) และการแช่ (4.57 เซนติเมตร) สำหรับปัจจัยร่วมนั้นมีปัจจัยกองปุ๋ยร่วมกับปัจจัยวิธีการที่ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งปัจจัยที่ดีที่สุดคือ กองที่ 3 ร่วมกับ วิธีการ ปิเปต (6.96 เซนติเมตร) (ตารางที่ 1.8)

จากการทดลองพบว่าปัจจัยกองปุ๋ยหมักส่งผลให้คะแนนรากแขนงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ซึ่งกองปุ๋ยหมักที่ดีที่สุดคือ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ (3.76 คะแนน) สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ (3.76 คะแนน) และกองที่ 2 (3.56 คะแนน) ส่วนปัจจัยการฆ่าเชื้อให้ผลแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งการฆ่าเชื้อ (3.64 คะแนน) มีคะแนนรากแขนงดีกว่า การไม่ฆ่าเชื้อ (3.39 คะแนน) ปัจจัยวิธีการให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งวิธีการปิเปต (3.72 คะแนน) เป็นวิธีที่ดีกว่า วิธีการพ่น (3.46 คะแนน) และวิธีการแช่ (3.37) สำหรับปัจจัยร่วมนั้นมีปัจจัยกองปุ๋ยร่วมกับปัจจัยการฆ่าเชื้อให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำร่วมกับการฆ่าเชื้อให้ผลดีที่สุด (3.88 คะแนน) และปัจจัยการฆ่าเชื้อร่วมกับปัจจัยวิธีการให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การไม่ฆ่าเชื้อร่วมกับปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ ให้ผลคะแนนรากแขนงของผักบุ้งดีที่สุด คือ 3.76 คะแนน (ตารางที่ 1.9)

สรุปรูปแบบการให้เมล็ดผักบุ้งได้สัมผัสกับปุ๋ยแตกต่างกัน มีผลต่อการเจริญเติบโต ซึ่งการปิเปตเป็นการเปิดโอกาสให้พืชมีการสัมผัสกับเนื้อปุ๋ยมากที่สุด แสดงว่าในปุ๋ยอาจมีสารอาหารที่เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้ง รวมทั้งการนำน้ำสกัดปุ๋ยไปกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ออกโดยการนึ่งที่ความดันและอุณหภูมิสูง พบว่าปุ๋ยที่ระยะการหมัก 7 สัปดาห์ ยังคงมีจุลินทรีย์ที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้ง

ตารางที่ 1.4 ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 7 สัปดาห์ ต่อเปอร์เซ็นต์ความไวในการงอก (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน; SD) ของข้าวไร่

กองปุ๋ย (A)	ฆ่าเชื้อ (B1) (%)			ไม่ฆ่าเชื้อ (B2) (%)			ค่าเฉลี่ยของกองปุ๋ย (%) (A×B×C)
	วิธีการปิเปต (C11)	วิธีการพ่น (C12)	วิธีการแช่ (C13)	วิธีการปิเปต (C21)	วิธีการพ่น (C22)	วิธีการแช่ (C23)	
กองที่ 1	27.95±1.87	26.80±0.54	33.16±2.55	24.01±4.53	24.14±1.94	28.17±2.22	27.37
กองที่ 2	32.48±2.05	25.22±2.22	28.40±4.60	26.84±5.14	24.30±3.99	28.30±4.40	27.59
กองที่ 3	28.46±3.61	27.82±2.82	30.65±2.45	25.80±4.59	24.06±3.20	27.10±3.18	27.32
กองที่ 4	27.57±1.41	30.70±3.19	32.90±6.72	26.46±4.38	23.63±3.54	29.18±2.78	28.41

ค่าเฉลี่ยของการฆ่าเชื้อ (B)	ฆ่าเชื้อ = 29.34^{A} ไม่ฆ่าเชื้อ= 26.01^{B}
ค่าเฉลี่ยของวิธีการ (C)	วิธีการปิเปต = 27.45^{B} วิธีการพ่น = 25.3819^{B} วิธีการแช่= 29.74^{A}
ค่าเฉลี่ยกลุ่มควบคุม	กลุ่มควบคุม-วิธีการปิเปต = 29.79 กลุ่มควบคุม-วิธีการพ่น = 25.48 กลุ่มควบคุม-วิธีการแช่ = 37.52 กลุ่มควบคุม = 30.93 กลุ่มควบคุม VS กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4 F – test =7.68 ** (p-value = 0.0069)

หมายเหตุ : $^{A, B, C}$ อักษรกำกับในแถวเดียวกันเหมือนกัน แสดงความไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05); กองที่ 1 คือ สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน; กองที่ 2 คือ สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1; กองที่ 3 คือ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่; กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ; กลุ่มควบคุม คือ น้ำ

cv (%) = 12.70; ค่าเฉลี่ยปุ๋ยกองที่ 1 กองที่ 2 กองที่ 3 และกองที่ 4 = 27.67%; (กลุ่มควบคุม – วิธีการปิเปต) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 1.29^{NS} (p-value = 0.2602); (กลุ่มควบคุม – วิธีการพ่น) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 1.96^{NS} (p-value = 0.1656); (กลุ่มควบคุม – วิธีการแช่) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 27.59 ** (p-value = <.0001);

วิเคราะห์แบบ 4×2×3 Factorial CRD โดยกองปุ๋ย 4 กอง, การฆ่าเชื้อ 2 วิธี, วิธีทำ 3 วิธี; F-test กองปุ๋ย = 0.49^{ns} (p-value = 0.6893); F-test การฆ่าเชื้อ = 21.68^{**} (p-value = <.0001) ฆ่าเชื้อ(A) ไม่ฆ่าเชื้อ(B); F-test วิธีการ = 9.97^{**} (p-value = 0.0002) วิธีการแช่(A) วิธีการปิเปต(B) วิธีการพ่น(B); F-test กองปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ = 0.31^{ns} (p-value = 0.8167); F-test กองปุ๋ย × วิธีการ= 1.44^{ns} (p-value = 0.2119); F-test การฆ่าเชื้อ × วิธีการ = 0.04^{ns} (p-value = 0.9567); F-test กองปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ × วิธีการ = 1.04^{ns} (p-value = 0.4065)

ตารางที่ 1.5 ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 7 สัปดาห์ ต่อความยาวราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่

กองปุ๋ย (A)	ฆ่าเชื้อ (B1) (เซนติเมตร)			ไม่ฆ่าเชื้อ (B2) (เซนติเมตร)			ค่าเฉลี่ยของกองปุ๋ย (A×B×C)
	วิธีการปิเปต (C11)	วิธีการพ่น (C12)	วิธีการแช่ (C13)	วิธีการปิเปต (C21)	วิธีการพ่น (C22)	วิธีการแช่ (C23)	
กองที่ 1	4.68±0.97	5.06±0.50	6.18±0.78	4.90±0.93	5.25±0.76	5.35±1.05	5.36
กองที่ 2	5.19±0.55	5.60±0.93	5.34±0.76	4.75±0.95	5.98±1.27	6.52±1.04	5.45
กองที่ 3	4.55±1.07	5.15±0.95	6.50±0.66	5.56±1.46	4.79±1.09	6.86±1.16	5.72
กองที่ 4	6.08±0.41	6.06±0.15	6.04±0.91	5.83±0.92	4.97±0.68	6.03±1.39	5.68

ค่าเฉลี่ยของการฆ่าเชื้อ (B)	ฆ่าเชื้อ = 5.40 ไม่ฆ่าเชื้อ= 5.70
ค่าเฉลี่ยของวิธีการ (C)	วิธีปิเปต = 5.19^{B} วิธีการพ่น = 5.40^{B} วิธีการแช่ = 6.09^{A}
ค่าเฉลี่ยกลุ่มควบคุม	กลุ่มควบคุม-วิธีการปิเปต = 5.50 กลุ่มควบคุม-วิธีการพ่น = 4.35 กลุ่มควบคุม-วิธีการแช่ = 7.38 กลุ่มควบคุม = 5.74
	กลุ่มควบคุม VS กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4 F – test = 0.47^{NS} (p-value = 0.4965)

หมายเหตุ : $^{A, B, C}$ อักษรกำกับในแถวเดียวกันเหมือนกัน แสดงว่าไม่แตกต่างทางกันสถิติ; กองที่ 1 คือ สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน; กองที่ 2 คือ สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1; กองที่ 3 คือ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่; กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ; กลุ่มควบคุม คือ น้ำ

cv (%) = 16.88 ค่าเฉลี่ยของปุ๋ยกองที่ 1 กองที่ 2 กองที่ 3 และกองที่ 4 = 5.57 เซนติเมตร; (กลุ่มควบคุม – วิธีการปิเปต) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 0.01^{NS} (p-value = 0.9170); (กลุ่มควบคุม – วิธีการพ่น) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 6.52^{NS} (p-value = 0.0125); (กลุ่มควบคุม – วิธีการแช่) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 15.12^{NS} (p-value = 0.0002);

วิเคราะห์แบบ 4×2×3 Factorial CRD โดยกองปุ๋ย 4 กอง, การฆ่าเชื้อ 2 วิธี, วิธีทำ 3 วิธี

F-test กองปุ๋ย = 0.85^{ns} (p-value = 0.4705); F-test การฆ่าเชื้อ = 2.48^{NS} (p-value = 0.1204); F-test วิธีการ = 8.51^{**} (p-value = 0.0005) วิธีการแช่(A) วิธีการพ่น(B) วิธีการปิเปต(B); F-test กองปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ = 0.31^{ns} (p-value = 0.3833); F-test กองปุ๋ย × วิธีการ= 1.44^{ns} (p-value = 0.2192); F-test การฆ่าเชื้อ × วิธีการ = 0.04^{ns} (p-value = 0.1458); F-test กองปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ × วิธีการ = 1.04^{ns} (p-value = 0.3921)

ตารางที่ 1.6 ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 7 สัปดาห์ ต่อคะแนนรากแขนง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่

กองปุ๋ย (A)	ฆ่าเชื้อ (B1)				ไม่ฆ่าเชื้อ (B2)				ค่าเฉลี่ยของกองปุ๋ย (A×B×C)
	วิธีการปิเปต (C11)	วิธีการพ่น (C12)	วิธีการแช่ (C13)	กองปุ๋ย*วิธีการ (A×C1)	วิธีการปิเปต (C21)	วิธีการพ่น (C22)	วิธีการแช่ (C23)	กองปุ๋ย* วิธีการ (A×C2)	
กองที่ 1	2.41±0.50	2.16±0.28	2.98±0.48	2.51 ± 0.53^{c}	1.88±1.07	3.12±0.52	3.45±0.78	3.32 ± 0.75^{ab}	2.92^{B}
กองที่ 2	2.78±0.36	2.19±0.50	3.04±0.60	2.67 ± 0.58^{c}	3.21±0.68	2.39±0.94	3.41±0.42	3.00 ± 0.79^{bc}	2.84^{B}
กองที่ 3	3.30±1.28	4.11±0.81	3.97±0.36	3.79 ± 0.89^{a}	3.30±0.88	2.60±0.59	3.08±0.61	2.99 ± 0.71^{bc}	3.39^{A}
กองที่ 4	3.67±0.54	4.21±0.36	3.90±0.91	3.92 ± 0.63^{a}	3.77±0.90	3.02±0.88	4.16±0.36	3.65 ± 0.84^{a}	3.79^{A}

ค่าเฉลี่ยของการฆ่าเชื้อ (B) ฆ่าเชื้อ = 3.24 ไม่ฆ่าเชื้อ= 3.22

ค่าเฉลี่ยของวิธีการ (C) วิธีปิเปต = 3.24^{AB} วิธีการพ่น = 3.00^{B} วิธีการแช่ = 3.50^{A}

ค่าเฉลี่ยกลุ่มควบคุม กลุ่มควบคุม-วิธีการปิเปต = 2.99 กลุ่มควบคุม-วิธีการพ่น = 2.31 กลุ่มควบคุม-วิธีการแช่ = 3.35 กลุ่มควบคุม = 2.88

กลุ่มควบคุม VS กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4 F–test = 2.71^{NS} (p-value = 0.1036)

หมายเหตุ : $^{A, B, C}$ อักษรกำกับในแถวหรือคมลัมล์เดียวกันเหมือนกัน แสดงว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ^{a,b,c} ในตารางเหมือนกัน แสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ; กองที่ 1 คือ สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน; กองที่ 2 คือ สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1; กองที่ 3 คือ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่; กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ; กลุ่มควบคุม คือ น้ำกลุ่มควบคุม คือ น้ำ cv (%) = 21.62 ค่าเฉลี่ยของปุ๋ยกองที่ 1 กองที่ 2 กองที่ 3 และกองที่ 4 = 3.23; (กลุ่มควบคุม – วิธีการปิเปต) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 0.48^{NS} (p-value = 0.4901); (กลุ่มควบคุม – วิธีการพ่น) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 0.68^{NS} (p-value = 0.0110); (กลุ่มควบคุม – วิธีการแช่) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 0.1^{NS} (p-value = 0.7410);

วิเคราะห์แบบ 4×2×3 Factorial CRD โดยกองปุ๋ย 4 กอง, การฆ่าเชื้อ 2 วิธี, วิธีทำ 3 วิธี

F-test กองปุ๋ย = 9.68^{**} (p-value = <0.0001) กองที่ 4(A) กองที่ 3(A) กองที่ 1(B) กองที่ 2(B); F-test การฆ่าเชื้อ = 0.01^{NS} (p-value = 0.9073); F-testวิธีการ = 4.14^{**} (p-value = 0.0199) วิธีการแช่ (A) วิธีการปิเปต (AB) วิธีการพ่น (B); F-test กองปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ = 6.04^{**} (p-value = 0.0010); F-test กองปุ๋ย × วิธีการ= 0.62^{ns} (p-value = 0.7129); F-test การฆ่าเชื้อ × วิธีการ = 1.81^{ns} (p-value = 0.1711); F-test กองปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ × วิธีการ = 1.23^{ns} (p-value = 0.3008)

ตารางที่ 1.7 ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 7 สัปดาห์ ต่อความไวในการงอก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง

กองปุ๋ย (A)	ฆ่าเชื้อ (B1) (%)			ไม่ฆ่าเชื้อ (B2) (%)			ค่าเฉลี่ยกองปุ๋ย (A×B×C) (%)
	วิธีการปิเปต (C11)	วิธีการพ่น (C12)	วิธีการแช่ (C13)	วิธีการปิเปต (C21)	วิธีการพ่น (C22)	วิธีการแช่ (C23)	
กองที่ 1	33.27±1.79	31.93±3.89	36.98±8.01	33.67±5.12	30.15±6.52	31.26±5.29	32.88
กองที่ 2	32.18±3.76	31.17±2.60	31.44±4.72	33.17±6.00	28.37±0.67	33.82±10.97	31.69
กองที่ 3	41.18±4.87	31.23±2.23	32.35±0.68	32.82±3.11	33.44±3.98	30.29±4.81	33.55
กองที่ 4	30.09±0.83	32.62±5.12	34.83±4.97	32.19±3.71	33.66±1.60	33.20±6.27	32.76

ค่าเฉลี่ยการฆ่าเชื้อ (B) ฆ่าเชื้อ = 33.27 ไม่ฆ่าเชื้อ = 32.17

ค่าเฉลี่ยวิธีการ (C) วิธีการปิเปต = 33.57 วิธีการพ่น =31.57 วิธีการแช่ = 33.02

ค่าเฉลี่ยกลุ่มควบคุม กลุ่มควบคุม-วิธีการปิเปต = 34.88 กลุ่มควบคุม-วิธีการพ่น = 30.79 กลุ่มควบคุม-วิธีการแช่ = 35.38 กลุ่มควบคุม = 33.68

กลุ่มควบคุม VS กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4 F – test = 0.40^{NS} (p-value = 0.5294)

หมายเหตุ : กองที่ 1 คือ สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน; กองที่ 2 คือ สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1; กองที่ 3 คือ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่; กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ; กลุ่มควบคุม คือ น้ำกลุ่มควบคุม คือ น้ำ

cv (%) = 14.82 ค่าเฉลี่ยของปุ๋ยกองที่ 1 กองที่ 2 กองที่ 3 และกองที่ 4 = 32.72 %; (กลุ่มควบคุม – วิธีการปิเปต) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 0.80^{NS} (p-value = 0.3744); (กลุ่มควบคุม – วิธีการพ่น) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 0.48^{NS} (p-value = 0.4894); (กลุ่มควบคุม – วิธีการแช่) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 1.20^{NS} (p-value = 0.2761);

วิเคราะห์แบบ 4×2×3 Factorial CRD โดยกองปุ๋ย 4 กอง, การฆ่าเชื้อ 2 วิธี, วิธีทำ 3 วิธี

F-test กองปุ๋ย = 0.61^{ns} (p-value = 0.6138); F-test การฆ่าเชื้อ = 1.24^{NS} (p-value = 0.2690); F-test วิธีการ = 1.45^{ns} (p-value = 0.2403); F-test กองปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ = 0.72^{ns} (p-value = 0.5407); F-test กองปุ๋ย × วิธีการ= 1.41^{ns} (p-value = 0.2211); F-test การฆ่าเชื้อ × วิธีการ = 0.18^{ns} (p-value = 0.8386); F-test กองปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ × วิธีการ = 1.33^{ns} (p-value = 0.2571)

ตารางที่ 1.8 ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 7 สัปดาห์ ต่อความยาวราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง

กองปุ๋ย (A)	ฆ่าเชื้อ (B1) (เซนติเมตร)			ไม่ฆ่าเชื้อ (B2) (เซนติเมตร)			กองปุ๋ย*วิธีการ (A×C) (เซนติเมตร)			ค่าเฉลี่ยกองปุ๋ย (A×C×B)
	วิธีการปิเปต (C11)	วิธีการพ่น (C12)	วิธีการแช่ (C13)	วิธีการปิเปต (C21)	วิธีการพ่น (C22)	วิธีการแช่ (C23)	วิธีการปิเปต (A×C1)	วิธีการพ่น (A×C2)	วิธีการแช่ (A×C3)	
กองที่ 1	5.35±0.53	4.61±0.85	4.24±0.51	5.08±0.72	4.52±0.32	4.32±0.57	5.21^{cd}	4.56^{cde}	4.28^{de}	4.69
กองที่ 2	5.86±0.90	4.60±0.85	5.12±0.73	6.57±0.91	4.23±0.83	4.64±0.64	6.21^{ab}	4.41^{de}	4.88^{cde}	5.17
กองที่ 3	8.12±5.19	4.26±0.91	4.36±1.14	7.74±1.66	4.12±0.16	4.63±0.62	6.96^{a}	4.19^{e}	4.49^{cde}	5.54
กองที่ 4	5.59±0.58	4.37±0.85	4.14±0.22	5.22±0.91	4.17±0.79	5.10±0.70	5.41^{bc}	4.27^{de}	4.62^{cde}	4.76

ค่าเฉลี่ยการฆ่าเชื้อ (B)　ฆ่าเชื้อ =5.03　ไม่ฆ่าเชื้อ = 4.89
ค่าเฉลี่ยวิธีการ (C)　การปิเต = 5.95^{A}　การพ่น = 4.36^{B}　การแช่ = 4.57^{B}
ค่าเฉลี่ยกลุ่มควบคุม　กลุ่มควบคุม-วิธีการปิเปต = 4.03 กลุ่มควบคุม-วิธีการพ่น = 4.77 กลุ่มควบคุม-วิธีการแช่ = 4.66　กลุ่มควบคุม = 4.48
กลุ่มควบคุม VS กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4　F – test = 2.96^{NS} (p-value = 0.0891)

หมายเหตุ : $^{A, B, C}$ อักษรกำกับในแถวหรือคมลัมล์เดียวกันเหมือนกัน แสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ; ^{a,b,c,d,e} อักษรกำกับในตารางเหมือนกัน แสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ; กองที่ 1 คือ สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน; กองที่ 2 คือ สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1; กองที่ 3 คือ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่; กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ; กลุ่มควบคุม คือ น้ำกลุ่มควบคุม คือ น้ำ; cv (%) = 17.05 ค่าเฉลี่ยของปุ๋ยกองที่ 1 กองที่ 2 กองที่ 3 และกองที่ 4 = 4.96 เซนติเมตรว (กลุ่มควบคุม – วิธีการปิเปต) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 4.74^{*} (p-value = 0.0325); (กลุ่มควบคุม – วิธีการพ่น) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 0.12^{NS} (p-value = 0.7277); (กลุ่มควบคุม – วิธีการแช่) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 0.45^{NS} (p-value = 0.5050); วิเคราะห์แบบ 4×2×3 Factorial CRD โดยกองปุ๋ย 4 กอง, การฆ่าเชื้อ 2 วิธี, วิธีทำ 3 วิธี ;
F-test กองปุ๋ย = 2.48^{ns} (p-value = 0.0677); F-test การฆ่าเชื้อ = 0.64^{NS} (p-value = 0.4261); F-test วิธีการ = 33.33^{**} (p-value = <0.0001) วิธีการปิเปต(A) วิธีการแช่(B) วิธีการพ่น (B); F-test กองปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ = 0.74^{ns} (p-value = 0.5290); F-test กองปุ๋ย × วิธีการ= 2.86^{*} (p-value = 0.0150); F-test การฆ่าเชื้อ × วิธีการ = 1.07^{ns} (p-value = 0.3494); F-test กองปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ × วิธีการ = 1.29^{ns} (p-value = 0.2740);

ตารางที่ 1.9 ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 7 สัปดาห์ ต่อคะแนนรากแขนง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง

กองปุ๋ย (A)	ฆ่าเชื้อ (B1)				ไม่ฆ่าเชื้อ (B2)				ค่าเฉลี่ยกองปุ๋ย (AxBxC)
	วิธีการปิเปต (C11)	วิธีการพ่น (C12)	วิธีการแช่ (C13)	กองปุ๋ย x วิธีการ (A xC1)	วิธีการปิเปต (C21)	วิธีการพ่น (C22)	วิธีการแช่ (C23)	กองปุ๋ย x วิธีการ (A xC2)	
กองที่ 1	3.65±0.37	3.35±0.45	3.91±0.26	$3.63a^{b}$	3.03±0.13	2.59±0.35	2.64±0.57	2.7517^{c}	3.19^{B}
กองที่ 2	3.66±0.35	3.29±0.37	3.18±0.52	3.38^{b}	4.10±0.55	3.72±0.51	3.44±0.63	3.75^{ab}	3.56^{A}
กองที่ 3	3.69±0.47	3.93±0.38	3.45±0.38	3.69^{ab}	3.93±0.72	3.19±0.95	3.16±0.58	3.43^{ab}	3.76^{A}
กองที่ 4	3.73±0.11	3.88±0.52	4.03±0.43	3.88^{a}	4.00±0.39	3.74±0.62	3.20±0.46	3.64^{ab}	3.76^{A}
การฆ่าเชื้อ วิธีการ (BxC)	3.68^{ab}	3.61^{ab}	3.64^{ab}		3.76^{a}	3.31^{bc}	3.11^{c}		

ค่าเฉลี่ยการฆ่าเชื้อ (B) ฆ่าเชื้อ =3.64^{A} ไม่ฆ่าเชื้อ =3.39^{B}

ค่าเฉลี่ย วิธีการ (C) วิธ๊การปิเปต = 3.72^{A} วิธีการพ่น = 3.46^{B} วิธีการแช่ = 3.37^{B}

ค่าเฉลี่ยกลุ่มควบคุม กลุ่มควบคุม-วิธีการปิเปต = 3.29 กลุ่มควบคุม-วิธีการพ่น = 3.30 กลุ่มควบคุม-วิธีการแช่ = 3.47 กลุ่มควบคุม = 3.35

กลุ่มควบคุม VS กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4 F – test = 0.16^{NS} (p-value = 0.2838)

หมายเหตุ : $^{A, B, C}$ อักษรกำกับในแถวหรือคมลัมล์เดียวกันเหมือนกัน แสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ; ^{a,b,c} อักษรกำกับในตารางเหมือนกัน แสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

กองที่ 1 คือ สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน; กองที่ 2 คือ สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1; กองที่ 3 คือ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่; กองที่ 4 สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ; กลุ่มควบคุม คือ น้ำ

cv (%) = 14.04 ค่าเฉลี่ยของปุ๋ยกองที่ 1 กองที่ 2 กองที่ 3 และกองที่ 4 = 3.52; (กลุ่มควบคุม – วิธีการปิเปต) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 0.86^{NS} (p-value = 0.3561); (กลุ่มควบคุม – วิธีการพ่น) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 0.60^{NS} (p-value = 0.4401); (กลุ่มควบคุม – วิธีการแช่) VS (กองปุ๋ยกองที่ 1 ,2 ,3 และ 4) F-test = 0.05^{NS} (p-value = 0.8293);

วิเคราะห์แบบ 4×2×3 Factorial CRD โดยกองปุ๋ย 4 กอง, การฆ่าเชื้อ 2 วิธี, วิธีทำ 3 วิธี

F-testกองปุ๋ย = 5.56^{**} (p-value = 0.0017) กองที่ 3 และกองที่ 4(A) กองที่ 2(A) กองที่ 1(B) ; F-testการฆ่าเชื้อ = 6.19^{*} (p-value = 0.0152) ฆ่าเชื้อ(A) ไม่ฆ่าเชื้อ(B); F-test วิธีการ = 4.29^{*} (p-value = 0.0173) การปิเปต (A) การพ่น(B) การแช่ (B); F-testกองปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ = 6.49^{**} (p-value = 0.0006); F-testกองปุ๋ย × วิธีการ= 0.80^{ns} (p-value = 0.5755); F-testการฆ่าเชื้อ × วิธีการ = 3.15^{*} (p-value = 0.0487); F-testกองปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ × วิธีการ = 0.80^{ns} (p-value = 0.5718)

2.12.2 ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 9 สัปดาห์ ต่อข้าวไร่ และผักบุ้ง

จากการทดลองที่ 2.12.1 พบว่า ทั้งรูปแบบที่ให้พืชมีโอกาสสัมผัสกับน้ำสกัดปุ๋ยที่แตกต่างกันแล้ว มีผลทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้แตกต่างกัน รวมทั้งกระบวนการฆ่าเชื้อยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอีกด้วย แสดงว่ามีสารอาหารสำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช รวมทั้งมีจุลินทรีย์ที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตได้เช่นกัน ดังนั้นจึงมีการออกแบบการทดลองโดยสกัดปุ๋ยด้วยน้ำกลั่นที่อัตราส่วนน้ำหนักปุ๋ยต่อปริมาตรน้ำกลั่น 3 สัดส่วนได้แก่ : 1:100, 1:10 และ 1:1 ตามลำดับ ซึ่งแต่ละสัดส่วนความเข้มข้นแบ่งกลุ่มน้ำสกัดระหว่างการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ และการไม่ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ผลการทดลองมีดังนี้

ผลการทดลองพบว่าปัจจัยกองปุ๋ยหมัก และปัจจัยการฆ่าเชื้อให้ผลความไวในการงอกของข้าวไร่ไม่แตกต่างกัน ส่วนปัจจัยความเข้มข้นของปุ๋ยหมักให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ซึ่งความเข้มที่ 1:100 คืออัตราส่วนของปุ๋ยหมัก:น้ำ (34.68 เปอร์เซ็นต์) ให้ผลไม่แตกต่างกับความเข้มข้นที่ 1:10 (32.82 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งที่ระดับความเข้มข้น 1:1 (30.92 เปอร์เซ็นต์) ให้ผลไม่แตกต่างกับระดับความเข้มข้นที่ 1:10 (ตารางที่ 1.10)

ผลการทดลองพบว่าปัจจัยกองปุ๋ยหมักให้ผลความยาวรากของข้าวไร่ไม่แตกต่างกัน ส่วนปัจจัยการฆ่าเชื้อให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ซึ่งการไม่ฆ่าเชื้อ (6.10 เซนติเมตร) ให้ผลดีกว่าการฆ่าเชื้อ (5.42 เซนติเมตร) และปัจจัยความเข้มข้นให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ซึ่งระดับความเข้มข้นที่ 1:100 (6.32 เซนติเมตร) ให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือ ที่ระดับความเข้มข้น 1:10 (5.74 เซนติเมตร) และที่ระดับความเข้มข้น 1:1 (5.24 เซนติเมตร) ตามลำดับ (ตารางที่ 1.11)

ผลการทดลองพบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่ให้ผลคะแนนรากแขนงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 1.12)

ผลการทดลองพบว่าปัจจัยกองปุ๋ยหมัก และปัจจัยการฆ่าเชื้อให้ผลความไวในการงอกของผักบุ้งไม่แตกต่างกัน ส่วนปัจจัยความเข้มข้นของปุ๋ยหมักให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ซึ่งความเข้มที่ 1:100 คืออัตราส่วนของปุ๋ยหมัก:น้ำ (34.99 เปอร์เซ็นต์) และความเข้มข้นที่ 1:10 (34.58 เปอร์เซ็นต์) ให้ผลดีกว่า 1:1 (27.54 เปอร์เซ็นต์) (ตารางที่ 1.13)

ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยกองปุ๋ยหมักมีผลต่อความยาวรากของผักบุ้งไม่แตกต่างกันย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปัจจัยการฆ่าเชื้อให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ซึ่งการไม่ฆ่าเชื้อ (4.77 เซนติเมตร) ให้ผลดีกว่าการฆ่าเชื้อ (4.16 เซนติเมตร) ปัจจัยความเข้มข้นของปุ๋ยให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ซึ่งที่ระดับความเข้มข้น 1:10 (4.88 เซนติเมตร) อัตราส่วนปุ๋ยต่อน้ำ ให้ผลไม่แตกต่างกับ ระดับความเข้มข้น 1:100 (4.35 เซนติเมตร) และที่ระดับความเข้มข้น 1:1 (4.16 เซนติเมตร) ให้ผลไม่แตกต่างกับระดับความเข้มข้น 1:10 สำหรับปัจจัยร่วมคือปัจจัยกองปุ๋ยหมักร่วมกับปัจจัยการฆ่าเชื้อ ให้ผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดินร่วมกับการฆ่าเชื้อให้ผลดีที่สุด (5.44 เซนติเมตร) (ตารางที่ 1.14)

ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยกองปุ๋ยหมักให้ผลคะแนนรากแขนงของผักบุ้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ (4.09 คะแนน) ให้ผลดีกว่าสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน (3.65 คะแนน) และสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (3.45 คะแนน) ส่วนปัจจัยการฆ่าเชื้อให้ผลแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01) ซึ่งไม่ฆ่าเชื้อ (4.00 คะแนน) ให้ผลดีกว่าการฆ่าเชื้อ (3.50 คะแนน) และปัจจัยความเข้มข้นให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01) ที่ระดับความเข้มข้น 1:10 (3.91 คะแนน) และ 1:100 (3.82 คะแนน) ให้ผลดีกว่า ที่ระดับความเข้มข้น 1:1 (3.45 คะแนน) (ตารางที่ 1.15)

ผลการทดลองในสัปดาห์ที่ 7 พบว่ากลุ่มควบคุมโดยการใช้น้ำเปล่ามีผลต่อความไวในการงอกของข้าวไร่นาสารที่ต่างจากการใช้ปุ๋ยสูตรต่างๆ โดยให้ค่าคะแนนความไวในการงอกสูงกว่า (30.93 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเทียบกับการใช้ปุ๋ยสูตรต่างๆ (27.26 เปอร์เซ็นต์) และอิทธิพลของปุ๋ยต่างสูตรไม่มีผลต่อค่าความไวในการงอก และค่าความยาวรากของข้าวไร่ แต่มีผลต่อคะแนนรากแขนง ซึ่งปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ และสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ ให้คะแนนดีกว่าปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน และสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 อาจเป็นเพราะสัดส่วนองค์ประกอบที่แตกต่างกันของปุ๋ยหมักซึ่งสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ และสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ มีการลดมูลโค แต่เพิ่มพืชสด ได้แก่ ข้าวโพด หญ้า และดินขุยไผ่ ซึ่งในพืชสดเหล่านี้อาจจะมีฮอร์โมนที่สามารถกระตุ้นการเกิดรากแขนงได้ ซึ่งสอดคล้องกับบทความของ Johnsgradnson (2558b) ฮิวมัสในปุ๋ยหมักมีฮอร์โมนที่สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้อีกทั้งยังส่งเสริมการเจริญของรากอีกด้วย

ส่วนปัจจัยการฆ่าเชื้อไม่มีผลต่อความยาวรากและคะแนนรากแขนง แต่มีผลต่อค่าความไวในการงอกของข้าวไร่ โดยค่าความไวในการงอกเป็นการประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ และคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ที่แสดงออกในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (สานิต, 2552) ซึ่งเป็นไปได้ว่าการไม่ฆ่าเชื้อมีสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดข้าวไร่ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายและเชื้อสาเหตุโรคยังคงอยู่ในปุ๋ยหมัก (ยงยุทธ, 2551)

สำหรับวิธีการใช้สารละลายปุ๋ยหมักกับเมล็ดพันธุ์ พบว่าวิธีการแช่สารสกัดปุ๋ยเป็นวิธีที่ดีที่สุด เนื่องจากให้ค่าความไวในการงอก ความยาวราก และคะแนนรากแขนงของข้าวไร่ เมื่อเทียบกับการปิเปตและการพ่นสารละลายปุ๋ยหมัก ซึ่งการกระตุ้นเมล็ดด้วยการแช่ก่อนมีผลต่อกิจกรรมเอนไซม์และกิจกรรมทางชีวเคมีต่างๆ ซึ่งในระยะแรกเมล็ดจะดูดซึมน้ำเข้าไปอย่างรวดเร็วในเมล็ด เนื่องจากเมล็ดต้องใช้น้ำในกระบวนการย่อยสารอาหารที่สะสมอยู่ภายในเกิดกระบวนการทางชีวเคมี ส่วนระยะที่สอง เมล็ดยังคงดูดน้ำเข้าสู่ภายในในอัตราที่ค่อนข้างคงที่ ในระยะที่กระตุ้นและเตรียมความพร้อมให้เมล็ดพร้อมที่จะแทงรากแรกออกมาอย่างรวดเร็ว (จารุวรรณ, ม.ป.ป อ้างอิงมาจาก บุญมี, ม.ป.ป)

ส่วนปฏิกิริยาร่วมระหว่างสูตรปุ๋ยกับการฆ่าเชื้อไม่มีผลต่อความไวในการงอกและความยาวราก แต่มีผลต่อคะแนนรากแขนงโดยคะแนนรากที่ให้ผลดีที่สุดคือ ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ ที่ฆ่าเชื้อ และปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำที่ฆ่าเชื้อและไม่ฆ่าเชื้อ อาจเป็นเพราะสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ มีความชื้นมากกว่าปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำซึ่งถ้าความชื้นสูงมากเกินไป ทำให้มีกรดอินทรีย์สะสมอยู่มาก ซึ่งอาจเป็นผลเสียต่อพืช (ยงยุทธ, 2551)

ตารางที่ 1.10 ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 9 สัปดาห์ ต่อเปอร์เซ็นต์ความไวในการงอก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่

กองปุ๋ย (A)	ฆ่าเชื้อ (B1) (%)			ไม่ฆ่าเชื้อ (B2) (%)			ค่าเฉลี่ยชนิดของปุ๋ย (A×B×C)
	ความเข้มข้นของปุ๋ย (C)						
	(1:1)	(1:10)	(1:100)	(1:1)	(1:10)	(1:100)	
ปุ๋ยกองที่1	30.38±4.07	33.31±2.78	35.06±4.47	30.93±2.21	30.33±3.16	37.26±3.31	32.88
ปุ๋ยกองที่2	31.30±4.62	34.36±2.35	32.90±2.88	29.79±1.77	34.83±3.43	34.97±7.39	33.03
ปุ๋ยกองที่3	30.11±0.67	32.59±5.87	35.65±3.77	33.03±0.60	31.48±5.19	32.33±2.82	32.52

ค่าเฉลี่ยการฆ่าเชื้อ(B) ฆ่าเชื้อ = 32.84 ไม่ฆ่าเชื้อ = 32.77

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น(C) 1:1 = 30.92^{B} 1:10 = 32.82^{AB} 1:100 = 34.68^{A}

ค่าเฉลี่ยกลุ่มควบคุม 32.13 กลุ่มควบคุม vs กองที่ 1 , 2 และ3 F-test 0.00^{NS} (p-value = 0.9518)

หมายเหตุ : ^{A,B,C} อักษรกำกับที่เหมือนในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

กองที่ 1 คือ สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน; กองที่ 2 คือ สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1; กองที่ 3 คือ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่; กลุ่มควบคุม คือ น้ำกลุ่มควบคุม คือ น้ำ

cv (%) = 11.60 ค่าเฉลี่ยของปุ๋ยกองที่ 1 กองที่ 2 กองที่ 3 = 32.81%;

วิเคราะห์แบบ 3x2x3 factorial in CRD โดยสูตรปุ๋ย 3 สูตร การฆ่าเชื้อ 2 สูตร ความเข้มข้น 3 สูตร

F-test ชนิดของปุ๋ย 0.11^{ns} (p-value = 0.8917); F-test การฆ่าเชื้อ 0.01^{ns} (p-value = 0.9389); F-test ความเข้มข้น 5.88^{**} (p-value = 0.0049) 1:100(A) 1:10(AB) 1:1(B); F-test ชนิดของปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ 0.07^{ns} (p-value = 0.9344); F-test ชนิดของปุ๋ย x ความเข้มข้น 1.15^{ns} (p-value = 0.3422); F-test ความเข้มข้น x การฆ่าเชื้อ 0.42^{ns} (p-value = 0.6612); F-test ชนิดของปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ x ความเข้มข้น 1.18^{ns} (p-value = 0.3316)

ตารางที่ 1.11 ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 9 สัปดาห์ ต่อความยาวราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่

ชนิดของปุ๋ย (A)	ฆ่าเชื้อ (B1) (เซนติเมตร)			ไม่ฆ่าเชื้อ (B2) (เซนติเมตร)			ค่าเฉลี่ยชนิดของปุ๋ย (A×B×C)
	ความเข้มข้นของปุ๋ย (C)						
	(1:1)	(1:10)	(1:100)	(1:1)	(1:10)	(1:100)	
ปุ๋ยกองที่1	4.79±0.96	5.72±0.37	5.97±0.79	5.36±0.76	5.80±0.36	6.68±0.60	5.72
ปุ๋ยกองที่2	4.85±0.83	5.59±0.67	5.67±1.09	5.42±0.33	6.82±0.58	7.10±0.65	5.89
ปุ๋ยกองที่3	4.88±0.72	4.99±0.84	6.38±0.82	6.14±0.70	5.53±1.18	6.14±0.51	5.68

ค่าเฉลี่ยการฆ่าเชื้อ(B) ฆ่าเชื้อ = 5.4247^{B} ไม่ฆ่าเชื้อ = 6.1039^{A}

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น(C) 1:1 = 5.2383^{C} 1:10 = 5.7408^{B} 1:100 = 6.3188^{A}

ค่าเฉลี่ยกลุ่มควบคุม 5.77 กลุ่มควบคุม vs กองที่ 1 , 2 และ 3 F-test 0.00^{NS} (p-value = 0.9934)

หมายเหตุ : ^{A,B,C} อักษรกำกับที่เหมือนในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

กองที่ 1 คือ สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน; กองที่ 2 คือ สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1; กองที่ 3 คือ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่; กลุ่มควบคุม คือ น้ำกลุ่มควบคุม คือ น้ำ

cv (%) = 12.91 ค่าเฉลี่ยของปุ๋ยกองที่ 1 กองที่ 2 กองที่ 3 = 5.76 เซนติเมตร;

วิเคราะห์แบบ 3x2x3 factorial in CRD โดยสูตรปุ๋ย 3 สูตร การฆ่าเชื้อ 2 สูตร ความเข้มข้น 3 สูตร

F-test ชนิดของปุ๋ย 0.61^{ns} (p-value = 0.5463); F-test การฆ่าเชื้อ 14.98^{**} (p-value = 0.0003) ไม่ฆ่าเชื้อ (A) ฆ่าเชื้อ(B); F-test ความเข้มข้น 12.54^{**} (p-value = <.0001) 1:100 (A) 1:10 (B) 1:1 (C); F-test ชนิดของปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ 1.20^{ns} (p-value = 0.3097); F-test ชนิดของปุ๋ย x ความเข้มข้น 1.72^{ns} (p-value = 0.1580); F-test ความเข้มข้น x การฆ่าเชื้อ 0.12^{ns}(p-value = 0.8855); F-test ชนิดของปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ x ความเข้มข้น 1.49^{ns} (p-value =0.2180)

ตารางที่ 1.12 ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 9 สัปดาห์ ต่อคะแนนรากแขนง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่

กองปุ๋ย (A)	ฆ่าเชื้อ (B1) (คะแนน)			ไม่ฆ่าเชื้อ (B2) (คะแนน)			ค่าเฉลี่ยชนิดของปุ๋ย (A×B×C)
	ความเข้มข้นของปุ๋ย (C)						
	(1:1)	(1:10)	(1:100)	(1:1)	(1:10)	(1:100)	
ปุ๋ยกองที่1	3.00±0.61	3.63±0.20	3.89±0.42	3.23±1.01	3.02±0.30	3.54±0.43	3.38
ปุ๋ยกองที่2	3.37±0.77	3.50±0.17	3.63±0.70	3.21±0.71	3.60±0.87	3.64±0.45	3.49
ปุ๋ยกองที่3	3.17±0.40	3.58±1.12	3.78±0.61	3.98±0.43	3.43±0.38	2.96±0.88	3.38

ค่าเฉลี่ยการฆ่าเชื้อ (B) ฆ่าเชื้อ = 3.51 ไม่ฆ่าเชื้อ=3.40
ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น (C) 1:1 = 3.33 1:10 = 3.46 1:100 = 3.57
ค่าเฉลี่ยกลุ่มควบคุม 3.80 กลุ่มควบคุม vs กองที่ 1 , 2 และ3 F-test 1.10^{NS} (p-value = 0.2981)

หมายเหตุ : กองที่ 1 คือ สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน; กองที่ 2 คือ สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1; กองที่ 3 คือ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่; กลุ่มควบคุม คือ น้ำกลุ่มควบคุม คือ น้ำ
cv (%) = 18.57_ค่าเฉลี่ยของปุ๋ยกองที่ 1 กองที่ 2 กองที่ 3 = 3.45;

วิเคราะห์แบบ 3x2x3 factorial in CRD โดยสูตรปุ๋ย 3 สูตร การฆ่าเชื้อ 2 สูตร ความเข้มข้น 3 สูตร

F-test ชนิดของปุ๋ย 0.21^{ns} (p-value = 0.8084); F-test การฆ่าเชื้อ 0.49^{ns} (p-value = 0.4879); F-test ความเข้มข้น 0.90^{ns} (p-value = 0.4141); F-test ชนิดของปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ 0.21^{ns} (p-value = 0.8079) F-test ชนิดของปุ๋ย x ความเข้มข้น 0.89^{ns} (p-value =0.4777); F-test ความเข้มข้น x การฆ่าเชื้อ 1.82^{ns} (p-value = 0.1721); F-test ชนิดของปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ x ความเข้มข้น 1.39^{ns} (p-value = 0.3098)

ตารางที่ 1.13 ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 9 สัปดาห์ ต่อเปอร์เซ็นต์ความไวในการงอก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง

กองปุ๋ย (A)	ฆ่าเชื้อ (B1) (%)			ไม่ฆ่าเชื้อ (B2) (%)			ค่าเฉลี่ยชนิดของปุ๋ย (A×B×C)
	ความเข้มข้นของปุ๋ย (C)						
	(1:1)	(1:10)	(1:100)	(1:1)	(1:10)	(1:100)	
ปุ๋ยกองที่1	27.57±3.72	38.74±6.78	37.14±1.81	27.98±3.69	34.00±3.86	34.07±2.80	33.25
ปุ๋ยกองที่2	26.07±1.70	33.69±0.73	35.56±5.12	26.15±7.60	38.05±3.01	31.74±2.94	31.88
ปุ๋ยกองที่3	28.99±3.10	30.08±3.76	35.29±5.42	28.48±3.50	32.91±5.62	36.12±5.66	31.98

ค่าเฉลี่ยการฆ่าเชื้อ ฆ่าเชื้อ = 32.57 ไม่ฆ่าเชื้อ = 32.17
ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น 1:1 = 27.54^{B} 1:10 = 34.58^{A} 1:100 = 34.99^{A}
ค่าเฉลี่ยกลุ่มควบคุม 36.85 กลุ่มควบคุม vs กองที่ 1 , 2 และ3 F-test 3.94^{NS} (p-value = 0.0520)

หมายเหตุ : ^{A,B,C} อักษรกำกับที่เหมือนในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

กองที่ 1 คือ สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน; กองที่ 2 คือ สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1; กองที่ 3 คือ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่; กลุ่มควบคุม คือ น้ำกลุ่มควบคุม คือ น้ำ

cv (%) = 13.30 ค่าเฉลี่ยของปุ๋ยกองที่ 1 กองที่ 2 กองที่ 3 = 32.37 %;

วิเคราะห์แบบ 3x2x3 factorial in CRD โดยสูตรปุ๋ย 3 สูตร การฆ่าเชื้อ 2 สูตร ความเข้มข้น 3 สูตร

F-test ชนิดของปุ๋ย 0.76^{ns} (p-value = 0.4743); F-test การฆ่าเชื้อ 0.16^{ns} (p-value = 0.6917); F-test ความเข้มข้น 22.69** (p-value = <.0001) 1:100 (A) 1:10 (A) 1:1 (B)

F-test ชนิดของปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ 1.09^{ns} (p-value = 0.3445); F-test ชนิดของปุ๋ย x ความเข้มข้น 1.85^{ns} (p-value = 0.1335); F-test ความเข้มข้น x การฆ่าเชื้อ 0.69^{ns} (p-value = 0.5073); F-test ชนิดของปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ x ความเข้มข้น 1.08^{ns} (p-value = 0.3745)

ตารางที่ 1.14 ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 9 สัปดาห์ ต่อความยาวราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง

กองปุ๋ย (A)	ฆ่าเชื้อ (B1) (เซนติเมตร)				ไม่ฆ่าเชื้อ (B2) (เซนติเมตร)				ค่าเฉลี่ยชนิดของปุ๋ย (A×B×C)
	ความเข้มข้นของปุ๋ย (C1)			กองปุ๋ย* ความเข้มข้น (A×C1)	ความเข้มข้นของปุ๋ย (C2)			กองปุ๋ย* ความเข้มข้น (A×C2)	
	(1:1)	(1:10)	(1:100)		(1:1)	(1:10)	(1:100)		
ปุ๋ยกองที่1	3.61±0.81	4.66±0.66	3.87±0.54	4.04^{a}	4.99±0.93	5.79±0.48	5.56±0.56	4.05^{b}	4.75
ปุ๋ยกองที่2	3.63±1.10	4.63±1.58	3.98±0.89	4.08^{b}	4.04±0.53	4.57±0.59	4.15±1.26	4.25^{b}	4.17
ปุ๋ยกองที่3	4.50±0.45	4.56±0.28	3.98±0.40	4.35^{b}	4.17±0.16	5.09±1.29	4.58±0.52	4.61^{b}	4.48

ค่าเฉลี่ยการฆ่าเชื้อ (B)	ฆ่าเชื้อ = 4.16^{B} ไม่ฆ่าเชื้อ = 4.77^{A}
ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น (C)	1:1 = 4.15^{B} 1:10 = 4.88^{A} 1:100 = 4.35^{AB}
ค่าเฉลี่ยกลุ่มควบคุม	3.10 กลุ่มควบคุม vs กองที่ 1 , 2 และ3 F-test 11.22** (p-value = 0.0014)

หมายเหตุ : ^{A,B,C} อักษรกำกับที่เหมือนในแถวหรือคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ ^{a,b} อักษรกำกับที่เหมือนกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

กองที่ 1 คือ สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน; กองที่ 2 คือ สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1; กองที่ 3 คือ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่; กลุ่มควบคุม คือ น้ำกลุ่มควบคุม คือ น้ำ

cv (%) = 18.24_ค่าเฉลี่ยของปุ๋ยกองที่ 1 กองที่ 2 กองที่ 3 = 4.46 เซนติมเตร;

วิเคราะห์แบบ 3x2x3 factorial in CRD โดยสูตรปุ๋ย 3 สูตร การฆ่าเชื้อ 2 สูตร ความเข้มข้น 3 สูตร

F-test ชนิดของปุ๋ย 3.04^{ns} (p-value = 0.0559); F-test การฆ่าเชื้อ 10.18** (p-value = 0.0024) ไม่ฆ่าเชื้อ (A) ฆ่าเชื้อ(B); F-test ความเข้มข้น 5.17** (p-value = 0.0088) 1:10 (A) 1:100 (AB) 1:1 (B); F-test ชนิดของปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ 4.22* (p-value = 0.0198); F-test ชนิดของปุ๋ย x ความเข้มข้น 0.20^{ns} (p-value = 0.9353); F-test ความเข้มข้น x การฆ่าเชื้อ 0.30^{ns} (p-value = 0.7447); F-test ชนิดของปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ x ความเข้มข้น 0.46^{ns} (p-value = 0.7642)

ตารางที่ 1.15 ผลของปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 9 สัปดาห์ ต่อคะแนนรากแขนง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง

กองปุ๋ย (A)	ฆ่าเชื้อ (B1) (คะแนน)			ไม่ฆ่าเชื้อ (B2) (คะแนน)			ค่าเฉลี่ยชนิดของปุ๋ย (A×B×C)
	ความเข้มข้นของปุ๋ย (C)						
	(1:1)	(1:10)	(1:100)	(1:1)	(1:10)	(1:100)	
ปุ๋ยกองที่1	3.08±0.33	3.67±0.20	3.30±0.48	3.70±0.43	4.02±0.50	4.13±0.18	3.65^{B}
ปุ๋ยกองที่2	3.13±0.30	3.29±0.31	3.20±0.46	3.23±0.86	4.12±0.53	3.75±0.68	3.45^{B}
ปุ๋ยกองที่3	3.88±0.50	4.01±0.76	3.95±0.32	3.67±0.39	4.38±0.66	4.64±0.31	4.09^{A}

ค่าเฉลี่ยการฆ่าเชื้อ (B)	ฆ่าเชื้อ = 3.50^{B} ไม่ฆ่าเชื้อ = 4.0^{A}
ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น(C)	1:1 = 3.45^{B} 1:10 = 3.91^{A} 1:100= 3.82^{A}
ค่าเฉลี่ยกลุ่มควบคุม	2.76 กลุ่มควบคุม vs กองที่ 1 , 2 และ3 F-test 15.19^{**} (p-value = 0.0003)

หมายเหตุ : ^{A,B,C} อักษรกำกับที่เหมือนในแถวหรือคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่แตกต่างทางสถิติ

กองที่ 1 คือ สูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน; กองที่ 2 คือ สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1; กองที่ 3 คือ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่; กลุ่มควบคุม คือ น้ำกลุ่มควบคุม คือ น้ำ

cv (%) = 13.17 ค่าเฉลี่ยของปุ๋ยกองที่ 1 กองที่ 2 กองที่ 3 = 3.73

วิเคราะห์แบบ 3x2x3 factorial in CRD โดยสูตรปุ๋ย 3 สูตร การฆ่าเชื้อ 2 สูตร ความเข้มข้น 3 สูตร

F-test ชนิดของปุ๋ย 10.49^{**} (p-value =0.0001) กองที3 (A) กองที่1 (B) กองที่2 (B); F-test การฆ่าเชื้อ 15.82^{**} (p-value = 0.0002) ไม่ฆ่าเชื้อ (A) ฆ่าเชื้อ (B); F-test ความเข้มข้น 6.06^{**} (p-value = 0.0042) 1:10 (A) 1:100 (A) 1:1 (B); F-test ชนิดของปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ 0.66^{ns} (p-value = 0.5229); F-test ชนิดของปุ๋ย x ความเข้มข้น 0.26^{ns} (p-value = 0.9038) F-test ความเข้มข้น x การฆ่าเชื้อ 1.71^{ns} (p-value = 0.1901); F-test ชนิดของปุ๋ย x การฆ่าเชื้อ x ความเข้มข้น 0.79^{ns} (p-value = 0.5358)

จากผลการทดลองในสัปดาห์ที่ 7 พบว่ากลุ่มควบคุมโดยการใช้น้ำเปล่ามีไม่ผลต่อความไวในการงอกค่าความยาวรากและคะแนนรากแขนงของผักบุ้ง เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของปุ๋ยทั้ง 4 สูตร สำหรับอิทธิพลของปุ๋ยต่างสูตรไม่มีผลต่อความไวในการงอกและความยาวรากของผักบุ้ง แต่มีผลต่อคะแนนรากแขนง ซึ่งปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ และสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ที่หมักโดยให้ขาดน้ำ ให้ผลดีกว่าปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน อาจเป็นผลมาจากกระบวนการหมักปุ๋ย ซึ่งกองปุ๋ยสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ และสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่หมักโดยให้ขาดน้ำ มีการตั้งกองปุ๋ยที่มีโครงสร้างเป็นรูปสามเหลี่ยมปริซึม ที่มีความสามารถในการถ่ายเทอากาศสูง ซึ่งส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายวัสดุเป็นฮิวมัส ส่วนปุ๋ยกองที่ 1 ที่มีองค์ประกอบวัตถุดิบของกองปุ๋ยเป็นฟางข้าว มูลโค ปุ๋ยยูเรียและ พ.ด.1 โครงสร้างของกองปุ๋ยเป็นรูปสี่เหลี่ยมปริซึม และมีการอัดกองจนแน่นที่มีความสามารถในการถ่ายเทอากาศน้อยเป็นผลให้มีความชื้นในกองปุ๋ยหมักมาก ทำให้เกิดกรดอินทรีย์สะสมเป็นปริมาณมาก เป็นเหตุให้ปุ๋ยหมักที่ได้ทีคุณภาพต่ำ เพราะกรดอินทรีย์ที่ค้างอยู่อาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์หรือมีผลเสียต่อการเจริญต่อรากพืช (ยงยุทธ, 2551)

ส่วนการฆ่าเชื้อนั้นไม่มีผลต่อความไวในการงอกและความยาวราก แต่มีผลต่อคะแนนรากแขนงของผักบุ้ง ซึ่งการฆ่าเชื้อให้ผลดีกว่าการไม่ฆ่าเชื้อ อาจเนื่องจากกระบวนการหมักปุ๋ยยังไม่สมบูรณ์ทำให้ยังมีจุลินทรีย์ต่างๆ อาจยังหลงเหลืออยู่ โดยจุลินทรีย์บางชนิดอาจส่งผลเสียต่อพืช เช่น เชื้อสาเหตุโรคพืช (ยงยุทธ, 2551)

ส่วนวิธีการกระตุ้นเมล็ดพันธุ์ไม่มีผลต่อความไวในการงอกแต่มีผลต่อความยาวรากและคะแนนรากแขนงของผักบุ้ง โดยวิธีการปิเปตเป็นวิธีที่ดีสุดสำหรับผักบุ้ง ทำให้สารสกัดปุ๋ยซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดอย่างช้าๆ ซึ่งถ้าหากนำไปแช่เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในสารสกัดปุ๋ยอาจทำให้เมล็ดผักบุ้งเกิดการช็อคน้ำและเนื้อเยื่อภายในเมล็ดบวมมากจนฉีกขาดเกิดการรั่วไหลของสารอาหารจากภายในเมล็ดออกสู่ภายนอก (จารุวรรณ, ม.ป.ป อ้างอิงมาจาก บุญมี, ม.ป.ป)

จากผลการศึกษาในสัปดาห์ที่ 7 พบว่ากองปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ และ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำนั้น ให้ผลไม่แตกต่างกัน ต่อการเจริญเติบโตของข้าวไร่และผักบุ้ง ทั้งความไวในการงอก ความยาวราก และรากแขนง ซึ่งทำให้ในสัปดาห์ที่ 9 มีการใช้กองปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ และสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่เท่านั้น เนื่องจากในกองปุ๋ยโจ้ สูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ และสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ มีองค์ประกอบวัสดุในกองปุ๋ยที่เหมือนกัน คือ ฟางข้าว พืชสด มูลวัว และดินขุยไผ่ แต่ต่างกันที่การให้น้ำ ซึ่งกองปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน สูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ และสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ มีการให้น้ำทุกวัน แต่กองปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ มีการให้น้ำ 1 ครั้ง ต่อ 3 วัน

จากผลการทดลองในสัปดาห์ที่ 9 พบว่ากลุ่มควบคุมโดยการใช้น้ำเปล่าไม่มีผลต่อความไวในการงอกค่าความยาวรากและคะแนนรากแขนงของข้าวไร่ เมื่อเทียบกับปุ๋ยทั้ง 3 สูตร สำหรับอิทธิพลของปุ๋ยต่างสูตร ไม่มีผลต่อความไวในการงอก ความยาวราก และคะแนนรากแขนงของข้าวไร่

ส่วนการฆ่าเชื้อไม่มีผลต่อความไวในการงอกและคะแนนรากแขนง แต่มีผลต่อค่าความยาวรากของข้าวไร่ โดยการไม่ฆ่าเชื้อให้ผลดีกว่าการฆ่าเชื้อ ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาการหมักปุ๋ยที่นานขึ้นส่งผลทำให้จุลินทรีย์ลดลง และอาจมีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เช่น *Bacillus, Pseudomans* ซึ่งสามารถยับยั้งเชื้อสาเหตุของโรคและยับยั้งสารฟีนอล และกรดอะมิโน (Siddiqui *et al*., 2008)

ส่วนที่ระดับความเข้มข้นไม่มีผลต่อคะแนนรากแขนง แต่มีผลต่อความไวในการงอกและความยาวรากของข้าวไร่ ซึ่งที่ระดับความเข้มข้น 1:100 (ปุ๋ย:น้ำ) ให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือ ระดับความเข้มข้น 1:10 (ปุ๋ย:น้ำ) ขณะที่ระดับความเข้มข้นสูงสุด 1:1 (ปุ๋ย:น้ำ) ให้ค่าความไวในการงอกและความยาวรากต่ำที่สุด เนื่องจากในกระบวนการหมัก เมื่อระยะเวลาผ่านไปจะมีการเปลี่ยนแปลงด้านองค์ประกอบของวัสดุมี่ใช้ในกระบวนการหมักได้แก่ มีโครงสร้าง อโรมาติก ฟีนอล และกรดคาร์บอซิลิกเพิ่มขึ้น ทำให้เมื่อใช้ปุ๋ยหมักที่ระดับความเข้มข้นมาก จะทำให้มีกรดคาร์บอซิลิกมาก ซึ่งเป็นผลต่อเสียต่อรากพืชได้ (ยงยุทธ, 2551)

จากผลการทดลองในสัปดาห์ที่ 9 พบว่ากลุ่มควบคุมโดยการใช้น้ำเปล่ามีผลเฉพาะต่อค่าความยาวรากของผักบุ้งเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของปุ๋ยทั้ง 3 สูตร โดยกลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปุ๋ยทั้ง 3 สูตรปุ๋ยแต่ละสูตรไม่มีผลต่อความไวในการงอกและความยาวราก แต่มีผลต่อคะแนนรากแขนง โดยปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ให้ผลดีกว่าปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน และสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ การฆ่าเชื้อนั้นไม่มีต่อความไวในการงอกแต่มีผลต่อความยาวรากและรากแขนง ส่วนการไม่ฆ่าเชื้อให้ผลดีกว่าการฆ่าเชื้อ เนื่องจากระยะเวลาการหมักปุ๋ยที่นานขึ้นส่งผลทำให้จุลินทรีย์ลดลง และอาจมีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์หลงเหลืออยู่ เช่น *Bacillus, Pseudomans* ซึ่งสามารถยับยั้งเชื้อสาเหตุของโรคและยับยั้งสารฟีนอล และกรดอะมิโน (Siddiqui *et al.,* 2009)

ส่วนระดับความเข้มข้นมีผลต่อความไวในการงอก ความยาวรากและรากแขนงของผักบุ้ง ส่วนระดับความเข้มข้น 1:10 และ 1:100 (ปุ๋ย:น้ำ) ให้ผลดีที่สุดเนื่องจากในกระบวนการหมัก เมื่อระยะเวลาผ่านไปจะมีการเปลี่ยนแปลงด้านองค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ในกระบวนการหมักได้แก่ มีโครงสร้าง อะโรมาติก ฟีนอล และกรดคาร์บอซิลิกเพิ่มขึ้น ทำให้เมื่อใช้ปุ๋ยหมักที่ระดับความเข้มข้นมาก จะทำให้มีกรดคาร์บอซิลิกมาก ซึ่งเป็นผลต่อเสียต่อรากพืชได้ (ยงยุทธ, 2551) อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาร่วมระหว่างปัจจัยต่างๆ (ชนิดของปุ๋ย, ความเข้มข้น และการฆ่าเชื้อ) ไม่มีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นได้ว่าแนวโน้มการแสดงออกของทั้ง 3 ปัจจัยต่อค่าความไวในการงอก ค่าความยาวราก และคะแนนรากแขนง เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

2. การทดลองที่ 2 การประเมินการใช้ประโยชน์ได้ของปุ๋ยอินทรีย์ที่ทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ในแปลงทดลองขนาดเล็ก

จากการศึกษาผลของปุ๋ยหมักโดยใช้ดินขุยไผ่ทดแทนมูลโค 75 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากการหมักโดยการดูแลกองปุ๋ยทั้งแบบให้น้ำปกติ (สูตร A) และปุ๋ยหมักโดยใช้ดินขุยไผ่ทดแทนมูลโค 75 เปอร์เซ็นต์ ดูแลโดยลดการให้น้ำลง (สูตร B) ต่อการเจริญเติบโตของพืช 2 กลุ่มได้แก่ ผักบุ้งซึ่งเป็นตัวแทนพืชผัก และข้าวไร่พันธุ์นาสารซึ่งเป็นตัวแทนข้าวไร่ เปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักที่เตรียมตามกรรมวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน และตามกรรมวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ศึกษาที่ระดับการให้ปุ๋ย 2 ระดับ (อัตรา 2 ตันต่อไร่และ 20 ตันต่อไร่) ได้ผลการศึกษา ดังนี้

2.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูกพืชในแปลงทดลองขนาดเล็ก

ตารางที่ 1.16 แสดงการศึกษาค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินก่อนปลูกเมื่อผสมกับปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างระหว่างสูตรปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยดินที่ผสมปุ๋ยหมักสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด (1.08 dSm^{-1}) รองลงมาคือดินที่ผสมปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดิน (0.48 dSm^{-1}) ส่วนค่านำไฟฟ้าของดินที่ผสมปุ๋ยหมักสูตร A และสูตร B มีค่าต่ำที่สุด (0.23 และ 0.33 dSm^{-1} ตามลำดับ) และพบว่ามีความแตกต่างระหว่างดินผสมปุ๋ยหมักให้มีอัตราปุ๋ยหมักต่างกันโดยมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ดินที่ผสมปุ๋ยหมักอัตรา 20 ตันต่อไร่ มีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 0.78 dSm^{-1} ซึ่งสูงกว่าดินผสมปุ๋ยหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ (0.27 dSm^{-1}) และพบว่ามีความแตกต่างระหว่างสูตรปุ๋ย ร่วมกับอัตราการให้ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ดินผสมปุ๋ยหมัก สูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 สูตรกรมพัฒนาที่ดิน และสูตร A ที่อัตรา 20 ตันต่อไร่ ต่างก็ทำให้ดินมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่า ดินผสมปุ๋ยที่อัตรา 2 ตันต่อไร่ ในขณะที่ดินผสมปุ๋ยสูตร B ทั้งอัตรา 2 ตันต่อไร่ และ 20 ตันต่อไร่ มีค่าการนำไฟฟ้าไม่ต่างกัน (ตารางที่ 1.16) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างดินผสมปุ๋ยกับดินก่อนปลูกที่ไม่มีการผสมปุ๋ยหมัก พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 7-2) ความสามารถของดินในการส่งผ่านหรือนำกระแสไฟฟ้าค่า EC มีความสัมพันธ์กับสมบัติดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

ตารางที่ 1.16 แสดงค่าการความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินก่อนปลูกเมื่อผสมปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างระหว่างสูตรปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยดินที่ผสมปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดิน (7.64) และปุ๋ยหมักวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (7.76) มีค่า pH ไม่แตกต่างกัน และมีค่า pH สูงกว่าดินผสมปุ๋ยหมักสูตร A (7.05) และสูตร B (6.99) แต่มีความแตกต่างระหว่างดินผสมปุ๋ยที่มีอัตราปุ๋ยหมักต่างกัน มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยดินผสมปุ๋ยอัตรา 20 ตันต่อไร่ (7.70) มีค่า pH สูงกว่าดินผสมปุ๋ยหมักอัตรา 2 ตันต่อไร่ (7.02) แต่ไม่มีความแตกต่างระหว่างสูตรปุ๋ยร่วมกับอัตราการให้ปุ๋ย ($p>0.05$)

ตารางที่ 1.16 สมบัติที่สำคัญของดิน (ค่าเฉลี่ย±SD) เมื่อผสมสูตรปุ๋ยและสัดส่วนที่ต่างกันในดินก่อนปลูกข้าวไร่และผักบุ้ง

กลุ่มทดลอง	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	OC (g/kg)	OM (g/kg)
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	0.67 ± 0.09^{b}	7.89 ± 0.08	34.11 ± 1.38^{a}	58.81 ± 2.73^{a}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	0.29 ± 0.04^{cd}	7.38 ± 0.28	8.54 ± 0.42^{d}	14.72 ± 0.78^{d}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.74 ± 0.26^{a}	8.15 ± 0.06	26.84 ± 0.71^{b}	46.28 ± 1.23^{b}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	0.42 ± 0.03^{c}	7.37 ± 0.11	10.13 ± 0.67^{c}	17.47 ± 1.56^{c}
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	0.33 ± 0.07^{c}	7.37 ± 0.21	10.41 ± 0.68^{c}	17.94 ± 1.18^{c}
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	0.13 ± 0.01^{d}	6.61 ± 0.17	4.89 ± 0.26^{e}	8.43 ± 0.46^{e}
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	0.41 ± 0.08^{c}	7.41 ± 0.12	9.25 ± 1.33^{cd}	15.94 ± 2.30^{cd}
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	0.26 ± 0.01^{cd}	6.70 ± 0.13	4.50 ± 0.17^{e}	7.76 ± 0.26^{e}
F-test (p-value) ปุ๋ยxอัตราการใส่ปุ๋ย	**(<0.001)	^{ns}(0.4603)	**(<0.001)	**(<0.001)

สมบัติของดินที่สำคัญเมื่อให้สูตรปุ๋ยหมักที่ต่างกันในดินก่อนปลูกข้าวไร่

สูตรปุ๋ย	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	OC (g/kg)	OM (g/kg)
กรมพัฒนาที่ดิน	0.48 ± 0.48^{B}	7.64 ± 0.33^{A}	36.76 ± 14.04^{A}	21.32 ± 24.20^{A}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1	1.08 ± 0.74^{A}	7.76 ± 0.43^{A}	31.87 ± 9.17^{B}	18.49 ± 15.82^{B}
สูตร A	0.23 ± 0.12^{C}	7.05 ± 0.48^{B}	13.18 ± 3.06^{C}	7.65 ± 5.27^{C}
สูตร B	0.33 ± 0.10^{C}	6.99 ± 0.41^{B}	11.85 ± 2.74^{C}	6.87 ± 4.72^{C}
F-test (p-value) สูตรปุ๋ย	**(<0.001)	**(<0.001)	**(<0.001)	**(<0.001)

เปรียบเทียบคุณสมบัติของดินที่สำคัญเมื่อให้อัตราปุ๋ยหมักที่ต่างกันในดินก่อนปลูกข้าว

อัตราปุ๋ย	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	OC (g/kg)	OM (g/kg)
20 ตันต่อไร่	$0.78\pm0.60^{\text{ก}}$	$7.70\pm0.36^{\text{ก}}$	$34.74\pm12.06^{\text{ก}}$	$20.15\pm20.79^{\text{ก}}$
2 ตันต่อไร่	$0.27\pm0.11^{\text{ข}}$	$7.02\pm0.41^{\text{ข}}$	$12.09\pm3.10^{\text{ข}}$	$7.01\pm5.35^{\text{ข}}$
F-test (p-value) อัตราการใส่ปุ๋ย	**(<0.001)	**(<0.001)	**(<0.001)	**(<0.001)
cv (%)	20.7070	2.1750	6.0424	6.0425

หมายเหตุ: ** แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (P<0.01), ns ไม่แตกต่างทางสถิติ p>0.05)

^{a,b,c,e} อักษรกำกับเหมือนในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

^{A,B,C} อักษรกำกับที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

$^{\text{ก,ข}}$ อักษรกำกับที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

เปรียบเทียบดินผสมปุ๋ยหมักกับดินไม่ใส่ปุ๋ยก่อนปลูก (ตารางที่ 1.17) พบว่าค่านำไฟฟ้าของดินที่ผสมปุ๋ยสูตร A และสูตร B ทั้ง 2 อัตราไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างกับดินที่ไม่ใส่ปุ๋ย ดินผสมปุ๋ยหมักสูตร

วิศวกรรมแม่โจ้ 1 และดินผสมปุ๋ยสูตรจากกรมพัฒนาที่ดินที่อัตรา 20 ตันต่อไร่ ทำให้ดินมีค่า pH สูงกว่าดินที่ไม่ได้ผสมปุ๋ยในขณะที่ผสมที่อัตรา 2 ตันต่อไร่ไม่มีผลให้ค่า pH ของดินเปลี่ยนแปลง ส่วนดินผสมปุ๋ยสูตร A และ B ทั้งอัตรา 2 ตันต่อไร่ และ 20 ตันต่อไร่ ไม่มีผลทำให้ค่า pH ของดินเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 1.17 สมบัติที่สำคัญของดิน (ค่าเฉลี่ย±SD) เมื่อผสมสูตรปุ๋ยและสัดส่วนที่ต่างกันในดินก่อนปลูกข้าวไร่และ ผักบุ้ง

กลุ่มทดลอง	EC (dS m^{-1})	pH	OC (g/kg)	OM (g/kg)
ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	0.28±0.12	6.54±2.00^{c}	2.52±0.30^{f}	4.34±0.18^{f}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	0.67±0.09	7.89±0.08^{ab}	34.11±1.38^{a}	58.81±2.73^{a}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	0.29±0.04	7.38±0.28a^{bc}	8.54±0.42^{d}	14.72±0.78^{d}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.74±0.26	8.15±0.06^{a}	26.84±0.71^{b}	46.28±1.23^{b}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	0.42±0.03	7.37±0.11a^{bc}	10.13±0.67^{c}	17.47±1.56^{c}
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	0.33±0.07	7.37±0.21a^{bc}	10.41±0.68^{c}	17.94±1.18^{c}
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	0.13±0.01	6.61±0.17^{bc}	4.89±0.26^{e}	8.43±0.46^{e}
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	0.41±0.08	7.41±0.12^{abc}	9.25±1.33d^{e}	15.94±2.30^{cd}
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	0.26±0.01	6.70±0.13^{bc}	4.50±0.17^{e}	7.76±0.26^{e}
F-test (p-value) กลุ่มทดลอง	0.1025	**(<0.0001)	**(<0.0001)	**(<0.0001)
cv (%)	9.3893	21.8204	6.2818	6.2818

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

^{ns} ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

^{a,b,c,d,e,f} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 1.16 แสดงผลการศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของดินก่อนปลูกเมื่อผสมปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างระหว่างสูตรปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01) โดยดินผสมปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดิน มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงสุด (36.76 กรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมาคือดินที่ผสมปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ (31.87 กรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนดินที่ผสมปุ๋ยหมักสูตร A และสูตร B มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนไม่แตกต่างกัน และมีค่าต่ำที่สุด (13.18 กรัมต่อกิโลกรัม และ 11.85 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบดินผสมปุ๋ยหมักกับดินไม่ใส่ปุ๋ยก่อนปลูก (ตารางที่ 1.18) พบว่ามีความแตกต่างระหว่างสูตรปุ๋ยร่วมกับอัตราผสมปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01) โดยดินที่ผสมปุ๋ยหมักทุกสูตรมีผลเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนให้แก่ดิน (p<0.01) โดยยิ่งเพิ่มอัตราปุ๋ยหมัก จะทำให้ดินมีอินทรีย์คาร์บอนสูงขึ้น มีเพียงปุ๋ยหมักสูตร B ที่เมื่อเพิ่มอัตราปุ๋ยหมักในดิน แต่พบว่าไม่ได้มีการเพิ่มอินทรีย์คาร์บอนในดิน

จากตารางที่ 1.16 แสดงผลการศึกษาปริมาณอินทรียวัตถุของดินก่อนปลูกเมื่อผสมปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างของสูตรปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01) โดยดินที่ผสม

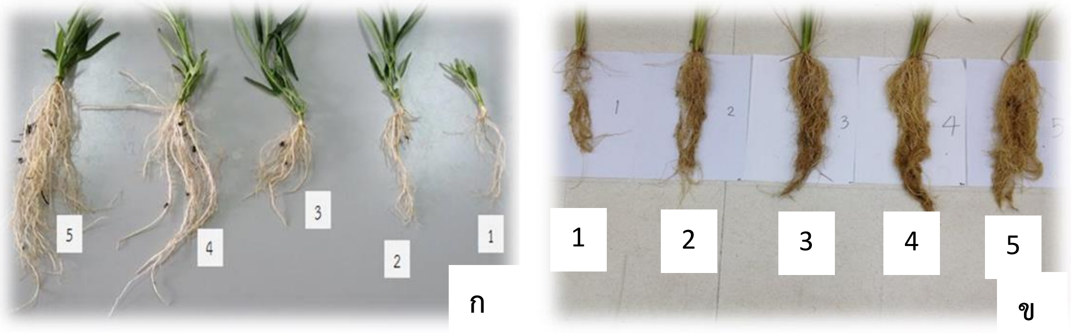
ปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุด (21.32 กรัมต่อกิโลกรัม) รองลงมา คือดินผสมปุ๋ยสูตรจากวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (18.49 กรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนดินที่ผสมสูตรปุ๋ยหมักสูตร A และสูตร B มีปริมาณอินทรียวัตถุไม่ต่างกัน และมีค่าอินทรียวัตถุต่ำสุด (7.65 กรัมต่อกิโลกรัม และ 6.87 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบดินผสมปุ๋ยหมักกับดินไม่ใส่ปุ๋ยก่อนปลูก พบว่าการใส่ปุ๋ยหมักทุกสูตรมีผลทำให้มีค่าอินทรียวัตถุในดินเพิ่มสูงขึ้น และในขณะเดียวกันปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราการให้ปุ๋ยด้วย (ตารางที่ 1.18) และพบว่ามีความแตกต่างระหว่างสูตรปุ๋ยร่วมกับสัดส่วนการให้ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ตารางที่ 1.17 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของดินก่อนปลูกในแต่ละกลุ่มการทดลองที่มีการให้ปุ๋ยหมักในแต่ละอัตราส่วนร่วมกันกลุ่มที่ไม่มีการให้ปุ๋ย พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มของค่าการนำไฟฟ้า ($p<0.05$) แต่พบว่ามีค่าแตกต่างระหว่างกลุ่มของค่าความเป็นกรด-ด่าง ($p<0.01$) โดยกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 สัดส่วน 20 ตันต่อไร่มีค่าเฉลี่ย 8.15 และค่าความเป็นกรด-ด่างกลุ่มที่มีต่ำสุดคือกลุ่มที่ไม่มีการให้ปุ๋ยเฉลี่ย 6.54 และพบว่ามีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ระหว่างกลุ่มของค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอน โดยกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดิน สัดส่วน 20 ตันต่อไร่เฉลี่ย 34.11 กรัมต่อกิโลกรัม และค่าปริมาณอินทรียคาร์บอนกลุ่มที่มีต่ำสุดคือกลุ่มที่ไม่มีการให้ปุ๋ยเฉลี่ย 2.52 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนค่าปริมาณอินทรียวัตถุพบว่ามีแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีที่ดินสัดส่วน 20 ตันต่อไร่เฉลี่ย 58.81 กรัมต่อกิโลกรัม ค่าปริมาณอินทรียวัตถุกลุ่มที่มีต่ำสุดคือกลุ่มที่ไม่มีการให้ปุ๋ยเฉลี่ย 4.34 กรัมต่อกิโลกรัม

ส่วนผลอินทรีย์คาร์บอน (ตารางที่ 1.17) ที่พบว่าดินที่ได้รับปุ๋ยสูตร A และสูตร B ทั้ง 2 สูตร มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนน้อยกว่าปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดินในทั้ง 2 ระดับและปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ระดับ 20 ตันต่อไร่ยกเว้นปุ๋ยหมักสูตร A ระดับ 20 ตันต่อไร่ ไม่แตกต่างกับให้ปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ระดับ 2 ตันต่อไร่ ขณะที่ทุกปัจจัยมีค่าอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (ตารางที่ 1.18) แต่จะมีค่าอินทรีย์คาร์บอนสูงอาจเนื่องมาจากปุ๋ยสูตรนี้มีการใช้ฟางข้าวเป็นองค์ประกอบมากกว่าปุ๋ยหมักสูตรอื่น ซึ่งจากการย่อยสลายของพืชและสัตว์ด้วยจุลินทรีย์การย่อยสลายลงไปในดิน อินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุจะส่งผลต่อโครงสร้างของดิน (Follent, 2001) และอินทรียวัตถุจาก (ตารางที่ 1.17) ที่พบว่าดินที่ได้รับปุ๋ยสูตร A และสูตร B ทั้ง 2 อินทรีย์คาร์บอนน้อยกว่าปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดินระดับ 20 ตันต่อไร่ และปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ระดับ 20 ตันต่อไร่ ยกเว้นปุ๋ยหมักสูตร A และสูตร B ระดับ 20 ตันต่อไร่ ไม่แตกต่างกับให้ปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ระดับ 2 ตันต่อไร่ ขณะที่ทุกปัจจัยมีค่าอินทรียวัตถุสูงกว่าที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (ตารางที่ 1.17) สารประกอบอินทรีย์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีววิทยาของดิน ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงจะมีสีน้ำตาลดำ อินทรียวัตถุส่งเสริมให้เม็ดดินจับตัวเป็นก้อนช่วยให้ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำ และถ่ายเทอากาศได้ดีขึ้นอินทรียวัตถุมีความสามารถในการดูดซับประจุบวกได้สูง ดังนั้นดินที่มีอินทรียวัตถุสูงจึงมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารหรือปุ๋ยที่ใส่แก่ดิน และมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH ดินได้ดี เพราะดินจะรักษาสมดุลระหว่างไฮโดรเจนไอออน ที่ดูดซับอยู่ที่ผิวอนุภาคดินกับไฮโดรเจนไอออนในสารละลายดินนอกจากนี้ การสลายตัวของอินทรียวัตถุโดย

กิจกรรมของจุลินทรีย์จะทำให้เกิดการปลดปล่อยธาตุอาหารที่มีอยู่ในอินทรียวัตถุนั้นๆ ให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์จึงต้องใช้ในปริมาณมากกว่าปุ๋ยเคมีหลายเท่า เพราะปริมาณธาตุอาหารที่ได้จากการย่อยสลายของอินทรียวัตถุนี้ถือว่ามีน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมีในปริมาณที่เท่ากัน โดยปกติแล้วปุ๋ยอินทรีย์มีธาตุอาหารน้อยกว่าปุ๋ยเคมีทั่วไปไม่น้อยกว่า 10 เท่า (นันทรัตน์, 2558) อินทรียวัตถุสามารถปรับปรุงโครงสร้างของส่งผลให้รากพืชมีการหาอาหารได้ดีขึ้น (Rosmarkam and Yowono, 2002) ซึ่งปริมาณอินทรียวัตถุที่ทำการศึกษาพบว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช

2.2 ผลของปุ๋ยหมักต่อการเจริญเติบโตของผักบุ้ง



ภาพที่ 1.19 (ก) เกณฑ์การให้คะแนนรากของผักบุ้งอายุ 27 วัน และ (ข) เกณฑ์การให้คะแนนของรากข้าวไร่อายุ 47 วัน

หมายเหตุ ระดับคะแนน 1) แทน จำนวนรากน้อยที่สุด 2) แทน จำนวนรากน้อย 3) แทน จำนวนรากปานกลาง 4) แทน จำนวนรากมาก และ 5) แทน จำนวนรากมากที่สุด

ภาพที่ 1.19ก และ ข พบว่าการใส่ปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ ปุ๋ยสูตร A และสูตร B มีผลทำให้ผักบุ้งมีคะแนนรากเฉลี่ยสูงกว่าการไม่ได้รับปุ๋ย (p<0.01) (ตารางที่ 2-3) ตารางที่ 1.19 แสดงค่าเฉลี่ยคะแนนรากของผักบุ้งเมื่อผักบุ้งได้รับปุ๋ยหมักทั้งสูตรและสัดส่วนปุ๋ยหมักที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันระหว่างสูตรปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01) โดยผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตร A และสูตร B มีค่าคะแนนราก (เฉลี่ย 3.5 คะแนน) ไม่แตกต่างจากผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ซึ่งปุ๋ยทั้ง 3 สูตรนี้ มีคะแนนรากเฉลี่ยสูงกว่าผักบุ้งที่ปลูกโดยการใส่ปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดิน (2 คะแนน)

พบว่ามีความแตกต่างระหว่างปริมาณการใส่ปุ๋ยหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยอัตรา 20 ตันต่อไร่ ทำให้ผักบุ้งมีคะแนนรากเฉลี่ย 3.4 คะแนน ซึ่งมากกว่าการให้ปุ๋ยในอัตรา 2 ตันต่อไร่ (2.9 คะแนน) (ตารางที่ 1.19)

ตารางที่ 1.18 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อคะแนนราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง

กลุ่มการทดลอง	คะแนนราก
ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	2.0±0.6^{de}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.8±0.4^{e}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.3±0.4^{de}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	3.8±0.7^{ab}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	3.3±0.4^{bc}
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	3.8±0.8^{ab}
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	3.3±0.5^{bc}
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	4.3±0.4^{a}
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.8±0.4^{cd}
F-test (p-value) กลุ่มทดลอง	**(<0.0001)
cv (%)	20.2860

หมายเหตุ: ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

^{a,b,c,d,e} อักษรกำกับแตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ระดับคะแนน 1) แทน จำนวนรากน้อยที่สุด 2) แทน จำนวนรากน้อย 3) แทน จำนวนรากปานกลาง 4) แทน จำนวนรากมาก และ 5) แทน จำนวนรากมากที่สุด

พบว่ามีความแตกต่างระหว่างสูตรปุ๋ยร่วมกับสัดส่วนในการให้ปุ๋ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 อัตรา 20 ตันต่อไร่ (3.8 คะแนน) และปุ๋ยสูตร A อัตรา 20 ตันต่อไร่ (3.8 คะแนน) มีคะแนนรากไม่แตกต่างจากผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยที่อัตรา 2 ตันต่อไร่ (3.3 คะแนน) ในทำนองเดียวกัน ผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดินสัดส่วน 2 ตันต่อไร่ มีคะแนนรากไม่แตกต่างจากที่ระดับ 20 ตันต่อไร่ ในขณะที่ผักบุ้งได้รับปุ๋ยสูตร B มีผลทำให้มีคะแนนรากเพิ่มจาก 2.8 คะแนน (อัตรา 2 ตันต่อไร่) เป็น 4.3 คะแนน เมื่อได้รับปุ๋ยที่อัตรา 20 ตันต่อไร่ หรือกล่าวได้ว่าปุ๋ยสูตรอื่นๆ การเพิ่มอัตราการใส่ปุ๋ยหมัก จาก 2 ตันเป็น 20 ตันต่อไร่ให้คะแนนรากเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย หรือไม่แตกต่างกันยกเว้นใส่ปุ๋ยสูตร B ที่เพิ่มอัตราปุ๋ยจาก 2 เป็น 20 ตันต่อไร่ แสดงว่าปุ๋ยสูตร B ต้องใช้ในอัตราสูงจึงเห็นผลความแตกต่าง

ตารางที่ 1.19 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อคะแนนราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้งอายุ 27 วัน

กลุ่มทดลอง	คะแนนราก
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.8 ±0.5^{e}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.3 ±0.5^{ed}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	3.8±0.5^{ab}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	3.3±0.5^{bc}
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	3.8±0.9^{ab}
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	3.3±0.5^{bc}
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	4.3±0.5^{a}
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.8±0.5^{cd}
F-test (p-value) ปุ๋ยxอัตราการใส่ปุ๋ย	*(0.0192)
คะแนนรากของผักบุ้งกับปุ๋ยแต่ละสูตร	
ค่าเฉลี่ยสูตรปุ๋ย	คะแนนราก
กรมพัฒนาที่ดิน	2.0±0.5^{B}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1	3.5±0.5^{A}
สูตร A	3.5±0.7^{A}
สูตร B	3.5±0.9^{A}
F-test (p-value) สูตรปุ๋ย	**(<0.0001)
คะแนนรากของผักบุ้งกับให้ปุ๋ยหมักให้อัตราที่ต่างกัน	
ค่าเฉลี่ยอัตราปุ๋ยหมัก	คะแนนราก
20 ตันต่อไร่	3.4±1.4^{ก}
2 ตันต่อไร่	2.9±0.6^{ข}
F-test (p-value) อัตราการใส่ปุ๋ย	*(0.0220)
cv (%)	18.4752

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)
* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)
^{a,b,c,d,e} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)
^{A,B} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p>0.01)
^{ก,ข} อักษรกำกับเหมือนในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)
ระดับคะแนน 1) แทน จำนวนรากน้อยที่สุด 2) แทน จำนวนรากน้อย 3) แทน จำนวนรากปานกลาง 4) แทน จำนวนรากมาก และ 5) แทน จำนวนรากมากที่สุด

ตารางที่ 1.21 แสดงผลการศึกษาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักบุ้งเมื่อได้รับปุ๋ยหมักสูตรและสัดส่วนที่ต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างระหว่างสูตรปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01) โดยผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงสุด (4.93 กรัมต่อต้น และ 0.63 กรัมต่อต้น ตามลำดับ) และขณะที่ผักบุ้งได้รับปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดินมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งน้อยสุด

(1.84 กรัมต่อต้นน้ำหนักแห้ง 0.20 กรัมต่อต้น ตามลำดับ) ซึ่งผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตรสูตร A และ B มีค่าน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกัน แต่ ผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตร A มีค่าน้ำหนักสดและแห้ง (3.67 กรัมต่อต้น และ 0.44 กรัมต่อต้น ตามลำดับ) สูงกว่าการได้รับปุ๋ยหมักจากสูตรกรมพัฒนาที่ดินแต่ยังต่ำกว่าการได้รับปุ๋ยหมักจากสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1

ตารางที่ 1.20 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง อายุ 27 วัน

กลุ่มทดลอง	น้ำหนักสด (กรัมต่อต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อต้น)
ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	2.16±0.67^{bc}	0.24±0.06^{cd}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.14±0.37^{c}	0.09±0.40^{d}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.55±0.91^{bc}	0.30±0.06^{bc}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	6.93±2.60^{a}	0.89±0.22^{a}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.93±0.65^{bc}	0.37±0.09^{bc}
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	3.89±0.87^{b}	0.48±0.10^{b}
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	3.46±1.05^{b}	0.41±0.15^{bc}
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	3.44±1.27^{b}	0.44±0.23^{bc}
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.35±0.43^{bc}	0.29±0.05^{c}
F-test (p-value) กลุ่มทดลอง	$^{**(}$<0.0001)	**(<0.0001)
cv (%)	36.3954	30.4069

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

^{a,b,c} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

พบว่ามีความแตกต่างระหว่างอัตราการให้ปุ๋ยหมักมีผลต่อน้ำหนักสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยน้ำหนักสดของผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยหมัก 20 ตันต่อไร่ (3.85 กรัมต่อต้น) สูงกว่ากว่าได้รับในสัดส่วน 2 ตันต่อไร่ (2.82 กรัมต่อต้น) ส่วนน้ำหนักแห้งของผักบุ้งพบว่ามีความแตกต่างระหว่างสัดส่วนการให้ปุ๋ยมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.01) โดยน้ำหนักแห้งของผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยสัดส่วน 20 ตันต่อไร่ (0.48 กรัมต่อต้น) มากกว่าที่ได้รับในสัดส่วน 2 ตันต่อไร่ (0.34 กรัมต่อต้น) ในขณะที่อัตราการให้ปุ๋ยหมักระหว่าง 2 ตันต่อไร่และ 20 ตันต่อไร่มีผลต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยสูตร A และ สูตร B ไม่แตกต่างกันและยังมีน้ำหนักไม่แตกต่างกับการไม่ได้รับปุ๋ย (ตารางที่ 1.20 และ 1.21) ส่วนผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยหมักตามสูตรกรมพัฒนาที่ดินที่อัตรา 2 ตันต่อไร่ มีน้ำหนักสดไม่แตกต่างกันไม่แตกต่างจาก 20 ตันต่อไร่ ในขณะที่การได้รับ 20 ตันต่อไร่ แต่มีผลให้น้ำหนักแห้งของผักบุ้งต่ำกว่าการที่ผักบุ้งได้รับปุ๋ยหมักเพียง 2 ตันต่อไร่ (ตารางที่ 1.21) ส่วนผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตรของวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงขึ้นเมื่อได้รับปุ๋ยหมักในอัตราที่สูงขึ้น

ตารางที่ 1.21 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง อายุ 27 วัน

กลุ่มทดลอง	น้ำหนักสด (กรัมต่อต้น)	น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อต้น)
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.14±0.37^{c}	0.09±0.42^{c}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.55±0.91^{bc}	0.30±0.13^{b}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	6.93±2.60^{a}	0.89±0.22^{a}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.93±0.65^{bc}	0.37±0.09^{b}
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	3.89±0.87^{b}	0.48±0.10^{b}
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	3.46±1.05^{b}	0.41±0.15^{b}
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	3.44±1.27^{b}	0.44±0.13^{b}
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.35±0.43^{bc}	0.29±0.05^{b}
F-test (p-value) ปุ๋ยxอัตราการใส่ปุ๋ย	**(0.0018)	**(<0.0001)
น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักบุ้งเมื่อให้ปุ๋ยแต่ละสูตร		
ค่าเฉลี่ยสูตรปุ๋ย	น้ำหนักสด(กรัมต่อต้น)	น้ำหนักแห้ง(กรัมต่อต้น)
กรมพัฒนาที่ดิน	1.84±0.99^{C}	0.20±0.14^{C}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1	4.93±2.76^{A}	0.63±0.32^{A}
สูตร A	3.67±0.92^{B}	0.44±0.12^{B}
สูตร B	2.89±1.05^{BC}	0.36±0.12^{B}
F-test (p-value) สูตรปุ๋ย	**(<0.0003)	**(<0.0001)
น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเฉลี่ยของผักบุ้งเมื่อให้ปุ๋ยหมักในอัตราที่ต่างกัน		
ค่าเฉลี่ยอัตราปุ๋ยหมัก	น้ำหนักสด(กรัมต่อต้น)	น้ำหนักแห้ง(กรัมต่อต้น)
20 ตันต่อไร่	3.85±2.62^{ก}	0.48±0.33^{ก}
2 ตันต่อไร่	2.82±0.84^{ข}	0.34±0.11^{ข}
F-test (p-value) อัตราการใส่ปุ๋ย	*(0.0251)	**(0.0048)
cv (%)	36.4145	30.3146

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{a,b,c} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{A,B,C} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{ก,ข} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1.22 แสดงผลการศึกษาความสูงลำต้นเหนือดินของผักบุ้งเมื่อให้ปุ๋ยหมักสูตรและสัดส่วนที่ต่างกันตั้งแต่ผักบุ้งอายุปลูก 7 ถึง 27 วัน พบว่ามีความไม่แตกต่างกันทั้งระหว่างสูตรปุ๋ย สัดส่วนการให้ปุ๋ยและปฏิกิริยาร่วมระหว่างสูตรปุ๋ยกับปริมาณการใส่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) เช่นเดียวกันพบว่า

การใส่ปุ๋ยในทุกๆ สูตร มีผลต่อลำต้นเหนือดินของผักบุ้งไม่แตกต่างกับการไม่ใส่ปุ๋ย (p>0.05) (ตารางที่ 1.23)

ตารางที่ 1.22 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อความสูงลำต้นเหนือดิน (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง

กลุ่มทดลอง	ความสูงลำต้นเหนือดิน (เซนติเมตร)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	27 วัน
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.74±1.41	2.80±1.36	3.03±1.78	4.32±2.62
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	4.96±3.19	7.26±4.76	6.71±4.24	5.59±3.41
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	6.64±4.44	10.44±7.71	9.65±6.72	10.37±6.89
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	5.31±3.56	8.04±5.33	7.24±4.34	5.15±3.44
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	6.99±4.77	6.77±4.47	8.45±5.96	7.60±4.86
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	6.58±4.11	8.41±6.30	6.38±4.17	5.78±3.68
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	8.72±4.49	7.54±4.58	6.80±3.97	7.54±5.22
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	5.63±4.45	4.38±2.72	5.71±3.24	6.48±3.71
F-test (p-value) ปุ๋ยxอัตราการใส่ปุ๋ย	0.6081	0.4026	0.5181	0.5381

ความสูงของลำต้นเหนือดินของผักบุ้งเมื่อให้ปุ๋ยหมักแต่ละสูตร

ค่าเฉลี่ยสูตรปุ๋ย	ความสูงลำต้นเหนือดิน (เซนติเมตร)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	27 วัน
กรมพัฒนาที่ดิน	3.85±2.57	5.03±4.04	4.87±3.59	4.95±2.90
วิศวกรรมแม่โจ้ 1	5.97±3.80	9.24±6.27	8.44±5.39	7.76±5.77
สูตร A	6.78±4.13	7.59±5.13	7.42±4.89	6.69±4.11
สูตร B	7.17±4.56	5.96±3.87	6.26±3.40	7.01±4.23
F-test (p-value) สูตรปุ๋ย	0.3621	0.3702	0.4454	0.6341

ความสูงของลำต้นเหนือดินของผักบุ้งเมื่อให้ปุ๋ยหมักในอัตราที่ต่างกัน

ค่าเฉลี่ยอัตราปุ๋ยหมัก	ความสูงลำต้นเหนือดิน (เซนติเมตร)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	27 วัน
20 ตันต่อไร่	6.27±4.59	6.89±5.42	6.98±5.27	7.46±5.25
2 ตันต่อไร่	5.62±3.45	7.02±4.89	6.51±3.86	5.75±3.42
F-test (p-value) อัตราการใส่ปุ๋ย	0.6440	0.9410	0.7706	0.2842
cv (%)	66.8488	72.0293	67.1955	66.8816

หมายเหตุ: ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 1.23 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อความสูงลำต้นเหนือดิน (ค่าเฉลี่ย±SD) ของผักบุ้ง

กลุ่มทดลอง	ความสูงลำต้นเหนือดิน (เซนติเมตร)			
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	27 วัน
ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	5.33±3.36	5.82±3.65	4.93±3.55	5.15±2.94
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.74±1.41	2.80±1.36	3.03±1.78	4.32±2.62
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	4.96±3.19	7.26±4.76	6.71±4.24	5.59±3.41
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	6.64±4.44	10.44±7.71	9.65±6.72	10.37±6.89
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	5.31±3.56	8.04±5.33	7.24±4.34	5.15±3.44
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	6.99±4.77	6.77±4.47	8.45±5.96	7.60±4.86
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	6.58±4.11	8.41±6.30	6.38±4.17	5.78±3.68
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	8.72±4.49	7.54±4.58	6.80±3.97	7.54±5.22
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	5.63±4.45	4.38±2.72	5.71±3.24	6.48±3.71
F-test (p-value) กลุ่มทดลอง	0.6788	0.5605	0.6467	0.6568
cv (%)	66.5461	71.4224	67.7723	66.4139

หมายเหตุ: ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

2.3 ผลของปุ๋ยหมักต่อการเจริญเติบโตของข้าวไร่

การใส่ปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ปุ๋ยสูตร A และปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดิน มีผลให้คะแนนรากของข้าวไร่มีค่าสูงกว่าที่ไม่ได้รับปุ๋ย ในขณะที่ข้าวไร่ที่ได้รับปุ๋ยสูตร B มีคะแนนรากข้าวไม่แตกต่างกับการไม่ได้รับปุ๋ย (p<0.01) (ตารางที่ 1.24) ข้าวไร่ที่ได้รับปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ที่คะแนนรากสูงที่สุด (3.4 คะแนน) ซึ่งไม่แตกต่างกับคะแนนของรากข้าวที่ได้รับปุ๋ยสุตรกรมพัฒนาที่ดิน (2.8 คะแนน) แต่มีคะแนนรากสูงกว่าข้าวที่ได้รับปุ๋ยสูตร B (2.5 คะแนน) ข้าวไร่ที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตร B มีคะแนนรากน้อยเฉลี่ยน้อยที่สุด (1.7 คะแนน) (p<0.01) (ตารางที่ 1.25) และพบว่าไม่แตกต่างระหว่างสัดส่วนในการให้ปุ๋ยหมักไม่มีผลต่อคะแนนรากข้าวไร่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) และพบว่ามีความแตกต่างระหว่างสูตรปุ๋ยร่วมกับสัดส่วนในการให้ที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ในกรณีที่ข้าวไร่ที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 โดยคะแนนรากเพิ่มจาก 2.8 คะแนน (อัตรา 2 ตันต่อไร่) เป็น 4.0 คะแนน เมื่อได้รับปุ๋ยที่อัตรา 20 ตันต่อไร่

การใส่ปุ๋ยหมักทุกสูตรมีผลช่วยเพิ่มน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ของข้าวไร่ เมื่อเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย (ตารางที่ 1.26) ทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของข้าวไร่นาสารที่ได้รับปุ๋ยสูตร A และสูตร B ทั้งที่ระดับ 2 ตันต่อไร่ และที่ 20 ตันต่อไร่ (น้ำหนักสดอยู่ระหว่าง 12.16-14.92 กรัมต่อกอสด และ 4.25-4.30 กรัมต่อกอแห้ง) ไม่แตกต่างกับการที่ข้าวไร่ได้รับปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ทั้ง 2 ระดับ (ค่าระหว่าง 17.33-17.90 กรัมต่อกอสด และ 4.80-5.26 กรัมต่อกอแห้ง) แต่มีทั้งน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งต่ำกว่าข้าวที่ได้รับปุ๋ยจากกรมพัฒนาที่ดินที่ระดับ 20 ตันต่อไร่ (28.25 กรัมต่อกอสด และ 8.12 กรัมต่อกอแห้ง) แต่ข้าว

ที่ได้รับปุ๋ยหมักจากกรมพัฒนาที่ดินที่อัตรา 2 ตันต่อไร่มีน้ำหนักข้าวไร่ (14.72 กรัมต่อกอสด และ 4.71 กรัมต่อกอแห้ง) ไม่แตกต่างกับการใส่ปุ๋ยสูตร A และสูตร B (ตารางที่ 1.27)

ตารางที่ 1.24 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อคะแนนราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่อายุ 47 วัน

กลุ่มการทดลอง	คะแนนราก
ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	1.2±0.2^{e}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	3.2±0.6^{ab}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.4±0.3^{bcd}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.8±0.5^{b}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	4.0±0.9^{a}
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.6±0.5^{bc}
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.4±0.5^{bcd}
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.6±0.7^{de}
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.8±0.9^{de}
F-test (p-value) กลุ่มทดลอง	**(<0.0001)
cv (%)	24.4302

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

^{a,b,c,d,e} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1.28 แสดงผลการศึกษาความสูงลำต้นเหนือดินของข้าวไร่เมื่อให้ปุ๋ยหมักสูตรและสัดส่วนที่ต่างกัน พบความแตกต่างระหว่างสูตรปุ๋ยในต้นข้าวที่ได้รับปุ๋ยอายุปลูก 7 วัน (p<0.01) โดยสูตรปุ๋ยหมักสูตร B และสูตร A ที่ให้ความสูงลำต้นเหนือดินไม่แตกต่างกัน (2.47 เซนติเมตร และ 2.2 เซนติเมตร ตามลำดับ) รองลงมาคือข้าวที่ได้รับปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ (2.03 เซนติเมตร) และข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดิน (เฉลี่ย 1.89 เซนติเมตร) ตามลำดับ

แต่พบว่ามีความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนการให้ปุ๋ยหมักต่อความสูงเหนือดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ต้นข้าวทุกอายุปลูก (7, 14, และ 21 วัน) โดยปุ๋ย 20 ตันต่อไร่ มีความสูงมากกว่าใส่ 2 ตันต่อไร่ และไม่พบความแตกต่างกันระหว่างสูตรปุ๋ยร่วมกับอัตราส่วนการให้ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 1.25 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อคะแนนราก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่อายุ 47 วัน

กลุ่มทดลอง	คะแนนราก
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	3.2 ± 0.6^{ab}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.4 ± 0.3^{b}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.8 ± 0.5^{b}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	4.0 ± 0.9^{a}
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.6 ± 0.5^{bc}
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.4 ± 0.5^{bc}
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.6 ± 0.7^{c}
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.8 ± 0.9^{c}
F-test (p-value) ปุ๋ยxอัตราการใส่ปุ๋ย	*(0.0283)

คะแนนรากของข้าวไร่เมื่อให้ปุ๋ยหมักสูตรต่างกัน

ค่าเฉลี่ยสูตรปุ๋ย	คะแนนราก
กรมพัฒนาที่ดิน	2.8 ± 0.6^{AB}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1	3.4 ± 0.9^{A}
สูตร A	2.5 ± 0.5^{B}
สูตร B	1.7 ± 0.7^{C}
F-test (p-value) สูตรปุ๋ย	**(<0.0001)

คะแนนรากของข้าวไร่เมื่อให้ปุ๋ยหมักในอัตราที่ต่างกัน

ค่าเฉลี่ยอัตราปุ๋ยหมัก	คะแนนราก
20 ตันต่อไร่	2.5±0.8
2 ตันต่อไร่	2.6±1.1
F-test (p-value) อัตราการใส่ปุ๋ย	0.6389
cv (%)	24.1914

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

^{a,b,c} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{A,B,C} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

ตารางที่ 1.26 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่อายุ 47 วัน

กลุ่มทดลอง	น้ำหนัก (กรัมต่อต้น)	
	สด	แห้ง
ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	6.03±0.56^{c}	2.00±0.21^{c}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	28.25±4.10^{a}	8.12±0.80^{a}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	14.72±3.23^{b}	4.71±1.11^{b}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	17.33±2.63^{b}	4.80±0.75^{b}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	17.90±8.47^{b}	5.26±1.74^{b}
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	14.57±3.98^{b}	4.49±1.03^{b}
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	12.93±2.81^{b}	4.52±1.16^{b}
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	12.16±2.74^{b}	4.30±0.84^{b}
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	14.92±2.87^{b}	4.25±0.94^{b}
F-test (p-value) กลุ่มทดลอง	**(<0.0001)	**(<0.0001)
cv (%)	26.0864	24.3402

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

^{a,b,c} อักษรกำกับต่างกันเหมือนในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1.29 แสดงผลการศึกษาความสูงเหนือดินของข้าวไร่ที่ได้รับปุ๋ยในแต่ละแต่ละกลุ่มการทดลองร่วมกับกลุ่มที่ไม่มีการให้ปุ๋ย พบว่ามีความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (p<0.01) ความสูงของข้าวอายุ 7 วัน กลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักทั้งสูตร A และ B ทั้งอัตรา 2 ตันต่อไร่ และ 20 ตันต่อไร่ มีความสูงของลำต้นเหนือดินไม่แตกต่างกัน (2.15-2.63 เซนติเมตร) และมีแนวโน้มความสูงมากกว่ากลุ่มที่ได้รับปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดิน และสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 แต่ไม่ต่างกันทางสถิติ แต่มีความสูงมากกว่าข้าวกลุ่มที่ไม่ได้รับปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ข้าวอายุปลูกมากขึ้นที่ 14 วัน มีแนวโน้มว่าข้าวที่ได้รับปุ๋ยทุกๆ สูตรที่อัตรา 20 ตันต่อไร่มีความสูงมากกว่าที่อัตรา 2 ตันต่อไร่ และกลุ่มที่ไม่ได้รับปุ๋ย ถึงแม่ว่าจะไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติก็ตาม ซึ่งแนวโน้มลักษณะนี้จะชัดเจนขึ้นเมื่อข้าวอายุปลูก 21 วัน ปุ๋ยสูตรทดลองทั้งสูตร A และ B ที่อัตรา 20 ตันต่อไร่ มีความสูงของลำต้นเหนือดินไม่แตกต่างกับปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดิน และสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1

ตารางที่ 1.27 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่อายุ 47 วัน

กลุ่มทดลอง	น้ำหนัก (กรัมต่อต้น)	
	สด	แห้ง
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	28.25±4.10^{a}	8.12±0.80^{a}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	14.72±3.23^{b}	4.71±1.11^{b}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	17.33±2.63^{b}	4.80±0.75^{b}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	17.90±8.47^{b}	5.26±1.74^{b}
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	14.57±3.98^{b}	4.49±1.03^{b}
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	12.93±2.81^{b}	4.52±1.16^{b}
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	12.16±2.74^{b}	4.30±0.84^{b}
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	14.92±2.87^{b}	4.25±0.94^{b}
F-test (p-value) ปุ๋ยxอัตราการใส่ปุ๋ย	**(0.0039)	**(0.0053)

น้ำหนักสดน้ำหนักแห้งของข้าวไร่เมื่อให้ปุ๋ยหมักสูตรต่างกัน

ค่าเฉลี่ยสูตรปุ๋ย	น้ำหนัก (กรัมต่อต้น)	
	สด	แห้ง
กรมพัฒนาที่ดิน	21.49±8.00^{A}	6.42±2.03^{A}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1	17.62±5.81^{AB}	5.03±1.26^{B}
สูตร A	13.75±3.31^{B}	4.50±1.02^{B}
สูตร B	13.54±2.99^{B}	4.28±0.82^{B}
F-test (p-value) สูตรปุ๋ย	**(0.0028)	**(0.0028)

น้ำหนักสดน้ำหนักแห้งของข้าวไร่เมื่อให้ปุ๋ยหมักในอัตราที่ต่างกัน

ค่าเฉลี่ยอัตราปุ๋ยหมัก	น้ำหนัก (กรัมต่อต้น)	
	สด	แห้ง
20 ตันต่อไร่	18.08±7.06	5.43±1.79
2 ตันต่อไร่	15.12±4.80	4.69±1.20
F-test (p-value) อัตราการใส่ปุ๋ย	^{ns}(0.0610)	^{ns}(0.0653)
cv (%)	25.6845	24.1914

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

^{a,b} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{A,B} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1.28 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อความสูงลำต้นเหนือดิน (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่

กลุ่มทดลอง	ความสูงเหนือดิน (เซนติเมตร)		
	7 วัน	14 วัน	21วัน
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.08±0.27	7.29±0.37	10.69±0.70
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.69±0.35	5.14±1.51	6.88±2.40
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.10±0.35	7.12±0.29	10.63±0.99
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.95±0.36	5.84±1.05	8.84±0.99
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.29±0.27	7.28±0.92	9.83±1.28
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.15±0.17	6.59±0.49	8.33±0.57
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.63±0.12	7.44±0.51	10.57±0.10
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.31±0.27	6.23±0.24	7.79±0.73
F-test (p-value) ปุ๋ยxอัตราการใส่ปุ๋ย	0.7466	0.3442	0.2124
ความสูงลำต้นเหนือดินของข้าวไร่เมื่อให้ปุ๋ยหมักสูตรต่างกัน			
ค่าเฉลี่ยสูตรปุ๋ย	ความสูงเหนือดิน (เซนติเมตร)		
	7 วัน	14 วัน	21วัน
กรมพัฒนาที่ดิน	1.89±0.36^{C}	6.22±1.53	8.78±2.61
วิศวกรรมแม่โจ้ 1	2.03±0.34^{BC}	6.48±0.99	9.74±1.21
สูตร A	2.22±0.22^{AB}	6.93±0.78	9.08±1.22
สูตร B	2.47±2.26^{A}	6.83±0.74	8.78±1.69
F-test (p-value) สูตรปุ๋ย	**(0.0022)	0.2691	0.4454
ความสูงลำต้นเหนือดินของข้าวไร่เมื่อให้ปุ๋ยหมักในอัตราที่ต่างกัน			
ค่าเฉลี่ยอัตราปุ๋ยหมัก	ความสูงเหนือดิน (เซนติเมตร)		
	7 วัน	14 วัน	21วัน
20 ตันต่อไร่	2.28±0.33$^{\text{ก}}$	7.28±0.53$^{\text{ก}}$	10.43±0.97$^{\text{ก}}$
2 ตันต่อไร่	2.02±0.36$^{\text{ข}}$	5.95±1.02$^{\text{ข}}$	7.96±1.40$^{\text{ข}}$
F-test (p-value) อัตราการใส่ปุ๋ย	*(0.0183)	**(<0.0001)	**(<0.0001)
cv (%)	13.1248	11.9742	12.5556

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.05)

ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

^{A,B,C} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

$^{\text{ก,ข}}$ อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1.29 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อความสูงลำต้นเหนือดิน (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่

ทรีตเมนต์	ความสูงเหนือดิน (เซนติเมตร)		
	7 วัน	14 วัน	21วัน
ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	1.67 ± 0.49^{c}	6.57 ± 0.98^{ab}	8.55 ± 0.55^{bcd}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.08 ± 0.27^{bc}	7.29 ± 0.37^{a}	10.69 ± 0.70^{a}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.69 ± 0.35^{c}	5.14 ± 1.51^{c}	6.88 ± 2.40^{d}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.10 ± 0.35^{bc}	7.12 ± 0.29^{ab}	10.63 ± 0.99^{a}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.95 ± 0.36^{bc}	5.84 ± 1.05^{bc}	8.84 ± 0.55^{bc}
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.29 ± 0.27^{ab}	7.28 ± 0.92^{a}	9.83 ± 1.28^{ab}
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.15 ± 0.17^{abc}	6.59 ± 0.49^{ab}	8.33 ± 0.57^{bcd}
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.63 ± 0.12^{a}	7.44 ± 0.51^{a}	10.57 ± 0.10^{a}
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.31 ± 0.27^{ab}	6.23 ± 0.24^{abc}	7.79 ± 0.73^{cd}
F-test (p-value) กลุ่มทดลอง	**(0.0039)	**(0.0059)	**(0.0002)
cv (%)	13.7662	12.3414	12.2837

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

^{a,b,c,d} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1.30 แสดงผลการศึกษาการแตกกอของข้าวไร่เมื่อให้ปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกัน พบว่าปุ๋ยสูตรทดลอง ทั้งสูตร A และ B มีผลต่อการแตกกอของข้าวไม่ต่างกับข้าวที่ได้รับปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดิน และสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (p>0.05) อัตราการให้ปุ๋ยมีผลเพิ่มการแตกกอของข้าวที่อายุปลูก 47 วัน (p>0.05) แต่ยังไม่พบความแตกต่างของอัตราการให้ปุ๋ยต่อการแตกกอของข้าวที่อายุปลูก 27 วัน พบความแตกต่างระหว่างสูตรปุ๋ยร่วมกับอัตราการให้ปุ๋ย (p<0.01) โดยข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดินอัตรา 20 ตันต่อไร่ อายุ 47 วันมีการแตกกอมากกว่ากลุ่มอื่นๆ

ตารางที่ 1.31 แสดงผลการศึกษาการแตกกอของข้าวไร่ที่ได้รับปุ๋ยหมักแต่ละกลุ่มการทดลองร่วมกับกลุ่มที่ไม่มีการให้ปุ๋ย ข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักมีการแตกกอเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย (p<0.01) โดยพบความแตกต่างของการแตกกอระหว่างกลุ่มที่ได้รับและไม่ได้รับปุ๋ยตั้งแต่ข้าวอายุ 27 วัน และพบความแตกต่างชัดเจนขึ้นเมื่อข้าวอายุ 47 วัน

อัตราการให้ปุ๋ยหมักระหว่าง 2 ตันต่อไร่และ 20 ตันต่อไร่ ไม่ทำให้การแตกกอของข้าวไร่ที่ได้รับปุ๋ยสูตร A และ สูตร B แตกต่างกันและไม่แตกต่างกับการได้รับปุ๋ยหมักสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ทั้ง 2 ระดับ และปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดิน อัตรา 2 ตันต่อไร่ ส่วนข้าวไร่ที่ได้รับปุ๋ยหมักตามสูตรกรมพัฒนาที่ดินอัตรา 20 ตันต่อไร่ มีการแตกกอสูงกว่าได้รับปุ๋ยหมักสูตรอื่น และไม่มีการให้ปุ๋ย ส่วนปุ๋ยสูตร A และ สูตร B ทั้ง 2 ระดับมีการแตกกอสูงกว่าไม่มีการให้ปุ๋ย (ตารางที่ 1.30 และ 1.31)

ตารางที่ 1.30 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อการแตกกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่

กลุ่มทดลอง	การแตกกอ (จำนวนต้น)	
	27 วัน	47 วัน
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.00±0.72^{b}	4.54±0.32^{a}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.92±0.57^{b}	3.08±0.57^{b}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.00±0.27^{b}	3.33±0.00^{b}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.08±0.32^{b}	3.25±0.50^{b}
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.25±0.42^{b}	3.67±0.61^{b}
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.75±0.42^{b}	3.33±0.27^{b}
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.67±0.00^{b}	3.33±0.27^{b}
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.92±0.32^{a}	3.67±0.27^{b}
F-test (p-value) ปุ๋ยxอัตราการใส่ปุ๋ย	**(0.0031)	**(0.0011)
การแตกกอของข้าวไร่เมื่อให้ปุ๋ยหมักสูตรต่างกัน		
ค่าเฉลี่ยสูตรปุ๋ย	การแตกกอ(จำนวนต้น)	
	27 วัน	47 วัน
กรมพัฒนาที่ดิน	1.96±0.60	3.81±0.89
วิศวกรรมแม่โจ้ 1	2.04±0.28	3.29±0.33
สูตร A	2.00±0.47	3.50±0.47
สูตร B	2.29±0.70	3.50±0.31
F-test (p-value) สูตรปุ๋ย	0.4144	0.1003
การแตกกอของข้าวไรให้ปุ๋ยหมักในอัตราที่ต่างกัน		
ค่าเฉลี่ยอัตราปุ๋ยหมัก	การแตกกอ(จำนวนต้น)	
	27 วัน	47 วัน
20 ตันต่อไร่	1.98±0.45	3.72±0.61^{ก}
2 ตันต่อไร่	2.17±0.60	3.33±0.44^{ข}
F-test (p-value) อัตราการใส่ปุ๋ย	0.2293	*(0.0119)
cv (%)	20.6627	11.3079

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)
* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)
ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)
^{a,b} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
^{ก,ข} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1.32 และ 1.33 แสดงผลการศึกษาธาตุอาหารหลักไนโตรเจน (N) ในส่วนลำต้นเหนือดินของข้าวไร่ ไนโตรเจนของลำต้นข้าวที่ปลูกในปุ๋ยต่างชนิดมีความแตกต่างกัน (p<0.05) ข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตร A (1.08 เปอร์เซ็นต์) ไนโตรเจนมีปริมาณไม่แตกต่างกันกับกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดิน (1.53 เปอร์เซ็นต์) และสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (1.43 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่ไนโตรเจนในต้นข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตร B (0.73 เปอร์เซ็นต์) มีปริมาณต่ำกว่า พบว่าในอัตราการใส่ปุ๋ย ไม่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนในลำต้นข้าว และ

จากผลการวิเคราะห์ดินพบว่า ไม่มีความแตกต่างทั้งอิทธิของปุ๋ย ปริมาณที่ใส่ปุ๋ยและปฏิกิริยาร่วมระหว่างทั้ง 2 ปัจจัยนี้

ตารางที่ 1.31 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อการแตกกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) ข้าวไร่

กลุ่มทดลอง	การแตกกอ (จำนวนต้น)	
	27 วัน	47 วัน
ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	1.25±0.17^{c}	2.33±0.47^{c}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.00±0.72^{b}	4.54±0.32^{a}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.92±0.57^{b}	3.08±0.57^{b}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.00±0.27^{b}	3.33±0.00^{b}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.08±0.32^{b}	3.25±0.50^{b}
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	2.25±0.42^{b}	3.67±0.61^{b}
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.75±0.42^{bc}	3.33±0.27^{b}
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.67±0.00^{bc}	3.33±0.27^{b}
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	2.92±0.32^{a}	3.67±0.27^{b}
F-test (p-value) กลุ่มทดลอง	**0.0007	**(<0.0001)
cv (%)	20.55713	12.0069

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

^{a,b,c} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1.32 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อปริมาณธาตุอาหารหลัก (ค่าเฉลี่ย±SD) ในลำต้นส่วนเหนือดินของข้าวไร่

กลุ่มทดลอง	ลำต้นข้าว (47 วันหลังปลูก)		
	%N	%P	%K
ไม่ใส่ปุ๋ย (control)	0.30±0.46^{b}	0.04±0.00^{a}	2.05±0.21^{d}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.61±0.98^{a}	0.04±0.00^{ab}	2.92±0.32^{ab}
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.44±0.47^{a}	0.04±0.01^{ab}	2.19±0.25^{d}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.69±0.43^{a}	0.04±0.01^{a}	2.98±0.52^{a}
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.18±0.28^{ab}	0.03±0.01^{bc}	2.47±0.28^{bcd}
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	0.76±0.68^{ab}	0.03±0.01^{abc}	2.76±0.33^{ab}
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.40±0.33^{a}	0.03±0.01^{bc}	2.31±0.23^{cd}
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.16±0.78^{ab}	0.03±0.00^{bc}	2.88±0.31^{ab}
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	0.29±0.22^{b}	0.03±0.00^{c}	2.46±0.27^{bcd}
F-test (p-value) กลุ่มทดลอง	**(0.0067)	**(0.0081)	**(0.0010)
cv (%)	51.6649	17.9272	12.2892

หมายเหตุ: ** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

^{a,d,c,d} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษาธาตุฟอสฟอรัส (P) ในต้นข้าวพบว่าข้าวที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตร A มีฟอสฟอรัสในลำต้นไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดิน (0.04 เปอร์เซ็นต์) และสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (0.04 เปอร์เซ็นต์) ที่ข้าวที่ได้รับปุ๋ยสูตร B มีฟอสฟอรัสไม่ต่างจากข้าวที่ได้รับจากสูตร A แต่มีฟอสฟอรัสต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดินและสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ($p<0.05$) อัตราการใส่ปุ๋ยมีผลต่อระดับฟอสฟอรัส ($p<0.05$) โดย การใส่ปุ๋ยที่อัตราสูงขึ้นจะพบฟอสฟอรัสในต้นข้าวสูงขึ้นด้วย ($p>0.05$) ไม่พบความแตกต่างทางสถิติของสูตรปุ๋ยและปริมาณที่ให้ แต่พบปฏิกิริยาร่วมระหว่างปุ๋ยและปริมาณการใส่อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าปริมาณค่าฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินของข้าวไร่อายุ 47 วัน (ตารางที่ 1.33) ที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตร A ระดับ 2 ตันต่อไร่ และสูตร B ทั้ง 2 ระดับ รวมถึงสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ทั้ง 2 ระดับพบว่าไม่แตกต่างกันคือให้ค่าฟอสฟอรัสน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 อัตรา 20 ตันต่อไร่ และกลุ่มที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยจาก (ตารางที่ 1.32) ยกเว้นส่วนเหนือดินของข้าวไร่ที่รับปุ๋ยสูตร A ระดับ 20 ตันต่อไร่ และสูตรพัฒนาที่ดินทั้ง 2 ระดับที่ไม่แตกต่างกันที่ให้ค่าสูงกว่า ส่วนในดินก่อนปลูกได้รับปุ๋ยหมักจาก (ตารางที่ 1.33) ได้รับปุ๋ยหมักสูตร A ทั้ง 2 ระดับและสูตร B ระดับ 20 ตันต่อไร่ รวมถึงที่ให้ปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดินทั้ง 2 ระดับ ปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ระดับ 2 ตันต่อไร่และกลุ่มที่ไม่ใส่ปุ๋ย (ตารางที่ 1.32) พบว่าไม่แตกต่างกันคือให้ค่าฟอสฟอรัสน้อยกว่ากลุ่มที่ได้รับปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 อัตรา 20 ตันต่อไร่ และสูตร B ระดับ 2 ตันต่อไร่ ที่ไม่แตกต่างกันที่ให้ค่าฟอสฟอรัสสูงกว่า ซึ่งในดินก่อนพบว่าทุกกลุ่มปัจจัยได้น้อยมากกว่าค่าที่พบต่างจากรายงานการศึกษาของ Fageria et al. (2007) ที่พบเมื่ออายุ 25, 50 และ 75 วัน หลังจากหว่านเมล็ด ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในส่วนเหนือดินของพืช 0.07-0.08, 0.18-0.28 และ 0.26-0.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ในระยะแตกกอ หากความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในแผ่นใบซึ่งเจริญเต็มที่ต่ำกว่า 0.30 เปอร์เซ็นต์ ข้าวจะไม่แตกกอ และต้องมีถึง 0.20 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้การแตกกอสูงสุด ระยะกำเนิดช่อดอก ความเข้มข้นในส่วนเหนือดินควรมีค่า 0.25-0.45 เปอร์เซ็นต์ ช่วงท้ายของระยะตั้งท้อง หากความเข้มข้นในใบธงมีค่า 0.20 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ผลผลิตสูง เมื่อข้าวสุกแก่ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซัง 0.08-0.10 เปอร์เซ็นต์ หากความเข้มข้นในตอซังต่ำกว่า 0.06 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าขาดแคลนแต่ถ้าขาดธาตุฟอสฟอรัสเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การกระจายของคาร์โบไฮเดรตลงมาอยู่ที่รากมากขึ้นสำหรับถั่วที่ขาดธาตุนี้มีคาร์โบไฮเดรตในราก 27 เปอร์เซ็นต์ ของที่มีทั้งต้น) ในขณะที่ข้าวระยะตั้งท้องมีคาร์โบไฮเดรต 15.7 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเหตุนี้รากพืชที่ขาดธาตุฟอสฟอรัสส่วนหนึ่งซึ่งเคลื่อนย้ายมาจากส่วนเหนือดินมีธาตุนี้สะสมอยู่ในรากมาก โดยได้รับฟอสฟอรัสอีกส่วนหนึ่งซึ่งเคลื่อนย้ายมาจากส่วนเหนือดิน จึงทำให้รากสามารถเจริญเติบโตต่อได้ คือ ความพยายามที่จะรักษาสภาพให้รากมีความสามารถหาธาตุอาหารที่ขาดแคลนมาเพิ่มได้ (Smith et al., 1990) การศึกษาครั้งนี้พบว่าฟอสฟอรัสไม่เพียงพอถ้าดูในลำต้นส่วนเหนือดิน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีการขาดธาตุฟอสฟอรัส พบว่าจากการเพิ่มสัดส่วนของรากต่อยอดเพิ่มความยาวของรากและความหนาแน่นของขนรากร่วมทั้งมีผลต่อการเพิ่มและแบ่งตัวของรากด้านข้าง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดเพื่อเพิ่มความสามารถของระบบรากในการหาฟอสฟอรัสในดิน ภายใต้สภาวะที่มีความเครียดเนื่องจากมีอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Pi) ลดต่ำลง (Poirier and Bucher, 2002) แต่การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้วัดเพราะกับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมักต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ของฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ดินมีอยู่ส่วนฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในปุ๋ยหมักสามารถปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ 20 – 40 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยหมักจึงช่วยเพิ่มระดับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชนอกจากนี้ฮิวมัสในปุ๋ยหมักยังเป็นสารคีเลตที่ทำปฏิกิริยาคีเลชันกับอะลูมิเนียม (Al^{3+}) เหล็ก (Fe^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ไอออน จึงป้องกันมิให้ไอออนดังกล่าวตรึงฟอสฟอรัสเป็นเหตุให้พืชใช้รูปที่เป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเหล็กและแมงกานีสในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1.33 ผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อปริมาณธาตุอาหารหลัก (ค่าเฉลี่ย±SD) ในลำต้นส่วนเหนือดินของข้าวไร่

กลุ่มทดลอง	ลำต้นข้าว (47 วันหลังปลูก)		
	%N	%P	%K
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.61±0.98	0.04±0.00	2.92±0.32
กรมพัฒนาที่ดินใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.44±0.47	0.04±0.01	2.19±0.25
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.69±0.43	0.04±0.01	2.99±0.52
วิศวกรรมแม่โจ้ 1 ใส่อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.18±0.28	0.03±0.01	2.47±0.28
สูตร A อัตรา 20 ตัน/ไร่	0.76±0.68	0.03±0.01	2.76±0.33
สูตร A อัตรา 2 ตัน/ไร่	1.40±0.33	0.03±0.01	2.31±0.22
สูตร B อัตรา 20 ตัน/ไร่	1.16±0.78	0.03±0.00	2.87±0.31
สูตร B อัตรา 2 ตัน/ไร่	0.29±0.22	0.03±0.00	2.46±0.27
F-test (p-value) ปุ๋ยxอัตราการใส่ปุ๋ย	^{ns}(0.0848)	^{ns}(0.2977)	^{ns}(0.7959)
กรมพัฒนาที่ดิน	1.53±0.71^{A}	0.04±0.00^{A}	2.55±0.48
วิศวกรรมแม่โจ้ 1	1.43±0.43^{A}	0.04±0.01^{A}	2.73±0.47
สูตร A	1.08±0.60^{AB}	0.03±0.01^{AB}	2.53±0.35
สูตร B	0.73±0.70^{B}	0.03±0.01^{B}	2.67±0.35
F-test (p-value) สูตรปุ๋ย	*(0.0404)	*(0.0279)	0.5849
20 ตันต่อไร่	1.31±0.77	0.04±0.01^{ก}	2.88±0.78^{ก}
2 ตันต่อไร่	1.08±0.57	0.03±0.01^{ข}	2.36±0.26^{ข}
F-test (p-value) อัตราการใส่ปุ๋ย	0.2752	*(0.0379)	**(0.0001)
cv (%)	48.3397	19.3939	12.3892

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

^{a,b} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{A,B} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

^{ก,ข} อักษรกำกับต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการศึกษาธาตุโพแทสเซียม (K) ในลำต้นของข้าวไร่ พบว่าลำต้นข้าวที่ปลูกในดินทั้งสูตรปุ๋ยที่แตกต่างกัน และอัตราการใส่ปุ๋ย ไม่มีความแตกต่าง ระหว่างกลุ่มทดลอง (P<0.05) แต่พบว่าอัตราการให้ปุ๋ยต่างกัน โดยให้ปุ๋ยหมัก 20 ตันต่อไร่ มีธาตุโพแทสเซียม (2.88 เปอร์เซ็นต์) เฉลี่ยมากกว่าการใส่ปุ๋ยหมักที่อัตรา 2 ตันต่อไร่ (2.36 เปอร์เซ็นต์) ขณะที่ไม่พบปฏิกิริยาร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง (ตารางที่ 1.33)

จากตารางที่ 1.32 พบว่าส่วนเหนือดินของต้นข้าวมีการสะสมโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน โดยกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักจาก ปุ๋ยหมักสูตร A และสูตร B ระดับ 20 ตันต่อไร่ รวมถึงปุ๋ยหมักจากสูตรกรมพัฒนาที่ดินและปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ระดับ 20 ตันต่อไร่ พบว่าไม่แตกต่างกันคือให้ค่าโพแทสเซียมสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตร A และสูตร 4 ระดับ 2 ตันต่อไร่ สูตรกรมพัฒนาที่ดิน สูตรวิศวกรรมแม่โจ้ ระดับ 2 ตันต่อไร่ และกลุ่มที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยจาก (ตารางที่ 1.32) ที่ไม่แตกต่างกันที่ให้ค่าโพแทสเซียมน้อยกว่า เพื่อการเจริญเติบโตนั้น รากข้าวได้ดูดมาใช้อย่าง

ต่อเนื่อง ตั้งแต่ระยะการเติบโตไม่อาศัยเพศจนถึงต้นระยะเจริญพันธุ์ กล่าวคือโพแทสเซียมประมาณร้อยละ 75 ข้าวดูดได้มาก่อนตั้งท้อง แล้วสะสมไว้ในใบและต้น ดังนั้นเมื่อข้าวสุกแก่ประมาณร้อยละ 80-90 ของโพแทสเซียมทั้งหมดยังคงอยู่ในใบและต้นข้าว เมื่อถึงวันเก็บเกี่ยวทั้งหมดปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในตอซังและเมล็ดมีประมาณ 4.0 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีเพียงพอสำหรับให้ผลผลิตของข้าวเปลือก 1 ตัน แต่ข้าวเปลือกจากพื้นที่หนึ่งไร่มีโพแทสเซียมเพียง 0.28 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยหมุนเวียนธาตุอาหารให้พืชที่ปลูกตามอายุ 25, 50 และ 75 วัน หลังจากหว่านเมล็ดความเข้มข้นในส่วนเหนือดิน 3.70-4.20, 3.70-4.00 และ 3.50-3.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับระยะแตกกอรวดเร็วและแตกกอสูงสุด 1.2 เปอร์เซ็นต์ และ 0.10 เปอร์เซ็นต์ (Fageria et al., 2007) ในการทดลองนี้พบว่าโพแทสเซียมเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของข้าวเมื่อเปรียบเทียบ (ตารางที่ 1.32 กับตารางที่ 1.38) เป็นธาตุอาหารหลักในที่ จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ส่วนสำคัญสำหรับ กระบวนการต่างๆ ของเซลล์พืช ช่วยในการสังเคราะห์ น้ำตาลและแป้ง การเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลจาก ใบไปยังผล กระบวนการสังเคราะห์แสงและการ หายใจเพิ่มปริมาณกรดอินทรีย์และไนโตรเจนที่ใช้ใน กระบวนการสร้างโปรตีน โครงสร้างของเอนไซม์ ทำให้ พืชแข็งแรงสามารถต้านทานโรค และส่งเสริมคุณภาพ ของผลผลิต โพแทสเซียมในดินที่พืชนำเอาไปใช้ใน ประโยชน์ได้นั้นมีวัตถุต้นกำเนิดจากการสลายตัวของ หินและแร่มากมายหลายชนิดในดิน โพแทสเซียม ที่อยู่ในอนุมูลบวก หรือโพแทสเซียมไอออน (K^+) เท่านั้นที่พืชสามารถดูดไปใช้เป็นประโยชน์ได้ (Osatapa, 2003)

ตารางที่ 1.32 และ 1.34 แสดงผลการศึกษาธาตุอาหารหลักในส่วนลำต้นเหนือดินของดินปลูกข้าวไร่ เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างกลุ่มการทดลอง มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองที่ศึกษาค่าไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) ข้าวกลุ่มที่ได้รับปุ๋ยหมักมีไนโตรเจนสูงไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้รับปุ๋ย รวมถึงสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ระดับ 2 ตันต่อไร่ และไม่พบความแตกต่างกันของปุ๋ยหมักสูตร A ทั้ง 2 ระดับ สูตร B ระดับ 20 ตันต่อไร่ สูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ระดับ 2 ตันต่อไร่กับสูตรกรมพัฒนาที่ดินทั้ง 2 ระดับ และพบว่าสูตร A ระดับ 20 ตันต่อไร่ สูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ระดับ 20 ตันต่อไร่กับสูตรกรมพัฒนาที่ดินทั้ง 2 ระดับ รวมถึงที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าส่วนเหนือดินของข้าวไร่ที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตร B ระดับ 2 ตันต่อไร่ ปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ระดับ 20 ตันต่อไร่ และไม่ได้ใส่ปุ๋ยแตกต่างกัน

2.4 ผลนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่ทำการศึกษาผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อลักษณะบางประการในพืช

ตารางที่ 1.34 แสดงการเจริญเติบโตของผักบุ้งที่ได้รับอิทธิพลทั้งอัตราให้ปุ๋ย ชนิดของปุ๋ยหมักและปฏิกิริยาร่วมระหว่างอัตราและสูตรปุ๋ย โดยเฉพาะคะแนนราก น้ำหนักสดน้ำหนักแห้ง ผักบุ้งที่ได้รับปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดินที่มีองค์ประกอบทางเคมีสูงมีการเจริญเติบโตน้อยกว่าสูตรอื่นๆ สูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีผลต่อการเจริญของผักบุ้งดีเท่ากับสูตร A และสูตร B แต่อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยดีกว่า การไม่ใส่ปุ๋ยในบางลักษณะเท่านั้น ให้ปุ๋ยสูตร A ที่มีการใช้ดินขุยไผ่ทดแทนมูลโคมีแนวโน้มส่งผลต่อน้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและค่าคะแนนรากดีกว่าให้ปุ๋ยสูตร B ที่หมักโดยใช้น้ำน้อย แต่ถ้าให้ค่าคะแนนรากสูตร B ดีเท่าสูตร A ต้องใช้ปุ๋ย 20 ตันต่อไร่ ด้วยเหตุนี้การเพิ่มระยะเวลาในการหมักอาจเพิ่มประสิทธิภาพได้

ตารางที่ 1.34 ผลนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่ทำการศึกษาผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อลักษณะบางประการในผักบุ้ง

F-test	คะแนนราก	น้ำหนักส่วนเหนือดิน		ความสูงเหนือดิน			
		สด	แห้ง	7 วัน	14 วัน	21 วัน	27 วัน
สัดส่วนปุ๋ย	*	*	**	ns	ns	ns	ns
สูตรปุ๋ย	**	**	**	ns	ns	ns	ns
สูตรปุ๋ยxสัดส่วนปุ๋ย	*	**	**	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)
* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 1.35 ผลนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่ทำการศึกษาผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อลักษณะบางประการในข้าวไร่

F-test	คะแนนราก	น้ำหนักส่วนเหนือดิน		ความสูงเหนือดิน			จำนวนต้นต่อกอ	
		สด	แห้ง	7	14	21	27	47
สัดส่วนปุ๋ย	ns	ns	ns	*	**	**	ns	*
สูตรปุ๋ย	**	**	**	**	ns	ns	ns	ns
สูตรปุ๋ยxสัดส่วนปุ๋ย	*	**	**	ns	ns	ns	**	**

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)
* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

คะแนนรากน้ำหนักส่วนเหนือดินและพื้นที่ใบมีความแตกต่างกันทุกปัจจัยศึกษา เมื่อให้ปุ๋ยหมักสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 อัตรา 20 ตันต่อไร่ มีการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น ส่วนให้ปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดินอัตรา 20 ตันต่อไร่พบการเจริญเติบโตต่ำมาก อาจจะเกี่ยวกับธาตุไนโตรเจนถ้าให้ในปริมาณความเข้มข้นสูงจะทำให้พืชแคระที่มีรากน้อยและสั้นกว่าปกติ ใบเก่าร่วงและการเจริญเติบโตของใบใหม่จะถูกระงับ เพราะรากจะไม่ดูดซึมธาตุอาหารเพิ่ม (Sutthathorn, 2014) ตารางที่ 1.2 จะพบว่าปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดินและปุ๋ยหมักสูตรวิศวกรรมแม่โจ้มีสมบัติทางกายภาพและเคมีค่อนข้างสูงกว่าสูตรอื่น แต่ปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดินมีการใช้ยูเรียเป็นองค์ประกอบโดยตรงในปุ๋ยหมักสอดคล้องกับ การทดลองของ Sopea and Preston (2015) ที่พบว่าการปลูกผักบุ้งจีนโดยใช้ปุ๋ยหมักมูลสุกรที่เพิ่มขึ้น ทำให้ต้นผักบุ้งจีนมีน้ำหนักสด และความสูง เพิ่มขึ้นตามปริมาณไนโตรเจนที่ได้รับ แต่ถ้าให้มากเกินไปก็จะเกิดความเป็นพิษ แอมโมเนียสามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งเพิ่มไนโตรเจนสำหรับพืชถ้ามีในระดับไม่สูง แต่ถ้าความเข้มข้นสูงเกินไปแอมโมเนียอาจจะกลายเป็นพิษต่อพืช (Mroczkowski and Stuczynski, 2006) เพราะเหตุนี้จึงสรุปได้ว่าการใส่ปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดินในอัตรา 20 ตันต่อไร่ ส่งผลกระทบต่อรากพืชในผักบุ้ง (แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อผักบุ้งที่ใส่ปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดินอัตรา 2 ตันต่อไร่) เป็นเพราะอาจจะใส่ในปริมาณที่มากไป การใช้สูตรของกรมพัฒนาที่ดิน กระทบต่อข้าวน้อยกว่า อาจเป็นเพราะข้าวเป็นพืชที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากที่ดี มีความ

ทนทานต่อความเป็นพิษของไนโตรเจนรวมถึงมีส่วนในการดูดซึมสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของของพืชด้วย (มุกดา, 2547)

ตารางที่ 1.35 แสดงการเจริญเติบโตของข้าวไร่ได้รับผลกระทบจากการใส่ปุ๋ยซึ่งมีความแตกต่างกับผักบุ้ง ข้าวได้รับอิทธิพลเนื่องมาจากสูตรปุ๋ย และปัจจัยร่วมระหว่างสูตรปุ๋ยกับอัตราการให้ปุ๋ยสูงกว่า พิจารณาจากอัตราการใส่ปุ๋ย ปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดินให้ปริมาณน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งดีที่สุด ซึ่งต่างจากผักบุ้งจึงมีความเป็นไปได้ว่าชนิดของพืชจะส่งผลต่อความสามารถการทนทานต่อการใช้ปุ๋ยที่ความเข้มข้นเนื้อสาร ได้แตกต่างกัน การศึกษาในข้าวไร่ ที่ 47 วัน ยาวนานกว่าผักบุ้ง (27 วัน) ปุ๋ยสูตร A และสูตร B (ยกเว้นสูตรกรมพัฒนาที่ดิน) จะให้ผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวไร่ใกล้เคียงกับการใช้ปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ด้วยเหตุนี้อายุของการใช้ปุ๋ยที่ยาวนานหรือความเป็นประโยชน์ในปุ๋ยสูตร B อาจเพิ่มขึ้น และการใส่ปุ๋ยส่งผลต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งและการแตกกอของข้าวไร่ดีกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย

ปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดินมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีค่อนข้างสูงกว่าสูตรอื่น (ตารางที่ 1.34-1.36) และการให้ปุ๋ยหมักที่ใส่ลงดินนอกจากสามารถปรับปรุงโครงสร้างของดินและยังส่งเสริมการดูดใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ยในข้าว และยังช่วยพัฒนาระบบรากข้าวซึ่งจะส่งผลให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น (Yamazaki and Harada, 1982) ปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดินทำให้ด้านการเจริญเติบโตของข้าวดีกว่าปุ๋ยหมักสูตรอื่น รวมถึงการแตกกอของข้าวไร่ ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช (N, P และ K) อาจเพราะว่ากระบวนการหมักปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดินที่มีองค์ประกอบของกองปุ๋ยเป็นฟางข้าว มูลโค ปุ๋ยยูเรีย และ พ.ด.1 โครงสร้างของกองปุ๋ยเป็นรูปสี่เหลี่ยมปริซึม และมีการอัดกองจนแน่นที่มีความสามารถในการถ่ายเทอากาศน้อยมีผลทำให้มีความชื้นในกองปุ๋ยหมักมากกว่า ปุ๋ยอีก 3 สูตร ได้แก่ ปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ปุ๋ยสูตร A และปุ๋ยสูตร B ที่หมักโดยขาดน้ำ จึงทำให้มีการย่อยสะลายและลดปล่อยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชได้ดีกว่าปุ๋ยหมักสูตรอื่น ที่มีการตั้งกองแบบสามเหลี่ยมที่ทำให้แห้งกิจกรรมการย่อยลดลง (ณริสสา และคณะ 2557) ปุ๋ยหมักจะให้อินทรียวัตถุสามารถปรับปรุงโครงสร้างของดินส่งผลให้รากพืชมีการหาอาหารได้ดีขึ้น (Rosmarkam and Yowono, 2002) โครงสร้างดินที่ดีจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของรากและลักษณะทางสรีรวิทยาของราก ซึ่งมีอิทธิพลต่อการดูดซึมธาตุอาหาร การดูดน้ำและการหายใจของราก (Titiek and Utoma, 1995)

ตารางที่ 1.36 ผลนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่ทำการศึกษาผลของปุ๋ยหมักสูตรและอัตราที่ต่างกันต่อสมบัติของดินและธาตุอาหารในต้นข้าว

F-test	สมบัติของดิน				ธาตุอาหารในต้นข้าว		
	EC	pH	OC	OM	%N	%P	%K
สัดส่วนปุ๋ย	**	ns	**	**	ns	*	**
สูตรปุ๋ย	**	**	**	**	*	*	ns
สูตรปุ๋ยxสัดส่วนปุ๋ย	**	**	**	**	ns	ns	ns

หมายเหตุ: ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินก่อนปลูก (ตารางที่ 1.36) จะให้ผลที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มีส่วนช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน ซึ่งการเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินได้รับผลกระทบรวดเร็วกว่าเปอร์เซ็นต์ธาตุอาหารอื่น ทั้งนี้เพราะการใส่ปุ๋ยอินทรีย์มักมีปริมาณธาตุอาหารค่อนข้างต่ำ แต่มีคุณประโยชน์ต่อพืชในด้านการปรับปรุงโครงสร้างของดิน ช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุซึ่งช่วยในชดเชยแล้วเพิ่มธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุที่ปุ๋ยอินทรีย์มีอยู่น้อยให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช (จันทนา, 2555) ชุดดินหัวหินที่ใช้ในการทดลอง เป็นดินทรายอยู่ในอันดับเอนติโซลส์ ซึ่งเป็นดินใหม่มีชั้นดินเกิดขึ้นไม่ชัดเจนดินเป็นดินทรายที่ประกอบด้วยแร่ควอทซ์มากกว่าร้อยละ 95 ซึ่งจัดให้อยู่ในกลุ่ม Typic Quartzipsamments พบในที่ดอนเป็นทรายจัดมีการระบายน้ำมากเกินไป ความอุดมสมบรูณ์ต่ำมากไม่เหมาะที่จะใช้ในการเพาะปลูกเพราะให้ผลผลิตต่ำ (วิเชียร, 2548)

ส่วนความเป็นกรด-ด่าง (pH) ถึงค่าต่างกันระหว่างสูตรปุ๋ยที่ให้และอัตราการให้แต่ไม่ได้มีผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพของดินเพราะอยู่ในช่วงที่พืชสามารถเจริญเติบโตและสามารถดูดซึมธาตุอาหารได้โดยไม่เป็นพิษต่อพืชเพราะอยู่ในช่วง 4.5-9.5 (นิวัติ, ม.ป.ป.) แต่พืชชนิดต่างกันจะเจริญเติบโตได้ดีในระดับ pH ที่ต่างกัน พืชส่วนมากจะเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มี pH ระหว่าง 6-7 ความเป็นกรดและด่างของดินมีผลต่อความอุดมสมบรูณ์ของดินในด้านของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีในดิน ที่มีผลต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชจึงเป็นสมบัติของดินที่จะบ่งบอกความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากระดับ pH มีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช (มุกดา, 2547) สูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 ที่อัตรา 20 ตันต่อไร่ โดยมี pH สูงกว่าปัจจัยอื่นเพราะองค์ประกอบของปุ๋ยหมักสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีมูลสัตว์อยู่มากกว่าปุ๋ยสูตรอื่น

จากผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและสมบันติทางเคมีของปุ๋ยหมัก ร่วมกับการศึกษาผลการเจริญเติบโตของพืชพบว่า ปุ๋ยหมักสูตรทดลองที่มีการแทนที่มูลวัวด้วยดินขุยไผ่ 75 เปอร์เซ็นต์ของมูลวัวในสูตรดั้งเดิม มีความสามารถในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้กลายเป็นปุ๋ยหมักได้ (C/N ratio ไม่เกิน 20:1) ทั้งในสภาพที่กองปุ๋ยหมักได้รับน้ำตามปกติ และในสภาพที่ขาดน้ำ ด้วยตัวดินขุยไผ่เองจัดว่ามีอินทรีย์วัตถุ (22.42 เปอร์เซ็นต์) และไนโตรเจน (0.37 เปอร์เซ็นต์) ต่ำ ทำให้ภายหลังการเกิดกระบวนการย่อยสลายทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีอินทรียวัตถุค่อนข้างต่ำ (16.86-19.77 เปอร์เซ็นต์) และธาตุอาหารหลักยังมีในระดับที่ไม่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐาน แต่ปุ๋ยหมักสูตรดินขุยไผ่ดังกล่าวสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชได้ไม่แตกต่างจากปุ๋ยหมักสูตรมาตรฐาน (สูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 และสูตรกรมพัฒนาที่ดิน) ซึ่งบทบาทของปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญที่นอกเหนือจากเป็นแหล่งธาตุอาหารแก่พืช แล้ว อีกบทบาทที่สำคัญคือช่วยในเรื่องของโครงสร้างของดิน ซึ่งช่วยให้พืชสามารถดึงแร่ธาตุจากดินไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงเป็นแนวทางที่จะใช้ในการเตรียมสูตรปุ๋ยหมักโดยสามารถใช้ดินขุยไผ่เป็นแหล่งจุลินทรีย์ได้ และใช้ฟางข้าวเป็นแหล่งอินทรียวัตถุและคาดว่าจะใช้ฟางข้าวในสัดส่วนที่สูงขึ้นสามารถเตรียมปุ๋ยหมักที่มีอินทรีย์วัตถุสูงขึ้น

การทดลองที่ 2 **ผลของปุ๋ยหมักฟางข้าวและดินขุยไผ่โดยใช้วัสดุจากพื้นที่เกษตรกรบนป่าละอูต่อลักษณะในแปลงของข้าวไร่**

การเตรียมปุ๋ยหมัก

1. สมบัติทางทางเคมีของวัสดุในกองปุ๋ยหมัก

ตารางที่ 1.37 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุจากพื้นที่เกษตรที่ใช้เตรียมปุ๋ยหมัก

องค์ประกอบทางเคมี	ฟาง	ดินขุยไผ่	มูลวัว
เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด	1.02	0.35	0.96
เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน	49.09	3.57	11.61
เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ	84.43	6.15	19.97
อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน	48.1	10.2	12.1

หมายเหตุ ตัวอย่างฟางข้าวจากแปลงเกษตรกรบนพื้นที่ป่าละอู ตำบลห้วยสัตว์ใหญ่ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ตารางที่ 1.38 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุในกองปุ๋ยหมัก ระยะเวลาหมัก 0 วัน

องค์ประกอบทางเคมี	T1	T2	T3	T4	T5
เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด	1.08	0.53	0.53	0.63	0.63
เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน	21.67	15.78	15.78	22.85	22.85
เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ	37.26	27.15	27.15	39.30	39.30
อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน	21.76	20.37	20.37	26.25	26.25

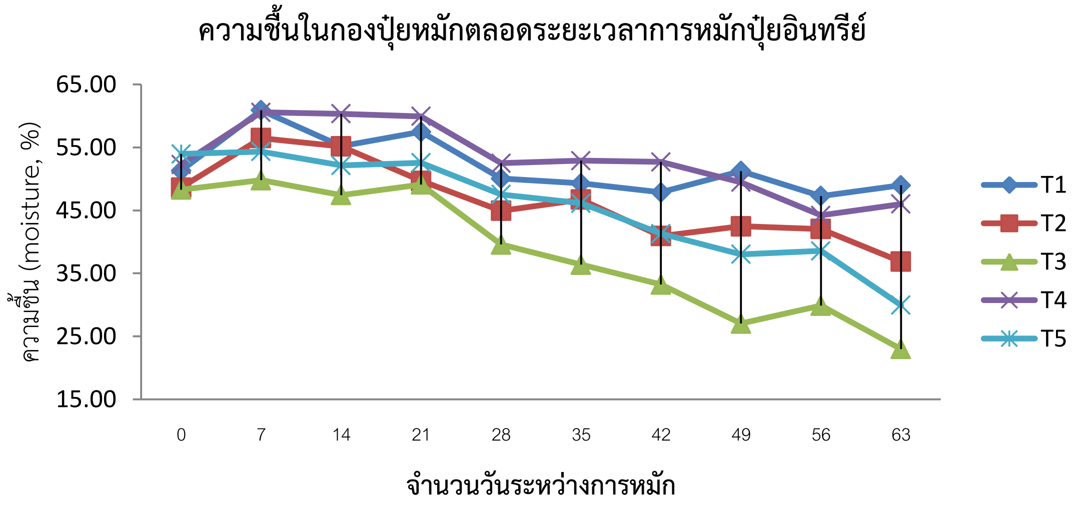
หมายเหตุ T1 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: มูลวัว (4:1) + ให้น้ำปกติ
T2 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำปกติ
T3 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำน้อย
T4 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำปกติ
T5 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำน้อย

ปุ๋ยหมักสูตร T1 มีส่วนประกอบระหว่างฟาง ต่อมูลวัว (1:4 โดยปริมาตร) มีเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนและเปอร์เซนต์อินทรีย์วัตถุสูงกว่า หมักสูตร T2 และ T3 ซึ่งมีส่วนประกอบระหว่างฟาง ต่อมูลดินขุยไผ่ (1:4 โดยปริมาตร) เนื่องจากดินขุยไผ่มีเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนและเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุต่ำกว่า (ตาราง 1.39) และปุ๋ยหมักสูตร T4 และ T5 มีการเตรียมโดยเพิ่มสัดส่วนฟางต่อดินขุยไผ่ จาก 4:1 เป็น 8:1 จึงมีผลทำให้ช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนและเปอร์เซนต์อินทรีย์วัตถุ (ตารางที่ 1.40)

2. ความชื้นในกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์

จากภาพที่ 1.20 แสดงค่าเฉลี่ยความชื้น (เปอร์เซ็นต์) ที่ระยะเวลาต่างๆ ระหว่างการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าความชื้นของปุ๋ยทั้ง 5 สูตร มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 จะพบว่าปุ๋ยอินทรีย์สูตรที่ T3 ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว

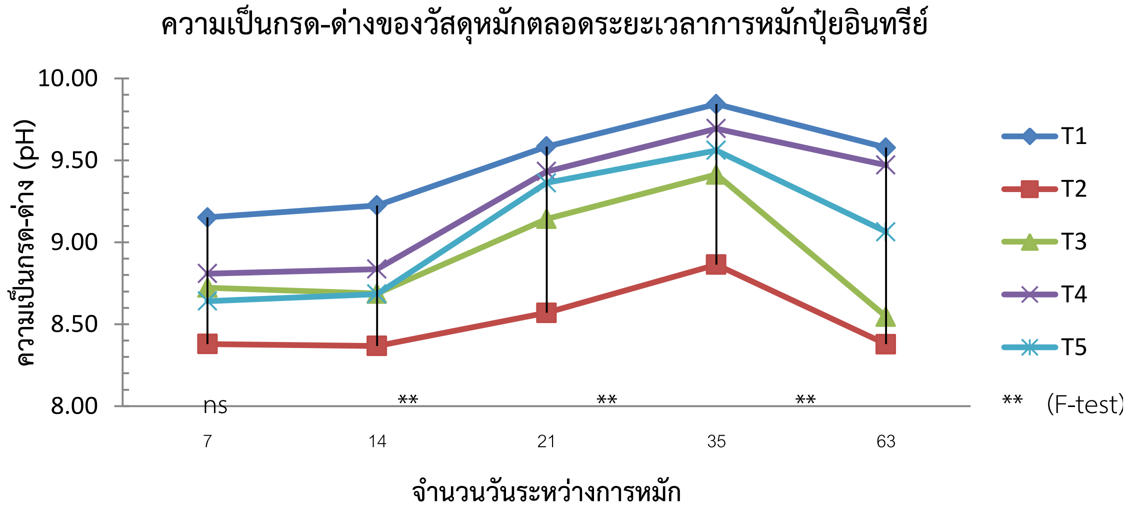
ค่าความชื้นกองปุ๋ยหมักทุกกองจะมีความชื้นอยู่ในช่วง 50-80 เปอร์เซ็นต์ ตลอดกระบวนการหมักปุ๋ย การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์จะหยุดชะงักหากกองปุ๋ยมีความชื้นที่ต่ำมาก เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายสารอาหารต่างๆ เพื่อไปใช้ในกิจกรรมของจุลินทรีย์ การหมักปุ๋ยจะต้องรักษาความชื้นของกองปุ๋ยให้ได้ 50-60 เปอร์เซ็นต์ หากความชื้นต่ำเกินไป การย่อยสลายอนินทรีย์สารจะช้ามาก ใช้เวลาหมักนานกว่าปกติหรือได้ปุ๋ยที่ไม่ดี พอ แต่ถ้าหากความชื้นสูงเกินไป ความชื้นจะไปสกัดกั้นการไหลเวียนอากาศ ปริมาณอากาศจะไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์จะต้องใช้ออกซิเจนในการรับส่งอิเล็กตรอนเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ทำให้การย่อยสลายช้าลง อาจเกิดการสะสมกรดอินทรีย์เป็นปริมาณมาก กรดอินทรีย์อาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ หรือเป็นผลเสียต่อการเจริญของรากพืชได้ (ยงยุทธ, 2551) ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าปุ๋ยสูตร 3 มีค่าความชื้นต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ตลอดระยะของการหมัก 63 วัน ขณะที่ปุ๋ยสูตร 5 ที่มีการหมักแบบให้น้ำน้อยเช่นเดียวกันแต่แตกต่างที่สัดส่วนดินขุยไผ่ที่เพิ่มขึ้น พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่า โดยมีค่าลดต่ำลงจากปุ๋ยสูตรอื่นๆ ที่มีการให้น้ำปกติ เมื่อระยะเวลาการหมัก 49 วัน



ภาพที่ 1.20 ค่าเฉลี่ยความชื้น (เปอร์เซ็นต์) ในกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

หมายเหตุ: T1 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: มูลวัว (4:1) + ให้น้ำปกติ
T2 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำปกติ
T3 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำน้อย
T4 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำปกติ
T5 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำน้อย

3. ความเป็นกรด-ด่างของวัสดุหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์



ภาพที่ 1.21 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง ของวัสดุหมักตลอดระยะเวลาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

หมายเหตุ: T1 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: มูลวัว (4:1) + ให้น้ำปกติ
T2 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำปกติ
T3 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำน้อย
T4 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำปกติ
T5 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำน้อย
ns = ไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
** แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ตารางที่ 1.39 ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง (pH) (±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของปุ๋ยอินทรีย์อายุหมัก 63 วัน

สูตรปุ๋ย	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) (± SD)
ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: มูลวัว (4:1) + ให้น้ำปกติ	8.85 ± 0.09
ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำปกติ	8.36 ± 0.17
ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำน้อย	7.99 ± 0.27
ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำปกติ	8.74 ± 0.23
ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำน้อย	8.53 ± 0.14

ภาพที่ 1.21 แสดงค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง (pH) ณ ระยะเวลาต่างๆ ระหว่างการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ พบว่า ความชื้นของปุ๋ยทั้ง 5 สูตร มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยปุ๋ยสูตร 2 และ สูตร 3 มีสัดส่วนของฟางข้าวต่อดินขุยไผ่ 4:1 (โดยปริมาตร) มีค่า pH อยู่ระหว่าง 7.99-8.85 ต่ำสุดหลังการหมัก 63 วัน

ตารางที่ 1.40 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า (Electro conductivity; EC) (µS/cm) (± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน; SE) ของวัสดุหมักตลอดระยะเวลาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

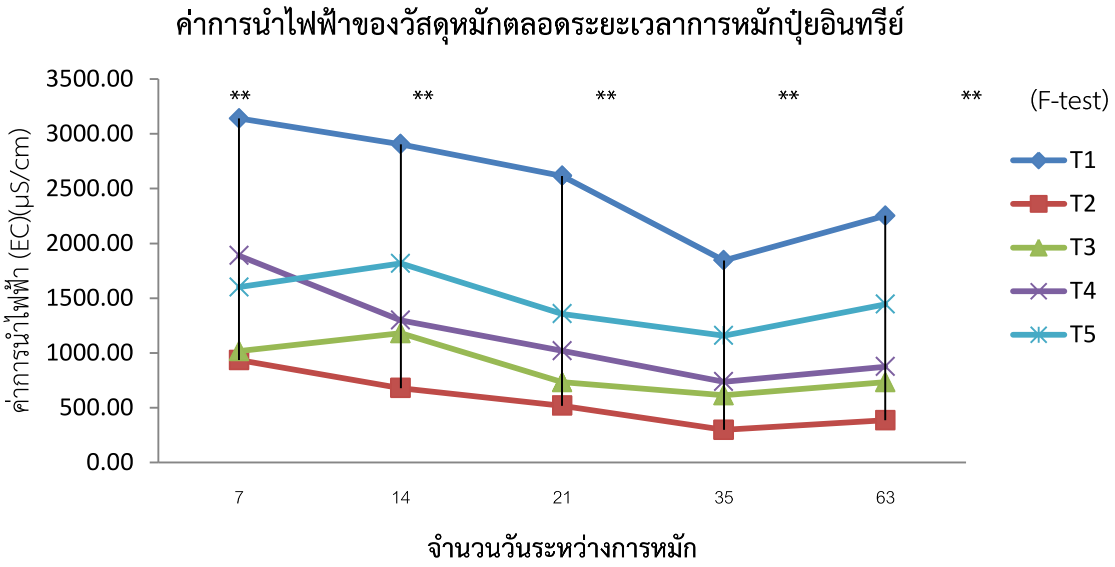
สูตรปุ๋ย	ระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์ (วัน)				
	7	14	21	35	63
T1	3141±104^{a}	2905±554^{a}	2616± 693^{a}	1845±90^{a}	2252±264^{a}
T2	940±94^{d}	679±141^{d}	518±93^{c}	298±45^{d}	385±49^{d}
T3	1017±169^{d}	1179±257^{cd}	733±149^{bc}	612±165^{c}	733±114^{c}
T4	1889±155^{b}	1298±297^{bc}	1019±41^{bc}	737±97^{c}	874±86^{c}
T5	1600±165^{c}	1816±100^{b}	1356±214^{b}	1157±118^{b}	1444±13^{b}
F-test (p-value)	**(<0.0001)	**(<0.0001)	**(0.0001)	**(<0.0001)	**(<0.0001)
cv (%)	8.23	19.88	26.76	11.82	11.98

หมายเหตุ: T1 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: มูลวัว (4:1) + ให้น้ำปกติ
T2 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำปกติ
T3 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำน้อย
T4 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำปกติ
T5 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำน้อย
** แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ตารางที่ 1.39 แสดงค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของปุ๋ยอินทรีย์ที่อายุหมัก 63 วัน มีค่าเฉลี่ยความเป็นกรดด่างเท่ากับ 8.49 อยู่ในช่วงค่ามาตรฐานการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ 5.5-8.5 (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

จากการทดลองจะพบได้ว่าช่วงระยะแรกของการหมักปุ๋ย ปุ๋ยทุกสูตรจะมีค่า pH ที่ต่ำกว่าช่วงระยะเวลาอื่นๆ ซึ่งเป็นค่า pH ที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เมื่อมีการย่อยสลายวัสดุ pH ก็จะค่อยๆ เปลี่ยนแปลง การมี pH ที่ต่ำลงในช่วงแรกนั้น เนื่องจากจุลินทรีย์มีการย่อยสลายวัสดุจำพวกคาร์โบไฮเดรตแล้วเกิดกรดอินทรีย์ออกมา เมื่อ H^{+} เพิ่มขึ้น pH จึงต่ำ และการที่ pH เพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากกรดอินทรีย์เปลี่ยนเป็นมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ pH ของกองปุ๋ยจึงเพิ่มขึ้น (ยงยุทธ, 2551)

4. **ค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์**



ภาพที่ 1.22 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า (Electro conductivity; EC) ของวัสดุหมักตลอดระยะเวลาการผลิตปุ๋ยอินทรีย์

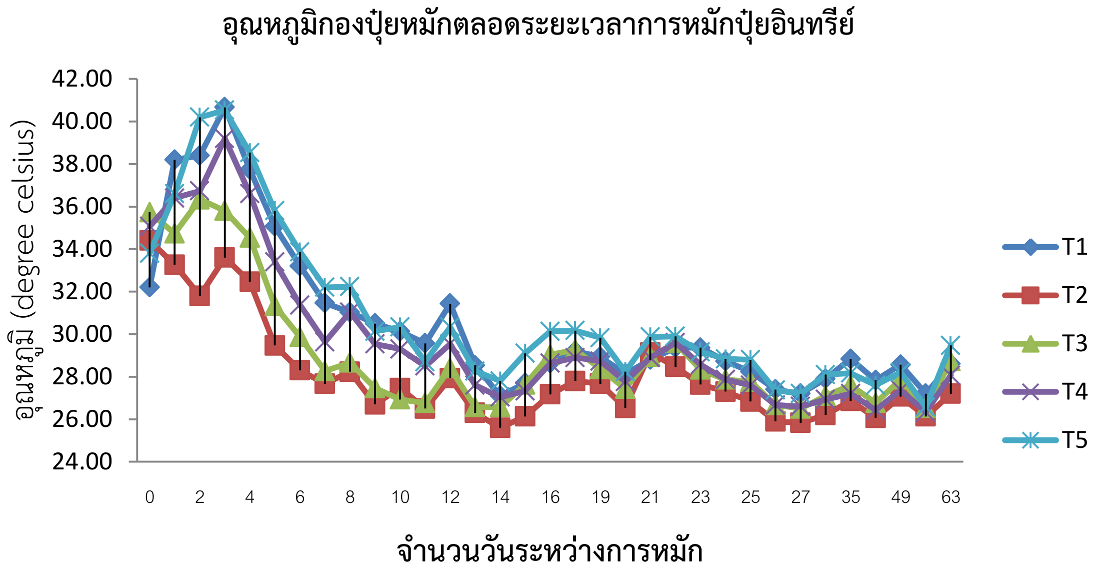
หมายเหตุ: T1 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: มูลวัว (4:1) + ให้น้ำปกติ
T2 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำปกติ
T3 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำน้อย
T4 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำปกติ
T5 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำน้อย
** แตกต่างทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ตารางที่ 1.41 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า (Electro conductivity; EC) (µS/cm) (±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน; SD) ของปุ๋ยอินทรีย์อายุหมัก 63 วัน

สูตรปุ๋ยหมัก	ค่านำไฟฟ้า (± SD) (µS/cm)
ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: มูลวัว (4:1) + ให้น้ำปกติ	2477 ± 344
ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำปกติ	323 ± 105
ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำน้อย	644 ± 192
ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำปกติ	778 ± 108
ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำน้อย	1165 ± 213

ภาพที่ 1.22 แสดงค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า ที่ระยะเวลาต่างๆ ระหว่างการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าความชื้นของปุ๋ยทั้ง 5 สูตร มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ตารางที่ 1.41 แสดงค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า ของปุ๋ยอินทรีย์อายุหมัก 63 วัน มีค่าระหว่าง 323.33-2477.33 µS/cm



ภาพที่ 1.23 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์

หมายเหตุ: T1 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: มูลวัว (4:1) + ให้น้ำปกติ
T2 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำปกติ
T3 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำน้อย
T4 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำปกติ
T5 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำน้อย

กระบวนการหมักปุ๋ยนั้นค่าการนำไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ในระยะเริ่มต้นของกระบวนการหมักนั้นมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการปลดปล่อยเกลือ เช่น ฟอสเฟต และแอมโมเนียมไอออน จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ (Huang *et al*., 2004) เมื่อระยะเวลาผ่านไปตลอดจนกระบวนการหมักเสร็จสิ้นค่าการนำไฟฟ้าจะลดลง เนื่องจากมีการระเหยของแอมโมเนีย และการตกตะกอนของเกลือ (Wong *et al*., 1995) ค่าการนำไฟฟ้าจะเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพของปุ๋ยที่มีผลโดยตรงกับการงอกของเมล็ดพืชและการเจริญเติบโตของพืช โดยค่าการนำไฟฟ้า (Electric Conductivity, EC.) ไม่เกิน 10.0 ds/m (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551) ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าจากการหมักปุ๋ยพบว่าอยู่ในช่วง 0.3-2 ds/m แสดงว่าค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

5. **อุณหภูมิกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์**

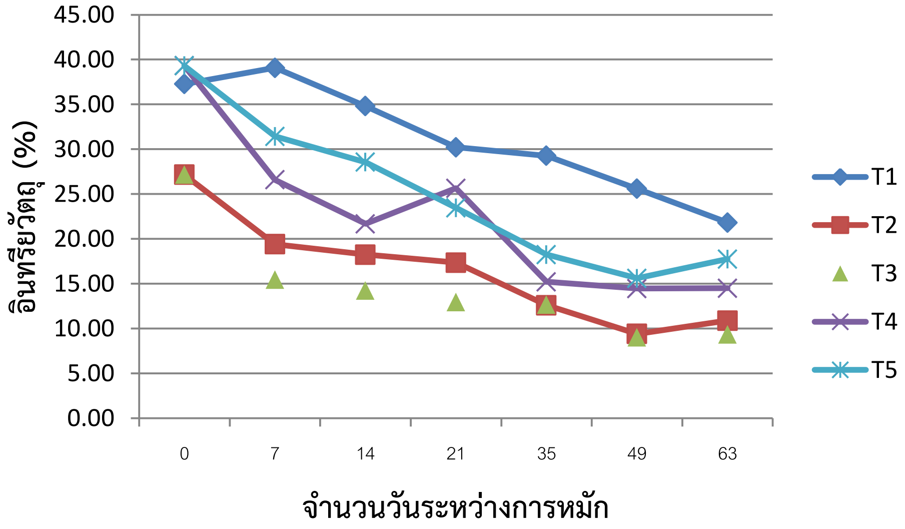
ภาพที่ 1.23 แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ในกองปุ๋ยหมัก ตลอดระยะเวลาการหมัก ของการหมักวัตถุดิบเพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าความชื้นของปุ๋ยทั้ง 5 สูตร มีความแตกต่างกันทางสถิติตลอดเวลาที่หมักพบว่าปุ๋ยหมักสูตร 5 จะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงใน 4 วันแรก โดยปุ๋ยสูตร 1 และ สูตร 5 มีอุณหภูมิสูงสุด หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการหมัก จะพบอุณหภูมิของปุ๋ยหลังการหมัก 63 วัน จะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ 24-30 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองอุณหภูมิในกองปุ๋ยทุกสูตรจะมีอุณหภูมิสูงในระยะแรก เพราะอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่บ่งบอกความสามารถในการย่อยสลายวัสดุของจุลินทรีย์ โดยปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ภายในกองปุ๋ยจะ

ปลดปล่อยความร้อนออกมา จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในช่วงนี้คือจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูงซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายวัสดุในช่วงแรก (ทัศนีย์, 2557) และอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงตลอดระยะเวลาการหมักจนถึงการหมักเสร็จสิ้น นอกจากนี้วัสดุอินทรีย์ที่ใช้นำมาทำปุ๋ยหมักอาจมีเชื้อโรคปะปนมา ไม่ว่าจะเป็นเชื้อโรคที่ติดจากมูลสัตว์หรือเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่ติดมาจากเศษพืชจากแปลง ซึ่งเชื้อโรคเหล่านี้ส่วนมากจะถูกทำลาย เมื่ออุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสูง (ยงยุทธ, 2551)

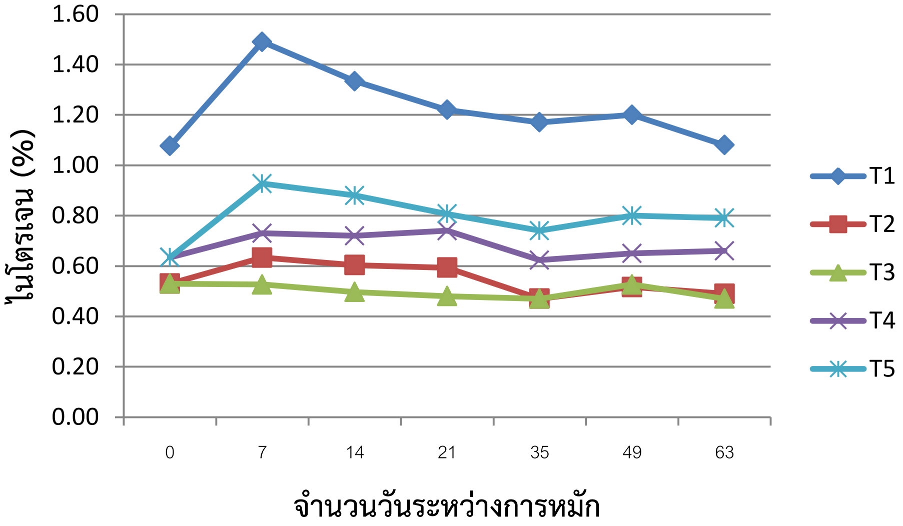
6. การเปลี่ยนแปลงอินทรียวัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์

เมื่อระยะเวลาการหมักดำเนินไป พบว่าอินทรียวัตถุในปุ๋ยทุกสูตรลดลง ประกอบกับมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก เป็นตัวช่วยบ่งชี้ว่ามีกิจกรรมของจุลินทรีย์เกิดขึ้น ซึ่งเกิดการย่อยสลายอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมัก ปุ๋ยสูตรที่มีดินขุยไผ่เป็นส่วนประกอบมีแนวโน้มการลดลงของอินทรียวัตถุ มากกว่าปุ๋ยสูตรที่มีมูลวัวเป็นส่วนประกอบ โดยแนวโน้มการลดลงของอินทรียวัตถุในกองปุ๋ยหมักสูตรดินขุยไผ่ค่อยๆ ลดลงจนถึงวันที่ 35 ของการหมัก แล้วจึงมีค่าค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 1.24) ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในวัสดุปุ๋ยหมักมีระดับค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการหมัก (ภาพที่ 1.25) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนค่อยๆ ลดต่ำลงอย่างรวดเร็วจนถึงวันที่ 35 ของการหมัก ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนจะมีการลดลงอย่างช้าๆ (ภาพที่ 1.26)



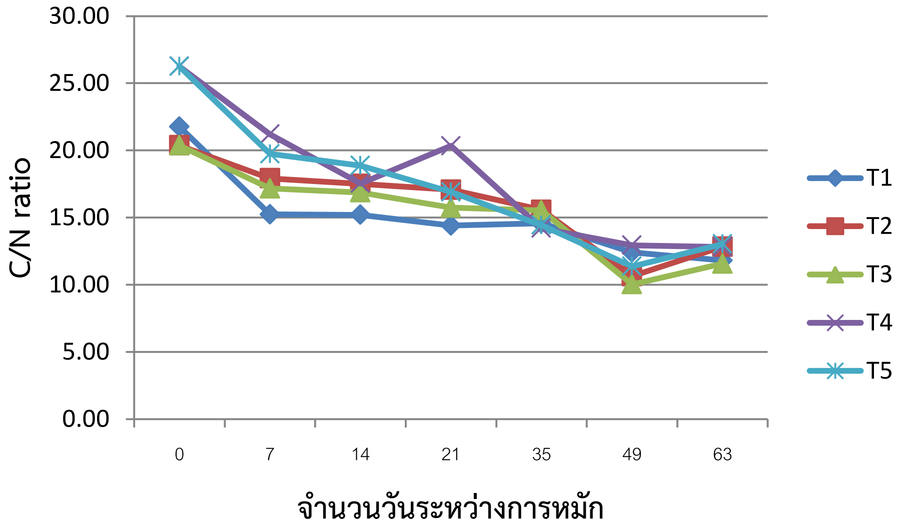
ภาพที่ 1.24 ค่าเฉลี่ยอินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์) ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์

หมายเหตุ: T1 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: มูลวัว (4:1) + ให้น้ำปกติ
T2 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำปกติ
T3 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำน้อย
T4 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำปกติ
T5 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำน้อย



ภาพที่ 1.25 ค่าเฉลี่ยไนโตรเจนทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์) ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์

หมายเหตุ: T1 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: มูลวัว (4:1) + ให้น้ำปกติ
T2 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำปกติ
T3 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำน้อย
T4 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำปกติ
T5 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำน้อย



ภาพที่ 1.26 ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์

หมายเหตุ: T1 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: มูลวัว (4:1) + ให้น้ำปกติ
T2 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำปกติ
T3 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำน้อย
T4 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำปกติ
T5 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำน้อย

ตารางที่ 1.42 สรุปองค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ ระยะเวลาหมัก 63 วัน

องค์ประกอบทางเคมี	กรมพัฒนาที่ดิน	กรมวิชาการเกษตร	T1	T2	T3	T4	T5
เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 30					
เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด	ไม่น้อยกว่า 1.0	ไม่น้อยกว่า 1.0	1.08	0.49	0.47	0.66	0.79
เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน	-	-	12.84	6.32	5.43	8.43	10.31
เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ	25-50	ไม่ต่ำกว่า 20	21.82	10.87	9.34	14.49	17.74
อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไม่เกิน 20: 1	ไม่เกิน 20: 1	11.8	12.8	11.6	12.8	13.0

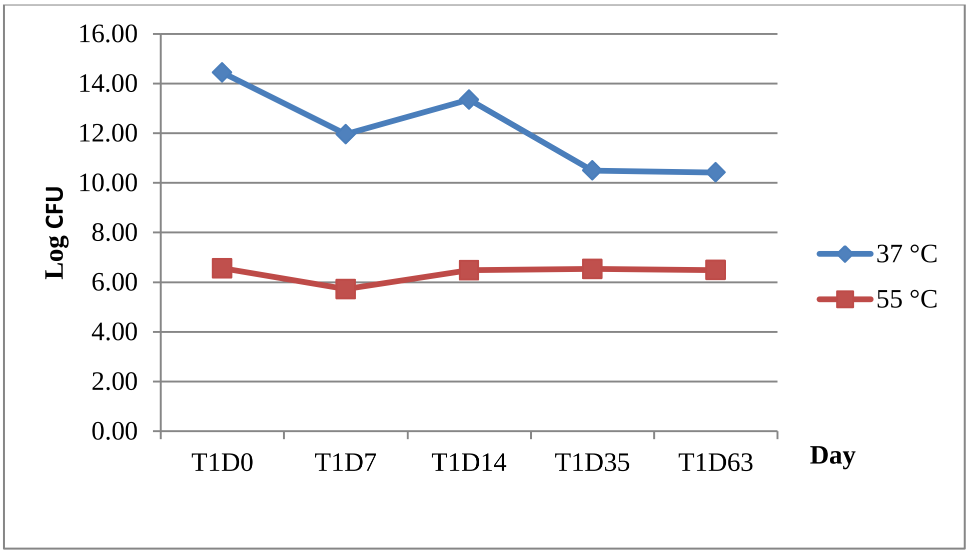
หมายเหตุ T1 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: มูลวัว (4:1) + ให้น้ำปกติ
T2 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำปกติ
T3 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำน้อย
T4 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำปกติ
T5 = ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำน้อย

7. การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ในตัวอย่างปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ยอินทรีย์

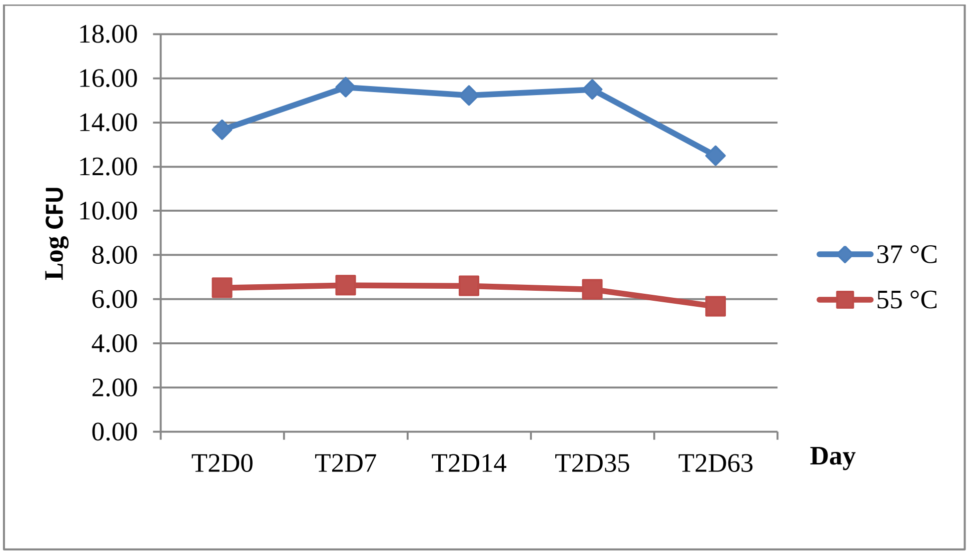
7.1 การนับจำนวนแบคทีเรียในตัวอย่างปุ๋ย

จำนวนแบคทีเรียจากตัวอย่างปุ๋ย T1-T4 ในช่วงเวลาการหมักปุ๋ย อายุ 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน และ T5 ในช่วงการหมัก 0, 7, 14, 21, 35, 49 และ 63 วัน พบจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม mesophile ส่วนใหญ่ในช่วงวันเริ่มต้น (D0) จนถึงสัปดาห์ที่สอง (D14) ที่ทำการหมักปุ๋ย ขณะที่กลุ่มแบคทีเรีย thermophile จะพบเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกันตลอดช่วงเวลาการหมักปุ๋ยในช่วง Log 5.42-6.81 CFU ดังแสดงใน (ภาพที่ 1.27-1.31)

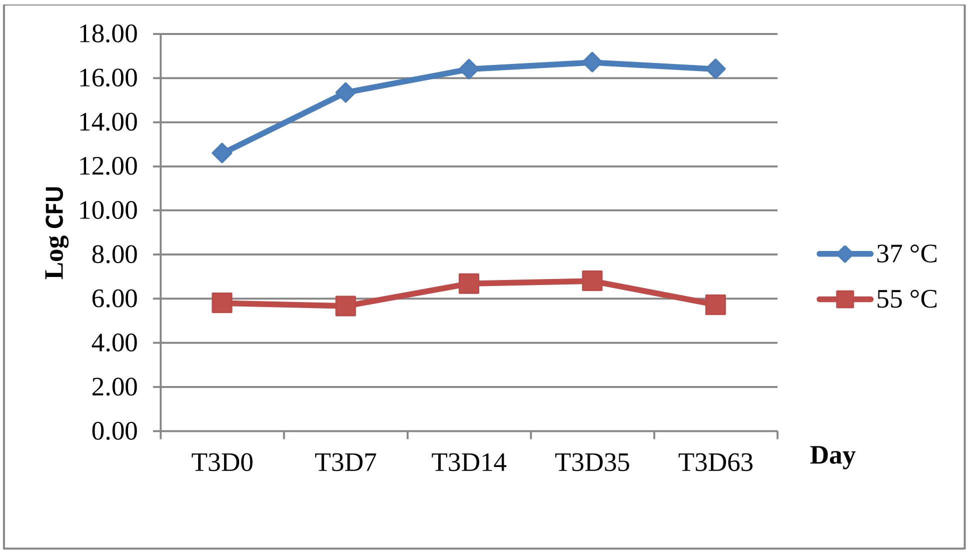
โดยตลอดระยะเวลาในการหมักปุ๋ยทั้ง 5 สูตร พบว่าตัวอย่างปุ๋ย T1 ซึ่งเป็นปุ๋ยสูตรมาตรฐาน (สูตรวิศวกรรมแม่โจ้) พบแบคทีเรียกลุ่ม mesophile ในช่วง Log 10.42-14.44 ขณะที่ T2, T3, T4 และ T5 พบแบคทีเรียในช่วง Log 12.49-15.59, 12.59-16.71, 16.36-16.99 และ 17.46-21.46 ตามลำดับ เป็นที่สังเกตว่าในตัวอย่าง T2-T5 ซึ่งใช้ดินขุยไผ่เป็นแหล่งจุลินทรีย์ทดแทนการใช้มูลสัตว์ มีปริมาณแบคทีเรียสูงกว่าปุ๋ยสูตร T1 และพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกันในตัวอย่าง T2-T5 พบว่า T5 ให้ปริมาณแบคทีเรียกลุ่ม mesophile สูงสุด อาจเนื่องมาจากสภาวะความชื้น และปริมาณสารตั้งต้นมีความเหมาะสมในการแบ่งตัวช่วยเพิ่มจำนวนของแบคทีเรีย



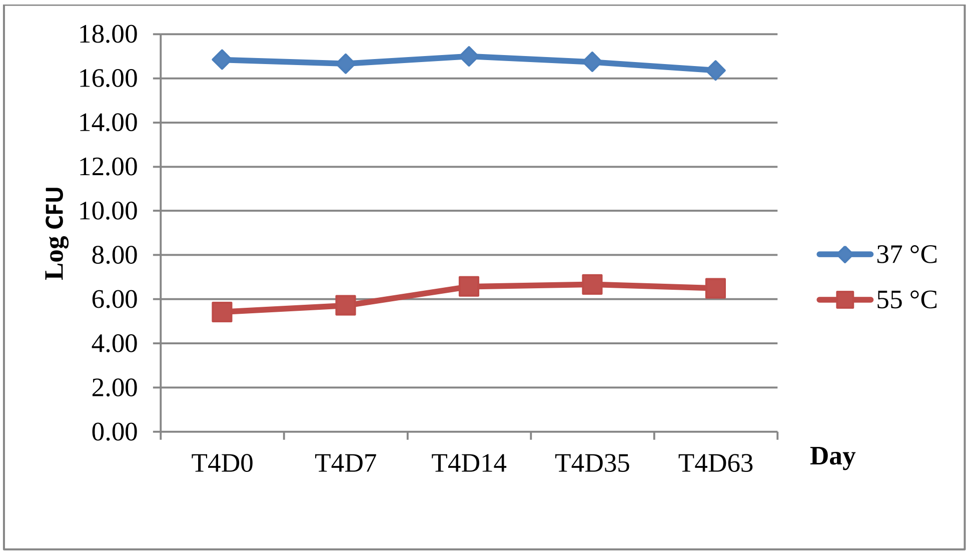
ภาพที่ 1.27 จำนวนแบคทีเรีย (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T1 ระยะเวลาหมัก 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน



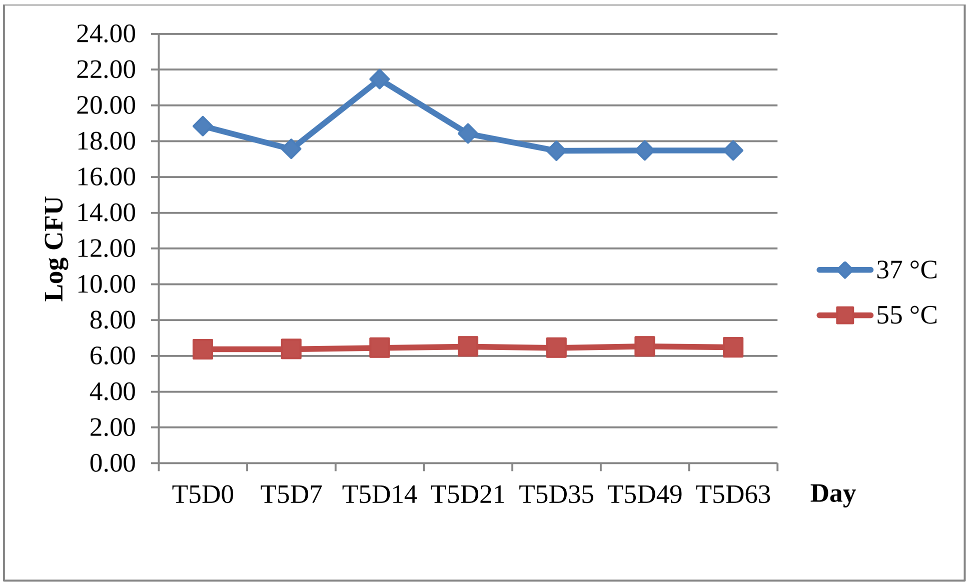
ภาพที่ 1.28 จำนวนแบคทีเรีย (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T2 ระยะเวลาหมัก 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน



ภาพที่ 1.29 จำนวนแบคทีเรีย (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T3 ระยะเวลาหมัก 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน



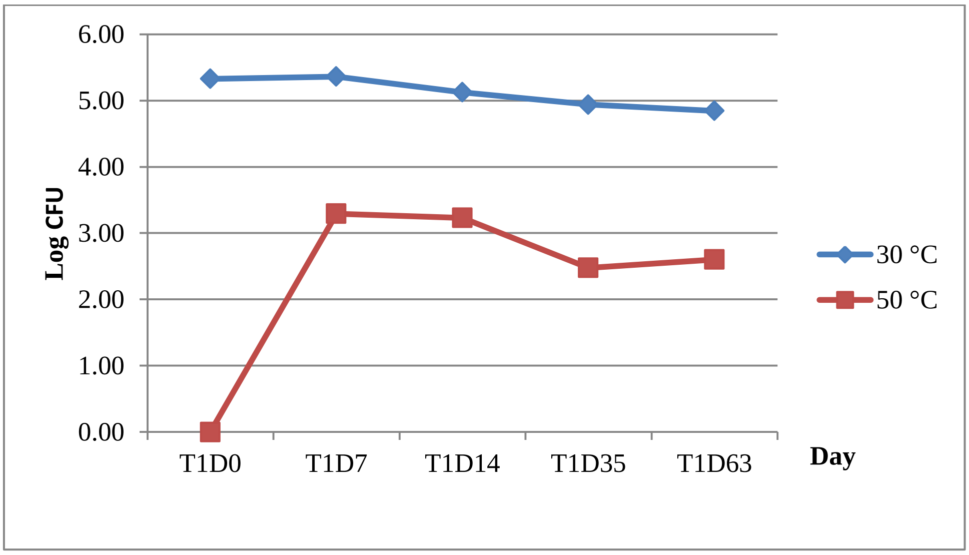
ภาพที่ 1.30 จำนวนแบคทีเรีย (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T4 ระยะเวลาหมัก 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน



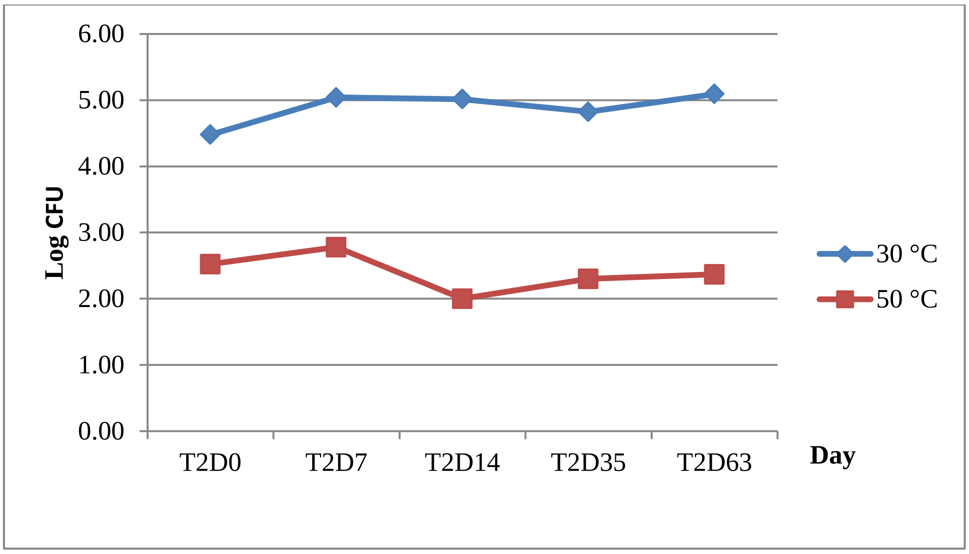
ภาพที่ 1.31 จำนวนแบคทีเรีย (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T5 ระยะเวลาหมัก 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน

7.2 การนับจำนวนเชื้อราในตัวอย่างปุ๋ย

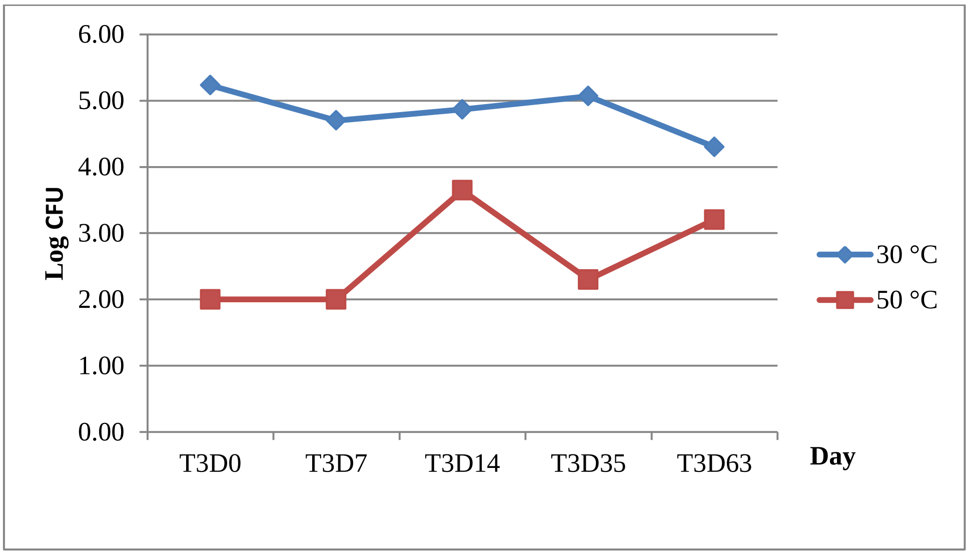
จำนวนเชื้อราจากตัวอย่างปุ๋ย T1-T4 ในช่วงเวลาการหมักปุ๋ย อายุ 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน และ T5 ในช่วงการหมัก 0, 7, 14, 21, 35, 49 และ 63 วัน พบจำนวนเชื้อรากลุ่ม mesophile ส่วนใหญ่ในช่วงวันเริ่มต้น (D0) จนถึงสัปดาห์ที่สอง (D14) ที่ทำการหมักปุ๋ย ขณะที่กลุ่มเชื้อรา thermophile จะเริ่มพบว่ามีปริมาณสูงขึ้นในช่วงสัปดาห์แรก (D7) และมีปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการหมัก (Log 2.00-3.65) ดังแสดงในภาพที่ 1.32-1.36 นอกจากนี้เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณเชื้อรากลุ่ม mesophile จากตัวอย่าง T1-T5 มีปริมาณใกล้เคียงกันในช่วง Log 4.30-6.22 ตลอดอายุการหมัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ดินขุยไผ่ในตัวอย่าง T2-T5 ก็สามารถใช้ทดแทนมูลสัตว์ซึ่งเป็นแหล่งจุลินทรีย์ในสูตรปุ๋ยมาตรฐาน T1 ได้



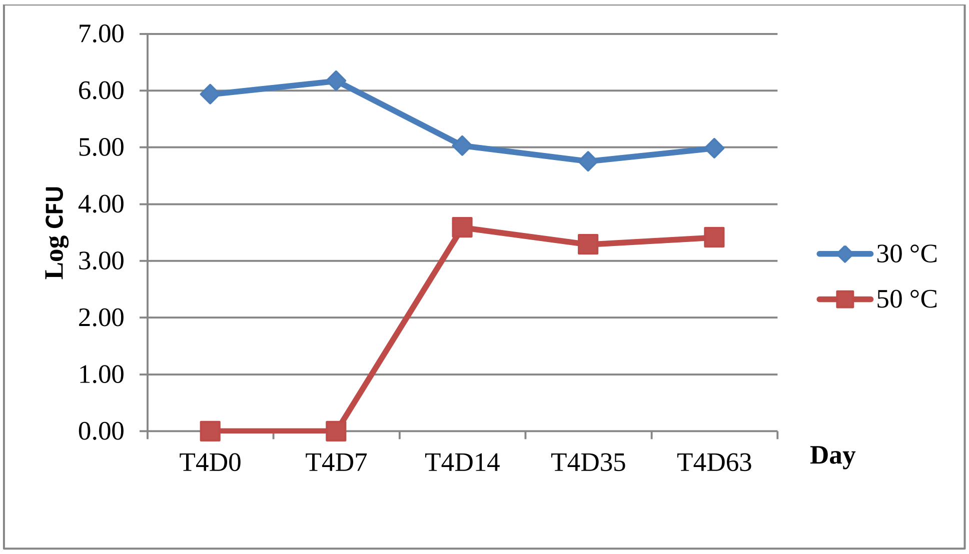
ภาพที่ 1.32 จำนวนเชื้อรา (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T1 ระยะเวลาหมัก 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน



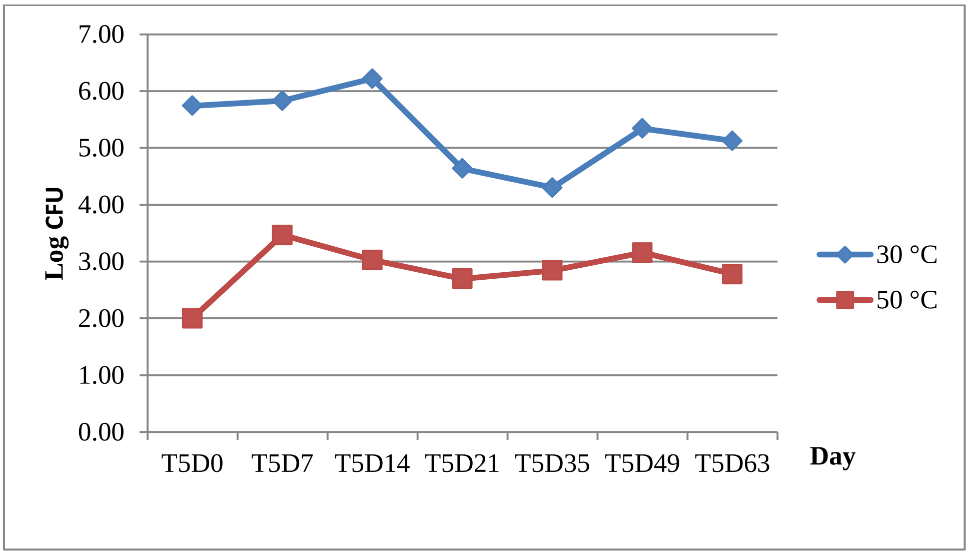
ภาพที่ 1.33 จำนวนเชื้อรา (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T2 ระยะเวลาหมัก 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน



ภาพที่ 1.34 จำนวนเชื้อรา (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T3 ระยะเวลาหมัก 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน



ภาพที่ 1.35 จำนวนเชื้อรา (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T4 ระยะเวลาหมัก 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน



ภาพที่ 1.36 จำนวนเชื้อรา (Log CFU) กลุ่ม mesophile และ thermophile จากตัวอย่างปุ๋ย T5 ระยะเวลาหมัก 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน

การทดสอบอิทธิพลของปุ๋ยหมักต่อข้าวไร่

ตารางที่ 1.43 แสดงเปอร์เซ็นต์การงอก (Germination percentage) ของเมล็ดพันธุ์ข้าวไร่ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติทั้งอิทธิพลของพันธุ์และสูตรปุ๋ย โดยพันธุ์บือกอบิมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 100.81 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์บอแผ่ซูมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 95.68 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปุ๋ยทั้ง 5 สูตรมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 90.48-106.52 เปอร์เซ็นต์ และอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และสูตรปุ๋ย มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 85.44 เปอร์เซ็นต์ และสูงสุดอยู่ที่ 114.76 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1.43 เปอร์เซ็นต์การงอก (ค่าเฉลี่ย±SD) ของเมล็ดข้าวไร่ที่ได้รับปุ๋ยอินทรีย์สูตรต่างๆ

สูตรปุ๋ย	ค่าเปอร์เซ็นต์การงอก (เปอร์เซ็นต์)		ค่าเฉลี่ย
	บือกอบิ	บอแผ่ซู	
ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: มูลวัว (4:1) + ให้น้ำปกติ	95.52 ± 20.02	85.44 ± 16.19	90.48 ± 17.97
ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำปกติ	100.46 ± 8.69	95.95 ± 27.88	98.21 ± 19.61
ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (4:1) + ให้น้ำน้อย	98.43 ± 18.42	110.04 ± 14.03	104.23 ± 16.61
ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำปกติ	114.76 ± 11.33	98.28 ± 6.67	106.52 ± 12.33
ปุ๋ยหมักสูตร ฟางข้าว: ดินขุยไผ่ (8:1) + ให้น้ำน้อย	94.89 ± 12.93	88.69 ± 6.72	91.79 ± 10.25
ค่าเฉลี่ย	100.81 ± 15.49	95.68 ± 17.24	
F-test (p-value) พันธุ์	ns (0.2522)		
F-test (p-value) สูตรปุ๋ย	ns (0.0967)		
F-test (p-value) พันธุ์ xสูตรปุ๋ย	ns (0.3630)		

หมายเหตุ: cv (%)= 15.89
ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 1.44 แสดงความสูงต้นข้าวที่อายุ 30 วัน พันธุ์และการใส่ปุ๋ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ พันธุ์บือกอบิค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.68 เซนติเมตร พันธุ์บอแผ่ซูมี 16.03 เซนติเมตร ขณะที่มีการใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.87 เซนติเมตร และที่ไม่ใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.85 เซนติเมตร สำหรับทั้งสองปัจจัยได้แก่ พันธุ์และการใส่ปุ๋ยไม่มีอิทธิพลร่วมทางสถิติ

ตารางที่ 1.44 อิทธิพลระหว่างการใส่ปุ๋ยและพันธุ์ข้าวต่อค่าเฉลี่ยความสูง (±SD) (เซนติเมตร) ของต้นข้าวที่อายุ 30 วัน

พันธุ์	การใส่ปุ๋ยหมัก		ค่าเฉลี่ย
	ใส่ปุ๋ย	ไม่ใส่ปุ๋ย	
บือกอบิ	21.15 ± 8.57	14.21 ±2.36	17.68 ± 6.96
บอแผ่ซู	20.58 ± 7.94	11.49 ± 3.64	16.03 ± 7.54
ค่าเฉลี่ย	20.87 ± 7.79	12.85 ± 3.23	
F-test (p-value) พันธุ์	0.5627		
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย	*(0.0110)		
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย	0.7056		

หมายเหตุ: cv (%) = 36.97
* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)
ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

การวิเคราะห์ความสูงจากการศึกษาสามปัจจัยร่วมกันแบบแฟกทอเรียล (ตารางที่ 1.45) พบว่าการใส่ปุ๋ยและสูตรปุ๋ยแตกต่างกันทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยที่ 2 ตัน/ไร่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.69 เซนติเมตร และสูงกว่า 20 ตัน/ไร่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.04 เซนติเมตร ขณะที่สูตรปุ๋ยทั้ง 5 สูตร มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 11.06 -28.12 เซนติเมตร โดยการใส่ปุ๋ยสูตร T1, T2 และ T3 ให้ค่าความสูงต้นของข้าวไร่สูงกว่าสูตร T4 และ T5 และพบอิทธิพลร่วมทางสถิติระหว่างพันธุ์และสูตรปุ๋ย โดยพบว่า ปุ๋ยสูตร T1, T2 และ T3 สามารถเพิ่มความสูงของข้าวไร่พันธุ์บือกอบิ ขณะที่ปุ๋ยสูตร T1 และ T3 จะเพิ่มความสูงของข้าวไร่พันธุ์บอแผ่ซู

ตารางที่ 1.45 ผลของสูตรปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยต่อค่าเฉลี่ยความสูง (±SD) (เซนติเมตร) ของข้าวไร่ ที่อายุ 30 วัน

การใส่ปุ๋ย (B)	สูตรปุ๋ย (C)	พันธุ์ (A)		ค่าเฉลี่ย (การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย) (B x C)
		บือกอบิ (A1)	บอแผ่ซู (A2)	
2 ตัน/ไร่	สูตร 1	31.24 ± 2.73	28.58 ± 5.35	29.91 ± 4.24
	สูตร 2	30.63 ± 8.98	27.32 ± 3.79	28.69 ± 6.66
	สูตร 3	29.27 ± 6.01	29.43 ± 12.30	29.35 ± 9.13
	สูตร 4	9.86 ± 4.19	11.95 ± 3.60	10.90 ± 3.84
	สูตร 5	13.56 ± 1.88	15.67 ± 1.51	14.61 ± 1.95
ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x การใส่ปุ๋ย (A x B)		**22.79± 10.56**	**22.59± 9.51**	**22.69 ± 9.94 a (B1)**
20 ตัน/ไร่	สูตร 1	23.47 ± 5.92	22.79 ± 6.72	23.13 ± 5.98
	สูตร 2	27.48 ± 4.45	27.32 ± 8.36	21.57 ± 8.87
	สูตร 3	22.23 ± 13.13	15.65 ± 8.05	26.88 ± 11.38
	สูตร 4	10.39 ± 2.25	31.53 ± 1.71	11.21 ± 2.07
	สูตร 5	13.98 ± 1.50	10.84 ± 2.15	12.41 ± 2.41
ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x การใส่ปุ๋ย (A x B)		**19.51± 8.99**	**18.57± 9.65**	**19.04 ± 9.24 b (B2)**
		21.15 ± 9.85 (A1)	**20.58 ± 9.69 (A2)**	
F-test (p-value) พันธุ์ (A)	0.6455			
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย (B)	**(0.0044)			
F-test (p-value) ชนิดปุ๋ย (C)	**(<0.0001)			
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย	0.7686			
F-test (p-value) พันธุ์ x สูตรปุ๋ย	*(0.0429)			
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย x ปุ๋ย	0.2695			
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย	0.1903			

cv (%) = 29.87
ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05) ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)
* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)
หมายเหตุ สูตร 1 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : มูลวัว (4:1) น้ำปกติ สูตร 2 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1) น้ำปกติ
สูตร 3 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1) ขาดน้ำ สูตร 4 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1) น้ำปกติ
สูตร 5 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1) ขาดน้ำ

ค่าเฉลี่ยสูตรปุ๋ย (C)		ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x สูตรปุ๋ย (A x C)	
สูตร 1	26.52 ± 6.13 **a**	บือกอบิ x สูตร1 27.35± 5.97 **ab**	บอแผ่ซู x สูตร 1 25.68± 6.49 **ab**
สูตร 2	25.13 ± 8.46 **a**	บือกอบิ x สูตร2 28.78 ± 6.82 **a**	บอแผ่ซู x สูตร 2 21.49± 8.68 **b**
สูตร 3	28.12 ± 10.12 **a**	บือกอบิ x สูตร3 25.75± 10.32 **ab**	บอแผ่ซู x สูตร 3 30.48± 9.86 **a**
สูตร 4	11.06 ± 3.01 **b**	บือกอบิ x สูตร4 10.12± 3.18 **c**	บอแผ่ซู x สูตร 4 11.99± 2.66 **c**
สูตร 5	13.51± 2.41 **b**	บือกอบิ x สูตร5 13.77± 1.62 **c**	บอแผ่ซู x สูตร 5 13.25 ± 3.09 **c**

ตารางที่ 1.46 แสดงจำนวนหน่อต่อกอของข้าวไร่ที่อายุ 30 วัน พบว่าชนิดของพันธุ์และการใส่ปุ๋ยไม่แตกต่างกัน พันธุ์บือกอบิมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.20 หน่อ ขณะที่บอแผ่ซูมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.05 หน่อ ขณะที่ค่าเฉลี่ยที่มีการใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.62 หน่อ และที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.63 หน่อ สำหรับทั้งสองปัจจัยได้แก่ พันธุ์และการใส่ปุ๋ยไม่มีอิทธิพลร่วมทางสถิติ

ตารางที่ 1.46 อิทธิพลระหว่างการใส่ปุ๋ยและพันธุ์ข้าวต่อจำนวนหน่อต่อกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่ ที่อายุ 30 วัน ที่ได้รับปุ๋ยหมักสูตรต่างๆ

พันธุ์	จำนวนหน่อต่อกอ		ค่าเฉลี่ย
	ใส่ปุ๋ย	ไม่ใส่ปุ๋ย	
บือกอบิ	2.54 ± 0.78	3.86 ± 0.77	3.20 ± 1.01
บอแผ่ซู	2.69 ± 0.58	3.39 ± 1.52	3.05 ± 1.15
ค่าเฉลี่ย	2.62 ± 0.65	3.63 ± 1.16	
F-test (p-value) พันธุ์	0.7277		
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย	*(0.0349)		
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย	0.4922		

หมายเหตุ: cv (%) = 31.41

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

ผลการวิเคราะห์จำนวนหน่อต่อกอจากการศึกษาสามปัจจัยร่วมกันแบบแฟกทอเรียล (ตารางที่ 1.47) พบว่าการใส่ปุ๋ยและสูตรปุ๋ยแตกต่างกันทางสถิติ โดยใส่ปุ๋ยที่ 2 ตัน/ไร่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.85 หน่อ สูงกว่าใส่ปุ๋ยที่ 20 ตัน/ไร่ ซึ่งมีจำนวนเท่ากับ 2.39 หน่อ ขณะที่สูตรปุ๋ยทั้ง 5 สูตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.01-3.53 หน่อ ปุ๋ยสูตร T4 และ T5 พบการแตกกอของข้าวไร่ดีกว่าปุ๋ยสูตร T1, T2 และ T3 พบอิทธิพลร่วมทางสถิติระหว่างอัตราการใส่ปุ๋ยและสูตรปุ๋ย โดยพบว่าปุ๋ยสูตร T5 จะมีการแตกกอได้สูงสุดทั้งการใส่ที่ 2 ตันต่อไร่ และ 20 ตันต่อไร่ ขณะที่ปุ๋ยสูตร T1 และ T4 จะเพิ่มจำนวนหน่อให้มีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่การใส่ปุ๋ย 2 ตันต่อไร่ และ 20 ตันต่อไร่ ตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยสูตรที่เหลือ (สูตร T2 และ T3) ให้จำนวนหน่อไม่แตกต่างระหว่างการใส่ปุ๋ยทั้ง 2 อัตรา และมีค่าต่ำกว่าสูตรอื่นๆ สำหรับทั้งสามปัจจัยได้แก่ พันธุ์ อัตราการใส่ปุ๋ย สูตรปุ๋ย ไม่มีอิทธิพลร่วมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ผลการศึกษาสามปัจจัยร่วมกันแบบแฟกทอเรียล (ตารางที่ 1.48) พบว่าอัตราการใส่ปุ๋ยและสูตรปุ๋ยมีความแตกต่างทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยที่ 2 ตันต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเท่ากับ 1.39 เซนติเมตรสูงกว่าการใส่ปุ๋ยที่ 20 ตันต่อไร่ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.11 เซนติเมตร และสูตรปุ๋ยทั้ง 5 สูตร ปุ๋ยสูตรที่ T1 และ T5 ให้ลำต้นที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อประเมินจากเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น ขณะที่อัตราการใส่ปุ๋ยและสูตรปุ๋ย มีอิทธิพลร่วมกันทางสถิติ โดยพบว่าที่การใส่ปุ๋ย 2 ตันต่อไร่ ข้าวไร่ที่ได้รับปุ๋ยสูตร T1 และ T2 จะให้ผลที่ดีที่สุด แต่อิทธิพลดังกล่าวจะมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณปุ๋ยอินทรีย์ ส่วนปัจจัยพันธุ์ อัตราการใส่ปุ๋ย สูตรปุ๋ย ไม่มีอิทธิพลร่วมทางสถิติ

ตารางที่ 1.47 ผลของสูตรปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยต่อจำนวนหน่อต่อกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่ ที่อายุ 30 วัน

การใส่ปุ๋ย (B)	สูตรปุ๋ย (C)	พันธุ์ (A)		ค่าเฉลี่ย (การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย) (B x C)
		บือกอบิ (A1)	บอแผ่ซู (A2)	
2 ตัน/ไร่	สูตร 1	1.57 ± 0.24	1.74 ± 0.21	1.65 ± 0.23^{a}
	สูตร 2	1.48 ± 0.15	1.49 ± 0.21	1.48 ± 0.17^{ab}
	สูตร 3	1.41 ± 0.27	1.27 ± 0.16	1.34 ± 0.22^{bc}
	สูตร 4	1.14 ± 0.18	0.97 ± 0.25	1.06 ± 0.22^{d}
	สูตร 5	1.42 ± 0.18	1.38 ± 0.13	1.39 ± 0.15^{bc}
ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x การใส่ปุ๋ย (A x B)		**1.40 ± 0.23**	**1.37 ± 0.31**	**1.39 ± 0.28^{a} (B1)**
20 ตัน/ไร่	สูตร 1	1.15 ± 0.24	1.25 ± 0.26	1.20 ± 0.24^{cd}
	สูตร 2	1.25 ± 0.29	1.49 ± 0.26	1.06 ± 0.37^{d}
	สูตร 3	1.00 ± 0.32	0.86 ± 0.37	1.09± 0.25^{d}
	สูตร 4	1.12 ± 0.28	1.17 ± 0.18	1.03 ± 0.19^{d}
	สูตร 5	1.16 ± 0.15	1.22 ± 036	1.19 ± 0.26^{cd}
ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x การใส่ปุ๋ย (A x B)		**1.13 ± 0.23**	**1.09 ± 0.31**	**1.11 ± 0.27^{b} (B2)**
		1.29 ± 0.27 **(A1)**	**1.23 ± 0.34** **(A2)**	
F-test (p-value) พันธุ์ (A)	(0.3938			
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย (B)	**(<0.0001)			
F-test (p-value) สูตรปุ๋ย (C)	**(<0.0001)			
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย	0.8750			
F-test (p-value) พันธุ์ x สูตรปุ๋ย	0.1.354			
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย	*(0.0336)			
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย	0.2137			

cv (%) = 37.63

ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05) ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

หมายเหตุ สูตร1 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : มูลวัว (4:1) น้ำปกติ สูตร2 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1) น้ำปกติ
สูตร3 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1) ขาดน้ำ สูตร4 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1) น้ำปกติ
สูตร5 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1) ขาดน้ำ

ค่าเฉลี่ยสูตรปุ๋ย (C)		ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x สูตรปุ๋ย (A x C)			
สูตร 1	2.29 ± 1.34 **b**	บือกอบิ x สูตร1	1.93 ± 1.09	บอแผ่ซู x สูตร 1	2.65 ± 1.52
สูตร 2	2.01 ± 0.99 **b**	บือกอบิ x สูตร2	1.92 ± 0.94	บอแผ่ซู x สูตร 2	2.09 ± 1.09
สูตร 3	2.15 ± 0.83 **b**	บือกอบิ x สูตร3	2.10 ± 0.89	บอแผ่ซู x สูตร 3	2.19 ± 0.80
สูตร 4	3.11 ± 1.39 **a**	บือกอบิ x สูตร4	3.19 ± 1.74	บอแผ่ซู x สูตร 4	3.03 ± 1.02
สูตร 5	3.53 ± 1.10 **a**	บือกอบิ x สูตร5	3.56 ± 1.43	บอแผ่ซู x สูตร 5	3.49 ± 0.71

ตารางที่ 1.48 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่อายุ 30 วัน พบว่าพันธุ์และการใส่ปุ๋ยไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยพันธุ์บือกอบิค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.32 เซนติเมตร พันธุ์บอแผ่ซูมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.23 เซนติเมตร ขณะที่มีการใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.25 เซนติเมตร และที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.30 เซนติเมตร สำหรับทั้งสองปัจจัย ได้แก่ พันธุ์และการใส่ปุ๋ยไม่มีอิทธิพลร่วมกันทางสถิติ

ตารางที่ 1.48 อิทธิพลระหว่างการใส่ปุ๋ยและพันธุ์ข้าวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่ อายุ 30 วัน

พันธุ์	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (เซนติเมตร)		ค่าเฉลี่ย
	ใส่ปุ๋ย	ไม่ใส่ปุ๋ย	
บือกอบิ	1.27 ± 0.09	1.37 ± 0.26	1.32 ± 0.19
บอแผ่ซู	1.23 ± 0.19	1.24 ± 0.45	1.23 ± 0.33
ค่าเฉลี่ย	1.25 ± 0.15	1.30 ± 0.35	
F-test (p-value) พันธุ์	0.6716		
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย	0.5033		
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย	0.7199		

หมายเหตุ: cv (%) = 22.02
ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 1.49 ผลของสูตรปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ค่าเฉลี่ย±SD) (เซนติเมตร) ของข้าวไร่อายุ 30 วัน

การใส่ปุ๋ย (B)	สูตรปุ๋ย (C)	พันธุ์ (A)		ค่าเฉลี่ย (การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย) (B x C)
		บือกอบิ (A1)	บอแผ่ซู (A2)	
2 ตัน/ไร่	สูตร 1	1.57 ± 0.24	1.74 ± 0.21	1.65 ± 0.23^{a}
	สูตร 2	1.48 ± 0.15	1.49 ± 0.21	1.48 ± 0.17^{ab}
	สูตร 3	1.41 ± 0.27	1.27 ± 0.16	1.34 ± 0.22^{bc}
	สูตร 4	1.14 ± 0.18	0.97 ± 0.25	1.06 ± 0.22^{d}
	สูตร 5	1.42 ± 0.18	1.38 ± 0.13	1.39 ± 0.15^{bc}
ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x การใส่ปุ๋ย (A x B)		**1.40 ± 0.23**	**1.37 ± 0.31**	**1.39 ± 0.28^{a} (B1)**
20 ตัน/ไร่	สูตร 1	1.15 ± 0.24	1.25 ± 0.26	1.20 ± 0.24^{cd}
	สูตร 2	1.25 ± 0.29	1.49 ± 0.26	1.06 ± 0.37^{d}
	สูตร 3	1.00 ± 0.32	0.86 ± 0.37	1.09± 0.25^{d}
	สูตร 4	1.12 ± 0.28	1.17 ± 0.18	1.03 ± 0.19^{d}
	สูตร 5	1.16 ± 0.15	1.22 ± 036	1.19 ± 0.26^{cd}
ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x การใส่ปุ๋ย (A x B)		**1.13 ± 0.23**	**1.09 ± 0.31**	**1.11 ± 0.27^{b} (B2)**
		1.29 ± 0.27 **(A1)**	**1.23 ± 0.34** **(A2)**	
F-test (p-value) พันธุ์ (A)	0.3938			
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย (B)	**(< 0.0001)			
F-test (p-value) สูตรปุ๋ย (C)	**(< 0.0001)			
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย	0.8750			
F-test (p-value) พันธุ์ x สูตรปุ๋ย	0.1354			
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย	*(0.0336)			
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย	0.2137			

cv (%) = 18.76

ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05) ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

หมายเหตุ สูตร1 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : มูลวัว (4:1) น้ำปกติ สูตร2 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1) น้ำปกติ
สูตร3 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1) ขาดน้ำ สูตร4 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1) น้ำปกติ
สูตร5 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1) ขาดน้ำ

ค่าเฉลี่ยสูตรปุ๋ย (C)		ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x สูตรปุ๋ย (A x C)			
สูตร 1	1.43 ± 0.33 **a**	บือกอบิ x สูตร1	1.36 ± 0.32	บอแผ่ซู x สูตร 1	1.49 ± 0.34
สูตร 2	1.27 ± 0.36 **b**	บือกอบิ x สูตร2	1.36 ± 0.25	บอแผ่ซู x สูตร 2	1.18 ± 0.43
สูตร 3	1.21 ± 0.27 **b**	บือกอบิ x สูตร3	1.21 ± 0.35	บอแผ่ซู x สูตร 3	1.22 ± 0.17
สูตร 4	1.04 ± 0.20 **c**	บือกอบิ x สูตร4	1.13 ± 0.16	บอแผ่ซู x สูตร 4	0.95 ± 0.20
สูตร 5	1.29 ± 0.23 **ab**	บือกอบิ x สูตร5	1.29 ± 0.20	บอแผ่ซู x สูตร 5	1.30 ± 0.27

ตารางที่ 1.50 อิทธิพลระหว่างการใส่ปุ๋ยและพันธุ์ข้าวต่อจำนวนหน่อต่อกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่ อายุ 60 วัน

พันธุ์	จำนวนหน่อต่อกอ		ค่าเฉลี่ย
	ใส่ปุ๋ย	ไม่ใส่ปุ๋ย	
บือกอบิ	4.11 ± 0.31	3.20± 0.84	3.67±0.76[b]
บอแผ่ซู	5.04± 0.82	5.07± 180	5.06±1.32[a]
ค่าเฉลี่ย	4.58±0.76	4.14±1.65	
F-test (p-value) ปุ๋ย	0.3713		
F-test (p-value) พันธุ์	*(0.0111)		
F-test (p-value) พันธุ์ x ปุ๋ย	0.3471		

หมายเหตุ : cv (%) = 24.93
* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)
ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 1.50 แสดงจำนวนหน่อต่อกอของข้าวไร่อายุ 60 วัน พบว่ามีความแตกต่างระหว่างพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพันธุ์บอแผ่ซูมีจำนวนหน่อต่อกอสูงกว่าพันธุ์บือกอบิ โดยมีค่าเฉลี่ยจำนวนหน่อต่อกอเท่ากับ 5.06 และ3.67 หน่อ ตามลำดับ สำหรับการใส่ปุ๋ยและไม่ใส่ปุ๋ยไม่มีความแตกต่างกัน สำหรับทั้งสองปัจจัยได้แก่ พันธุ์และการใส่ปุ๋ยไม่มีอิทธิพลร่วมทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์จำนวนหน่อต่อกอของข้าวไร่จากการศึกษาสามปัจจัยร่วมกันแบบแฟกทอเรียล (ตารางที่ 1.51) พบว่าพันธุ์และอัตราการใส่ปุ๋ยมีความแตกต่างทางสถิติ โดยพันธุ์บือกอบิมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.12 หน่อ น้อยกว่าพันธุ์บอแผ่ซูมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.04 หน่อ และการใส่ปุ๋ยที่ 2 ตัน/ไร่ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.08 หน่อ สูงกว่าการใส่ที่ 20 ตัน/ไร่ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.08 หน่อ พบอิทธิพลร่วมในทุกปัจจัย ยกเว้นพันธุ์และสูตรปุ๋ย ทั้งนี้พบว่าพันธุ์บอแผ่ซูที่ได้รับปุ๋ยสูตรที่ T1 อัตรา 2 ตันต่อไร่ ให้จำนวนหน่อต่อกอสูงที่สุด ขณะที่ในกรรมวิธีอื่นๆ ให้ค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 1.51 ผลของสูตรปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยต่อจำนวนหน่อต่อกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) ของของข้าวไร่ (หน่อ) อายุ 60 วัน

การใส่ปุ๋ย (B)	สูตรปุ๋ย (C)	พันธุ์ (A)		ค่าเฉลี่ย (การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย) (B x C)
		บือกอบิ (A1)	บอแผ่ซู (A2)	
2 ตัน/ไร่	สูตร 1	4.53 ± 2.19 ^{b}	8.20 ± 2.19 ^{a}	6.37± 2.58 ^{a}
	สูตร 2	3.67 ± 1.55 ^{bc}	5.67 ± 1.94 ^{b}	4.67±1.96 ^{b}
	สูตร 3	4.33 ± 0.97 ^{b}	5.59 ± 1.92 ^{b}	4.96 ±1.58 ^{b}
	สูตร 4	4.93 ± 1.36 ^{b}	5.33 ± 1.43 ^{b}	5.13± 1.33 ^{ab}
	สูตร 5	3.73 ± 0.43 ^{bc}	4.85 ± 0.67 ^{b}	4.29 ±0.79 ^{bc}
ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x การใส่ปุ๋ย (A x B)		**4.24 ± 1.19** ^{b}	**3.99 ± 1.21** ^{b}	**5.08±1.82 (B1)**
20 ตัน/ไร่	สูตร 1	4.13 ±2.11 ^{b}	3.90 ± 3.11 ^{bc}	4.02 ± 2.51 ^{bc}
	สูตร 2	4.20 ± 1.19 ^{b}	1.90 ±0.72 ^{c}	3.05 ± 1.53 ^{c}
	สูตร 3	3.53 ± 0.65 ^{bc}	4.93 ±0.86 ^{b}	4.23 ± 1.03 ^{bc}
	สูตร 4	4.19 ±0.80 ^{b}	4.60± 0.72 ^{b}	4.39± 0.75 ^{bc}
	สูตร 5	3.94 ± 0.43 ^{b}	5.46± 1.39 ^{b}	4.70 ± 1.26 ^{b}
ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x การใส่ปุ๋ย (A x B)		**5.93 ± 1.97** ^{a}	**4.16 ± 1.96** ^{b}	**4.08±1.58 (B2)**
		4.12±1.15 ^{b} **(A1)**	**5.04±2.14** ^{a} **(A2)**	
F-test (p-value) พันธุ์ (A)	**(0.0021)			
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย (B)	**(0.0009)			
F-test (p-value) สูตรปุ๋ย (C)	ns(0.0755)			
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย	*(0.0104)			
F-test (p-value) พันธุ์ x สูตรปุ๋ย	0.2399			
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย	*(0.0457)			
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย	*(0.0155)			

cv (%) = 31.79

ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05) ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

หมายเหตุ สูตร1 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : มูลวัว (4:1) น้ำปกติ สูตร2 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1) น้ำปกติ
สูตร3 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1) ขาดน้ำ สูตร4 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1) น้ำปกติ
สูตร5 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1) ขาดน้ำ

ค่าเฉลี่ยสูตรปุ๋ย (C)		ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x สูตรปุ๋ย (A x C)			
สูตร 1	5.19±2.76 ^{a}	บือกอบิ x สูตร1	4.33± 1.67	บอแผ่ซู x สูตร 1	6.05± 3.40
สูตร 2	3.86±1.90 ^{b}	บือกอบิ x สูตร2	3.93± 1.33	บอแผ่ซู x สูตร 2	3.78± 2.42
สูตร 3	4.59±1.35 ^{ab}	บือกอบิ x สูตร3	3.93± 0.89	บอแผ่ซู x สูตร 3	5.27± 1.45
สูตร 4	4.77±1.12 ^{ab}	บือกอบิ x สูตร4	4.57± 1.12	บอแผ่ซู x สูตร 4	4.97± 1.14
สูตร 5	4.49±1.05 ^{ab}	บือกอบิ x สูตร5	3.83± 0.42	บอแผ่ซู x สูตร 5	5.16± 1.08

ตารางที่ 1.52 ผลของสูตรปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ค่าเฉลี่ย±SD) (เซนติเมตร) ของข้าวไร่ที่อายุ 60 วัน

การใส่ปุ๋ย (B)	สูตรปุ๋ย (C)	พันธุ์ (A)		ค่าเฉลี่ย (การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย) (B x C)
		บือกอบิ (A1)	บอแผ่ซู (A2)	
2 ตัน/ไร่	สูตร 1	2.63± 0.34	3.01 ± 0.34	2.82 ± 0.35 ^{a}
	สูตร 2	2.49± 0.13	2.69± 0.25	2.59± 0.22 ^{ab}
	สูตร 3	2.49± 0.31	2.33 ± 0.24	2.41± 0.27 ^{abc}
	สูตร 4	2.18± 0.55	2.41± 0.30	2.29± 0.43 ^{bc}
	สูตร 5	2.30± 0.15	2.32± 0.46	2.31± 0.32 ^{bc}
ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x การใส่ปุ๋ย (A x B)		**2.42± 0.33**	**2.55±0.40**	**2.49± 0.37 (B1)**
20 ตัน/ไร่	สูตร 1	1.98± 0.75	2.31± 1.07	2.15± 0.89 ^{c}
	สูตร 2	2.08± 0.26	1.43 ± 052	1.76± 0.52 ^{d}
	สูตร 3	2.39± 0.36	2.06 ± 0.70	2.29± 0.30 ^{bc}
	สูตร 4	2.70± 0.38	2.48± 0.96	2.55± 0.39 ^{abc}
	สูตร 5	2.66± 0.34	2.28± 0.67	2.77± 0.27 ^{a}
ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x การใส่ปุ๋ย (A x B)		**2.36±0.51**	**2.24± 0.71**	**2.30±0.61 (B2)**
		2.39±0.43 (A1)	**2.39±0.59 (A2)**	
F-test (p-value) พันธุ์ (A)	(0.9425			
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย (B)	*(0.0373)			
F-test (p-value) สูตรปุ๋ย (C)	0.0739			
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย	0.1484			
F-test (p-value) พันธุ์ x สูตรปุ๋ย	0.1926			
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย	**(<0.0001)			
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย	0.2830			

cv (%) = 17.88

ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05) ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

หมายเหตุ สูตร1 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : มูลวัว (4:1) น้ำปกติ สูตร2 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1) น้ำปกติ
สูตร3 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1) ขาดน้ำ สูตร4 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1) น้ำปกติ
สูตร5 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1) ขาดน้ำ

ค่าเฉลี่ยสูตรปุ๋ย (C)		ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x สูตรปุ๋ย (A x C)			
สูตร 1	2.48± 0.74	บือกอบิ x สูตร1	2.31± 0.63	บอแผ่ซู x สูตร 1	2.66± 0.83
สูตร 2	2.17± 0.58	บือกอบิ x สูตร2	2.29± 0.0.29	บอแผ่ซู x สูตร 2	2.06± 0.77
สูตร 3	2.35± 0.29	บือกอบิ x สูตร3	2.45± 0.32	บอแผ่ซู x สูตร 3	2.26± 0.23
สูตร 4	2.42± 0.42	บือกอบิ x สูตร4	2.44± 0.52	บอแผ่ซู xสูตร 4	2.41± 0.31
สูตร 5	2.54± 0.37	บือกอบิ x สูตร5	2.48 ± 0.31	บอแผ่ซู x สูตร 5	2.60± 0.43

ตารางที่ 1.53 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของข้าวไร่ที่อายุ 60 วัน พบว่าพันธุ์และการใส่ปุ๋ยไม่มีความแตกต่างกัน พันธุ์บือกอบิค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.39 เซนติเมตร พันธุ์บอแผ่ซูเฉลี่ย 2.49 เซนติเมตร ขณะค่าเฉลี่ยที่มีการใส่ปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 2.39 เซนติเมตร และที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.48 เซนติเมตรสำหรับทั้งสองปัจจัยได้แก่พันธุ์และการใส่ปุ๋ยไม่มีอิทธิพลร่วมทางสถิติ

ตารางที่ 1.53 อิทธิพลระหว่างการใส่ปุ๋ยและพันธุ์ข้าวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ค่าเฉลี่ย±SD) (เซนติเมตร) ของข้าวไร่อายุ 60 วัน

พันธุ์	เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (เซนติเมตร)		ค่าเฉลี่ย
	ใส่ปุ๋ย	ไม่ใส่ปุ๋ย	
บือกอบิ	2.39 ±0.09	2.39± 0.25	2.39±0.12
บอแผ่ซู	2.38 ± 0.15	2.59± 0.36	2.49±0.31
ค่าเฉลี่ย	2.39±0.18	2.48±0.28	
F-test (p-value) พันธุ์	0.3216		
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย	0.4074		
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย	0.3496		

หมายเหตุ : cv (%) = 9.59

ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

เมื่อทำการวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของข้าวไร่จากการศึกษาสามปัจจัยร่วมกันแบบแฟกทอเรียล (ตารางที่ 1.53) พบว่าพันธุ์ อัตราการใส่ปุ๋ย และสูตรปุ๋ยไม่มีความแตกต่างกัน ขณะที่อัตราการใส่ปุ๋ย และสูตรปุ๋ย มีอิทธิพลร่วมกันทางสถิติ การใส่ปุ๋ย 2 ตันต่อไร่ ข้าวที่ได้รับปุ๋ยสูตร T1, T2 และ T3 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นสูยาวที่สุด ขณะที่การใส่ปุ๋ย 20 ตันต่อไร่ ข้าวไร่ที่ได้รับปุ๋ยสูตรที่ T4 และ T5 มีขนาดดังกล่าวสูงที่สุด และทั้งสามปัจจัยได้แก่ พันธุ์ อัตราการใส่ปุ๋ย และสูตรปุ๋ยไม่มีอิทธิพลร่วมทางสถิติ

ตารางที่ 1.54 แสดงน้ำหนักผลผลิตเมล็ดต่อกอของข้าวไร่ที่อายุ 60 วันพบว่าไม่มีความแตกต่าง ระหว่างพันธุ์ข้าวไร่ แต่พบว่าการใส่ปุ๋ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่ใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.55 กรัมต่อกอ ขณะที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.29 กรัมต่อกอ สำหรับทั้งสองปัจจัยได้แก่ พันธุ์และการใส่ปุ๋ยมีอิทธิพลร่วมทางสถิติ พบว่าเมื่อมีการใส่ปุ๋ยทั้งสองพันธุ์ให้ผลผลิตเมล็ดไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อไม่ใส่ปุ๋ยผลผลิตเมล็ดของข้าวพันธุ์บอแผ่ซูจะลดลงมากกว่าพันธุ์บือกอบิ

ตารางที่ 1.54 อิทธิพลระหว่างการใส่ปุ๋ยและพันธุ์ข้าวต่อน้ำหนักผลผลิตเมล็ดต่อกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) ของข้าวไร่ ที่อายุ 60 วัน

พันธุ์	น้ำหนักผลผลิตเมล็ดต่อกอ (กรัม/กอ)		ค่าเฉลี่ย
	ใส่ปุ๋ย	ไม่ใส่ปุ๋ย	
บือกอบิ	5.65 ± 1.74^{a}	3.13 ± 0.83^{b}	4.39 ± 1.85
บอแผ่ซู	5.44 ± 0.74^{a}	0.83 ± 0.82^{c}	3.71 ± 2.49
ค่าเฉลี่ย	5.55 ± 1.27^{a}	2.29 ± 1.42^{b}	
F-test (p-value) พันธุ์	0.2289		
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย	**(<0.0001)		
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย	*(0.0272)		

หมายเหตุ : cv (%) = 24.93

** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05)

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลผลิตจากการศึกษาสามปัจจัยร่วมกันแบบแฟกทอเรียล (ตารางที่ 1.55) พบว่าระดับของการใส่ปุ๋ยมีความแตกต่างทางสถิติ โดยค่าเฉลี่ยของปุ๋ยที่ใส่ 2 ตัน/ไร่ เท่ากับ 3.71 กรัมต่อกอ น้อยกว่าการใส่ปุ๋ยที่อัตรา 20 ตัน/ไร่ ซึ่งมีค่าผลผลิต เท่ากับ 7.83 กรัมต่อกอ ขณะที่ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่างๆ

ตารางที่ 1.55 ผลของสูตรปุ๋ยและอัตราการใส่ปุ๋ยต่อแสดงน้ำหนักผลผลิตเมล็ดข้าวต่อกอ (ค่าเฉลี่ย±SD) (กรัมต่อกอ) ของข้าวไร่ที่อายุ 60 วัน

การใส่ปุ๋ย (B)	สูตรปุ๋ย (C)	พันธุ์ (A)		ค่าเฉลี่ย (การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย) (B x C)
		บือกอบิ (A1)	บอแผ่ซู (A2)	
2 ตัน/ไร่	สูตร 1	5.62 ± 1.51	2.36 ± 2.32	4.39 ± 2.39
	สูตร 2	3.37 ± 0.45	4.34 ± 3.11	3.91 ± 2.28
	สูตร 3	2.76 ± 1.41	2.88 ± 3.19	2.82 ± 2.33
	สูตร 4	3.37 ± 0.59	5.47 ± 1.46	4.30 ± 1.48
	สูตร 5	3.49 ± 1.79	3.09 ± 0.94	3.27 ± 1.30
ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x การใส่ปุ๋ย (A x B)		**3.75 ± 1.55**	**3.67 ± 2.44**	**3.71 ± 2.01^{b}(B1)**
20 ตัน/ไร่	สูตร 1	8.72 ± 6.62	11.15 ± 15.64	9.53 ± 8.76
	สูตร 2	2.91 ± 3.85	4.31 ± 1.49	3.61 ± 2.52
	สูตร 3	6.01 ± 3.46	7.27 ± 5.24	6.64 ± 4.24
	สูตร 4	10.38 ± 3.98	5.92 ± 2.36	8.15 ± 3.88
	สูตร 5	9.44 ± 2.30	9.28 ± 4.05	9.36 ± 3.11
ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x การใส่ปุ๋ย (A x B)		**8.09 ± 4.42**	**7.54 ± 5.38**	**7.83 ± 4.84^{a} (B2)**
		5.82 ± 3.89 (A1)	**5.46 ± 4.47 (A2)**	
F-test (p-value) พันธุ์ (A)	0.6479			
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย (B)	**(<0.0001)			
F-test (p-value) สูตรปุ๋ย (C)	0.1380			
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย	0.8727			
F-test (p-value) พันธุ์ x สูตรปุ๋ย	0.8755			
F-test (p-value) การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย	0.4451			
F-test (p-value) พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย	0.2214			

cv (%)= 64.14

ไม่แตกต่างทางสถิติ (p>0.05) ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p<0.01)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

หมายเหตุ สูตร1 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : มูลวัว (4:1) น้ำปกติ สูตร2 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1) น้ำปกติ
สูตร3 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (4:1) ขาดน้ำ สูตร4 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1) น้ำปกติ
สูตร5 = ปุ๋ยหมักสูตรฟางข้าว : ดินขุยไผ่ (8:1) ขาดน้ำ

ค่าเฉลี่ยสูตรปุ๋ย (C)		ค่าเฉลี่ยพันธุ์ x สูตรปุ๋ย (A x C)			
สูตร 1	6.60 ± 6.29	บือกอบิ x สูตร1	7.00 ± 4.49	บอแผ่ซู x สูตร 1	5.88 ± 9.33
สูตร 2	3.82 ± 2.25	บือกอบิ x สูตร2	3.22 ± 1.77	บอแผ่ซู x สูตร 2	4.33 ± 2.61
สูตร 3	4.73 ± 3.86	บือกอบิ x สูตร3	4.38 ± 3.02	บอแผ่ซู x สูตร 3	5.08 ± 4.70
สูตร 4	6.33 ± 3.52	บือกอบิ x สูตร4	6.88 ± 4.57	บอแผ่ซู x สูตร 4	5.72 ± 1.91
สูตร 5	6.47 ± 3.92	บือกอบิ x สูตร5	6.79 ± 3.70	บอแผ่ซู x สูตร 5	6.19 ± 4.28

ตารางที่ 1.56 พบว่า พันธุ์มีผลต่อลักษณะต่างๆที่ทำการศึกษา โดยลักษณะที่แตกต่างชัดเจนเนื่องจากพันธุกรรม ได้แก่ จำนวนใบและการแตกกอที่อายุ 60 วัน พันธุ์ที่มีลักษณะทั้งสองนี้มีค่าสูงที่สุด คือ พันธุ์บือกอบิและบอแผ่ซู ตามลำดับ ซึ่งเป็นการแสดงออกเนื่องจากอิทธิพลของพันธุกรรม ขณะความสูงของต้นข้าวที่ถูกควบคุมโดยอิทธิพลของ gene (Huang *et al.*, 1996) ของข้าวทั้งสองพันธุ์ไม่ต่างกัน ขณะที่อัตราการใส่ปุ๋ยส่งผลกระทบกับทุกลักษณะ โดยอัตราส่วนที่ส่งผลในการเพิ่มค่าลักษณะต่างๆ ในข้าวไร่ทุกพันธุ์ คือ การใส่ปุ๋ย 2 ตัน/ไร่ แต่พบว่าการใส่ปุ๋ยอัตรา 20 ตัน/ไร่ จะส่งผลให้ได้ผลผลิตข้าวเปลือกสูงกว่า 2 ตัน/ไร่

ตารางที่ 1.56 ผลนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่ทำการศึกษาต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต

F-test	ความสูง		จำนวนใบ		เส้นผ่านศูนย์กลางต้น		จำนวนหน่อต่อกอ		ผลผลิต
	30	60	30	60	30	60	30	60	
พันธุ์ (A)	ns	ns	* บือกอบิ	** บอแผ่ซู	ns	ns	ns	** บือกอบิ	ns
การใส่ปุ๋ย (B)	**2	ns	**2	**2	**2	ns	*2	**2	**20
สูตรปุ๋ย (C)	**	*	ns	ns	**	ns	**	ns	ns
พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
พันธุ์ x สูตรปุ๋ย	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย	ns	ns	**	*	*	**	**	*	ns
พันธุ์ x การใส่ปุ๋ย x สูตรปุ๋ย	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns

ด้วยเหตุนี้อาจกล่าวได้ว่าจำนวนเมล็ดดีต่อกอและน้ำหนักเมล็ดซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ได้ทำการเก็บข้อมูลน่าจะมีอิทธิพลต่อผลผลิตสูงกว่าการแตกกอ ซึ่งทั้งสามลักษณะเป็นองค์ประกอบผลผลิตที่สำคัญทั้งสิ้น จากการสังเกตพบว่าการแตกกอต่ำใน ทรีตเมนต์ที่ได้รับปุ๋ยในอัตรา 20 ตันต่อไร่ เป็นผลมาจากการเข้าทำลายและการรบกวนของแมลงในกลุ่มเพลี้ย ทั้ง อำนาจ (2558) กล่าวว่า แปลงที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่มักถูกรบกวนโดยโรคและแมลงเข้าทำลายมากขึ้น ทั้งนี้เพราะ ปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่มีไนโตรเจนมากกว่าฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมทำให้พืชถูกโรคและแมลงเข้าทำลายมากขึ้น เนื่องจากเมื่อพืชได้รับไนโตรเจนมาก ๆ บางครั้งก็ทำให้เกิดผลเสียได้เหมือนกัน เช่น จะทำให้พืชอวบน้ำมาก ต้นอ่อน ล้มง่าย โรคและแมลงเข้ารบกวนทำลายได้ง่าย คุณภาพผลิตผลของพืชบางชนิดก็จะเสียไปได้ เช่น ทำให้ต้นมันไม่ลงหัว มีแป้งน้อย อ้อยจืด ส้มเปรี้ยว และมีกากมาก

สูตรปุ๋ยแสดงความแตกต่างกันในหลายลักษณะยกเว้นจำนวนใบ โดยสูตรที่ 1 จะให้ผลที่ดีในลักษณะความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น สูตรที่ 2 จะส่งผลต่อการเพิ่มความสูง สูตรที่ 4 และ สูตรที่ 5 จะส่งผลดีต่อการแตกกอ อย่างไรก็ตามการไม่พบความแตกต่างของผลผลิตจึงอาจกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพของปุ๋ยทั้ง 5 สูตร มีผลต่อผลิตไม่ต่างกันแต่ปุ๋ยสามารถเพิ่มผลผลิตได้ โดยเฉพาะลักษณะองค์ประกอบผลผลิตที่เกี่ยวกับกอ (ตารางที่ 1.56)

ปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุ์และอัตราการใส่ปุ๋ย จะพบความแตกต่างเฉพาะจำนวนหน่อต่อกอที่อายุปลูก 60 วัน ซึ่งพันธุ์บือกอบิที่ใส่ปุ๋ย 20 ตันต่อไร่ มีการแตกกอที่ดีที่สุด ส่วนพันธุ์บอแผ่ซูมีการแตกกอไม่ต่างกัน การตอบสนองของพันธุ์ต่อการอัตราการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน อาจมีผลเนื่องมาจากอายุของพันธุ์ เนื่องจากพันธุ์บอแผ่ซูเป็นพันธุ์ข้าวไร่ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นขณะที่การใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะใช้ระยะเวลานานในการส่งผลดีต่อพืช

(Hardjowigeno, 1986; Sutanto, 2002) เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพเคมีและคุณสมบัติทางชีวภาพของดิน ด้วยเหตุนี้พันธุ์บอแผ่ซูที่มีอายุสั้น การตอบสนองต่อปุ๋ยจึงอาจช้ากว่าพันธุ์บือกอบิ

ปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุ์กับสูตรปุ๋ย จะพบความแตกต่างเฉพาะความสูง ซึ่งพันธุ์บือกอบิจะมีความสูงมากที่สุดเมื่อใส่ปุ๋ยสูตรที่ 2 ทั้งที่อายุปลูก 30 และ 60 วัน ขณะพันธุ์บอแผ่ซูไม่พบความแตกต่าง แต่การเลือกใช้สูตรปุ๋ยใดนั้นต้องขึ้นอยู่กับพันธุ์เดิมที่เกษตรกรนิยมปลูกด้วย

ปฏิกิริยาร่วมระหว่างอัตราการใส่ปุ๋ยกับสูตรปุ๋ย จะพบความแตกต่างที่จำนวนใบเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นและจำนวนการแตกกอซึ่งปุ๋ยทั้ง 5 สูตรจะมีอัตราการให้ที่ส่งผลต่อลักษณะแตกต่างกันโดยปุ๋ยสูตร 1, 2, 3 และสูตรที่ 4 ให้ผลต่อลักษณะสูงเมื่อการใส่ 2 ตันต่อไร่ มีเฉพาะสูตรที่ 5 พบลักษณะต่างๆมีค่าสูงเมื่อใส่ 20 ตันต่อไร่ การที่ปุ๋ยส่งผลดีต่อพืชโดยใช้อัตราปุ๋ยไม่เท่ากันอาจเกิดจากปุ๋ยมีธาตุอาหารไม่เพียงพอหรือมีการหมักไม่สมบูรณ์ ต้องมีการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อเป็นการยืนยัน โดยไม่สามารถพิจารณาจากดัชนีการงอกเพียงอย่างเดียว

ปฏิกิริยาร่วมระหว่างพันธุ์ การใส่ปุ๋ย และสูตรปุ๋ย พบความแตกต่างเฉพาะจำนวนหน่อต่อกอ ที่อายุปลูก 60 วัน ซึ่งพบว่าพันธุ์บอแผ่ซู อัตราการใส่ปุ๋ย 2 ตันต่อไร่ ใส่ปุ๋ยสูตรที่ 1 มีการแตกกอดีสุด ส่วนพันธุ์บือกอบิไม่พบลักษณะดังกล่าวแตกต่างกันจากการใช้ปุ๋ยทั้ง 2 อัตราในการใส่ปุ๋ยสูตรต่างๆ

ส่วนที่ 2 การคัดกรองจุลินทรีย์จากตัวอย่างดินขุยไผ่

1. การเก็บตัวอย่างดินขุยไผ่

ดินขุยไผ่จำนวน 25 ตัวอย่าง ถูกเก็บจากบริเวณรอบรากไผ่ ในพื้นที่ตำบลห้วยสัตว์ใหญ่ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (latitude: 12° 51’N; longitude: 99° 49’E) โดยดินที่พบส่วนใหญ่มีลักษณะแห้ง ร่วน มีสีน้ำตาล น้ำตาลเข้ม จนถึงดำ ตัวอย่างดินขุยไผ่ที่ใช้ในการศึกษาถูกแสดงสัญลักษณ์ด้วยตัวอักษร “S” ลักษณะ และวันที่เก็บแสดงดังตารางที่ 2.1

จากนั้นตัวอย่างดิน S1-S25 ถูกนำมาคัดกรองจุลินทรีย์ (แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีท และเชื้อรา) ที่สามารถย่อยละลายฟอสเฟต การย่อยสลายวัตถุดิบอินทรีย์ (การผลิตเซลลูเลส) และการตรึงไนโตรเจน

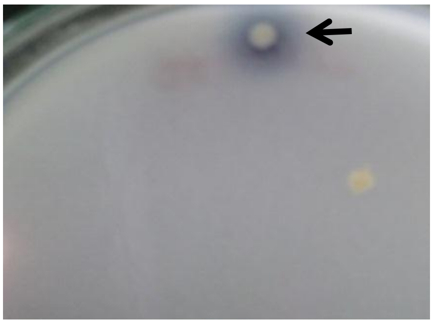
ตารางที่ 2.1 ลักษณะของตัวอย่างดิน S1-S25 และวันที่ถูกเก็บ

รหัสตัวอย่างดิน	ลักษณะดิน	วันที่เก็บ
S1	สีน้ำตาล, ร่วน	20/12/2557
S2	สีดำ, ร่วน	20/12/2557
S3	สีดำ, ร่วน	20/12/2557
S4	สีน้ำตาล, ร่วน	20/12/2557
S5	สีน้ำตาลเข้ม,ร่วน	26/5/2558
S6	สีดำ,ร่วน	26/5/2558
S7	สีน้ำตาล,ร่วน	26/5/2558
S8	สีน้ำตาลเข้ม,ร่วน	26/5/2558
S9	สีดำ,ร่วน	26/5/2558
S10	สีน้ำตาลเข้ม,ร่วน	26/5/2558
S11	สีน้ำตาล,ร่วน	26/5/2558
S12	สีน้ำตาล,ร่วน	26/5/2558
S13	สีน้ำตาลเข้ม,ร่วน	12/9/2558
S14	สีน้ำตาลเข้ม,ร่วน	12/9/2558
S15	สีน้ำตาลเข้ม,ร่วน	12/9/2558
S16	สีน้ำตาลเข้ม,ร่วน	12/9/2558
S17	สีน้ำตาลเข้ม,ร่วน	12/9/2558
S18	สีน้ำตาล,ร่วน	12/9/2558
S19	สีน้ำตาลเข้ม, ร่วน	12/9/2558
S20	สีน้ำตาลเข้ม, ร่วน	12/9/2558
S21	สีน้ำตาลเข้ม, ร่วน	12/9/2558
S22	สีน้ำตาลเข้ม, ร่วน	12/9/2558
S23	สีดำ ร่วน	12/9/2558
S24	สีน้ำตาลเข้ม, ร่วน	12/9/2558
S25	สีน้ำตาลเข้ม, ร่วน	12/9/2558
รวม 25 ตัวอย่าง		

2. การคัดกรองจุลินทรีย์ที่ละลายฟอสเฟต

2.1 การคัดแยกแบคทีเรียที่ละลายฟอสเฟต การวิเคราะห์ค่าการละลายฟอสเฟต และการพิสูจน์เอกลักษณ์

ดินขุยไผ่ (S1-S25) จำนวน 25 ตัวอย่าง พบแบคทีเรียที่แสดงวงใสล้อมรอบโคโลนี ซึ่งหมายถึงการย่อย Ca_3PO_4 ที่เป็นสารตั้งต้นฟอสเฟตในอาหาร PVK ดังภาพที่ 2.1 จำนวน 52 ไอโซเลท โดยแบคทีเรียที่คัดเลือกได้แสดงค่าดัชนีการละลายฟอสเฟต (Phosphate solubilizing index; PSI) ในช่วง 1.03-3.00 ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ทั้งนี้แบคทีเรียที่ได้จากการทดลองถูกกำหนดรหัสเป็น “PB”



ภาพที่ 2.1 การเกิดวงใสล้อมรอบโคโลนีของแบคทีเรียบนอาหาร PVK (ตามลูกศรชี้)

แบคทีเรีย 52 ไอโซเลท ถูกนำมาทดสอบค่าการละลายฟอสเฟต (Phosphate solubilized ; PS) โดยทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว PVK และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Ascorbic acid พบว่าแบคทีเรียให้ค่าPS ในช่วง 12.09-295.29 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 2.2 โดยไอโซเลทที่ให้ค่าการละลายสูงที่สุดคือ ไอโซเลท S14PB2-1

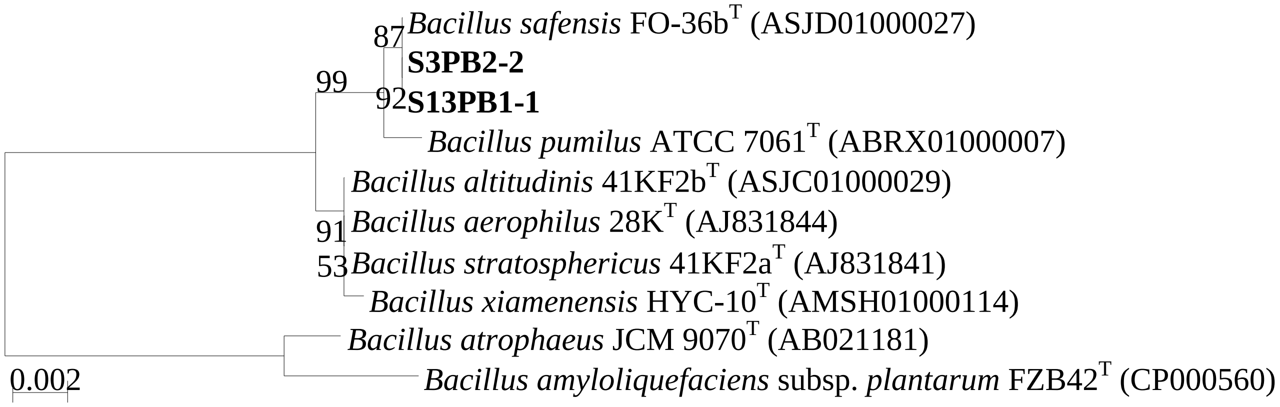
ตารางที่ 2.2 ไอโซเลทแบคทีเรียที่ถูกคัดเลือก แสดงค่า PSI บนอาหารแข็ง PVK และแสดงค่าการละลายฟอสเฟต (PS (mg/ml))

ไอโซเลท	PSI	PS (mg/ml)	**ไอโซเลท**	PSI	PS (mg/ml)	**ไอโซเลท**	PSI	PS (mg/ml)
S1PB1-1	1.50	157.00	S8PB2-1	1.20	193.64	S16PB1-2	1.50	106.36
S1PB2-1	1.67	50.64	S9PB1-1	1.25	46.44	S17PB1-1	1.75	111.83
S1PB2-2	3.00	51.65	S9PB2-2	1.50	22.39	S19PB2-2	2.00	35.24
S1PB2-3	2.00	21.76	S10PB2-1	1.25	43.89	S20PB2-1	1.25	67.94
S1PB3-2	1.50	37.02	S10PB2-2	1.33	139.76	S20PB2-2	1.27	152.04
S2PB1-3	2.00	12.09	S11PB2-1	1.50	93.77	S23PB1-2	1.50	47.46
S2PB2-1	1.13	21.37	S11PB2-2	1.17	128.69	S23PB2-1	1.17	102.16
S2PB2-3	1.50	173.28	S12PB1-1	1.17	154.64	S23PB2-2	1.17	27.61
S3PB2-2	**2.00**	**200.25**	S12PB1-2	1.17	52.42	S24PB1-1	1.05	101.59
S4PB1-1	1.60	43.64	S12PB3-2	1.06	28.12	S24PB1-2	1.06	106.49
S4PB2-1	2.33	60.56	**S13PB1-1**	**1.27**	**271.06**	S24PB2-1	1.33	89.95
S4PB4-1	1.50	134.61	S13PB1-2	1.25	25.45	S24PB2-2	1.33	75.57
S5PB1-1	1.60	29.39	S14PB1-1	1.50	159.03	S25PB1-1	1.50	92.43
S5PB4-1	1.43	16.03	S14PB2-1	1.11	295.29	S25PB1-2	1.20	153.69
S6PB3-2	1.50	55.09	S14PB2-2	1.14	23.28	S25PB2-1	1.07	131.93
S6PB5-1	1.25	140.33	S15PB1-1	1.33	107.51	S25PB2-2	1.03	176.02
S7PB1-1	1.10	13.61	S15PB1-2	1.50	43.38	**รวม**	52	**ไอโซเลท**
S8PB1-2	1.13	23.28	S16PB1-1	1.50	67.68			

แบคทีเรีย 52 ไอโซเลท ถูกพิสูจน์เอกลักษณ์ โดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่าทุกไอโซเลทเป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างแท่ง ลักษณะโคโลนีส่วนใหญ่มีขนาด 2-10 มิลลิลิตร สี creamy-white รูปร่าง round/irregular, entire/lobate, flat/raised และ opaque บนอาหาร NA จากนั้นทำการคัดเลือกไอโซเลทที่ให้ค่าการละลายฟอสเฟตสูงในลำดับต้นๆ คือ S13PB1-1 (271.06 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) และ S3PB2-2 (200.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ 16S rRNA gene sequence และสร้าง phylogenetic tree พบว่าไอโซเลท S13PB1-1 และ S3PB2-2 มีลำดับนิวคลีโอไทด์เหมือนกับ *Bacillus safensis* FO-36b^{T} (ภาพที่ 2.2) ที่ 100% similarity ดังนั้นทั้ง 2 ไอโซเลทจึงถูกระบุว่าเป็น *B. safensis* และจากการ

เปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยากับไอโซเลทอื่นที่สามารถย่อยฟอสเฟต มีความเป็นไปได้ว่าแบคทีเรียที่พบส่วนใหญ่น่าจะจัดอยู่ในกลุ่มจีนัส *Bacillus*

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าแบคทีเรียจีนัส *Bacillus* มีรายงานการละลายฟอสเฟต โดยสปีชีส์ที่พบได้แก่ *B. megaterium, B. circulans, B. cereus, B. subtilis, B. polymyxa* และ *B. sircalmous* (Uma Mannargudi and Sathiyavani, 2012; Mohammadi, 2012) ทั้งนี้ยังไม่พบรายงานการละลายฟอสเฟตจาก *B. safensis* นอกจากนี้ยังพบว่าไอโซเลท S14PB2-1, S13PB1-1 และ S3PB2-2 ให้ค่าการละลายฟอสเฟตได้สูงกว่า *Bacillus* สายพันธุ์อื่นที่เคยมีรายงาน โดย Chen et al. (2006) รายงานว่า *B. megaterium* 10 สายพันธุ์ ให้ค่าการละลายฟอสเฟตที่ 72.2-270.2 mg/L ภายใต้สารตั้งต้นและวิธีการวิเคราะห์เดียวกัน


87
99
92
Bacillus safensis FO-36b^T (ASJD01000027)
S3PB2-2
S13PB1-1
Bacillus pumilus ATCC 7061^T (ABRX01000007)
Bacillus altitudinis 41KF2b^T (ASJC01000029)
Bacillus aerophilus 28K^T (AJ831844)
91
53
Bacillus stratosphericus 41KF2a^T (AJ831841)
Bacillus xiamenensis HYC-10^T (AMSH01000114)
Bacillus atrophaeus JCM 9070^T (AB021181)
Bacillus amyloliquefaciens subsp. *plantarum* FZB42^T (CP000560)
0.002

ภาพที่ 2.2 ลำดับวิวัฒนาการแบบ Neighbour-joining (1,000 bootstrap) จากการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ 16S rRNA gene sequence ของแบคทีเรียไอโซเลท S3PB2-2, S13PB1-1 และสกุล *Bacillus*

2.2 การคัดแยกแบคทีเรียกลุ่มแอคติโนมัยซีทที่ละลายฟอสเฟต การวิเคราะห์ค่าการละลายฟอสเฟต และการพิสูจน์เอกลักษณ์

ดินขุยไผ่จำนวน 25 ตัวอย่าง คัดแยกแบคทีเรียกลุ่มแอคติโนมัยซีทได้ 18 ไอโซเลท โดยแสดงค่า PSI ในช่วง 1.03-1.40 บนอาหารแข็ง PVK ดังแสดงในตาราง 2.3 ไอโซเลทแบคทีเรียกลุ่มแอคติโนมัยซีทที่สามารถละลายฟอสเฟตได้ถูกกำหนดด้วยอักษร “PA”

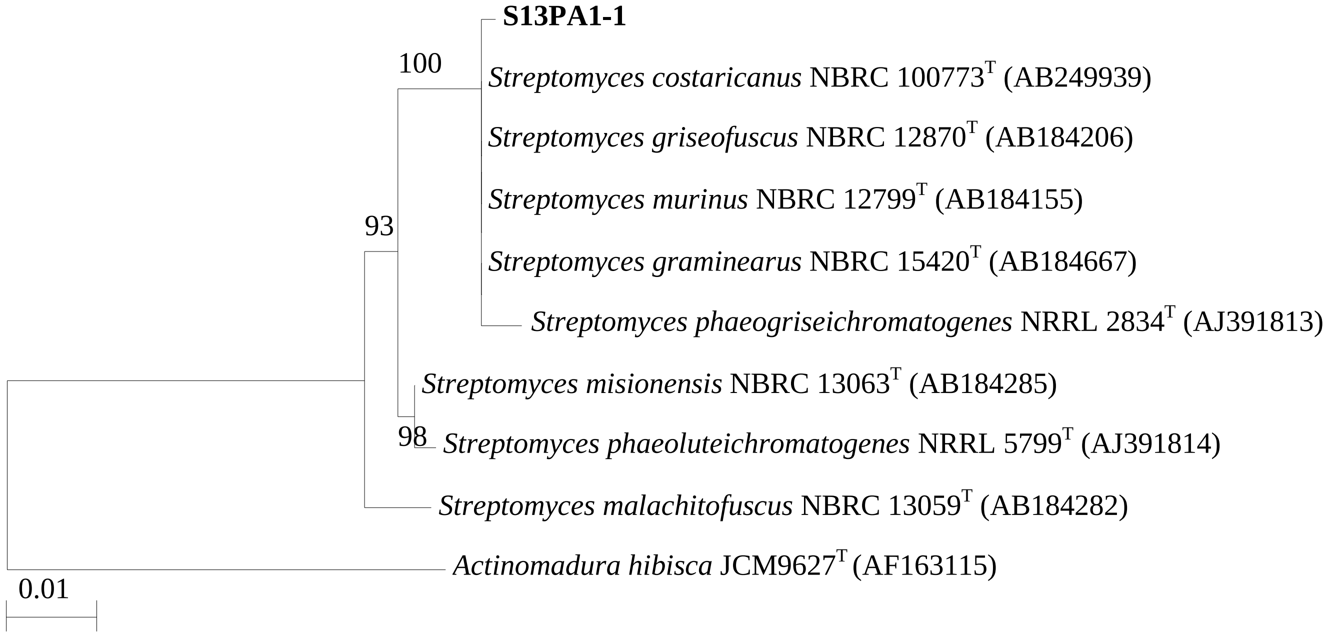
แบคทีเรียแอคติโนมัยซีทจำนวน 18 ไอโซเลทถูกทดสอบค่าการละลายฟอสเฟต (Phosphate solubilized ; PS) พบว่าไอโซเลท S13PA1-1 ให้ค่าการละลายฟอสเฟตสูงที่สุดเท่ากับ 253.83 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเทียบกับไอโซเลทอื่นที่มีช่วงค่าการละลายเพียง 44.00-234.60 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 ไอโซเลทแบคทีเรียแอคติโนมัยซีทที่ถูกคัดเลือก แสดงค่า PSI บนอาหารแข็ง PVK และแสดงค่าการละลายฟอสเฟต (PS (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร))

ไอโซเลท	PSI	PS (mg/ml)	ไอโซเลท	PSI	PS (mg/ml)
S4PA3-2	1.07	184.46	S15PA2-1	1.40	101.00
S5PA1-1	1.05	216.51	**S17PA1-1**	1.03	234.60
S7PA1-1	1.11	55.83	S17PA2-1	1.25	51.70
S7PA2-1	1.25	72.92	S18PA1-2	1.33	109.10
S12PA1-1	1.05	66.37	S24PA1-1	1.07	152.48
S13PA1-1	1.17	253.83	S24PA1-2	1.05	119.64
S14PA1-1	1.20	80.04	S24PA1-3	1.03	53.40
S14PA1-2	1.33	114.80	S25PA1-1	1.17	129.05
S15PA1-2	1.40	150.77	S25PA1-2	1.20	44.00

แบคทีเรียแอคติโนมัยซีทไอโซเลท S13PA1-1 ที่แสดงค่าการละลาย (PS) สูงที่สุด ถูกนำมาศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยการสังเกตลักษณะโคโลนีพบว่ามีสีขาว ผิวหน้าเป็นลักษณะเหมือนผงแป้ง บนอาหาร YSA ดังภาพที่ 2.3 เมื่อนำมาวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ 16S rRNA gene sequence และสร้าง Phylogenetic tree พบว่าไอโซเลท S13PA1-1 มีความใกล้เคียงกับ *Streptomyces costaricanus* NBRC 100773^{T} (ภาพที่ 2.4) ถึง 99.7% similarity ดังนั้น S13PA1-1 จึงถูกระบุว่าเป็น *S. costaricanus* ซึ่งจากรายงานยังไม่พบว่าสปีชีส์นี้มีรายงานการละลายฟอสเฟต ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบลักษณะโคโลนีกับไอโซเลทอื่น พบว่ามีความคล้ายกัน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าอีก 17 ไอโซเลท ที่เหลืออยู่น่าจะเป็นสมาชิกในกลุ่มจีนัส *Streptomyces* ซึ่งจีนัสนี้มีรายงานว่าสามารถละลายฟอสเฟตได้ แต่ทั้งนี้มี rock phosphate เป็นสารตั้งต้น (Hamdali et al., 2010; Tallapragada and Seshachala, 2012; Jog et al., 2014)

ภาพที่ 2.3 ลักษณะโคโลนีของไอโซเลท S13PA1-1 บนอาหาร YSA


S13PA1-1
100
Streptomyces costaricanus NBRC 100773^{T} (AB249939)
Streptomyces griseofuscus NBRC 12870^{T} (AB184206)
Streptomyces murinus NBRC 12799^{T} (AB184155)
93
Streptomyces graminearus NBRC 15420^{T} (AB184667)
Streptomyces phaeogriseichromatogenes NRRL 2834^{T} (AJ391813)
Streptomyces misionensis NBRC 13063^{T} (AB184285)
98
Streptomyces phaeoluteichromatogenes NRRL 5799^{T} (AJ391814)
Streptomyces malachitofuscus NBRC 13059^{T} (AB184282)
Actinomadura hibisca JCM9627^{T} (AF163115)
0.01

ภาพที่ 2.4 ลำดับวิวัฒนาการแบบ Neighbour-joining (1,000 bootstrap) จากการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ 16S rRNA gene sequence ของแบคทีเรียแอคติโนมัยซีทไอโซเลท S13PA1-1 และสกุล *Streptomyces* โดยมี *Actinomadura hibisca* JCM9627^{T} เป็น Outgroup

2.3 การคัดแยกเชื้อราที่ละลายฟอสเฟต การวิเคราะห์ค่าการละลายฟอสเฟต และการพิสูจน์เอกลักษณ์

เชื้อราจำนวน 49 ไอโซเลท จากตัวอย่างดินขุยไผ่จำนวน 25 ตัวอย่าง แสดงค่า PSI ในช่วง 1.01-1.75 บนอาหารแข็ง PVK ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ทั้งนี้กำหนดรหัสเชื้อราที่ละลายฟอสเฟตเป็น “PF”

จากนั้นเชื้อรา 49 ไอโซเลท ถูกทดสอบค่าการละลายฟอสเฟต (PS) ด้วยวิธี Ascorbic acid พบว่าให้ค่า PS อยู่ในช่วง 9.16-365.14 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดังตารางที่ 2.4 โดยไอโซเลท S22PF1-2 ให้ค่าการละลายสูงที่สุด

ตารางที่ 2.4 ไอโซเลทเชื้อราที่ถูกคัดเลือก แสดงค่า PSI บนอาหารแข็ง PVK และแสดงค่าการละลายฟอสเฟต (PS ((มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร))

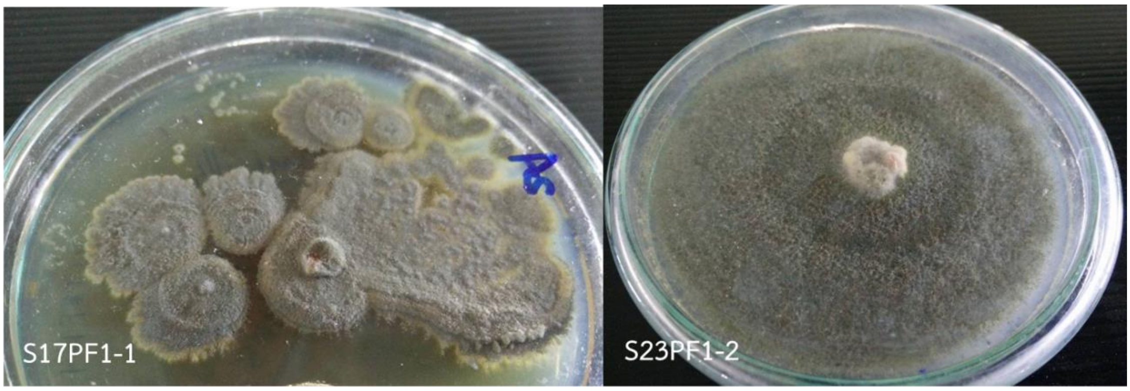
ไอโซเลท	PSI	PS (mg/ml)	ไอโซเลท	PSI	PS (mg/ml)	ไอโซเลท	PSI	PS (mg/ml)
S1PF1-1	1.07	22.39	S11PF1-1	1.33	67.62	S19PF2-2	1.08	45.48
S1PF2-1	-	9.16	S12PF1-1	1.33	224.30	S19PF2-3	1.50	43.77
S1PF3-1	1.03	80.41	S12PF2-1	1.50	55.47	S20PF2-2	1.25	144.91
S1PF4-1	-	24.68	S13PF1-1	1.25	117.81	S21PF2-1	1.03	30.66
S2PF1-1	-	90.84	S13PF1-2	1.14	56.93	S21PF2-2	1.02	176.08
S3PF1-1	1.25	17.05	S13PF1-3	1.07	192.62	S22PF1-1	1.75	173.35
S4PF1-2	-	63.10	S13PF2-1	1.02	10.75	**S22PF1-2**	1.75	365.14
S4PF2-1	1.21	72.77	S13PF3-1	1.02	159.92	S23PF1-1	1.22	141.22
S4PF3-1	1.75	79.64	S13PF3-2	1.06	120.74	**S23PF1-2**	1.25	205.03
S4PF4-1	1.33	200.06	S14PF1-1	1.02	40.33	S23PF2-1	1.38	121.12
S4PF4-2	1.22	48.35	S15PF1-1	1.01	13.74	S24PF1-1	1.29	25.83
S4PF5-1	1.13	133.46	S15PF2-1	1.04	44.27	S24PF1-2	1.33	211.51
S4PF6-1	1.38	132.32	**S17PF1-1**	1.14	362.85	S24PF2-2	1.03	32.95
S5PF2-1	1.17	35.62	S17PF2-1	1.02	85.18	S25PF1-1	1.25	83.46
S7PF1-1	1.33	53.44	S18PF1-1	1.60	9.80	S25PF1-2	1.22	95.87
S7PF1-2	1.33	102.54	S18PF1-2	1.20	129.13	**รวม**	**49**	**ไอโซเลท**
S7PF3-1	1.29	29.77	S18PF2-1	1.20	43.51			

เชื้อราทั้ง 49 ไอโซเลทถูกพิสูจน์เอกลักษณ์โดยอาศัยลักษณะโคโลนีบนอาหาร PDA และลักษณะเส้นใยสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดย 22 ไอโซเลท สามารถระบุจีนัสได้ คือ *Aspergillus* (6 ไอโซเลท), *Mucor* (2 ไอโซเลท), *Penicillium* (13 ไอโซเลท) และ *Trichoderma* (1 ไอโซเลท) ดังแสดงในตารางที่ 2.5 ขณะที่ 27 ไอโซเลทที่

เหลือไม่สามารถระบุจีนัสได้ด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยา ทั้งนี้เชื้อราส่วนใหญ่ที่ละลายฟอสเฟตได้จัดอยู่ในจีนัส *Penicillium* ถึง 13 ไอโซเลท ลักษณะโคโลนีของตัวแทนจีนัส *Penicillium* ถูกแสดงในภาพที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การระบุเอกลักษณ์ของไอโซเลทราที่ละลายฟอสเฟตโดยอาศัยลักษณะโคโลนี ลักษณะเส้นใยและสปอร์

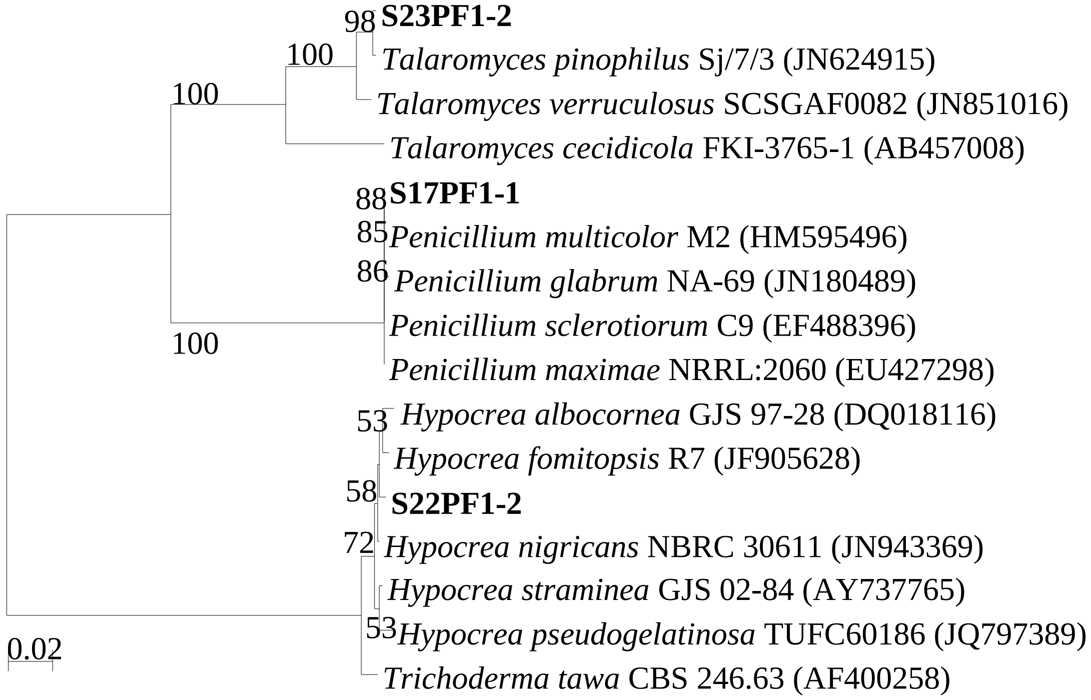
จีนัส	**ลักษณะโคโลนี**	**ลักษณะเส้นใยและสปอร์**	**ไอโซเลท**	**จำนวนไอโซเลท**
Aspergillus sp.	เชื้อมีสีเขียว ไม่ฟู มีการฟุ้งกระจาย	เส้นใยสีเขียว เส้นใยมีผนังกั้น โคนิดีโอฟอร์ร์ตรงปลายเป็นกระเปาะ	S4PF2-1, S4PF4-1, S4PF4-2, S4PF5-1, S4PF6-1 และ S13PF1-1	6
Mucor sp.	โคโลนีสีขาวฟู คล้ายสำลี	เส้นใยสีขาวไม่มีผนังงกั้น สปอร์สีน้ำตาลดำ ไม่สร้าง rhizoid	S1PF4-1 และ S15PF1-1	2
Penicillium sp.	โคโลนีมีสีเขียว มีการฟุ้งกระจาย	ขอบเส้นใยสีอ่อน เส้นใยมีผนังกั้น โคนิดีโอฟอร์เป็นแฉกๆ	S4PF3-1, S7PF3-1, S11PF1-1, S12PF1-1, S13PF1-2, S13PF1-3, S13PF2-1, S14PF1-1, S17PF1-1, S17PF2-1, S18PF2-1, S23PF1-1และ S23PF1-2	13
Trichoderma sp.	โคโลนีสีเขียวเหลือง คล้ายขนสัตว์	เส้นใยมีผนังกั้น โคนิเดียเป็นเซลล์เดี่ยว มีสีเขียว	S4PF1-2	1
			รวม	22



ภาพที่ 2.5 ลักษณะโคโลนีของไอโซเลท S17PF1-1 และ S23PF1-2 ที่ถูกจัดอยู่ในจีนัส *Penicillium*

ทำการคัดเลือกเชื้อราไอโซเลทตัวแทนคือ S17PF1-1, S22PF1-2 และ S23PF1-2 ที่แสดงค่าการละลายฟอสเฟตที่สูง คัดเลือกมาเพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ โดยอาศัยการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ในช่วง ITS regions และสร้าง phylogenetic tree พบว่า S17PF1-1 มีลำดับนิวคลีโอไทด์เหมือนกับ *Penicillium multicolor* M2 ด้วย 100% similarity ดังนั้น S17PF1-1 จึงถูกระบุว่าเป็น *P. multicolor* ขณะที่ไอโซเลท S22PF1-2 และ S23PF1-2 มีความใกล้เคียงกับ *Hypocrea nigricans* NBRC 30611 และ *Talaromyces pinophilus* Sj/7/3 ด้วย 99.6 และ 99.3% similarity ตามลำดับ ดังนั้นไอโซเลท S22PF1-2 ถูกระบุว่าเป็น *H. nigricans* และ S23PF1-2 ถูกระบุว่าเป็น *T. pinophilus* ตามลำดับ (ภาพที่ 2.6)

ทั้งนี้จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเชื้อราจีนัส *Aspergillus, Mucor, Penicillium*, *Talaromyces* และ *Trichoderma* มีรายงานการย่อยฟอสเฟต (Xiao et al., 2009; Mohammadi, 2012; Gomes et al., 2014; Yasser et al., 2014.) Sembiring et al. (2015) โดยที่ผ่านมายังไม่เคยมีรายงานการย่อยฟอสเฟตจาก *Hypocrea nigricans* นอกจากนี้ Gupta et al. (2007) รายงานไว้ว่า *Aspergillus* และ *Penicillum* เป็นจีนัสหลักที่พบเมื่อทำการแยกเชื้อราที่ย่อยฟอสเฟต โดยราทั้ง 2 กลุ่มสามารถย่อยได้ทั้งเมื่อใช้ Ca_3PO_4 และ rock phosphate เป็นสารตั้งต้น


98
S23PF1-2
100
Talaromyces pinophilus Sj/7/3 (JN624915)
100
Talaromyces verruculosus SCSGAF0082 (JN851016)
Talaromyces cecidicola FKI-3765-1 (AB457008)
88
S17PF1-1
85
Penicillium multicolor M2 (HM595496)
86
Penicillium glabrum NA-69 (JN180489)
Penicillium sclerotiorum C9 (EF488396)
100
Penicillium maximae NRRL:2060 (EU427298)
53
Hypocrea albocornea GJS 97-28 (DQ018116)
Hypocrea fomitopsis R7 (JF905628)
58
S22PF1-2
72
Hypocrea nigricans NBRC 30611 (JN943369)
Hypocrea straminea GJS 02-84 (AY737765)
53
Hypocrea pseudogelatinosa TUFC60186 (JQ797389)
Trichoderma tawa CBS 246.63 (AF400258)
0.02

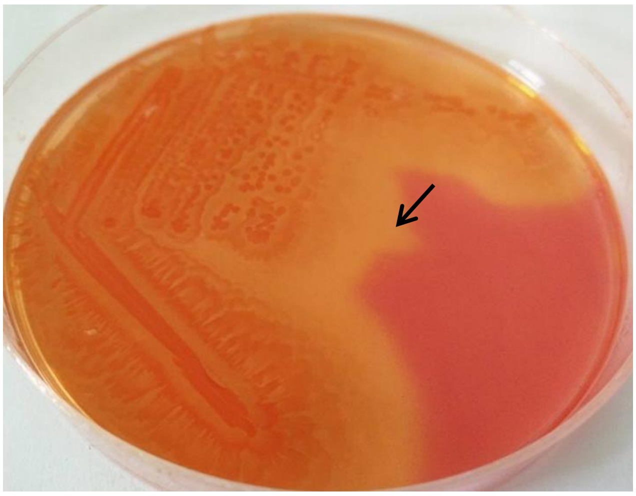
ภาพที่ 2.6 ลำดับวิวัฒนาการแบบ Neighbour-joining (1,000 bootstrap) จากการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ ITS regions ของเชื้อรา S17PF1-1, S22PF1-2 และ S23PF1-2

3. การคัดกรองจุลินทรีย์ที่ผลิตเซลลูเลส

3.1 การคัดแยกแบคทีเรียที่ผลิตเซลลูเลส การวิเคราะห์กิจกรรมเซลลูเลส และการพิสูจน์เอกลักษณ์

ดินขุยไผ่จำนวน 25 (S1-S25) ตัวอย่าง เมื่อนำมาคัดแยกแบคทีเรียที่ผลิตเซลลูเลสบนอาหารแข็งที่มี Sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC) เป็นสารตั้งต้น ราดทับ 1% Congo red และล้างด้วย 1M NaCl พบแบคทีเรียจำนวน 72 ไอโซเลท ที่แสดงวงใสล้อมรอบโคโลนี (ภาพที่ 2.7) โดยมีค่า Hydrolysis capacity (HC) ในช่วง 0.16-4.00 (ตารางที่ 2.6)

แบคทีเรียทั้ง 72 ไอโซเลท ถูกเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว CMCb แล้วทำการทดสอบกิจกรรมเซลลูเลสที่อุณหภูมิ 37°C พบว่ามีค่ากิจกรรมเซลลูเลสในช่วง 0.013-0.210 IU/ml โดยไอโซเลท S13-5 ให้ค่ากิจกรรมเซลลูเลส สูงที่สุด (ตารางที่ 2.6)



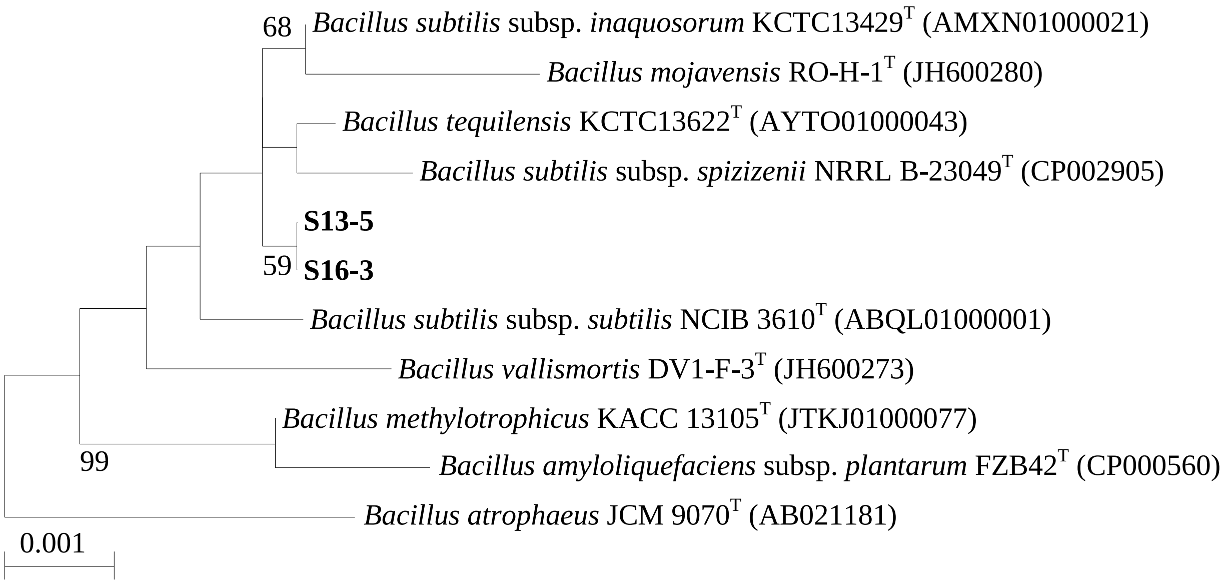
ภาพที่ 2.7 การเกิดวงใสล้อมรอบโคโลนีของแบคทีเรียไอโซเลท S13-5 บนอาหาร CMCb (ตามลูกศรชี้)

แบคทีเรีย 72 ไอโซเลทที่แสดงค่ากิจกรรมเซลลูเลส ถูกพิสูจน์เอกลักษณ์เบื้องต้นโดยอาศัยลักษณะการติดสีแกรม และลักษณะโคโลนี จากผลการทดลองพบว่าแบคทีเรียที่คัดเลือกได้มีทั้งแบคทีเรียแกรมบวก และแกรมลบที่มีลักษณะโคโลนีแตกต่างกันออกไป ซึ่งหมายถึงความหลากหลายกลุ่มของแบคทีเรียที่ผลิตเซลลูเลสจากตัวอย่างดินขุยไผ่

จากนั้นทำการคัดเลือกแบคทีเรียที่ให้ค่ากิจกรรมเซลลูเลสสูง คือ S13-5 และ S16-3 มาวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ 16S rRNA gene sequence และสร้าง Phylogenetic tree พบว่าทั้ง 2 ไอโซเลทมีความใกล้เคียงกับ *Bacillus subtilis* subsp. *inaquosorum* KCTC13429^T ที่ 99.9% similarity ดังนั้นจึงถูกระบุว่าเป็น *B. subtilis* subsp. *inaquosorum* (ภาพที่ 2.8) ซึ่งแบคทีเรียไอโซเลทอื่นเมื่อทำการเปรียบเทียบด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่าส่วนใหญ่แล้วมีลักษณะใกล้เคียงกับทั้ง 2 ไอโซเลทจากลักษณะโคโลนี จึงเป็นไปได้ว่าแบคทีเรียผลิตเซลลูเลสจากตัวอย่างดินขุยไผ่ส่วนใหญ่เป็นสมาชิกในกลุ่ม *Bacillus* ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Akaracharanya et al. (2014) ซึ่งทำการคัดแยกแบคทีเรียที่ผลิตเซลลูเลสจากตัวอย่างดิน แล้วพบกลุ่มจีนัส *Bacillus* เป็นกลุ่มใหญ่ ซึ่งให้ค่ากิจกรรมเซลลูเลส (0.001-0.015 U/ml)

ตารางที่ 2.6 ไอโซเลทแบคทีเรียที่ถูกคัดเลือก แสดงค่า HC บนอาหารแข็ง CMCb และแสดงกิจกรรมเซลลูเลส (IU/ml)

ไอโซเลท	HC	Cellulase activity	ไอโซเลท	HC	Cellulase activity	ไอโซเลท	HC	Cellulase activity
S1-1	1.33	0.037	**S13-5**	1.43	0.210	S18-2-1	2.00	0.078
S1-3	1.63	0.072	S13-6	3.00	0.136	S18-3	1.67	0.046
S1-4	2.33	0.068	S13-7	3.00	0.104	S18-5-2	4.00	0.058
S2-2	1.67	0.029	S13-9	1.33	0.084	S18-6	1.67	0.078
S2-4	2.16	0.052	S13-10	1.50	0.082	S19-3-2	1.88	0.090
S2-5	3.50	0.052	S14-1	1.25	0.165	S19-4-2	1.67	0.072
S3-1	0.16	0.103	S15-1-1	1.71	0.032	S19-6	1.83	0.097
S4-1	1.25	0.062	S15-1-2	2.00	0.073	S20-3	1.57	0.039
S4-4	2.25	0.087	S15-2-1	1.36	0.073	S20-4	1.30	0.088
S5-1	1.50	0.032	S15-2-2	1.20	0.100	S20-8	3.00	0.078
S5-2	2.33	0.074	S15-3	1.57	0.088	S20-10-1	1.50	0.031
S6-1	2.00	0.101	S15-4	1.50	0.076	S21-2-1	3.00	0.097
S6-2	2.25	0.073	S15-5	2.67	0.116	S21-5	2.33	0.052
S7-1	1.60	0.034	S15-7	1.75	0.083	S21-6	2.10	0.055
S7-3	1.50	0.106	S15-11	2.67	0.017	S21-7	1.78	0.029
S8-1	1.40	0.086	S16-1-2	2.50	0.082	S22-2-2	2.30	0.067
S8-3	1.18	0.118	S16-3	1.65	0.166	S22-3	2.33	0.137
S9-3	2.33	0.097	S16-4	1.63	0.043	S23-1	1.67	0.065
S9-5	2.33	0.083	S16-5	1.75	0.030	S23-2	2.00	0.074
S9-6	1.40	0.025	S16-10	2.00	0.041	S24-2-2	2.50	0.064
S10-2	2.00	0.078	S17-2	1.83	0.036	S24-4	2.33	0.070
S10-3	1.14	0.078	S17-3	2.50	0.087	S25-1	1.20	0.013
S11-3	1.43	0.122	S17-4-1	3.67	0.073	S25-2-1	1.38	0.072
S12-1	1.32	0.064	S17-6-2	2.00	0.050	S25-7	1.33	0.014


68
Bacillus subtilis subsp. inaquosorum KCTC13429^T (AMXN01000021)
Bacillus mojavensis RO-H-1^T (JH600280)
Bacillus tequilensis KCTC13622^T (AYTO01000043)
Bacillus subtilis subsp. spizizenii NRRL B-23049^T (CP002905)
S13-5
59
S16-3
Bacillus subtilis subsp. subtilis NCIB 3610^T (ABQL01000001)
Bacillus vallismortis DV1-F-3^T (JH600273)
Bacillus methylotrophicus KACC 13105^T (JTKJ01000077)
99
Bacillus amyloliquefaciens subsp. plantarum FZB42^T (CP000560)
Bacillus atrophaeus JCM 9070^T (AB021181)
0.001

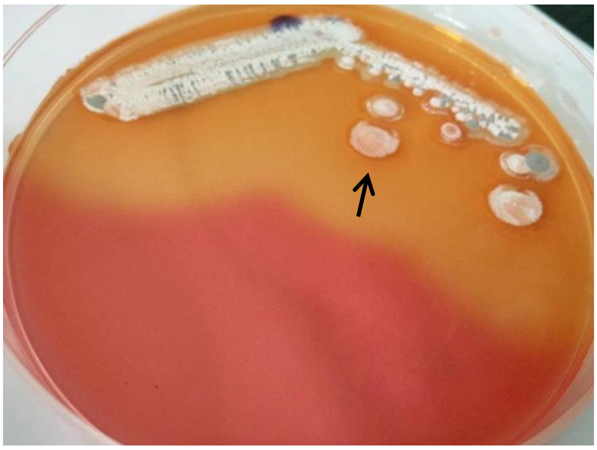
ภาพที่ 2.8 ลำดับวิวัฒนาการแบบ Neighbour-joining (1,000 bootstrap) จากการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ 16S rRNA ของแบคทีเรียไอโซเลท S13-5, S16-3 และสกุล *Bacillus*

3.2 การคัดแยกแบคทีเรียกลุ่มแอคติโนมัยซีทที่ผลิตเซลลูเลส การวิเคราะห์กิจกรรมเซลลูเลส และการพิสูจน์เอกลักษณ์

แบคทีเรียกลุ่มแอคติโนมัยซีท 16 ไอโซเลทจากตัวอย่างดินขุยไผ่ แสดงค่า HC ในช่วง 2.50-10.00 บนอาหาร CMCa (ภาพที่ 2.9) และแสดงกิจกรรมเซลลูเลสในช่วง 0.022-0.211 IU/ml โดยไอโซเลท SA4-3-1 ให้ค่ากิจกรรมเซลลูเลสได้สูงที่สุด (ตารางที่ 2.7)

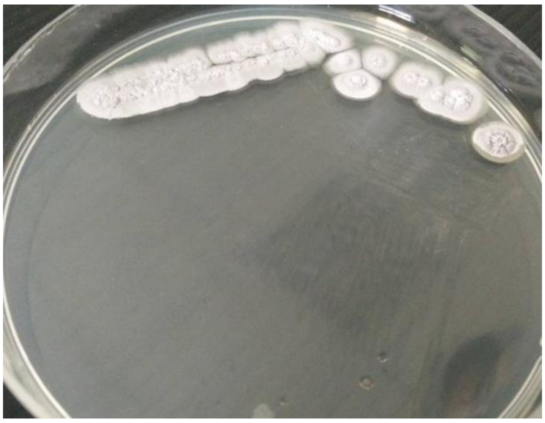
ตารางที่ 2.7 ไอโซเลทแบคทีเรียกลุ่มแอคติโนมัยซีทที่ถูกคัดเลือก แสดงค่า HC บนอาหารแข็ง CMCa และแสดงกิจกรรมเซลลูเลส (IU/ml)

ไอโซเลท	HC	Cellulase activity	ไอโซเลท	HC	Cellulase activity
SA2-1-1	4.00	0.073	SA7-2-1	9.00	0.065
SA2-2-1	4.00	0.071	SA12-2-1	8.00	0.039
SA4-2-2	4.88	0.029	SA14-1-1	3.17	0.075
SA4-3-1	3.50	0.211	SA14-1-2	2.75	0.068
SA4-3-2	2.90	0.022	SA19-1-1	2.80	0.099
SA6-1-1	4.62	0.034	SA19-2-1	-	0.056
SA6-2-1	2.50	0.023	SA21-2-1	10.00	0.044
SA7-1-1	4.67	0.074	SA25-1-2	3.00	0.066



ภาพที่ 2.9 การเกิดวงใสล้อมรอบโคโลนีของแอคติโนมัยซีทไอโซเลท SA4-3-1 บนอาหาร CMCa (ตามลูกศรชี้)

จากผลการพิสูจน์เอกลักษณ์โดยอาศัยลักษณะโคโลนี พบว่าทุกไอโซเลทมีลักษณะโคโลนีสีขาวเทาคล้ายผงแป้ง (ภาพที่ 2.10) โดยเมื่อดูลักษณะเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์และลักษณะโคโลนีบนอาหารแข็ง สามารถกล่าวได้ว่าไอโซเลทที่คัดเลือกได้ส่วนใหญ่น่าจะเป็นสมาชิกในกลุ่มจีนัส *Streptomyces* รวมทั้งไอโซเลท SA4-3-1 โดย Book et al. (2016) กล่าวว่า จีนัส *Streptomyces* มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายโครงสร้างส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตในดิน ดังนั้น *Streptomyces* จึงมีความน่าสนใจไม่ต่างจากแบคทีเรียทั่วไปที่มีการศึกษาการผลิตเซลลูเลสอย่างกว้างขวาง



ภาพที่ 2.10 ลักษณะโคโลนีของไอโซเลท SA19-1-1 บนอาหาร YSA

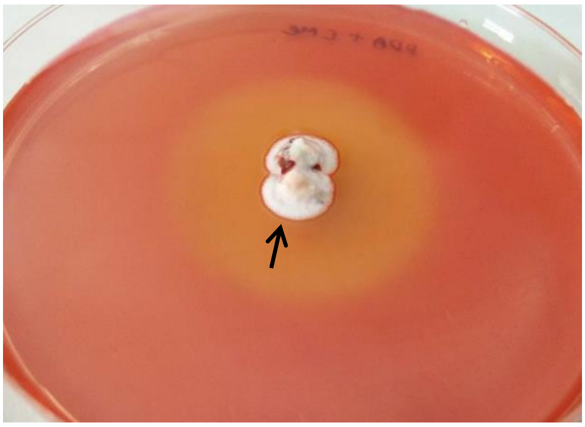
3.3 การคัดแยกเชื้อราที่ผลิตเซลลูเลส การวิเคราะห์กิจกรรมเซลลูเลส และการพิสูจน์เอกลักษณ์

เชื้อราจำนวน 44 ไอโซเลทแสดงค่า HC บนอาหารแข็ง CMCf ในช่วง 1.02-2.00 (ภาพที่ 2.11) และแสดงค่ากิจกรรมเซลลูเลส 0.015-0.436 IU/ml กิจกรรมเซลลูเลสสูงที่สุดได้มาจากไอโซเลท SF24-6 (ตาราง 2.8)

ตารางที่ 2.8 ไอโซเลทเชื้อราที่ถูกคัดเลือก แสดงค่า HC บนอาหารแข็ง CMCf และแสดงกิจกรรมเซลลูเลส (IU/ml)

ไอโซเลท	HC	Cellulase activity
SF1-1	1.09	0.271
SF2-1	1.10	0.210
SF2-3	-	0.140
SF3-2	1.41	0.213
SF4-3	1.23	0.293
SF4-4	1.21	0.162
SF4-5	1.18	0.015
SF6-1	-	0.195
SF7-1	1.60	0.352
SF8-1	1.02	0.132
SF9-2	-	0.150
SF9-4	-	0.131
SF10-1	-	0.197
SF13-2	1.13	0.194
SF13-6	1.40	0.129
SF14-1	1.17	0.199
SF14-5	-	0.196
SF15-3	1.57	0.231
SF15-6	1.13	0.168
SF16-3	1.33	0.258
SF16-5	1.05	0.318
SF17-2	1.14	0.195
SF18-1	1.16	0.201
SF18-5	1.44	0.266
SF19-1	1.33	0.318
SF19-3	1.57	0.300
SF19-4	1.19	0.205
SF19-9	-	0.223
SF20-3	1.05	0.285
SF20-5	1.38	0.339
SF21-2	1.30	0.163
SF21-3	1.40	0.239
SF21-6	1.36	0.172
SF22-1	-	0.218
SF23-1	1.11	0.209
SF23-3	1.31	0.196
SF23-5	1.88	0.259
SF23-10	1.30	0.169
SF24-4	1.33	0.300
SF24-6	1.20	0.436
SF24-9	2.00	0.251
SF25-1	1.83	0.199
SF25-3	1.14	0.246
SF25-4	1.44	0.191

เชื้อรา 44 ไอโซเลท ถูกพิสูจน์เอกลักษณ์โดยอาศัยลักษณะโคโลนีบนอาหารแข็ง PDA เส้นใยและสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าสามารถจัดแบ่งกลุ่มได้ 3 กลุ่มจีนัส คือ *Aspergillus, Penicillium* และ *Trichoderma* (ตารางที่ 2.9) ซึ่งทั้ง 3 จีนัสมีรายงานการผลิตเซลลูเลสได้ (Wen et al., 2005; Bamigboye, 2013) ในขณะที่อีก 28 ไอโซเลทไม่สามารถพิสูจน์เอกลักษณ์ได้จากลักษณะทางสัณฐานวิทยา

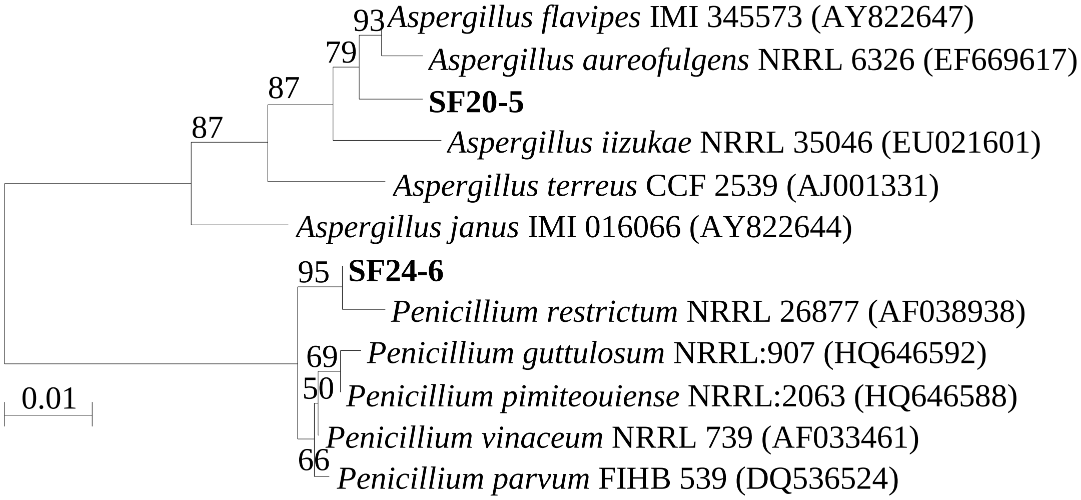


ภาพที่ 2.11 การเกิดวงใสล้อมรอบโคโลนีของเชื้อราไอโซเลท SF24-6 บนอาหาร CMCf (ตามลูกศรชี้)

ตารางที่ 2.9 การระบุเอกลักษณ์ของไอโซเลทราที่ผลิตเซลลูเลสโดยอาศัยลักษณะโคโลนี ลักษณะเส้นใยและสปอร์

จีนัส	ลักษณะโคโลนี	ลักษณะเส้นใยและสปอร์	ไอโซเลท	จำนวนไอโซเลท
Aspergillus sp.	เชื้อมีสีเขียว ไม่ฟู มีการฟุ้งกระจาย	เส้นใยสีเขียว เส้นใยมีผนังกั้น โคนิดีโอฟอร์ร์ตรงปลายเป็นกระเปาะ	SF4-4, SF6-1, SF15-3, SF16-3, SF20-5	5
Penicillium sp.	โคโลนีมีสีเขียว มีการฟุ้งกระจาย	ขอบเส้นใยสีอ่อน เส้นใยมีผนังกั้น โคนิดีโอฟอร์เป็นแฉกๆ	SF7-1, SF9-4, SF10-1, SF18-5, SF19-3, SF21-3, SF21-6, SF23-3, SF24-6	9
Trichoderma sp.	โคโลนีสีเขียวเหลือง คล้ายขนสัตว์	เส้นใยมีผนังกั้น โคนิเดียเป็นเซลล์เดี่ยว มีสีเขียว	SF14-5, SF16-5	2
			รวม	16

ไอโซเลท SF20-5 และ SF24-6 ถูกคัดเลือกเพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ส่วน ITS regions และสร้าง phylogenetic tree พบว่า ไอโซเลท SF24-6 มีลำดับนิวคลีโอไทด์ใกล้เคียงกับ *Penicillium restrictum* ด้วย 99.5% similarity ดังนั้น SF24-6 จึงถูกระบุว่าเป็น *P. restrictum* ในขณะที่ไอโซเลท SF20-5 มีลำดับนิวคลีโอไทด์ใกล้เคียงต่ำที่ 97.9% similarity กับ *Aspergillus flavipes* IMI 345573 (ภาพที่ 2.12) จึงมีเป็นไปได้ว่าไอโซเลทนี้น่าจะเป็นสปีชีส์ใหม่ในจีนัส *Aspergillus* แต่อย่างไรก็ตามต้องอาศัยการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ในส่วน 18S DNA sequence เพิ่มเติม


93
Aspergillus flavipes IMI 345573 (AY822647)
79
Aspergillus aureofulgens NRRL 6326 (EF669617)
87
SF20-5
87
Aspergillus iizukae NRRL 35046 (EU021601)
Aspergillus terreus CCF 2539 (AJ001331)
Aspergillus janus IMI 016066 (AY822644)
95
SF24-6
Penicillium restrictum NRRL 26877 (AF038938)
69
Penicillium guttulosum NRRL:907 (HQ646592)
50
Penicillium pimiteouiense NRRL:2063 (HQ646588)
0.01
Penicillium vinaceum NRRL 739 (AF033461)
66
Penicillium parvum FIHB 539 (DQ536524)

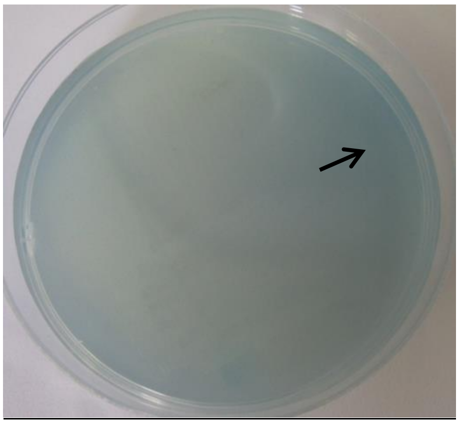
ภาพที่ 2.12 ลำดับวิวัฒนาการแบบ Neighbour-joining (1,000 bootstrap) จากการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ ITS regions ของเชื้อราไอโซเลท SF20-5, SF24-4 และ SF24-6

4. การคัดกรองแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจน

4.1 การคัดกรองแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนบนอาหารแข็ง

ดินขุยไผ่ S1-S25 ถูกนำมาคัดแยกแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนบนอาหารแข็ง Nitrogen free malate (NM) ที่ผสม bromothymol blue (BTB) เป็นอินดิเคเตอร์ (Gothwal et al., 2008) พบแบคทีเรีย 32 ไอโซเลท ที่แสดงบริเวณสีน้ำเงินล้อมรอบโคโลนี (Zone of coloration; ZC) ดังแสดงในภาพที่ 2.13 โดย ZC ที่พบอยู่ในช่วง 1.04-5.00 (ตารางที่ 2.10) ไอโซเลท S4NN5-1 ให้ค่า ZC สูงที่สุด ซึ่งอาจหมายถึงความสามารถในการตรึงไนโตรเจนได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับโอโซเลทอื่น (กำหนดรหัสไอโซเลทแบคทีเรียที่แสดง ZC คือ NN)

แต่อย่างไรก็ตามควรมีการทดสอบเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณการตรึงไนโตรเจนด้วยวิธี acetylene reduction activity (ARA) แต่เนื่องจากปัญหาในการควบคุมสภาวะการใช้งาน gas chromatography ไม่เป็นไปตามที่กำหนดจึงทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณ ethylene ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้ Gothwal et al. (2008) ได้ทำการทดลองแล้วพบว่าแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนสีอินดิเคเตอร์ล้อมรอบโคโลนีได้ ส่วนใหญ่มีความสามารถในการเกิดกิจกรรมไนโตรจีเนสเพื่อตรึงไนโตรเจนได้



ภาพที่ 2.13 บริเวณสีน้ำเงินที่ล้อมรอบโคโลนีของไอโซเลท S4NN5-1 (บริเวณลูกศรชี้)

ตารางที่ 2.10 แบคทีเรียไอโซเลทที่แสดงค่า Zone of coloration (ZC)

ไอโซเลท	ZC	**ไอโซเลท**	ZC	**ไอโซเลท**	ZC
S2NN5-1	2.33	S6NN4-2	1.67	S13NN1-2	2.00
S4NN1-2	1.33	S7NN1-1	1.32	S13NN2-1	2.50
S4NN1-3	1.75	S8NN1-1	1.73	S13NN2-2	2.50
S4NN1-4	1.50	S8NN1-2	2.00	S13NN3-1	2.00
S4NN5-1	**5.00**	S9NN1-1	1.26	S15NN1-1	3.00
S5NN1-1	1.04	S10NN1-1	2.14	S18NN1-1	4.00
S5NN2-1	1.10	S10NN2-1	1.11	S18NN1-2	3.00
S5NN2-2	1.60	S11NN1-1	1.11	S18NN2-1	2.00
S6NN3-1	1.57	S11NN1-2	1.36	S24NN1-1	1.70
S6NN3-2	1.57	S12NN1-1	1.71	S24NN1-5	2.00
S6NN4-1	1.67	S13NN1-1	2.00	**รวม 32 ไอโซเลท**	

4.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจน

4.2.1 ลักษณะสัณฐานวิทยา

แบคทีเรียทั้ง 32 ไอโซเลท เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างแท่ง เมื่อจัดกลุ่มตามลักษณะโคโลนีสามารถแบ่งได้ 5 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 พบ 11 ไอโซเลท คือ S5NN2-1, S5NN2-2, S6NN3-1, S7NN1-1, S8NN1-2, S9NN1-1, S10NN2-1, S11NN1-1, S11NN1-2, S13NN1-2 และ S13NN2-2 มีขนาด ZC ในช่วง 1.10-2.50 เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างแท่ง ลักษณะโคโลนี คือ มีขนาด 2-4 mm สี creamy-white-mucoid, irregular, lobate และ flat

กลุ่มที่ 2 พบ 3 ไอโซเลท คือ S5NN1-1, S8NN1-1 และ S13NN3-1 มีขนาด ZC ในช่วง 1.04-2.00 เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างแท่ง ลักษณะโคโลนี คือ มีขนาด 2-4 mm สี creamy-white, irregular, lobate และ flat

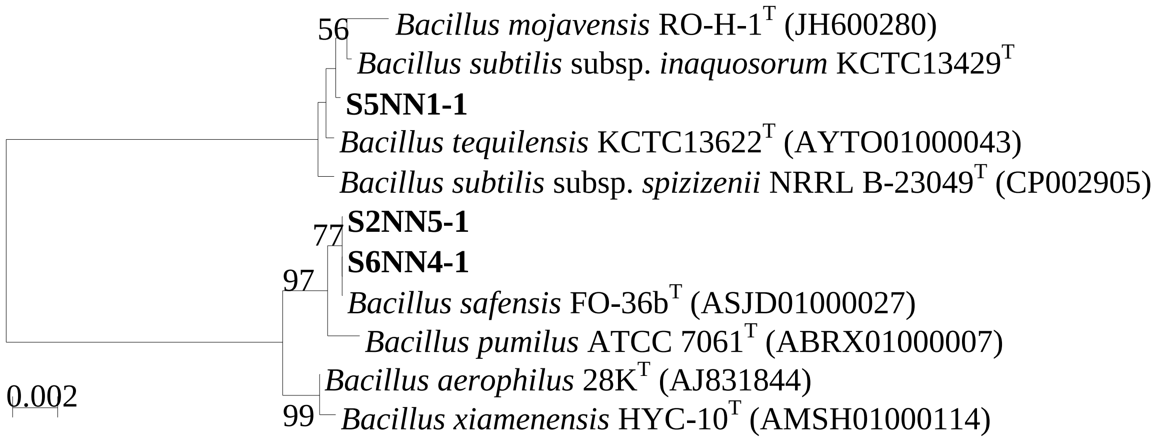
กลุ่มที่ 3 พบ 2 ไอโซเลท คือ S15NN1-1 และ S18NN2-1 มีขนาด ZC ในช่วง 2.00-3.00 เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างแท่งสั้น ลักษณะโคโลนี คือ มีขนาด 2-8 mm สี creamy-orange, round, entire และ raise

กลุ่มที่ 4 พบ 6 ไอโซเลท คือ S4NN5-1, S6NN3-2, S10NN1-1, S12NN1-1, S13NN1-1 และ S13NN2-1 มีขนาด ZC ในช่วง 1.33-4.00 เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างแท่ง ลักษณะโคโลนี คือ มีขนาด 2-6 mm สี creamy-white, irregular, lobate และ flat/umbonate

กลุ่มที่ 5 พบ 10 ไอโซเลท คือ S2NN5-1, S4NN1-2, S4NN1-3, S4NN1-4, S6NN4-1, S6NN4-2, S18NN1-1, S18NN1-2, S24NN1-1 และ S24NN1-5 เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างแท่ง ลักษณะโคโลนี คือ มีขนาด 3-4 mm สี creamy-yellow, round, entire และ convex/umbonate

4.2.2 การวิเคราะห์ลำดับเบส 16S rRNA gene sequence

แบคทีเรียไอโซเลท S2NN5-1และ S6NN4-1 ซึ่งเป็นตัวแทนกลุ่มที่ 5 และ S5NN1-1 ตัวแทนกลุ่มที่ 2 ถูกนำไปวิเคราะห์ลำดับเบส 16S rRNA gene sequence และสร้าง Phylogenetic tree (ภาพที่ 2.14) พบว่าไอโซเลท S2NN5-1 และ S6NN4-1 มีลำดับเบสเหมือนกับ *Bacillus safensis* FO-36b^T ที่ 100% similarity ดังนั้นทั้ง 2 ไอโซเลทจึงถูกระบุว่าเป็น *B. safensis* ในขณะที่ไอโซเลท S5NN1-1 ถูกระบุว่าเป็น *B. subtilis* subsp. *inaquosorum* เพราะมีความใกล้เคียงกับ *B. subtilis* subsp. *inaquosorum* KCTC13429^T ถึง 99.9% similarity ทั้งนี้แบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* ได้มีรายงานความสามารถในการตรึงไนโตรเจนได้ (Ding et al., 2005)


56
Bacillus mojavensis RO-H-1T (JH600280)
Bacillus subtilis subsp. inaquosorum KCTC13429T
S5NN1-1
Bacillus tequilensis KCTC13622T (AYTO01000043)
Bacillus subtilis subsp. spizizenii NRRL B-23049T (CP002905)
77
S2NN5-1
97
S6NN4-1
Bacillus safensis FO-36bT (ASJD01000027)
Bacillus pumilus ATCC 7061T (ABRX01000007)
0.002
Bacillus aerophilus 28KT (AJ831844)
99
Bacillus xiamenensis HYC-10T (AMSH01000114)

ภาพที่ 2.14 ลำดับวิวัฒนาการแบบ Neighbour-joining (1,000 bootstrap) จากการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ 16S rRNA ของตัวแทนแบคทีเรียไอโซเลท S2NN5-1, S6NN4-1, S5NN1-1 และสกุล *Bacillus*

ส่วนที่ 3 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงเกษตรกรจากสูตรที่คัดเลือก

จากผลการศึกษาปุ๋ยหมักสูตรทดลองแต่ละสูตรมีผลช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวไร่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐาน (สูตรตามแบบกรมพัฒนาที่ดิน และสูตรตามแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1) และพิจารณาร่วมกับวัตถุดิบที่เกษตรกรมีและสามารถจัดหาได้ รวมทั้งข้อจำกัดที่เกษตรกรมีอีกประการคือ แรงงาน และแหล่งน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงคัดเลือกปุ๋ยหมัก สูตรที่มีส่วนประกอบฟางข้าวและดินขุยไผ่ ที่มีสัดส่วนผสม ฟางข้าว 8 ส่วน ต่อดินขุยไผ่ 1 ส่วน โดยปริมาตร) มีการตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปทรงปริซึมฐาน 3 เหลี่ยม ขนาดกว้าง 2.5 เมตร ยาว 2 เมตร และสูง 2 เมตร (สำหรับความยาวของกองปุ๋ยสามารถเตรียมได้มากกว่า 2 เมตร ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณวัตถุดิบที่มี)

วิธีการจัดวางวัสดุให้ใน 1 ชั้น ประกอบด้วยการวางฟางข้าวตามขนาดพื้นที่ให้สูง 10-15 เซนติเมตร โดยไม่ต้องเยียบหรืออัดให้แน่น ตามด้วยโรยดินขุยไผ่บนฟางให้ทั่วสูง 2-3 เซนติเมตร แล้วรดน้ำให้ชุ่ม ได้วัสดุหมัก 1 ชั้น จัดวางวัสดุในลักษณะเป็นชั้นๆ 10-15 ชั้น จะได้กองปุ๋ยหมักที่มีความสูง 1.5 เมตร โดยบีบด้านยาวให้แคบลงจนสุดท้ายได้ลักษณะกองปุ๋ยเป็นรูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยม

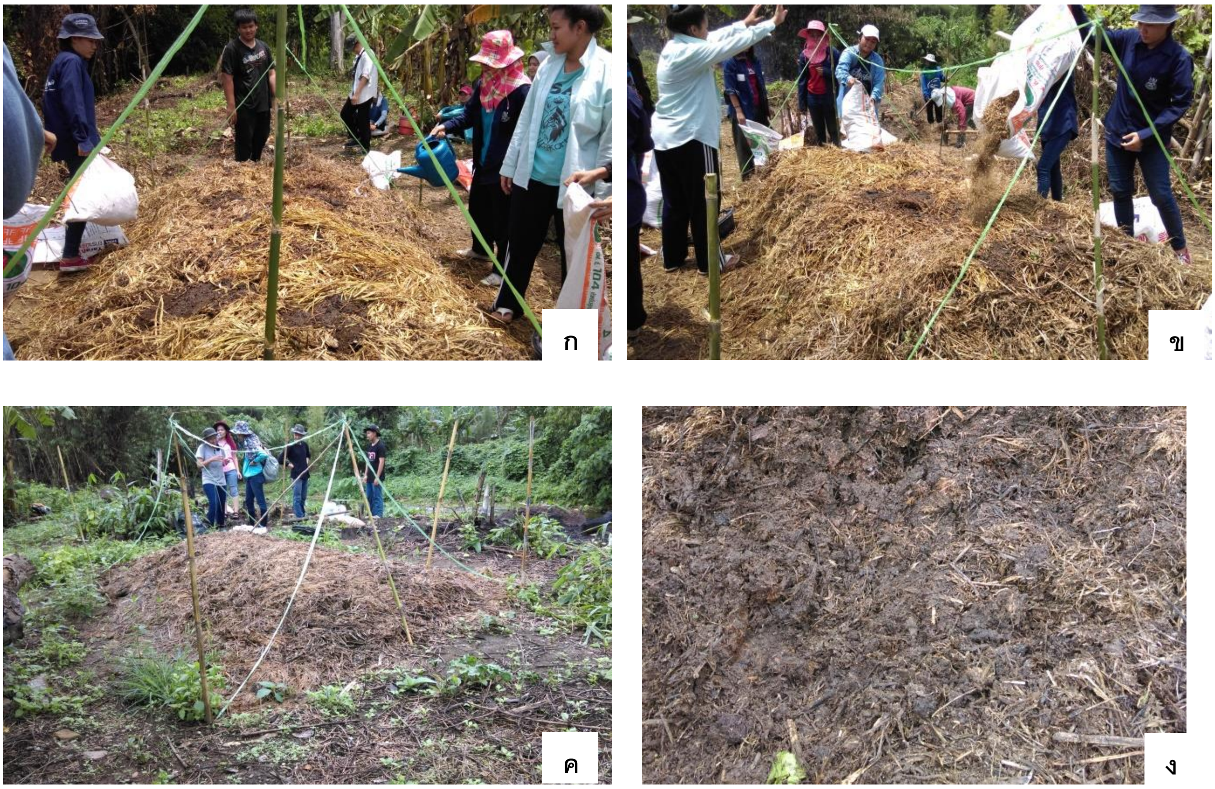
การดูแลกองปุ๋ยทำโดยรดน้ำเพื่อให้ความชื้นแก่กองปุ๋ยทุกๆ 3 วัน และทุกๆ 10 วัน ใช้ไม้แหลมแทงเข้าที่กองปุ๋ยแนว 45 องศา ระยะห่าง 30-40 เซนติเมตร แล้วกรอกรดน้ำในรูที่ทำไว้ แล้วปิดรูที่เจาะ ปล่อยให้กระบวนการหมักดำเนินไปเนระยะเวลา 2 เดือน หรือราว 63 วัน โดยไม่ต้องมีการพลิกกลับกอง เมื่อครบระยะเวลาหมัก พิจารณาวัสดุฟางมีการย่อยสลายเกือบหมด ได้ปุ๋ยหมักมีลักษณะคล้ายดินอ่อนนุ่ม สีดำน้ำตาล ใช้จอบคุ้ยทะลายกองปุ๋ย ผึ่งให้มีความชื้นลดลงเหลือประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ได้ปุ๋ยหมักพร้อมใช้ในการทดลองในขั้นต่อไป

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของปุ๋ยหมักในแปลงเกษตรกร เมื่อกองปุ๋ยหมักอายุ 63 วัน เปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักที่รายงานโดยกรมพัฒนาที่ดิน และกรมวิชาการเกษตร

ปุ๋ยหมัก	กรมพัฒนาที่ดิน	กรมวิชาการเกษตร	ปุ๋ยหมักสูตร T5	ปุ๋ยหมักในแปลงเกษตรกร
เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด	ไม่น้อยกว่า 1.0	ไม่น้อยกว่า 1.0	0.79	0.66
เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ	25-50	ไม่ต่ำกว่า 20	17.74	15.25
อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน	ไม่เกิน 20: 1	ไม่เกิน 20: 1	13.0	13.4
เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัส	ไม่น้อยกว่า 0.5	ไม่น้อยกว่า 0.5	-	0.24
เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียม	ไม่น้อยกว่า 0.5	ไม่น้อยกว่า 0.5	-	0.63
เปอร์เซ็นต์แคลเซียม	-	-	-	0.46
เปอร์เซ็นต์แมกนีเซียม	-	-	-	0.27
ค่า pH	5.5-8.5	5.5-8.5	8.53 ± 0.14	7.53
ค่าการนำไฟฟ้า (ds/m)	ไม่เกิน 3.5	ไม่เกิน 10	1.16 ±0.02	0.73

ปุ๋ยกมักมีการย่อยสลายโดยมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดต่ำลงเหลือไม่เกิน 20 : 1 แต่องค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยมัก (ตารางที่ 3.1) มีอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ยังต่ำกว่าเกณฑ์ปุ๋ยหมักที่กำหนดโดยกรมพัฒนาที่ดิน หรือกรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 3.1 ก) เกษตรกรผู้ร่วมการวิจัยผู้ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่และวัสดุทำปุ๋ยหมัก ข) บริเวณพื้นที่ที่เตรียมกองปุ๋ยหมัก ค) กองฟางของเกษตรกร และ ง) เกษตรกรและนักศึกษาร่วมกันขุดเตรียมดินขุยไผ่



ภาพที่ 3.2 ก) และ ข) การวางวัสดุทำปุ๋ยหมัก ค) ภาพกองปุ๋ยหมักที่ผ่านกระบวนการหมัก และ ง) ลักษณะปุ๋ยหมักที่เตรียมได้

บทที่ 5

สรุปผล

ส่วนที่ 1 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ต้นทุนต่ำ

การทดลองที่ 1 การเตรียมสูตรปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการหมักปุ๋ยและการประเมินการใช้ประโยชน์ได้ของปุ๋ยอินทรีย์ที่ทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ในแปลงทดลองขนาดเล็ก

การเตรียมปุ๋ยอินทรีย์

ศึกษารูปแบบการหมักปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้กรรมวิธีการหมักปุ๋ยของสำนักนวัตกรรมแห่งชาติ (2554) หรือแบบวิศวกรรมแม่โจ้ 1 เป็นแม่แบบ ซึ่งต้นแบบสูตรของวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีส่วนประกอบปุ๋ยหมัก ได้แก่ ฟางข้าวและมูลโค สัดส่วนฟางข้าว 4 ส่วน ต่อมูลโค 1 ส่วนโดยปริมาตร มีการจัดวางวัสดุตั้งกองปุ๋ยหมักโดยไม่ต้องเหยียบให้แน่น ขึ้นรูปกองปุ๋ยหมักให้เป็นรูปทรงปริซึมฐานสามเหลี่ยม และไม่มีการพลิกกลับกองปุ๋ยหมักตลอดระยะเวลาการหมักปุ๋ย ในการศึกษาครั้งนี้คณะผู้วิจัยใช้ดินขุยไผ่เป็นแหล่งจุลินทรีย์ และใช้เศษพืชสดเป็นแหล่งชดเชยความชื้น และศึกษาผลของการดูแลกองปุ๋ยหมักโดยให้น้ำตามปกติ (กองที่ 3) และการดูแลแบบขาดน้ำ (กองที่ 4) ดำเนินการวิจัยโดยปรับสัดส่วนวัสดุหมักโดยใช้ดินขุยไผ่แทนที่มูลโค 75 เปอร์เซ็นต์ และใช้เศษพืชสดแทนที่ฟางข้าว 25 เปอร์เซ็นต์ ตั้งกองปุ๋ยหมักขนาด ฐานกว้าง 2.5 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 1.5 เมตร ศึกษาระหว่างกองปุ๋ยที่รดน้ำตามปกติทุกวันและกองปุ๋ยหมักที่ดูแลแบบขาดน้ำโดยมีการรดน้ำทุกๆ 3 วัน เปรียบเทียบกับกองปุ๋ยหมักสูตรวิศวกรรมแม่โจ้และสูตรกรมพัฒนาที่ดิน ติดตามกระบวนการหมักโดยวัดอุณหภูมิกองปุ๋ยหมัก วัดความชื้น วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ครบระยะหมักที่ 63 วัน พบว่าปุ๋ยที่หมักแบบการรดน้ำปกติและแบบขาดน้ำมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน (วิศวกรรมแม่โจ้ และกรมพัฒนาที่ดิน) ซึ่งที่สูตรทดลองมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดต่ำกว่าสูตรมาตรฐาน ในขณะที่ปริมาณอินทรียวัตถุในปุ๋ยสูตรทดลอง 16.86 เปอร์เซ็นต์ (กองที่ 3) และ 19.77 เปอร์เซ็นต์) (กองที่ 4) ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร (20 เปอร์เซ็นต์) เพียงเล็กน้อย

ศึกษาผลของปุ๋ยหมักต่อการงอกของข้าวไร่และพืชผัก พบว่า ปุ๋ยหมักทุกสูตรที่อายุหมัก 7 สัปดาห์ ยังคงมีจุลินทรีย์ที่มีผลกระทบต่อการงอกของทั้งข้าวไร่และผักบุ้ง ส่วนปุ๋ยหมักที่อายุครบ 9 สัปดาห์ทุกสูตรมีผลช่วยเพิ่มความไวในการงอก ค่าความยาวราก และคะแนนรากแขนง และปุ๋ยหมักที่มีจุลินทรีย์มีผลเพิ่มความไวในการงอก ค่าความยาวราก และคะแนนรากแขนง ได้ดีกว่าปุ๋ยที่มีการฆ่าเชื้อ แสดงว่าในปุ๋ยหมักมีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการงอกของพืช หรือในกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งลดความดันอาจทำให้องค์ประกอบทางเคมีและทางฟิสิกส์ของปุ๋ยเคมีเปลี่ยนแปลงไปบ้างก็เป็นได้

การประเมินการใช้ประโยชน์ได้ของปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงทดลองขนาดเล็ก

วางแผนการทดลอง แบบแฟคทอเรียลที่สุ่มแบบสมบรูณ์ (Factorial in CRD) ศึกษาการเจริญเติบโตของพืช เมื่อให้ปุ๋ยหมัก 4 สูตร ร่วมกับปริมาณการให้ปุ๋ยหมักที่ต่างกันที่อัตรา 2 ตันต่อไร่ และ 20 ตันต่อไร่ การศึกษาพบว่าสมบัติทางเคมีของดิน (อินทรียวัตถุ อินทรีย์คาร์บอน) เพิ่มสูงขึ้นซึ่งช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่ดี และคุณสมบัติทางกายภาพเมื่อใส่ปุ๋ยลงไปในดินพบว่าไม่ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดด่างเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

จากการศึกษาผลของปุ๋ยหมักสูตรต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่าในปุ๋ยหมักทั้ง 4 สูตรมีผลทำให้ลักษณะต่างๆ ที่แสดงถึงการเจริญเติบโตของผักบุ้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยปุ๋ยหมักสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีผลช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตมากที่สุด โดยเฉพาะน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งรองลงมาคือปุ๋ยสูตรดินขุยไผ่แบบรดน้ำปกติและแบบขาดน้ำ ตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดินส่งผลต่อการเจริญเติบโตน้อยที่สุดและแทบจะไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม

ขณะที่ในข้าวซึ่งมีอายุการศึกษาที่ยาวนานกว่า พบว่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งและการแตกกอสูงสุดเมื่อให้ปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดิน ขณะที่ปุ๋ยหมักทั้ง 3 สูตร (สูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 สูตรดินขุยไผ่แบบรดน้ำปกติและแบบขาดน้ำ) ให้ผลรองลงมาและส่งผลใกล้เคียงกัน ด้วยเหตุนี้ผลของการใส่ปุ๋ยหมักจึงขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและระยะเวลาในการศึกษา กล่าวคือ ผักบุ้ง (อายุ 27 วัน) ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยยังไม่ส่งผลชัดเจนนักเมื่อเทียบกับข้าวไร่ (อายุ 47 วัน) ส่วนในข้าวไร่ ปุ๋ยหมักสูตรกรมพัฒนาที่ดิน ที่มีคุณสมบัติทางเคมีสูงสุดให้ผลดีที่สุดกับข้าวไร่ แต่กลับส่งผลน้อยกับผักบุ้ง ขณะที่ปุ๋ยสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีการใช้มูลโคยังไม่เทียบเท่ากับการใส่ยูเรียและ พด.1 ในสูตรกรมพัฒนาที่ดิน ปุ๋ยหมักสูตรดินขุยไผ่รดน้ำปกติ ให้ผลใกล้เคียงกับสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 แม้จะไม่เทียบเท่า 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ในกรณีผักบุ้ง (พืชอายุสั้น) ปุ๋ยหมักสูตรดินขุยไผ่แบบขาดน้ำ ต้องใช้ในปริมาณที่สูงจึงจะเทียบเคียงกับสูตรอื่นๆ ได้ แต่ในข้าวไร่ที่ศึกษา 47 วัน ให้ผลไม่แตกต่างกัน

จากการประเมินธาตุอาหารในต้นข้าว อาจกล่าวได้ว่ามีความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ยสูตรกรมพัฒนาที่ดินและสูตรวิศวกรรมแม่โจ้ 1 มีค่าสูง รองลงมากับปุ๋ยสูตรดินขุยไผ่รดน้ำปกติ และสูตรดินขุยไผ่แบบขาดน้ำ ตามลำดับอย่างไรก็ตามปุ๋ยสูตรดินขุยไผ่รดน้ำปกติ จะพบการสะสมธาตุอาหารหลักในต้นข้าวเฉพาะกรณีที่มีการใส่ปุ๋ยปริมาณมาก (20 ตันต่อไร่) ด้วยเหตุนี้อาจกล่าวได้ว่า การใช้ดินขุยไผ่สามารถทดแทนการใช้มูลโคบางส่วนได้ แต่การดูแลกองปุ๋ยแบบขาดน้ำอาจส่งผลต่อการย่อยสลายของปุ๋ยหมัก ความเป็นประโยชน์ธาตุอาหารกระทบต่อความสามารถในการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช จึงต้องเพิ่มระยะเวลาการหมักปุ๋ยสูตรขาดน้ำ ให้นานขึ้นเพื่อเพิ่มการย่อยสลาย หรือนำไปใช้กับพืชที่มีอายุยาวนานเพื่อเพิ่มโอกาสในการใช้ธาตุอาหารในปุ๋ยสูตรขาดน้ำ

การทดลองที่ 2 ผลของปุ๋ยหมักฟางข้าวและดินขุยไผ่โดยใช้วัสดุจากพื้นที่เกษตรกรบนป่าละอูต่อลักษณะในแปลงของข้าวไร่

การเตรียมปุ๋ยอินทรีย์

ศึกษาผลของสัดส่วนฟางข้าวและดินขุยไผ่ในการเตรียมปุ๋ยหมัก และการดูแลรดน้ำให้ความชื้นแก่กองปุ๋ยหมักวางแผนการทดลองแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) กลุ่มควบคุมเตรียมให้มี

สัดส่วนฟางข้าวต่อมูลโค 4 : 1 (โดยปริมาตร) กลุ่มทดลองที่ 2 และ 3 เตรียมกองปุ๋ยหมักให้มีสัดส่วนฟางข้าวต่อดินขุนไผ่ 4 : 1 (โดยปริมาตร) กลุ่มที่ 2 มีการดูแลกองปุ๋ยโดยรดน้ำทุกวันตามปกติ และกลุ่มที่ 3 รดน้ำแบบขาดน้ำทุกๆ 3 วัน ตามลำดับ และกลุ่มทดลองที่ 4 และ 5 เตรียมกองปุ๋ยหมักให้มีสัดส่วนฟางข้าวต่อดินขุยไผ่ 8:1 (โดยปริมาตร) โดยกลุ่มที่ 4 มีการดูแลกองปุ๋ยโดยรดน้ำทุกวันตามปกติ และกลุ่มที่ 5 รดน้ำแบบขาดน้ำทุกๆ 3 วัน ตามลำดับ ทั้ง 5 กลุ่มทดลองดำเนินกระบวนการหมักในกล่องพลาสติกที่เจาะรูโดยรอบขนาด 35×47×60 ลูกบาศก์เซนติเมตร ติดตามกระบวนการหมักโดยติดตามอุณหภูมิกองปุ๋ยหมัก วัดความชื้น วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ครบระยะหมักที่ 63 วันผลการทดลองพบว่าปุ๋ยหมักทุกกลุ่มมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์ เกิดขึ้นโดยมีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงจากเริ่มต้น 20.37-26.25 ลงมาเป็น 11.80-13.03

จำนวนแบคทีเรียจากตัวอย่างปุ๋ย T1-T4 ในช่วงเวลาการหมักปุ๋ย 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน และ T5 ในช่วงการหมัก 0, 7, 14, 21, 35, 49 และ 63 วัน พบจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม mesophile ส่วนใหญ่ในช่วงวันเริ่มต้นจนถึงสัปดาห์ที่สองที่ทำการหมักปุ๋ย ขณะที่กลุ่มแบคทีเรีย thermophile จะพบเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกันตลอดช่วงเวลาการหมักปุ๋ยในช่วง Log 5.42-6.81 CFU

จำนวนเชื้อราจากตัวอย่างปุ๋ย T1-T4 ในช่วงเวลาการหมักปุ๋ย 0, 7, 14, 35 และ 63 วัน และ T5 ในช่วงการหมัก 0, 7, 14, 21, 35, 49 และ 63 วัน พบจำนวนเชื้อรากลุ่ม mesophile ส่วนใหญ่ในช่วงวันเริ่มต้นและสัปดาห์แรกที่ทำการหมักปุ๋ย ยกเว้นในตัวอย่าง T5 ที่พบจำนวนเชื้อราส่วนใหญ่ในช่วงวันเริ่มต้นจนถึงสัปดาห์ที่สอง ขณะที่กลุ่มเชื้อรา thermophile จะพบปริมาณสูงในช่วงอาทิตย์แรกและอาทิตย์ที่สอง

ดัชนีการงอก (Germination Index) ของปุ๋ยหมัก ไม่มีความแตกต่างทางสถิติทั้งอิทธิพลของพันธุ์และสูตรปุ๋ย โดยพันธุ์บือกอบิมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 100.81 เปอร์เซ็นต์ และพันธุ์บอแผ่ซูมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 95.68 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ปุ๋ยทั้ง 5 สูตรมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 90.48-106.52 เปอร์เซ็นต์ และอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์และสูตรปุ๋ย มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 85.44 เปอร์เซ็นต์ และสูงสุดอยู่ที่ 114.76 เปอร์เซ็นต์

การทดสอบอิทธิพลของปุ๋ยหมักต่อข้าวไร่

ใช้แผนการทดลองแบบ 2x2x5 Factorial in CRD เพื่อศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยหมักต่อลักษณะในแปลงบางประการของข้าวไร่บางพันธุ์ อิทธิพลของปุ๋ยหมัก มี 3 ปัจจัย คือ ข้าว 2 พันธุ์ (พันธุ์บอแผ่ซู และบือกอบิ) อัตราการใส่ปุ๋ย 2 ระดับ (2 ตันต่อไร่ และ20 ตันต่อไร่) และปุ๋ยหมัก 5 สูตร พบว่าการใส่ปุ๋ยจะมีแนวโน้มให้ ความสูงของต้นข้าวอายุ 30 วัน การแตกกอของข้าวไร่อายุ 30 วัน และน้ำหนักผลผลิตเมล็ดข้าว สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ย อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยที่ 20 ตันต่อไร่ที่ให้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดสูงกว่าที่ 2 ตันต่อไร่ อาจเป็นเพราะ การส่งผลต่อลักษณะที่เกี่ยวข้องกับรวง เช่น เปอร์เซ็นต์ผสมติด หรือ น้ำหนักเมล็ด ซึ่งไม่ได้มีการรายงานข้อมูลฐานข้อมูลตัวเลข นำเสนอในการศึกษาครั้งนี้ สำหรับปุ๋ยสูตรต่างๆ พบว่ามีผลต่อลักษณะต่างๆ ร่วมกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ปฏิกิริยาร่วมกับพันธุ์และอัตราการใส่ปุ๋ย แต่ไม่พบอิทธิพลของปัจจัยสูตรปุ๋ย เพียงอย่างเดียวต่อผลผลิต จึงอาจกล่าวได้ว่า ในการเพิ่มผลผลิตนั้นการใส่ปุ๋ยในอัตรา 20 ตันต่อไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตได้ไม่แตกต่างกันในปุ๋ยแต่ละสูตร หรือ สามารถเลือกใช้ปุ๋ยแต่ละสูตรได้ตามความเหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตข้าวไร่ ทั้งนี้ได้พิจารณาร่วมกับพันธุ์ข้าวไร่ดั้งเดิมของเกษตรกรด้วยเช่นกัน

พันธุ์บือกอบิมีแนวโน้มในการตอบสนองต่อปุ๋ยมากกว่าพันธุ์บอแผ่ซู ลักษณะที่แสดงความแตกต่างส่วนหนึ่งมีอิทธิพลเนื่องมาจากพันธุกรรม

ส่วนที่ 2 การคัดกรองจุลินทรีย์จากตัวอย่างดินขุยไผ่

ผลการทดลองการคัดเลือกจุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรีย แอคติโนมัยซีท และเชื้อราที่สามารถละลายฟอสเฟตที่มี Ca_3PO_4 เป็นสารตั้งต้น การผลิตเซลลูเลส และการตรึงไนโตรเจน จากการเก็บตัวอย่างดินขุยไผ่จำนวน 25 (S1-S25) ตัวอย่าง ในพื้นที่ตำบลห้วยสัตว์ใหญ่ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ แสดงให้เห็นว่าดินขุยไผ่เป็นแหล่งสำคัญสำหรับการคัดแยกกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ นอกจากนี้ยังพบความหลากหลายของกลุ่มจุลินทรีย์ที่คัดเลือกได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วดินเป็นแหล่งธรรมชาติที่เป็นที่อยู่ที่สำคัญของจุลินทรีย์ ในตัวอย่างครั้งนี้เป็นดินขุยไผ่ ซึ่งเป็นดินที่เต็มไปด้วยธาตุอาหาร และอินทรียวัตถุ (Tu et al., 2014) ดังนั้นจึงอุดมสมบูรณ์เต็มไปด้วยแหล่งอาหารสำคัญสำหรับจุลินทรีย์ที่อาศัย เช่นเดียวกับงานทดลองของ Ruangsanka (2014) ที่ทำการคัดแยกแบคทีเรียจากดินบริเวณรอบรากไผ่ ซึ่งผู้วิจัยได้พบความหลากหลายของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต ซึ่งสามารถพัฒนานำไปเป็นหัวเชื้อในการผลิตปุ๋ยชีวภาพสำหรับพืชต่อไป

โดยจากการทดลองจะเห็นได้ว่าแบคทีเรียจีนัส *Bacillus* มีความสามารถหลากหลายทั้งในการละลายฟอสเฟต เป็นแหล่งเซลลูเลส และมีบทบาทในการตรึงไนโตรเจน เช่นเดียวกับ *Streptomyces* และเชื้อรากลุ่ม *Aspergillus, Penicillium* และ *Trichoderma* ที่มีความสามารถในการละลายฟอสเฟตและผลิตเซลลูเลส โดยจุลินทรีย์เหล่านี้ส่วนใหญ่สามารถคัดแยกได้จากตัวอย่างดินในธรรมชาติ แต่ทั้งนี้ในการทดลองเป็นดินขุยไผ่ ซึ่งเป็นแหล่งรวมอินทรียสารจึงเป็นไปได้ว่าจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้จะมีความสามารถมากกว่าจากแหล่งดินธรรมดา ดินขุยไผ่จึงเป็นแหล่งของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ดังนั้นการใช้ดินขุยไผ่เป็นแหล่งของจุลินทรีย์ในการเตรียมปุ๋ยทางชีวภาพ จึงเป็นการเพิ่มหัวเชื้อทางธรรมชาติในการช่วยบำรุงดิน และส่งเสริมการเจริญของพืชได้

ส่วนที่ 3 การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในแปลงเกษตรกรจากสูตรที่คัดเลือก

จากผลการศึกษาปุ๋ยหมักสูตรทดลองคณะผู้วิจัยพบว่า ในการเพิ่มผลผลิตนั้นการใส่ปุ๋ยในอัตรา 20 ตันต่อไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตได้ไม่แตกต่างกันในปุ๋ยแต่ละสูตร สามารถเลือกใช้ปุ๋ยแต่ละสูตรได้ตามความเหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตข้าวไร่ จึงได้คัดเลือกสูตรปุ๋ยหมัก สูตรที่มีส่วนประกอบฟางข้าวและดินขุยไผ่ ที่มีสัดส่วนผสม ฟางข้าว 8 ส่วน ต่อดินขุยไผ่ 1 ส่วน โดยปริมาตร ตั้งกองปุ๋ยหมักตามรูปแบบวิศวกรรมแม่โจ้ โดย ตั้งกองปุ๋ยหมักเป็นรูปทรงปริซึมฐาน 3 เหลี่ยม ขนาดกว้าง 2.5 เมตร ยาว 2 เมตร และสูง 2 เมตร (สำหรับความยาวของกองปุ๋ยสามารถเตรียมได้มากกว่า 2 เมตร ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณวัตถุดิบที่มี) และดูแลกองปุ๋ยโดยรดน้ำ ทุกๆ 3 วัน ไม่มีการพลิกกลับกองตลอดระยะเวลาการหมัก ปล่อยให้เกิดกระบวนการหมักไปเป็นระยะเวลา 63 วัน ปุ๋ยสามารถย่อยสลายได้จนมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ 13.4 : 1 สำหรับปุ๋ยหมักที่เตรียมได้นี้ เตรียมเพื่อนำไปทดสอบปุ๋ยในแปลงใหญ่ของเกษตรกรด้วยเพื่อให้ทราบถึงผลของปุ๋ยสูตรต่างๆ ในสภาพแวดล้อมจริงๆ โดยมีรายละเอียด อยู่ในโดครงการวิจัยย่อยเรื่อง “การศึกษาความต้านทานการหักล้มของข้าวไร่ในแปลงที่มีระดับ

ความอุดมสมบูรณ์ของดินแตกต่างกัน” และเรื่อง “การศึกษาความหลากหลายของแมลงในแปลงข้าวไร่” ต่อไป

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ถึงแม้ว่าองค์ประกอบทางเคมีของปุ๋ยมัก (ตารางที่ 3.1) มีอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ต่ำกว่าเกณฑ์ปุ๋ยหมักที่กำหนดโดยกรมพัฒนาที่ดิน หรือกรมวิชาการเกษตร แต่การนำเอาเศษต้นข้าวมาหมักร่วมกับดินขุยไผ่ที่มีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ช่วยให้เกิดการย่อยสลายของฟางข้าวได้ปุ๋ยอินทรีย์ และยังนับได้ว่านอกเหนือจากเป็นการเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดิน ยังเป็นอีกหนทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่มจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ให้แก่ดิน

จากการศึกษาเบื้องต้นในแปลงทดลองขนาดเล็ก พบว่าปุ๋ยสูตรที่ทดลองทุกสูตรสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโต และเพิ่มผลผลิตให้แก่ข้าวไร่และพืชผักได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ สำหรับเกษตรกรหรือผู้สนใจเลือกใช้สูตรใดในการเตรียมปุ๋ยหมักนั้น สามารถพิจารณาเลือกใช้วัตถุดิบ ขึ้นกับความเหมาะสมของแต่ละพื้น สำหรับสูตรที่ผู้วิจัยเลือกนำมาศึกษานี้ ผู้วิจัยพิจารณาในแง่ที่มีวัตถุดิบค่อนข้างจำกัด จึงเป็นสูตรที่จำเป็นต้องใช้ดินขุยไผ่ปริมาณที่น้อยเป็นแหล่งจุลินทรีย์ (ใช้ฟางข้าวต่อดินขุยไผ่; 8:1 โดยปริมาตรในสูตร T4 และ T5) ตั้งกองปุ๋ยหมักตามกรรมวิธีที่ช่วยให้อากาศไหลเวียนในกองปุ๋ยหมักได้ เพื่อลดแรงงานในการกลับกองปุ๋ยหมัก และมีการดูแลกองปุ๋ยโดยให้มีการใช้น้ำน้อยกว่าปกติ ก็สามารถย่อยสลายฟางข้าวจนได้ปุ๋ยหมักได้ดีเทียบเท่ากับการให้น้ำแก่กองปุ๋ยหมักตามปกติ ดังนั้นหากเกษตรกรหรือผู้สนใจรายใดอยู่ใกล้แหล่งวัตถุ**ดิบในการทำปุ๋ยหมัก เช่น อยู่ใกล้แหล่งมูลโค หรือมีเศษพืชสดจำนวนมาก เป็นต้น ก็สามารถเพิ่มวัตถุดิบดังกล่าวลงในกองปุ๋ยหมักได้ นับว่านอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายแล้ว ยังเป็นการเพิ่มแร่ธาตุอาหารให้แก่ปุ๋ยหมักอีกด้วย**

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2551. พระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ. 2518 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

จันทนา ยะจา. 2555. ผลของจุลินทรีย์ พด.11 สำหรับปอเทืองร่วมกับซลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพ ของกรมพัฒนาที่ดินต่อการเจริญเติบโตของผลผลิตของข้าวพันธุ์ กข 21 ในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน. ทะเบียนวิจัย 53 55031203000 020 109 01 11.

จารุวรรณ บัวทอง อ้างอิง บุญมี ศีริ. ม.ป.ป. วิทยาการเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาการพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น. หน้า 12-56.

ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2530. ธาตุอาหารพืช, หน้า 445-508. *ใน* เอกสารการสอนชุดวิชาเกษตรทั่วไป 4: ดิน น้ำ และปุ๋ย. มหาวิทาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. 2551. คู่มือการผลิตปุ๋ยหมักแบบไม่พลิกกองระบบเติมอากาศ. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, ศูนย์สาธิตการผลิตปุ๋ยหมักระบบกองเติมอากาศ แม่โจ้ 70 ปี. เชียงใหม่.

ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ. ภาควิชาปฐพีวิทยาคณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม.

นันทรัตน์ ศุภกำเนิด. 2558. การจัดการดินและปุ๋ยสำหรับพืชสวน. สถาบันวิจัยพืชสวน, กรมวิชาการเกษตร.

บรูด ลินคิส และ เพง เช้งซื้อ. 2548. การจัดการกับธาตุอาหารสำหรับข้าวนาพื้นที่ราบใน ส.ป.ป. ลาว. สถาบันวิจัยเกษตรกรรมและป่าไม้. กระทรวงเกษตรและป่าไม้. 100 หน้า.

ปรีชา พราหมณีย์, ประพันธ์ ประเสริฐศักดิ์ และจักรินทร์ ศรัทธาพร. 2544. การทดสอบการใช้ปุ๋ยเคมีอ้อยตามค่าวิเคราะห์ดิน. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2544, ศูนย์วิจัยพืชไร่ สุพรรณบุรี, สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร.

ทัศนีย์ แก้วมรกฎ. 2557. การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหอมแดง กระดูกโคเผาป่น และมูลแพะ. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

ณริสสา กิติชัยชาญ นาวียา บุญงาม และมรกต ลมสถิต. 2558. ผลของปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและดินขุยไผ่ทดแทนมูลวัวต่อการงอกของข้าวไร่นาสารและผักบุ้ง. คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากรวิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี. เพชรบุรี.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2547. **ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ**. โอ เอส พรินติง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ.

มณเฑียร จินดา สมศักดิ์ เหลืองศิโรรัตน์ และ เสน่ห์ ฤกษ์วีรี. 2542. อิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์แลปุ๋ยเคมีที่มีต่อสมบัติของดินและผลผลิตข้าวในดินนาชุดนครปฐม. น. 72-89. *ใน:* รายงานผลการค้นคว้าวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2536-2539. กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว. กองปฐพีวิทยา, กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน, พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร. 519 หน้า.

รายงานผลการวิจัยดิน-ปุ๋ยพืชไร่ เล่มที่ 2. 2533. กลุ่มงานวิจัยดินและปุ๋ยพืชไร่ กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. หน้า 238-252.

วิเชียร ฝอยพิกุล. 2548. เทคนิคการใช้ดิน-ปุ๋ย-น้ำ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, สุรินทร์. 404 หน้า.

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ. 2554. การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ไม่พลิกกลับกองวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1. องค์ความรู้และนวัตกรรมด้านเกษตรอินทรีย์ ปีพ.ศ.2552-2553. http://www.nia.or.th/organic/books/14_1.pdf. (สืบค้นวันที่ 25 มิถุนายน 2556)

สำนักวัฒนธรรมจังหวัดประจวบคีรีขันธ์. 2557. กระเหรี่ยงป่าละอู. แหล่งที่มา: http://province.m-culture.go.th/prachuapkhirikhan/?p=980. 28 ธันวาคม 2558.

สมาพร เรืองสังข์. 2554. การคัดเลือกแบคทีเรียละลายหินฟอสเฟตจากดินบริเวณไรโซสเฟียร์ของไผ่ในป่าชุมชนบ้านพุเตย อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี. *วารสารวไลยอลงกรณ์ปริทัศน์*. 1(2):51-58.

หลักการใช้ปุ๋ยเคมีให้ได้ผลดี. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ. เล่มที่ ๑๘. เรื่องที่ ๘ ดินและปุ๋ย.

อรพิน เกิดชูชื่น และผ่องพรรณ พุทธาโร. 2545. **อิทธิพลของปุ๋ยยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟตต่อ growth rate, leaf area index และ net assimilation rate ของข้าวเจ้าหอมพันธุ์ปทุมธานี 1**. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ*. 25: 233-243.

อานัฐ ตันโช. 2550. บทบาทและความสำคัญของจุลินทรีย์ในการเกษตร เกษตรธรรมชาติประยุกต์. ศูนย์ข้อมูลเกษตรธรรมชาติแม่โจ้, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

อรรถกร พรมวี. 2551. การคัดเลือกและพัฒนาเชื้อรา *Trichoderma spp.* ที่แยกได้จากดินขุยไผ่เพื่อใช้ควบคุมโรคเน่าระดับดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของคะน้า. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ม ปทุมธานี.

อังคณา ใสเกื้อ. 2556. การแยกและการคัดเลือกเชื้อราไตรโคเดอร์มาจากดินขุยไผ่บริเวณอุทยานแห่งชาติน้ำตกโยง จังหวัดนครศรีธรรมราชที่มีศักยภาพ ในการยับยั้งเชื้อรา *Phytophthora palmivora* (Butler) Butler. Sci. & Tech. RMUTT J. 3: 1-13.

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2558. ปลูกพืชอินทรีย์ไม่ดีอย่างที่คิด ปลูกพืชปลอกภัยจากสารพืชดีกว่าไหม. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน, กรุงเทพฯ.

Akaracharanya, A., Taprig, T., Sitdhipol, J., and Tanasupawat, S. 2014. Characterization of cellulase producing *Bacillus* and *Paenibacillus* strains from Thai soils. *J. Appl. Pharm. Sci.* 4: 006-011.

Akinnifesi, F. K., Makumba, W., Sileshi, G. W., and Ajayi, O.C., 2009. Farmer participatory assessment of two researcher-managed fertilizer tree systems in Southern Malawi. *Afr. J. Agric. Res*. 4: 269-277.

Akinnifesi, F. K., Makumba, W., and Kwesiga, F. R., 2006. Sustainable maize production using Gliricidia-maize intercropping in southern Malawi. *Exp. Agric*. 42: 441-457.

Alam, S., Khalil, S., Ayub, N., and Rashid, M. 2002. *In vitro* solubilization of inorganic phosphate by phosphate solubilizing microorganisms (psm) from maize rhizosphere. *Int. J. Agri. Biol*. 4: 454-458.

Azeez, J. O., and Averbeke, W. V. 2010. Nitrogen mineralization potential of three animal manures applied on a sandy clay loam soil. *Bioresource. Technol*. 101:5645 – 5651.

Baggie, I., Rowell, D. L., and Warren, G. P. 2004. Utilisation by upland rice of plant residueand fertilizer-phosphorus in two tropical acid soils. *Nutr. Cycl. Agroecosys*. 69: 73-83.

Balakrishna, G., Shanker, A. S., and Pindi, P. K. 2012. Isolation of phosphate solibulizing actinomycetes from forest soils of Mahabubnagar district. *IOSR. J. Pharm*. 2:271-275.

Bamigboye, O. O. 2013. Screening of some fungi associated with maize cob degradation for cellulase activity. *Greener. J. Agr. Sci.* 3:497-501.

Barrow, G. I., and Feltham, R. K. A. 1993. Cowan and Steel's manual for the identification of medical bacteria, 3rd ed. Cambridge : Cambridge University press.

Bary, A., Cogger, C., and Sullivan, D. M. 2000. Fertilizing with manure. Washington State University Extension, USA.

Benito, M., Masaguer, A., Moliner, A., Arrigo, N., and Palma, R. M. 2003. Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and maturity of pruning waste compost. *Biology & fertility of soils.* 37: 184-189.

Brady, N.C. 2005. The nature and properties of soil (13th Ed.). MacmillanPublishing Co. New York.

Book, A. J., Lewin, G. R., McDonald, B. R., Takasuka, T. E., Doering, D. T., Adams, A. S., Blodgett, J. A. V., Clardy, J., Raffa, K. F., Fox, B. G., and Currie, C., R. 2016. Cellulolytic Streptomyces strains associated with herbivorous insects share a phylogenetically linked capacity to degrade lignocellulose. *Appl. Environ. Microbiol*. 80:4692-4701.

Chen, Y. P., Rekha, P. D., Arun, A. B., Shen, F. T., Lai, W. –A., and Young, C. C. 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Appl. Soil. Ecol*. 34:33-41.

Chirwa, T.S., Mafongoya, P.L., and Chintu, R., 2003. Mixed planted-fallows using coppicing and non coppicing trees for degraded Acrisols in eastern Zambia. *Agroforest. Syst.* 59, 243–251.

Dada, O. A., Togun, A. O., Adediran, J. A., and Naradhiwas, F. E. 2014. Growth nutrient uptake efficiency and yield of upland rice as in fluenced by two compost-derived savannah transition zone. *Agricultural Science.* 5: 383-393.

Ding, Y., Wang, J., Liu, Y., and Chen, S. Isolation and identification of nitrogen-fixing bacilli from plant rhizospheres in Beijing region. *J. Appl. Microbiol*. 99:1271-1281.

Eklind, Y., and Kirchmann, H. 2000. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments, II. Nitrogen turnover and losses. *Biores. Technol.* 74: 125-133.

Elliot, L., Cochran, V. L., and Papendick, R. I. 1981. Wheat residues and nitrogen placement effects on wheat growth in green house. *Soil. Sci.* 131: 48-52.

Eneji, A. E., Yamamoto S., and Honna T. 2001. Rice growth and nutrient uptake as affected by livestock manure in four Japanese soils. *J. Plant Nutr*. 124: 333–343.

Fageria, N. K. 2007. Green manuring in crop production. *J. Plant Nutr*. 30: 691–719.

Fang, M., and Wong, J. W. C. 1999. Effects of lime amendment on availability of heavy metals and maturation in sewage sludge composting. *Environ. Pollut*. 106: 83-89.

Felsenstein, J. 1985. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution.* 39:783–791.

Gagnon, B., and Simard, R. R. 1999. Nitrogen and phosphorus release from on-farm and industrial compost. *J. Soil. Sci.* 79: 481 – 489.

Gaur, A. C., Neelakantan, S., and Dargan, K. S., 1990. Organic manures. I.C.A.R. Newdlhi. India.

Gill, H. S., and Meelu, O. P. 1986. Studies of the substitution of inorganic fertilizers with organic manure and their effect on soil fertility in rice wheat rotation. *Fertil. Res*. 3: 303–313

Gomes, E., A., de Cássia Silva, U., Marriel, I. E., de Oliveira, C. A., and de Paula Lana, U. G. 2014. Rock phosphate solubilizing microorganisms isolated from maize rhizosphere soil. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo,* v.13, n.1, p. 69-81.

Gothwal, R. K., Nigam, V. K., Mohan, M. K., Sasmal, D., Ghosh, P. 2008. Screening of nitrogen fixers from rhizospheric bacterial isolates associated with important desert plants. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 6:101-109.

Gupta, N., Sabat, J., Parida, R., and Kerkatta, D. 2007. Solubilization of tricalcium phosphate and rock phosphate by microbes isolated from chromite, iron, and manganese mines. *Acta. Bot. Croat*. 66:197-204.

Gupta, P., Samant, K., and Sahu, A. 2012. Isolation of cellulose-degrading bacteria and determination of their cellulolytic potential. *Int. J. Microbiol*. (doi:10.1155/2012/578925)

Hamdali, H., Smirnov, A., Esnault, C., Ouhdouch, Y., Virolle, M. J. 2010. Physiological studies and comparative analysis of rock phosphate solubilization abilities of Actinomycetales originating from Moroccan phosphate mines and of *Streptomyces lividans*. *Appl. Soil. Ecol.* 44:24-31.

Hasanuzzaman, M., Ahamed, K. U., Rahmatullah, N. M., Akhter, N., Nahar, K. and Rahman, M. L. 2010. Plant growth characters and productivity of wetland rice (*Oryza sativa* L.) as affected by application of different manures, *Emir. J. Food Agric.* 22(1): 46-58.

Hung, G. F., Wong, J. W. C., Wu, Q. T., and Nagar, B. B. 2004. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Management*. 24: 805-813.

Huang, N., Courtois, B., Khush, G. S., Lin, H. X., and Wang, G. L. 1996. Assoociation of quantitative trait loci for plant height with major dwarfing genes in rice. *Heredity.* 77: 130-137.

Ikerra, S. T., Maghembe, J. A., Smithson, P.C., and Buresh, R. J., 1999. Soil nitrogen dynamics and relationships with maize yields in Gliricidia-maize intercrop in Malawi. *Plant Soil.* 85: 267–303.

Janaki, T., Nayak, B. K., and Ganesan, T. 2014. Different pre-treatment methods in selective isolation of actinomycetes from mangrove sediments of Ariyankuppam back water Estuary, Puducherry. 2014. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci.* 1:154-163.

Jeffrey, L. S. H., and Azrizal, M. R. 2007. Screening for cellulase activities in actinomycetes isolated from different locations of Peninsular Malaysia. *J. Trop. Agric. and Fd. Sc.* 35:153-157.

Jog, R., Pandya, M., Nareshkumar, G., and Rajkumar, S. 2014. Mechanism of phosphate solubilization and antifungal activity of *Streptomyces* spp. Isolated from wheat roots and rhizosphere and their application in improving plant growth. *Microbiol.* 160:778-788.

Johnsgradnson. 2558a. อินทรียวัตถุในดินคืออะไร. แหล่งที่มา: www.weloveshopping.com /template/a06/show_article.php?shopid=26601&qid=32337. 20 เมษายน 2558.

Johnsgradnson. 2558b. ประโยชน์ของฮิวมัส. แหล่งที่มา: http://www.weloveshopping.com /template/a06/show_article.php?shopid=26601&qid=38861. 20 เมษายน 2558.

Junrungreang, S., Rossopa, B., and Sajjaphan, K. 2009. Effect of phosphate-solubilizing bacteria, *Burkholderia* sp. strain Rs01, on growth of Insee 2 sweet corn. *Kamphaengsean Academic Journal*. 8:1-14.

Kang, H., Shannon, D A., Prior, S. A., and Arriaga, F. J., 2009. Hedgerow pruning effect on light interception, water relations and yield in Alley-cropped maize. *J. Sustain. Agric.* 31: 115–137.

Keeling, A. A., Griffiths, B. S., Ritz, K. and Myers, M. 1995. Effects of compost stability on plant growth, microbiological parameters and nitrogen availability in media containing mixed garden waste compost. *Bioresoure technology* 54: 279-284.

Khan, A. A., Jilani, G., Akhtar, M. S., Naqvi, S. M. S., and Rasheed, M. 2009. Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production. *Journal agriculture biology Science*. 1:48-58.

Khianngam, S., Tanasupawat, S., Akaracharanya, A., Kim, K. K., Lee, K. C., and Lee, J. –S. 2012. *Cohnella cellulosilytica* sp. nov., isolated from buffalo faeces. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*. 62:1921-1925.

Khoshgoftarmanesh, A. H. and Kalbasi, M. 2002. Effect of municipal waste leachate on soil propertiesand growth and yield of rice. *Commun.Soil Sci. Plant Analysis*. 33(13-14): 2011-2020.

Kim, S. –W., Kim, S., Lee, H., -J., Park, J. –W., and Ro, H. –S. 2013. Isolation of fungal pathogens to an edible mushroom, *Pleurotus eryngii*, and development of specific ITS primers. *Mycobiol.* 41: 252-255.

Kimaro, A. A., Timmer, V. R., Chamshama, S. A. O., Mugasha, A. G., and Kimaro, D. A., 2008. Differential response to tree fallows in rotational woodlot systems in semi-arid Tanzania:

post-fallow maize yield, nutrient uptake and soil nutrients. *Agric. Ecosyst. Environ*. 125: 73–83.

Kimaro, A. A., Timmer, V. R., and Mugasha, A. G., 2007. Nutrient use efficiency and biomass production of tree species for rotational woodlot systems in semi-arid Morogoro, Tanzania. *Agroforest. Syst.* 71: 175–184.

Kwesiga, F. R., Akinnifesi, F. K., Mafongoya, P. L., McDermott, M. H., and Agumya, A., 2003. Agroforestry research and development in Southern Africa during 1990s review and challenges ahead. *Agroforest. Syst*. 53: 173–186.

Mafongoya, P. L., Kuntashula, E., and Sileshi, G., 2006. Managing soil fertility and nutrient cycles through fertilizer trees in Southern Africa. In: Uphoff, N., Ball, A.S., Fernandes, E., Herren, H., Husson, O., Liang, M., Palm, C., Pretty, J., Sanchez, P., Sanginga, N., Thies, J. (Eds.), Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 273–289.

Makumba, W., Akinnifesi, F. K., and Janssen, B., 2007. Long-term impact of a Gliricidiamaize intercropping system on carbon sequestration in southern Malawi. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118: 237–243.

Makumba, W., and Akinnifesi, F. K., 2008. Mineralization and N-use efficiency of tree legume prunings from fertilizer tree systems and low quality crop residues in Malawi. *Afr. J. Biotechnol*. 7: 3266–3274.

Man, L. H., Khang, V. T., and Watanabe, T. 2002. Improvement of soil fertility by rice straw manure. *Omonrice*. 10: 79-86.

Martin, J. P., Branson, R. L. and Jarrell, W. M., 1978. Decomposition of organic material used in planting mixes and some effects on soil properties and plant growth. *Agrochimica.* 22: 248-261.

Mghase, J. J., Shiwachi, H., Takahashi, H., and Irie. K., 2011. Nutrient deficiencies and their symptoms in upland rice. *J. ISSAAS*. 17(1): 59-67.

Miller, G. L. 1959. Use of dinitrosalycylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical. Chemistry.* 31:538-542.

Miller, G. L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem*. 31:426-428.

Mohammadi, K., Sohrabi, Y. 2012. Bacterial biofertilizers for sustainable crop production: a review. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*. 7:307-316.

Mohammadi, K. 2012. Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production. *Resources. Environ*. 2:80-85.

Mutert, E., and Fairhurst, T. H. 2002. Developments in rice production in Southeast Asia in better crops international 15, Special supplement pp. 12-17.

Mweta, D. E., Akinnifesi, F. K., and Saka, J. D. K. 2007. Green manure from prunings and mineral fertilizer affect phosphorus adsorption and uptake by maize crop in a Gliricidia-maize intercropping. *Sci. Res. Essays.* 2: 446–453.

Nosrati, R., Owlia, P., Saderi, H., Rasooli, I., and Ali Malboobi, M. 2014. Phosphate solubilization characteristics of efficient nitrogen fixing soil *Azotobacter* strains. *Iran. J. Microbiol.* 6:285-295.

Nunkaew, T., Kantachote, D., Nitoda, T., and Kanzaki, H. 2012. The use of rice straw broth as an appropriate medium to isolate purple nonsulfur bacteria from paddy fields. *Electronic Journal of Biotechnology*. 15, no 6 (http://dx.doi.org/10.22.25/vol 15-issue6-fulltext-8).

Okon, Y., Albrecht, S. L., and Burris, R. H. 1977. Methods for growing *Spirillum lipoferum* and for counting it in pure culture and in association with plants. *Appl. Environ. Microbiol*. 33:85-88.

Orr, C. H., James, A., Leifert, C., Cooper, J. M., and Cummings, S. P. 2011. Diversity and activity of free-living nitrogen-fixing bacteria and total bacteria in organic and conventionally managed soils. *Applied and Environmental Microbiology*. 77:911-919.

Oteng, J. W., and Sant'Anna, R. 1999. Rice production in Africa: current situation and issues. International Rice Commission Newsletter. 48 pp.

Osatapa Y. 2003. Plant nutrient. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture. Kasetsart University. Bankok.

Oyeyemi, A. D., Adeniyi, O. T., James, A. A., and Francis, E. N. 2014. Growth, nutrient uptake efficiency and yield of upland rice as influenced by two compost types in tropical rain forest-derived Savannah transition zone. *Agricultural Sciences*. 5: 383-393.

Pullicino, D., Erriquens, F. G. and Gigliotti, G. 2007. Changes in the chemical characteristics of water extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. *Bioresource Technology*. 98, 1822-1831.

Patagundi, B. I., Shivasharan, C. T., and Kaliwal, B. B. 2014. Isolation and characterization of cellulase producing bacteria from soil. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 3:59-69.

Pattanayak, S. K., Mishra, K. N. Jena, M. K. and Nayak, R. K. 2001. Evaluation of green manurecrops fertilized with various phosphorus sources and their effect on subsequent rice crop. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 49(2): 285-291.

Poirier, Y. and Bucher, M. 2002. Phosphate transport and homeostasis in Arabidopsis. American Society of Plant Biologists, 35 pp.

Polthanee, A., Tre-loges, V., and Promsena, K. 2008. Effect of rice straw management and organic fertilizer application on growth and yield of dry direct-seeded rice. *Paddy Water Environ*. 6: 237-241.

Qui, P. and Calcinai, M. 1978. Influence of long-term application of organic fertilizers on partition of ex changeable cationsin soil. *Agrochimca.* 22: 486-491.

Ram, L., Kaur, K., and Sharma, S. 2014. Screening isolation and characterization of cellulase producing micro-organisms from soil. *Int. J. Pharm. Sci. Inven*. 3:12-18.

Rao, E. V. S. P. and Prasad, R. 1980. Nitrogen leaching losses from conventional and new nitrogenous fertilizers in lowland rice culture. *Plant Soil*. 57: 383-392.

Rawat, I., and Suthar, S. 2014. Composting of tropicacl toxic weed *lantana camera* L. biomass and its suitability for agronomic applications. *Compostbscience & Utilization.* 22(3): 105-115.

Ray, T. M. 1999. Essential plant Nutrients: their presence in North Carolina soils and role in plant nutrition. Agronomic division, NCDA & CS. 9 pp.

Reddy, K. S., Mohanty, M., and Rao, D. L. N., 2008. Nitrogen mineralization in a vertisol from organic manures, green manures and crop residues in relation to their quality. *Agrochimica.* 52, 377–388.

Rosmarkam, A. dan N. W. Yuwono. 2002. Ilmu Kesuburan Tanah. Penerbit Kanisius, Yokyakarta.

Ruangsanka, S. 2014. Identification of phosphate-solubilizing bacteria from the bamboo rhizosphere. *Science. Asia*. 40: 204-211.

Sanchez, P. A., Shepherd, K. D., Soule, M. J., Place, F. M., Mokwunye, A. U., Buresh, R. J., Kwesiga, F. R., Izac, A. N., Ndiritu, C. G., and Woomer, P. L. 1997. Soil fertility replenishment in Africa: An investment in natural resource capital. In: Replenishing soil fertility in Africa. Buresh, R. J., Sanchez, P. A. (Eds.). (Spec. Publ. No. 51, Soil Science Society of America, Madison), WI. pp. 1-46.

Sangakkara, U. R., Liedgens, M., and Soldati, A. 2004. Root and shoot growth of maize (*Zea mays*) as affected by incorporation of Crotalaria juncea and *Tithonia diversifolia* as green manures. *J. Agron. Crop Sci*. 190: 339–346.

Saitou, N. & Nei, M. (1987). The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. 4: 406–425.

Sarwar, G. Schmeisky, H., Hussain, N., Muhammad, S., Ibrahim, M., and Ehsan, S. 2008. Improvement of soil physical and chemicalproperties with compost application inrice-wheat cropping system. *Pak. J. Bot.* 40(1): 275-282.

Satapute, P. P., Olekar, H. S., Shetti, A. A., Kulkaeni, A. G., Hiremath, G. B., Patagundi, B. I., Shivsharan, C. T., and Kaliwal, B. B. 2012. Isolation and characterization of nitrogen fixing *Bacillus subtilis* strain AS-4 from agricultural soil. *International Journal of Recent Scientific Research*. 3(9):762-765.

Selvakumari, G., Baskar, M., Jayanthi, D., and Mathan, K. K. 2000. Effect of integration of Flyashwith fertilizers and organic manures on nutrient availability, yield and nutrient uptake of rice in alfisols. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 48(2): 268-278.

Samar, S., Malik, R. K., Mangat, R., Singh, S., and Ram, M., 1999. Effect of rice straw burning on the efficacy of herbicides in wheat. *Indian J. Agron*. 44:361–366.

Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., and Gobi, T. A. 2013. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*. 2:587.

Sharma, S., Kumar, V., and Tripathi, R. B. 2011. Isolation of phosphate solubilizing microorganism (PSMs) from soil. *J. Microbiol. Biotech. Res*. 1:90-95.

Shepherd, K. D., and Soule, M. J. 1998. Soil fertility management in West Kenya: Dynamic simulation of productivity, profitability and sustainability at different resources endowment levels. *Agric. Ecosystem, Environment*. 71: 133-147.

Siddiqui, Y., Meon, S., Ismail, R., and Rahmani, M. 2009. Bio-potential of compost tea from agro-waste to suppress *Choanephora cucurbitarum* L. the causal pathogen of wet root of okra. *Biological control.* 49: 38-44.

Sileshi, G., and Mafongoya, P. L. 2006. Long-term effects of improved legume fallows on soil invertebrate macrofauna and maize yield in eastern Zambia. *Agric. Ecosyst. Environ*. 115: 69–78.

Singh, M., Singh, V. P., and Reddy, K. S. 2001. Effect of Integrated use of fertilizer nitrogen and Farmyard manure or Green manure on transformation of N, K and S and productivity of rice wheat system on a vertisol*. J. Indian Soc. Soil Sci*. 49(3): 430-435.

Singh, S., Singh, R. N., Prasad, J. and Kumar, B. 2002. Effect of green manuring, FYM and biofertilizer in relation to fertilizer nitrogen on yield and major nutrient uptake by upland rice. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 50(3): 313-314.

Singh, R., and Agarwal, S. K. 2001. Analysis of growth and productivity of wheat in relation to levels of FYM and nitrogen*. Indian Journal of Plant Physiology*, 6: 279-83.

Silva, J. A. and Uchida,. R. 2000. Essential nutrients for plant growth: nutrient functions and deficiency symptoms. Collegeof Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa.

Silva, G. T. A., Matos, L. V., and Nobrega, P. D., 2008. Chemical composition and decomposition rate of plants used as green manure. *Sci. Agric*. 65: 298–305.

Smiciklas, K. D., Walker, P. M. and Kelley, T. R. 2002. Utilization of compost (Food, paper, landscape and manure) in row crop production. Department of Agriculture and HealthSciences, Illinois State University, USA.

Smith, F. W., Jackson, W. A., and Van den Berg, P. J. 1990. Internal phosphorus Flows during development of phosphorus stress in *Styolosantheshamata Aust. J. Plant Physiol*. 17: 451-462.

Sophea, K. and Preston, T. R. 2001. Comparison of biodigester effluent and urea as fertilizer for water spinach vegetable. Livestock Research for Rural Development (13)6: (http://www.lrrd.org/lrrd13/6/kean136.htm).

Sudto, A., Punyathiti, Y., and Pongsilp, N. 2008. The use of agricultural wastes as substrates for cell growth and carboxymethy cellulose (CMCase) production by *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* and *Rhizobium* sp. *KMITL Sci. Tech. J.* 8: 84-92.

Sutthathorn, C, Niwooti, W., and Arunotha, J. 2014. Responses of water spinach (*Ipomoea aquatic* Forssk.) on growth, morphology, uptake rate and nutrients allocation under high ammonium concentration, *Chiang Mai J. Sci.* 2014. 41(2): 324-333.

Tallapragada, P., and Seshachala, U. 2012. Phosphate-solubilizing microbes and their occurrence in the rhizospheres of Piper betel in Karnataka, India. *Turk. J. Biol*. 36:25-35.

Thompson, J. D., Gibson, T. J., Plewniak, F., Jeanmougin, F., and Higgins, D. G. 1997. The CLUSTAL_X windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. *Nucleic. Acids. Res* 25: 4876–4882.

Tom, L. R. and Hamelers, H. V. M. (Bert)., Adrie, V. and Tiago, S. 2002. Moisture relationship inncomposting processes. *Compost. Sci. Unit.* 10: 286 – 302.

Tisdal, S. L., Nelson, W., and Nelson, L. 1975. soil fertility and fertilizers. Third edition. Mcmillan Pudlishing Co. Inc. 694 pp.

Tu, Z., Chen, L., Yu, X., and Zheng, Y. 2014. Rhizosphere soil enzymatic and microbial activities in bamboo forests in southeastern Chian. *Soil. Sci. Plant. Nutri.* 60:134-144.

Uma Maheswar, N., and Sathiyavani, G. 2012. Solubilization of phosphate by *Bacillus Sps*, from groundnut rhizosphere (*Arachishypogaea L*). *J. Chem. Pharm. Res.* 4:4007-4011.

Watanabe, F., S., and Olsen, S., R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and $NaHCO_3$ extracts from soil. *Soil Sci. Soc. American Proceed*. 29:677–678.

Verma, T. S., Suri, V. K., and Paul, J. 2002. Prescription-based fertilizer recommendations for rice, maize and wheat in different agro-climatic zones of Himachal Pradesh. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 50(3): 272-277.

Wen, Z., Liao, W., and Chen, S. 2005. Production of cellulase by *Trichoderma reesei* from dairy manure. *Bioresour. Technol*. 96:491-499.

Wong, J. W. C., Li, G. X. and Wong, M. H. 1995. Coal fly ash a compoostting matrial for sewage : Effect on microbial activites. *Environ. Technol.* 16: 527-537.

Xiao, C., Chi, R., He, H., Qiu, G., Wang, D., and Zhang, W. 2009. Isolation of phosphate-solubilizing fungi from phosphate mines and their effect on wheat seedling growth. *Appl. Biochem. Biotechnol*. 159:330-342.

Yasser, M. M., Mousa, A. S. M., Massoud, O. N., and Nasr, S. H. 2014. Solubilization of inorganic phosphate by phosphate solubilizing fungi isolated from Egyptian soils. *J. Biol. Earth. Sci.* 4: 83-90.

Yaduvanshi, N. P. S. 2001. Effect of five years of rice-wheat cropping and NPK fertilizer use withand without organic and green manures on soil properties and crop yields in a reclaimed sodic soil. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 49(4): 714-719.

Yamazaki, K. and harada., J. 1982. The root system formation and its possible bearings on grain yeid in rice in rice plant. *Japan Agriculture Research Quarterly*. 15: 153-160.

Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. Los Baños: International Rice Research Institute, cap.1, p.1-63.

Zhang, Y. J, Chen, Y. Y, Yan, G. J., Du, B., Zhou, Y. R., and Yang, J. C. 2009. Effect of nutrition on grain quality in upland rice zhonghan 3 and paddy rice yangjing 9538 under different cultivation methods. *Acta Agronomica Sinica.* 35(10): 1866-1874.

Zingore, S., Mafongoya, P., Nyamugafata, P., and Giller, K., 2003. Nitrogen mineralization and maize yield following application of tree prunings in sandy soil in Zimbabwe. *Agroforest. Syst*. 57: 199–211.

ภาคผนวก ก

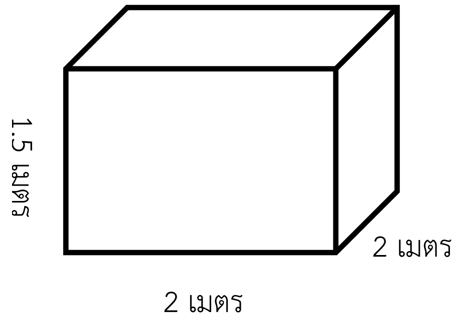
การตั้งกองปุ๋ยหมักและการวัดอุณหภูมิ และการสุ่มเก็บตัวอย่าง

1.การตั้งกองปุ๋ยหมัก

1.1 ปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน (T1) ขนาด กว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 1.5 เมตร เป็นทรงลูกบาศก์ ซึ่งประกอบไปด้วยอัตราส่วน

ฟาง	500	กิโลกรัม
มูลโค	100	กิโลกรัม
ปุ๋ยยูเรีย	1	กิโลกรัม
พด.1	½	ซอง

โดยการวางแต่ละชั้นประกอบไปด้วย วางฟาง 62 กิโลกรัม ขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร ตามด้วยราดด้วยมูลวัว 12 กิโลกรัม ให้เต็มพื้นที่ และโปรยด้วยปุ๋ยยูเรีย 0.125 กิโลกรัม ให้เต็มพื้นที่และรดด้วยสารละลายพด.1 ทุกชั้น และแต่ละชั้นทำการเหยียบกองให้แน่นรดน้ำให้ชุ่ม รดน้ำทุกวันพลิกกองทุก 15 วัน

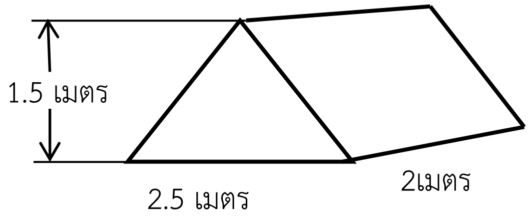


ภาพผนวกที่ 1 ปุ๋ยสูตรตามกรมพัฒนาที่ดิน

1.2 ปุ๋ยสูตรตามแบบวิศกรรมแม่โจ้ (T2) กว้าง 2.5 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 1.5 เมตรเป็นทรงสามเหลี่ยมปริซึม ซึ่งประกอบไปด้วยอัตราส่วน

ฟาง : มูลโค สัดส่วน 4 : 1 โดยปริมาตร และให้น้ำทุกวัน

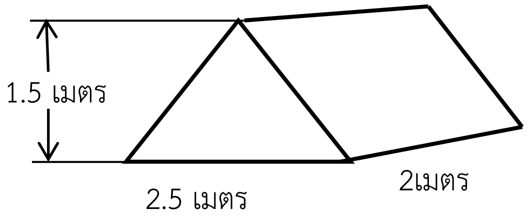
วิธีการวางเรียงวัสดุแต่ละชั้น โดยแต่ละชั้นวางฟางแผ่ให้เต็มพื้นที่ที่กำหนดสูง 10-15 เซนติเมตร โดยไม่ต้องเหยียบย่ำให้แน่น ตามด้วยโรยมูลวัยให้เต็มพื้นที่สูงไม่เกิน 5 เซนติเมตร และรดน้ำให้ชุ่ม ตั้งกองปุ๋ยสูง 15-20 ชั้น โดยบีบให้ยอดแหลมเป็นรูปสามเหลี่ยมดังภาพผนวกที่ 2 จะได้ความสูง 1.5 เมตร



ภาพผนวกที่ 2 ปุ๋ยสูตรตามแบบวิศกรรมแม่โจ้

1.3 ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่ (T3) กว้าง 2.5 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 1.5 เมตรเป็นทรงสามเหลี่ยมปริซึม ซึ่งประกอบไปด้วยอัตราส่วน

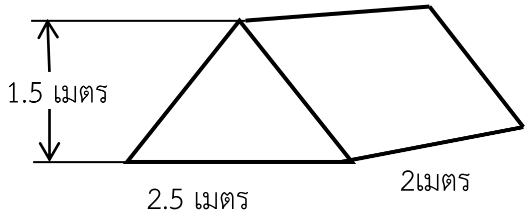
ฟาง : พืชสด : มูลโค : ดินขุยไผ่ สัดส่วน 3 : 1 : 0.25 : 0.75 โดยปริมาตร และให้น้ำทุกวัน ผสมดินขุยไผ่กับมูลวัวสัดส่วน ดินขุยไผ่สามส่วนต่อมูลวัวหนึ่งส่วนไว้ก่อน การจัดวางวัสดุของกองปุ๋ยหมัก โดยแต่ละชั้นวางฟางแผ่ให้เต็มพื้นที่ที่กำหนดสูง 10-15 เซนติเมตร โดยไม่ต้องเหยียบย่ำให้แน่น ตามด้วยโรยของผสมดินขุยไผ่กับมูลวัวให้เต็มพื้นที่สูงไม่เกิน 5 เซนติเมตร และรดน้ำให้ชุ่มตั้งกองปุ๋ยสูง 15-20 ชั้น โดยบีบให้ยอดแหลมเป็นรูปสามเหลี่ยมดังภาพผนวกที่ 3 จะได้ความสูง 1.5 เมตร



ภาพผนวกที่ 3 ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดินขุยไผ่

1.4 ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดิยขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ (T4) กว้าง 2.5 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 1.5 เมตรเป็นทรงสามเหลี่ยมปริซึม ซึ่งประกอบไปด้วยอัตราส่วน

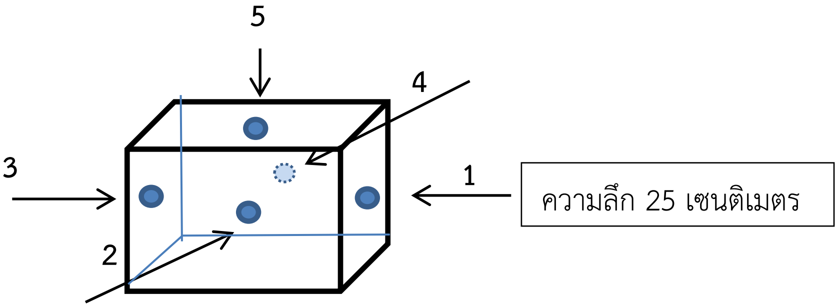
ฟาง : พืชสด : มูลโค : ดินขุยไผ่ สัดส่วน 3 : 1 : 0.25 : 0.75 โดยปริมาตร และให้น้ำทุก 3 วัน การตั้งกองปุ๋ยหมัก กระทำเช่นเดียวกับกองปุ๋ยหมักในข้อ 1.3



ภาพผนวกที่ 4 ปุ๋ยสูตรทดแทนมูลโคด้วยดิยขุยไผ่ หมักโดยให้ขาดน้ำ

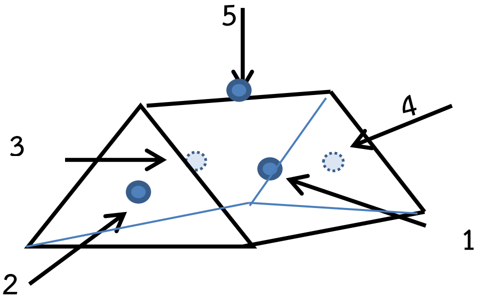
2. การวัดอุณหภูมิ

2.1 นำเทอร์โมมิเตอร์ วัดอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยตามกรมพัฒนาที่ดิน T1 ความลึก 25 เซนติเมตร ทั้งหมด 5 จุด ตามภาพผนวกที่ 5



ภาพผนวกที่ 5 การวัดอุณหภูมิกองปุ๋ยหมักทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์

2.2 นำเทอร์โมมิเตอร์ วัดอุณหภูมิภายในกองปุ๋ย T2 T3 และ T4 ความลึก 25 เซนติเมตร ทั้งหมด 5 จุด ตามภาพผนวกที่ 6



ภาพผนวกที่ 6 การวัดอุณหภูมิกองปุ๋ยหมักทรงสามเหลี่ยมปริซึม

3. การสุ่มเก็บตัวอย่างปุ๋ยจากกองปุ๋ยหมัก

3.1 จะทำการเก็บตัวอย่าง ทั้งหมด 5 จุด ตามภาพผนวกที่ 5 และภาพผนวกที่ 6 โดยจะเก็บที่ความลึก 25 เซนติเมตร

ภาคผนวก ข

สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. **Carboxymethyl cellulose for actinomycetes** (CMCa) (กรัม ต่อ 1000 มิลลิลิตร)

Peptone	1.0	กรัม
Yeast extract	1.0	กรัม
$MgSO_4.7H_2O$	0.5	กรัม
K_2HPO_4	0.5	กรัม
$(NH_4)_2HPO_4$	1.0	กรัม
Sodium carboxymethyl cellulose	10.0	กรัม

pH 7.2 ± 0.2

2. **Carboxymethyl cellulose for bacteria** (CMCb) (กรัม ต่อ 1000 มิลลิลิตร)

Peptone	10.0	กรัม
Sodium carboxymethyl cellulose	10.0	กรัม
K_2HPO_4	2.0	กรัม
$MgSO_4.7H_2O$	0.3	กรัม
$(NH_4)_2SO_4$	2.5	กรัม
Gelatin	2.0	กรัม

pH 7.0 ± 0.2

3. **Carboxymethyl cellulose for fungi** (CMCf) (กรัม ต่อ 1000 มิลลิลิตร)

Sucrose	30.0	กรัม
$NaNO_3$	2.0	กรัม
K_2HPO_4	1.0	กรัม
$MgSO_4$	0.05	กรัม
KCl	0.5	กรัม
$FeSO_4$	0.01	กรัม
Sodium carboxymethyl cellulose	10.0	กรัม

pH 5.0 ± 0.2

4. **Nitrogen free malate** (NM) (กรัม ต่อ 1000 มิลลิลิตร)

K_2HPO_4	6.0	กรัม
$K_2H_2PO_4$	4.0	กรัม
$MgSO_4.7H_2O$	0.2	กรัม
NaCl	0.1	กรัม
$CaCl_2$	0.02	กรัม
NH_4Cl	1.0	กรัม
DL-Malic acid	5.0	กรัม
NaOH	3.0	กรัม
Yeast extract	0.1	กรัม
$FeCl_3$	10.0	มิลลิกรัม
$NaMoO_4.2H_2O$	2.0	มิลลิกรัม
$MnSO_4$	2.1	มิลลิกรัม
H_3BO_3	2.8	มิลลิกรัม
$Cu(NO_3)_2.3H_2O$	0.04	มิลลิกรัม
$ZnSO_4.7H_2O$	0.24	มิลลิกรัม

pH 6.8 ± 0.2

5. **Nutrient Agar** (NA, Difco) (กรัม ต่อ 1000 มิลลิลิตร)

Beef extract	3.0	กรัม
Peptone	5.0	กรัม
Sodium Chloride	8.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม

pH 7.3 ± 0.2

6. **Pikovskaya's agar** (PVK, Himedia) (กรัม ต่อ 1000 มิลลิลิตร)

Glucose	10.0	กรัม
Yeast extract	0.5	กรัม
$(NH_4)_2SO_4$	0.5	กรัม
$MgSO_4.7H_2O$	0.1	กรัม
$Ca_3(PO4)_2)$	5.0	กรัม
NaCl	0.2	กรัม
KCl	0.2	กรัม
$MnSO_4.2H_2O$	0.002	กรัม
$FeSO_4.7H_2O$	0.002	กรัม
Agar	15.0	กรัม

pH 6.8 ± 0.2

7. **Potato Dextrose Agar** (PDA, Difco) (กรัม ต่อ 1000 มิลลิลิตร)

Potato starch	4.0	กรัม
Dextrose	20.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม

pH 5.6 ± 0.2

8. **Yeast starch agar (YSA)** (กรัม ต่อ 1000 มิลลิลิตร)

Yeast extract	2.0	กรัม
Soluble starch	10.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม

pH 7.3 ± 0.2

ภาคผนวก ค

การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. **Color reagent** สำหรับการทดสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟต
   1.1 สารละลาย A เตรียมโดยชั่ง 12 กรัม ของ Ammonium molybdate {$(NH_4)_6Mo_7.4H_2O$} ผสมลงในน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร
   1.2 สารละลาย B เตรียมโดย ชั่ง 0.2908 มิลลิกรัม ของ Antimony potassium tartrate {$K(SbO)C_4H_4O_6.1/2\ H_2O$} ใน 1,000 มิลลิลิตร ของ 5N H_2SO_4 (148 มิลลิลิตร ของ conc.H_2SO_4)
   1.3 ผสมสารละลาย A และ B เข้าด้วยกัน แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 2 L เพื่อให้ได้สารละลาย C
   1.4 เติม Ascorbic acid 0.74 กรัม ลงในสารละลาย C ที่ผสมแล้วปริมาตร 140 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
   1.5 เก็บสารละลายในขวดสีชา

2. **DNS reagent** สำหรับการวิเคราะห์กิจกรรมเซลลูเลส

3,5-dinitrosalicylic acid	0.5	กรัม
Potassium Sodium tartate	150.0	กรัม
Sodium hydroxide	8.0	กรัม

ละลาย Sodium hydroxide 8.0 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 300 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่ประมาณ 60-80℃ แล้วค่อยๆ เติม Potassium Sodium tartate 150 กรัม ลงไปจนละลายหมด แล้วเติม 3,5-dinitrosalicylic acid 0.5 กรัม ลงไปจนละลายหมด แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 500 มิลลิลิตร เก็บไว้ในขวดสีชา

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ นางสาวยุภา ปู่แตงอ่อน
2. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
3. ตำแหน่งทางการบริหาร -
4. สังกัด คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี อ. ชะอำ จ. เพชรบุรี
5. Email-address (มหาวิทยาลัย)
   Email-address (อื่น) p_yupa120@hotmail.com
6. โทรศัพท์มือถือ 097-446-9151
7. โทรศัพท์ที่ทำงาน 032-594038
   โทรสาร 032-594038
8. ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี อ. ชะอำ จ. เพชรบุรี 76120
9. กรณีมีผู้ประสานงานสามารถติดต่อได้ที่
   ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณธิภา ณ เชียงใหม่
   โทรศัพท์ 081-199-5360
   ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี อ. ชะอำ จ. เพชรบุรี 76120
10. ประวัติการศึกษา
    1. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตเคมีอินทรีย์
       2546-2548 ศึกษาระดับปริญญาโท สาขาเคมีอินทรีย์
       คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
    2. วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยศิลปากร ปี 2542
       2539-2542 ศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเคมี
       คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
11. ผลงานวิจัย/ผลงานวิชาการ
    1. ชลธิชา ยวงใย ฐิรชญา ศรีนาทม จักรชัย กาญจนสมศักดิ์ ยุภา ปู่แตงอ่อน และ พรรณธิภา ณ เชียงใหม่. 2553. ความแปรปรวนลักษณะบางประการของข้าวไร่ที่รวบรวมได้จากเกษตรกรบางรายในเขตภาคเหนือของประเทศไทย. วารสารแก่นเกษตร. 38(1):21-28.
    2. ฐิรชญา ศรีนาทม ชลธิชา ยวงใย จักรชัย กาญจนสมศักดิ์ ยุภา ปู่แตงอ่อน และ พรรณธิภา ณ เชียงใหม่. 2553. ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวป่าสามัญ ข้าวพันธุ์ปลูก และข้าวไร่. วารสารแก่นเกษตร 38(2): 137-144.

3. Kaewlek, K., K. Arakit, W. Tamronghchote, Y. Pootaeng-on, W. Kunkaew and P. Na Chiangmai. Response on phosphorus availability levels and water stress in upland rice cultivars in tissue culture. Indigenous and traditional food systems in Asia and the pacific. May 31-June 2, 2012. Khon Kaen, Thailand. p 223-230.
4. Khianngam, S., Pootaeng-on, Y., Techakriengkrai, T., and Tanasupawat. S. 2014. Screeening and identification of cellulase producing bacteria isolated from oil palm meal. Journal of Applied Pharmaceutical Science 4 (04): 090-096.
5. Na Chiangmai, P., Pootaeng-on, Y., and Khewaram, T. 2013. Evaluation of the shade tolerance of moth bean (*Vigna aconitifolia*) and two tropical legume species. Silpakorn University Science and Technology 7(1): 19-31. Impact Factor for 2010 = 0.105
6. Pootaeng-on, Y., P. Na Chiangmai, C. Chanthasa, T .Techakriengkrai, S. Khianngam and M. Kanjanamaneesathian. 2013. Investigating the possible role of endophytic bacteria in influencing the level of phytase activity in seedling of maize after germination**.pp 285-290.** *In* Schneider C. Leifert C. Feldmann (Eds), Endophytes for Plant Protection: The State of the Art. 27 – 29 May 2013 Berlin, Germany.
7. Pootaeng-on, Y., Kimsri, N., Sooksom, S., Tangchaitam, S., and Na Chiangmai, P. 2015. Condensed tannin in some tropical legumes residue. Silpakorn University Science and Technology 9(1): 51-60.
8. Preyavichyapugdee, N., Sangfuang, M., Chaiyapum, S., Sriburin, S., Pootaeng-on, Y., Chusongsang, P., Jiraungkoorskul, W., Preyavichyapugdee, M., and Sobhon, P. 2016. Schistosomicidal activity of the crude extract of *Artocarpus lakoocha*. Southeast Asian J. Trop. Med. Public. Health. 47(1):1-15.
9. Tuntiwachwultikul, P., Y. Pootaeng-on, P. Phansa, T. Srisanpang, W. C. Taylor. 2003. Sulfur-containing Compounds from *Clinacanthus siamensis.* Chem. Pharm. Bull. 51: 1423. (JIF 1.04)
10. Tuntiwachwultikul, P., Y. Pootaeng-on, P. Phansa and W.C. Taylor. 2004. Cerebrosides and a Monoacylmonogalactosylglycerol from *Clinacanthus nutans*. Chem. Pharm. Bull. 52: 27-32. (JIF 2004 = 1.133)
11. Tuntiwachwuttikul, P. , Y. Pootaeng-on, P. Phansa, P. Limpachayaporn, P. Charoenchai, W. C. Taylor. 2007. Constituents of the leaves of *Holarrhena pubescens.* Fitoterapia. 78 (3):271-273. (JIF 2007 = 1.106)

12. Tuntiwachwuttikul, P., P. Phansa, Y. Pootaeng-on and W. C. Taylor. 2006. Chromones from the Branches of *Harrisonia perforata*, Chem. Pharm. Bull., 54: 44-47. (JIF 2006 = 1.262)
13. Tuntiwachwuttikul, P., P. Phansa, Y. Pootaeng-on and W. C. Taylor. 2006. Chemical Constituents of the Roots of *Piper Sarmentosum*, Chem. Pharm. Bull., 54: 149-151. (JIF 2006 = 1.262)

การประชุมวิชาการหรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน

1. จริยา ไทยเพิ่มพูน, จันทกานต์ น้อยสวาด, ยอดขวัญ ชื่นจิตพ่วง, พรรณธิภา ณ เชียงใหม่, และ ยุภา ปู่แตงอ่อน. 2554. เปรียบเทียบกิจกรรมของเอนไซม์ไฟเตส และปริมาณไฟเตท และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในข้าวโพดงอก 2 สายพันธุ์ (สุวรรณ 3 และแปซิฟิค 999). *ใน* การประชุมวิชาการสาขาพืชและเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2554, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
2. ยุภา ปู่แตงอ่อน, จรรณ์ญานัส จันทร์เจริญ, ถิรนันท์ พานแพน, วิทิตตรา คอนงูเหลือม. 2553. การศึกษาคุณค่าทางโภชนะของพืชตระกูลถั่วบางชนิดที่ปลูกในฤดูฝน. *ใน* ศิลปากรวิจัย ครั้งที่ 3 : ศิลปากรสรรค์สร้างสังคมเศรษฐกิจไทยสร้างสรรค์. วันที่ศุกร์ที่ 29 มกราคม พ.ศ. 2553, มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.
3. Pootaeng-on, Y., N. Kimsi, S. Sooksom, S. Tangchaitam and P. Na Chiangmai. 2012. Condensed Tannins Values of Hay on Some Legumes to Animal Feeding in Rainy Season. *In* the 3rd ICERD-International Conference on Environmental and Rural Development, 21-22 January 2012 Khon Kaen, Thailand
4. Pootaeng-on, Y., P. Na Chiangmai, C. Chanthasa, T .Techakriengkrai, S. Khianngam and M. Kanjanamaneesathian. 2013. Investigating the possible role of endophytic bacteria in influencing the level of phytase activity in seedling of maize after germination.**pp 285-290.** *In* Schneider C. Leifert C. Feldmann (Eds), Endophytes for Plant Protection: The State of the Art. 27 – 29 May 2013 Berlin, Germany.
5. **Khianngam, S.**, Pootaeng-On, Y., Techakriengkrai, T., and Tanasupawat, S. Characterization and cellulase activity of bacteria isolated from oil palm meal. The 1st ASEAN Microbial Biotechnology Conference. BITEC, Bangkok, Thailand. 19-21 February 2014.
6. **Khianngam, S.**, Pootaeng-On, Y., Sonloy, A., Kajorn-aroonkij, J., Techakriengkrai, T., and Tanasupawat, S. Screening and characterization of phytase-producing thermotolerant bacteria from Thai soils. 3rd International Conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development ICIST. Champasack, Lao. 27-28 November 2014.

ผลงานบริการวิชาการ

1. คณะทำงานการจัดโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง “ระบบการผลิตพืชปลอดภัย” ระหว่างวันที่ 17-29 เมษายน 2549
2. วิทยาการบรรยายปฏิบัติการเคมีให้บุคลากรและนักเรียนจากโรงเรียนรัตนราษฎร์บำรุง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี ในวันที่ 5-6 สิงหาคม 2549
3. วิทยาการบรรยายปฏิบัติการเคมีให้บุคลากรและนักเรียนจากโรงเรียนรัตนราษฎร์บำรุง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี ในวันที่ 22-23 กรกฎาคม 2550
4.วิทยาการบรรยายปฏิบัติการเคมีให้บุคลากรและนักเรียนจากโรงเรียนรัตนราษฎร์บำรุง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี ในวันที่ 26-27 กรกฎาคม 2551
5. คณะทำงานโครงการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ การปลูกพืชระบบไฮโดรโปนิกส์ วันที่ 25-27 พฤษภาคม 2550
6. คณะทำงานการจัดโครงการอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง “การเพิ่มศักยภาพทางด้านทักษะการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากสัตว์เพื่อพัฒนาทางด้านวิชาการไปสู่การพัฒนาเชิงพาณิชย์ (ผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่าจากเนื้อสัตว์)” ระหว่างวันที่ 4-6 เมษายน 2551
7. วิทยากรบรรยายเรื่อง การเตรียมสารอาหารในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ในโครงการบริการวิชาการ เรื่อง การอบรมเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื้อพืชเบื้องต้น : ด้านวิชาการ วิจัย และเพื่อผู้ประกอบการรายเล็ก ระว่างวันที่ 23-25 เมษายน 2554
8. วิทยากรบรรยายเรื่อง การใช้สารเคมีอย่างถูกวิธี ในโครงการส่งเสริมการผลิตพืชผักปลอดภัย ปี 2555 จัดอบรมเกษตรกรโดยสำนักงานเกษตรอำเภอบ้านลาด จังหวัดเพชรบุรี เมื่อวันที่ 22 และ 25 พฤษภาคม 2555 ณ ศูนย์รวมข้าวชุมชนไร่มะขาม ต. ไร่มะขาม อ. บ้านลาด จ. เพชรบุรี
9. วิทยากรบรรยายเรื่อง สารเคมีที่ใช้ในการเกษตรกรรม ในโครงการบริการวิชาการการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิต และอนุรักษ์ความหลากหลายของเชื้อพันธุ์ข้าวไร่เพื่อความมั่นคงด้านอาหารแก่เกษตรกรและชุมชนกะเหรี่ยงในเขตพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ณ ต. ห้วยสัตว์ใหญ่ อ. หัวหิน จ. ประจวบคีรีขันธ์ เป็นพื้นที่นำร่อง ระหว่างวันที่ 21-22 กรกฎาคม 2555
10. วิทยากรบรรยายเรื่อง อินทรียวัตถุในดิน ในโครงการบริการวิชาการ เรื่อง การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตข้าวไร่ ร่วมกับการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติอย่างเหมาะสม ณ ต. ห้วยสัตว์ใหญ่ อ. หัวหิน จ. ประจวบคีรีขันธ์ เป็นพื้นที่นำร่อง วันที่ 3 พฤศจิกายน 2555
11. วิทยากรบรรยายเรื่อง น้ำมันทานตะวัน : อีกหนึ่งทางเลือกเพื่อสุขภาพ ในโครงการบริการวิชาการ เรื่อง การปลูกทานตะวันและการสกัดน้ำมันเพื่อการใช้ประโยชน์ในชุมชน ณ องค์การบริการส่วนตำบลทับใต้ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ระหว่าง วันที่ 9-10 มีนาคม 2556
12. วิทยากรประจำกลุ่มปฏิบัติการในโครงการบริการวิชาการเรื่อง การผลิตเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบง่าย เพื่อการใช้ประโยชน์ในการประกอบอาหารบริโภค ประจำปีงบประมาณ 2557

13. วิทยากรบรรยายเรื่อง สารพิษและสารเจือปนในอาหาร ในโครงการบริการวิชาการเรื่องการตรวจสอบคุณภาพอาหารด้านสุขศาสตร์เพื่อความปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค ครั้งที่ 4 เมื่อวันที่ 7-8 มิถุนายน 2557
14. วิทยากรบรรยายเรื่อง การใช้วัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อเตรียมปุ๋ยอินทรีย์ ในโครงการบริการวิชาการเรื่องการใช้จุลินทรีย์จากวัตถุดิบเหลือใช้ในท้องถิ่นเพื่อผลิตวัตถุดิบพื้นฐานสำหรับการประกอบอาชีพทางการเกษตร เมื่อวันที่ 1 มิถุนายน 2557

12.ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา กลุ่มวิชาเคมี (เคมีภัณฑ์ธรรมชาติ)

13. ประสบการณ์พิเศษ -

14. ประวัติการทำงานร่วมกับสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

14.1) ได้รับเงินอุดหนุนโครงการวิจัยและนวัตกรรมฯ จำนวน 1 เรื่อง ประกอบด้วย

เรื่องที่ 1:การวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิต และอนุรักษ์ความหลากหลายของเชื้อพันธุ์ข้าวไร่เพื่อความมั่นคงด้านอาหารแก่เกษตรกรและชุมชนกระเหรี่ยงในเขตพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ปี พ.ศ. 2555-2556 งบประมาณที่ได้รับ ชุดโครงการ 350,000 บาท (โครงการย่อยที่ 3 งบประมาณ 100,000 บาท)

14.2) ผู้ประเมินโครงการวิจัยและนวัตกรรมฯ จำนวน – เรื่อง

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ-สกุล นางสาวเสาวภา เขียนงาม

   Miss Saowapar Khianngam

2. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์ ดร.
3. ตำแหน่งทางการบริหาร -
4. สังกัด คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร
5. Email-address (มหาวิทยาลัย) khianngam_s@silpakorn.edu

   Email-address (อื่น) k_saowapar@yahoo.com, k_saowapar@windowslive.com

6. โทรศัพท์มือถือ 081-2936604
7. โทรศัพท์ที่ทำงาน 032-594-038

   โทรสาร 032-594038

8. ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร เลขที่ 1 หมู่ 3 คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร
   มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี ต.สามพระยา อ.ชะอำ
   76120
9. กรณีมีผู้ประสานงานสามารถติดต่อได้ที่ ที่อยู่เดียวกันกับที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร
10. ประวัติการศึกษา
    1. วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (เภสัชเคมีและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

       Ph. D. (Pharmaceutical Chemistry and Natural Products) Chulalongkorn University

       2549 – 2554 ศึกษาระดับปริญญาเอก ภาควิชาจุลชีววิทยา
       คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

       -ได้รับทุนการศึกษาจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ทุน กาญจนาภิเษก (รุ่นที่ 10)

    2. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

       M. Sc. (Industrial Microbiology) Microbiology Department, Chulalongkorn University

       2547 – 2549 ศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาจุลชีววิทยา (จุลชีววิทยาทางอุตสาหกรรม)
       คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

    3. วิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยา) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปี 2543

       B. Sc. (Microbiology) Prince of Songkla University, Thailand

       2536 – 2540 ศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
       มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
11. ผลงานวิจัย

    ผลงานตีพิมพ์และนำเสนอผลงาน

    1. **Kinegam, S.**, Tanasupawat, S., and Akaracharanya, A. 2007. Screening and identification of xylanase-producing bacteria from Thai soils. *J. Gen. Appl. Microbiol.* 53:57-65.

2. **Khianngam, S.**, Yingprasertchai, T., Tanasupawat, S, Leepipatpiboon, N., Akaracharanya, A., and Kim, K. W. 2008. Isolation and characterization of arsenite-oxidizing bacteria from arsenic-contaminated soils in Thailand. *World Journal Microbiolology Biotechnology* 24: 3091–3096.
3. **Khianngam, S.,** Tanasupawat, S., Lee, J. S., Lee, K. C., and Akaracharanya, A. 2009. *Paenibacillus siamensis* sp. nov., *Paenibacillus septentrionalis* sp. nov., and *Paenibacillus montaniterrae* sp. nov., xylanase-producing bacteria from Thai soils. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 59:130-134.
4. **Khianngam, S**., Akaracharanya, A., Tanasupawat, S., Lee, K. C., and Lee, J. S. 2009. *Paenibacillus thailandensis* sp. nov. and *Paenibacillus nanensis* sp. nov., the xylanase-producing bacteria from Thai soil. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 59:564-568.
5. **Khianngam, S**., Tanasupawat, S., Akaracharanya, A., Kim, K. K., Lee, K. C., and Lee, J. S. 2010. *Cohnella thailandensis* sp. nov., a xylanolytic bacterium from Thai soil. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 60:2284-2287.
6. **Khianngam, S**., Tanasupawat, S., Akaracharanya, A., Kim, K. K., Lee, K. C., and Lee, J. S. 2010. ***Cohnella xylanilytica* sp. nov. and *Cohnella terrae* sp. nov., xylanolytic bacteria from Thai soils**. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 60:2913-2917.
7. **Khianngam, S.,** Tanasupawat, S., Akaracharanya, A., Kim, K. K., Lee, K. C., and Lee, J. S. 2010. *Paenibacillus xylanisolvenae* sp. nov., a xylanolytic bacterium from Thai soil. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 61:160-164.
8. **Khianngam, S.,** Tanasupawat, S., Akaracharanya, A., Kim, K. K., Lee, K. C., and Lee, J. S. 2011. Cohnella *cellulosilytica* sp. nov., isolated from buffalo faeces in Thailnad. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 62:1921-1925.
9. **Khianngam, S.**, Akaracharanya, A., Visessanguan, W., Kim, K. K., Lee, K. C., Lee, J. S., and Tanasupawat, S. 2012. Characterization of xylanolytic *Paenibacillus* strains isolated in Thailand. *Int. J. Bioassays*. 1: 144-149.
10. **Khianngam, S.**, Akaracharanya, A., Visessanguan, W., Kim, K. K., Lee, K. C., Lee, J. S., and Tanasupawat, S. 2013. Diversity of xylanolytic bacteria isolated from Thai Sources. *Int. J. Biol*. 5:13-24.
11. **Khianngam, S**., Techakriengkrai, T., Raksaairi, B. V., Kanjanamaneesathian, M., and Tanasupawat, S. 2013. Isolation and screening of endophytic bacteria for hydrolytic enzymes from plant in Mangrove forest at Pranburi, Prachup Khiri Khan, Thailand. Proceedings of the 5th International Symposium on Plant Health in Europe. In: Schneider C, Leifert C, Feldmann F (Eds), Endophytes for plant protection: the state of the art, pp.279-284.

12. Pootaeng-on, Y., C. Chantasa, P. Na Chiangmai, T. Techakiengkai and **S. Khianngam**. 2013. Investigating the possible role of endophytic bacteria in influencing the level of phytate in seedling of Maize (*Zea mays* L.) after germination. In international conference on Endophytes for plant protection: The state of the art at Agriculture and Horticulture (LGF), Humboldt University, Berlin, Germany, 27-29 April 2013, p285-290.
13. **Khianngam, S.,** Pootaeng-on, Y., Techakriengkrai, T., and Tanasupawat, S. 2014. Screening and identification of cellulase producing bacteria isolated from oil palm. *J. Appl. Pharma. Sci*. 4: 90-96.
14. Themphachanal, M., Kongpheng, S., Rattanachuay, P., **Khianngam, S.,** Singkhamanan, K., and Sukhumungoon, P. 2015. Molecular characterization of virulence and antimicrobial susceptibility profiles of uropathogenic *Escherichia coli* from patients in a tertiary southern Thailand. Southeast. *Asian. J. Trop. Med. Public. Health*. 46:1021-1030.
15. มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี, วรางคณา กิจพิพิธ, จิรัฏฐวัฒน์ ศรีอ่อนเลิศม และ เสาวภา เขียนงาม 2558. การเสริมซินไบโอติกส์ (Syn-Bac®) ในน้ำดื่มของไก่เนื้อต่อสมรรถนะการผลิต ประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนะ สัณฐานวิทยาของลาไส้เล็ก คุณภาพซากและเนื้อ (Effect of dietary synbiotic (Syn-Bac ®) supplementation in broiler diets on productive performance, nutrient digestibility, small intestine histomorphology, carcass and meat quality) วารสารเกษตร ปีที่ 31(3): 107 -124 (2558)
16. Bunnueang, N., Kongpheng, S., Yadrak, P., Rattanachuay, P., **Khianngam, S.,** and Sukhumungoon, P. 2016. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: 1-year collection and characterization from patients in two tertiary hospitals, southern Thailand. Southeast. *Asian. J. Trop. Med. Public. Health*. 47:234-244.

การประชุมวิชาการหรือแสดงผลงานต่อสาธารณชน

1. Presentation of thesis at Thailand Institute of Science and Technological Research (TISTR), Bangkok, Thailand. June 2006.
2. **Khianngam, S**., Tanasupawat, S., and Akaracharanya, A. Screening and identification of xylanase-producing bacteria from Thai soils. Biotechnology: Benefits & Bioethics. Bangkok, Thailand. 2-3 November 2006.
3. **Khianngam, S.**, Tanasupawat, S., Lee, J. S., Lee, K. C., and Akaracharanya, A. Thermotolerant xylanase-producing bacterium, *Paenibacillus thailandensis* sp. nov., from Thai soil. The 5th JSPS-NRCT Joint Seminar Development of Thermotolerant Microbial Resources and Their Applications. Pattaya, Chonburi, Thailand. 7-10 November 2006.

4. **Khianngam, S.**, Yingprasertchai, T., Tanasupawat, S, Leepipatpiboon, N., Akaracharanya, A., and Kim, K. W. Isolation and characterization of arsenite-oxidizing bacteria from arsenic contaminated soils in Thailand. The Sixth Princess Chulabhorn International Science Congress. Bangkok, Thailand. 25-29 November 2007.
5. **Khianngam, S.**, Tanasupawat, S., Akaracharanya, A., Lee, K. C., and Lee, J. S. *Cohnella thailandensis* sp. nov., xylanase-producing bacteria from Thai soil. Proceeding of the 25th Annual Research Conference in Pharmaceutical Sciences, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand. 2 December 2008.
6. **Khianngam, S.**, Tanasupawat, S., Akaracharanya, A., Kim, K. K., Lee, K. C., and Lee, J. S. *Paenibacillus xylanidevorans* sp. nov., a xylanolytic bacterium from Thai soil. MSK's 50th Anniversary International Symposium on Microbiology, Jeju Island, Korea. 28-30 May 2009.
7. **Khianngam, S.**, Tanasupawat, S., Akaracharanya, A., Kim, K. K., Lee, K. C., and Lee, J. S. *Cohnella xylanilytica* sp. nov. and *Cohnella terrae* sp. nov., xylanolytic bacteria from Thai soils. RGJ-Ph.D. Congress XI, Pattaya, Chonburi, Thailand 1-3 April 2010.
8. **Khianngam, S.**, Techakriengkrai, T., Raksaairi, B. V., Akaracharanya, A., and Tanasupawat, S. *Flavobacterium* sp. S2-3H, A novel arsenite-oxidizing bacterium from soil in Thailand. International Conference on Microbial Taxonomy, Basic and Applied Microbiology. Khon Kaen, Thailand. 4-6 October 2012.
9. **Khianngam, S.**, Techakriengkrai, T., Raksaairi, B. V., Kanjanamaneesathian, M., and Tanasupawat, S. Isolation and screening of endophytic bacteria for hydrolytic enzymes from plant in Mangrove forest at Pranburi, Prachup Khiri Khan, Thailand. Endophytes for plant protection: the state of the art. Berlin, Germany.26-29 May 2013. (Oral presentation)
10. **Khianngam, S.**, Pootaeng-On, Y., Techakriengkrai, T., and Tanasupawat, S. Characterization and cellulase activity of bacteria isolated from oil palm meal. The 1st ASEAN Microbial Biotechnology Conference. BITEC, Bangkok, Thailand. 19-21 February 2014.
11. **Khianngam, S.**, Pootaeng-On, Sonloy, A., Kajorn-aroonkij, J., Techakriengkrai, T., and Tanasupawat, S. Screening and characterization of phytase-producing thermotolerant bacteria from Thai soils. 3rd International Conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development ICIST. Champasack, Lao. 27-28 November 2014.

ผลงานบริการวิชาการ

1. วิทยากรโครงการการอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง “การฝึกเทคนิคปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เคมี และชีววิทยา โรงเรียนรัตนราษฎร์ อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี เดือนกรกฎาคม ปี 2554
2. คณะทำงานและวิทยากรในโครงการการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ โครงการการเพิ่มศักยภาพทางด้านทักษะการแปรรูปผลิตภัณฑ์ ครั้งที่ 4 ของคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร ปี 2555
3. คณะทำงานและวิทยากรในโครงการการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ โครงการการเพิ่มศักยภาพทางด้านทักษะการแปรรูปผลิตภัณฑ์ ครั้งที่ 5 ของคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร ปี 2556
4. คณะทำงานและวิทยากรในโครงการการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ การตรวจสอบคุณภาพอาหารด้านสุขศาสตร์เพื่อความปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค ครั้งที่ 3 ของคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร ปี 2555
5. คณะทำงานและวิทยากรในโครงการการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ การตรวจสอบคุณภาพอาหารด้านสุขศาสตร์เพื่อความปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค ครั้งที่ 4 ของคณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร ปี 2556
6. คณะกรรมการโครงการการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิต และอนุรักษ์ความหลากหลายของเชื้อพันธุ์ข้าวปลูกและข้าวไร่เพื่อความมั่นคงด้านอาหารแก่เกษตรกรและชุมชน ปี 2555
7. กองบรรณาธิการ วารสารอิเล็กทรอนิกส์ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร
8. วิทยากรโครงการการพัฒนาศักยภาพการเรียนบทปฏิบัติการสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย แก่นักเรียนโรงเรียนจุฬาภรณ์ ปี 2555

ผลงานอื่น

1. พรรณธิภา ณ เชียงใหม่ มานะ กาญจนมณีเสถียร ทวีศักดิ์ เตชะเกรียงไกร ศิวพร แพงคำ ยุภา ปู่แตงอ่อน ฌานิกา จันทสระ ภูธฤทธิ์ วิทยาพัฒนานุรักษ์ รักษาศิริ สุวิมล ชินกังสดาร **เสาวภา เขียนงาม** อยุธย์ คงปั้น และ พิสิษฐ์ สุวรรณแพทย์. 2556. เอกสารประกอบการอบรม เรื่อง การปลูกทานตะวันและการสกัดน้ำมันเพื่อการใช้ประโยชน์ในชุมชน ณ องค์การบริการส่วนตำบลทับใต้ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ระหว่าง วันที่ 9-10 มีนาคม 2556. 42 หน้า.
2. เกรียงศักดิ์ พูนสุข พรรณธิภา ณ เชียงใหม่ มานะ กาญจนมณีเสถียร อยุทธ์ คงปั้น สุทิศา พินิจ-ไพทูรย์ ยุภา ปู่แตงอ่อน พิสิษฐ์ สุวรรณแพทย์ ฌานิกา จันทสระ ทวีศักดิ์ เตชะเกรียงไกร **เสาวภา เขียนงาม** จิรัฐวัฒน์ ศรีอ่อนเลิศ วีรพันธ์ กันแก้ว จำเนียร วงษ์โม้ และสุพัตรา กิตติกูล. 2556. รายงานฉบับสุดท้ายโครงการจ้างที่ปรึกษาเพื่อเพิ่มศักยภาพการปลูกข้าวไร่ภายใต้ระบบการปลูกที่แตกต่างกันในพื้นที่แปลงเกษตรกรและการใช้ปุ๋ยชีวภาพละลายช้า เสนอ สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม. 170 หน้า.

12. ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา

12.1) จุลชีววิทยา (Bacterial taxonomy)

12.2) เภสัชเคมีและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ (Microbial enzyme)

13. ประสบการณ์พิเศษ

1. มีโอกาสไปทำงานวิจัยซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาเอก ที่ศูนย์เก็บเชื้อ Korean collection for type culture (KCTC) ที่ประเทศเกาหลีใต้ เป็นเวลา 6 เดือน
2. เข้าร่วมอบรมเชิงปฏิบัติการ โครงการ Curator Course Program for Microbial Resources Management จัดโดย ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วันที่ 14-17 ม.ค. 2556

14. ประวัติการทำงานร่วมกับสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา