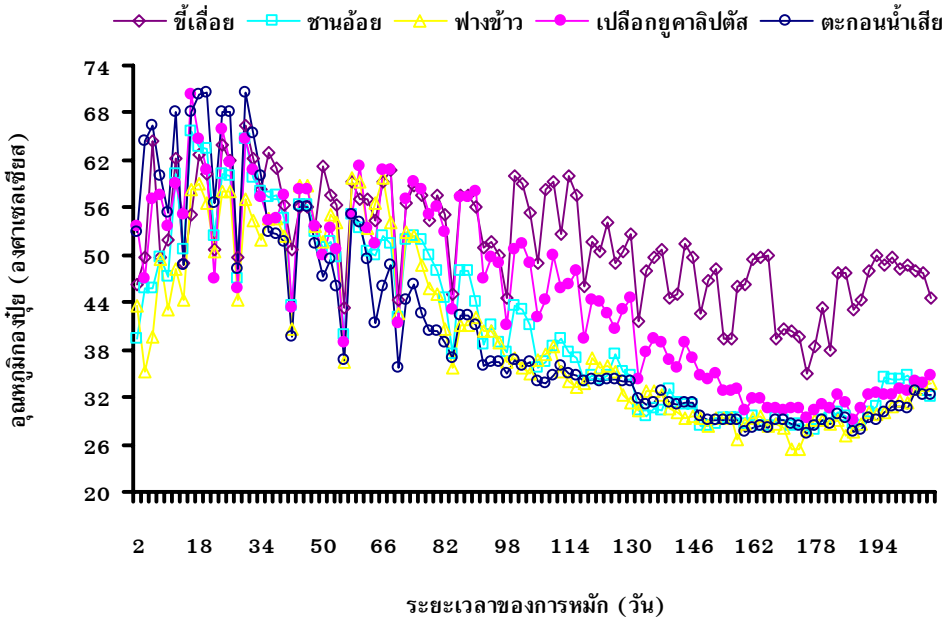
2. <u>ศึกษาการแปรสภาพของฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษ ในกระบวนการทำปุ๋ยหมักและคุณภาพของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด</u>

2.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ

2.1.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก

อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 49 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 8 วัน และมีอุณหภูมิสูงถึง 59 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 16 วัน จากนั้นจะรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 40-60 องศาเซลเซียส จนถึง 94 วัน แล้วอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงจนใกล้เคียงบรรยากาศ เมื่อหมักไปได้ 128 วัน (ตารางผนวกที่ 1 และภาพที่ 1)

อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 45 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 4 วัน และอุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 16 วัน และรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 40-65 องศาเซลเซียส จนถึง 104 วัน แล้วอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงจนใกล้เคียงบรรยากาศ เมื่อหมักไปได้ 132 วัน (ตารางผนวกที่ 1 และภาพที่ 1)



<u>ภาพที่ 1</u> การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก

อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 46 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 2 วัน และอุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส หลังจากหมักไปได้ 6 วัน และรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 40-66 องศาเซลเซียส จนสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน (ตารางผนวกที่ 1 และภาพที่ 1)

อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 54 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 2 วัน และอุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส หลังจากหมักไปได้ 16 วัน และรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 40-70 องศาเซลเซียส จนถึง 130 วัน แล้วอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงจนใกล้เคียงบรรยากาศ เมื่อหมักไปได้ 154 วัน (ตารางผนวกที่ 1 และภาพที่ 1)

อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 53 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 2 วัน และอุณหภูมิสูงถึง 70 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 20 วัน และรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 40-70 องศาเซลเซียส จนถึง 80 วัน แล้วอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงจนใกล้เคียงบรรยากาศ เมื่อหมักไปได้ 132 วัน (ตารางผนวกที่ 1 และภาพที่ 1)

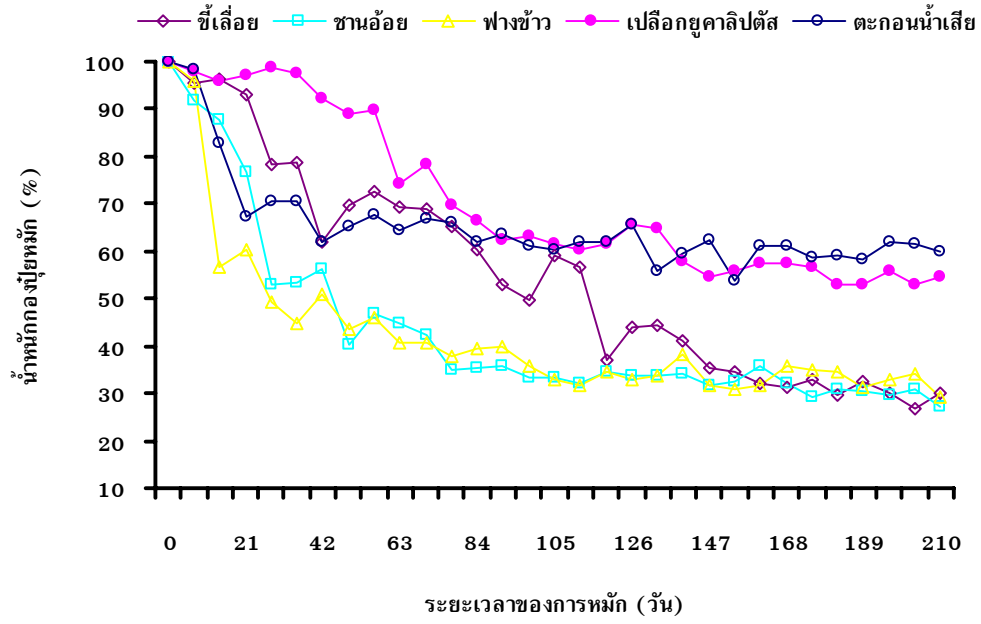
จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย และตะกอนน้ำเสีย เพิ่มขึ้นหลังจากตั้งกองไปได้ 1-2 วัน และมีอุณหภูมิสูงกว่าหรือใกล้เคียง 60 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ 16, 16, 6, 16 และ 4 วัน ตามลำดับ จากนั้นอุณหภูมิจะลดลงเมื่อพลิกกลับกองและปรับความชื้น แล้วอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อตั้งกองใหม่ไปได้ 1-2 วัน เป็นไปในลักษณะนี้ตลอดระยะเวลาการหมัก การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเช่นนี้ อาจเนื่องมาจากในช่วงแรกมีสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย ทำให้อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นอุณหภูมิเริ่มลดลงเมื่อเหลือแต่สารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก โดยอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักฟางข้าว ชานอ้อย และตะกอนน้ำเสีย ลดลงค่อนข้างรวดเร็วและค่อนข้างคงที่หรือใกล้เคียงบรรยากาศในช่วง 128-132 วัน แสดงว่ากระบวนการหมักเสร็จสมบูรณ์แล้ว (Polprasert, 1996) ส่วนปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสใช้เวลา 154 วัน ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยยังคงมีอุณภูมิสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส จนสิ้นสุดการหมัก สาเหตุที่ปุ๋ยหมักแต่ละชนิดใช้ระยะเวลาการย่อยสลายจนเสร็จสมบูรณ์แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากวัสดุหมักแต่ละชนิดมีสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากง่ายแตกต่างกัน โดยฟางข้าวและชานอ้อยอาจมีองค์ประกอบอินทรีย์จำพวกลิกนินต่ำกว่าขี้เลื่อยและเปลือกยูคาลิปตัส ซึ่งลิกนินเป็นองค์ประกอบของเนื้อไม้ที่มีมากเป็นอันดับสามรองจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ลิกนินถูกทำลายหรือย่อยสลายค่อนข้างยากโดยจุลินทรีย์ การย่อยสลายของลิกนินจะเกิดขึ้นช้ากว่าเซลลูโลส 4-10 เท่า (Crawford *et al.*, 1977) ขณะที่ตะกอนน้ำเสียโดยปกติมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเซลล์จุลินทรีย์ และก่อนนำมาหมักได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายมาระยะหนึ่ง สังเกตได้จากมีปริมาณเถ้าในสัดส่วนที่สูงและอินทรีย์คาร์บอน

ในสัดส่วนที่ต่ำ (ตารางที่ 2) ทำให้ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย และตะกอนน้ำเสีย ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายจนเสร็จสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน

2.1.2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกองปุ๋ยหมัก

น้ำหนักกองปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในช่วงแรกน้ำหนักกองลดลงอย่างรวดเร็วและเหลือเพียง 50% ของน้ำหนักกองเริ่มต้น เมื่อหมักไปได้ 28 วัน จากนั้นน้ำหนักกองจะลดลงอย่างต่อเนื่องและเริ่มค่อนข้างคงที่ หลังจากหมักไปได้ 112 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน น้ำหนักกองปุ๋ยหมักเหลือเพียง 29.04% ของน้ำหนักกองเริ่มต้น (ตารางผนวกที่ 2 และภาพที่ 2)

น้ำหนักกองปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในช่วงแรกลดลงอย่างรวดเร็วและเหลือเพียง 40% ของน้ำหนักกองเริ่มต้น เมื่อหมักไปได้ 49 วัน จากนั้นน้ำหนักกองปุ๋ยหมักจะลดลงอย่างต่อเนื่องและเริ่มค่อนข้างคงที่ หลังจากหมักไปได้ 77 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน น้ำหนักกองปุ๋ยหมักเหลือเพียง 27.25% ของน้ำหนักกองเริ่มต้น (ตารางผนวกที่ 2 และภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกองปุ๋ยหมักฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก

น้ำหนักกองปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในช่วงแรกลดลงอย่างรวดเร็วและเหลือเพียง 60% ของน้ำหนักกองเริ่มต้น เมื่อหมักไปได้ 84 วัน จากนั้นน้ำหนักกองปุ๋ยหมักจะลดลงอย่างต่อเนื่องและเริ่มค่อนข้างคงที่ หลังจากหมักไปได้ 119 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน น้ำหนักกองปุ๋ยหมักเหลือเพียง 30.15% ของน้ำหนักกองเริ่มต้น (ตารางผนวกที่ 2 และภาพที่ 2)

น้ำหนักกองปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในช่วงแรกลดลงอย่างช้า ๆ และเมื่อหมักไปได้ 112 วัน มีค่าลดลงเหลือ 60% ของน้ำหนักกองเริ่มต้น จากนั้นน้ำหนักกองปุ๋ยหมักจะลดลงอย่างต่อเนื่องและเริ่มค่อนข้างคงที่ หลังจากหมักไปได้ 140 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน น้ำหนักกองปุ๋ยหมักเหลือเพียง 54.15% ของน้ำหนักกองเริ่มต้น (ตารางผนวกที่ 2 และภาพที่ 2)

น้ำหนักกองปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในช่วงแรกลดลงอย่างรวดเร็วและเหลือเพียง 60% ของน้ำหนักกองเริ่มต้น เมื่อหมักไปได้ 42 วัน จากนั้นน้ำหนักกองปุ๋ยหมักจะค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน น้ำหนักกองปุ๋ยหมักเหลือเพียง 59.81% ของน้ำหนักกองเริ่มต้น (ตารางผนวกที่ 2 และภาพที่ 2)

จากผลการทดลองพบว่าในช่วงแรก ๆ น้ำหนักกองปุ๋ยหมักฟางข้าวและชานอ้อยลดลงเร็วที่สุด อาจเนื่องมาจากฟางข้าวและชานอ้อยมีสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย เช่น โมโนแซคคาร์ไรด์ แป้ง และไขมัน ในสัดส่วนที่สูงกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ ซึ่งสารประกอบอินทรีย์เหล่านี้จะถูกย่อยสลายในขั้นตอนต้น ๆ ของกระบวนการหมัก ส่วนน้ำหนักกองปุ๋ยหมักขี้เลื่อยและตะกอนน้ำเสียลดลงค่อนข้างเร็วพอ ๆ กัน ขณะที่น้ำหนักกองปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสลดลงช้าที่สุด อาจเนื่องมาจากมีสารประกอบอินทรีย์จำพวกลิกนินที่ทนทานต่อการย่อยสลายสูง ซึ่งสอดคล้องกับ Rao Bhamidimarri and Pandey (1996) ที่รายงานว่าฟางข้าวจะสลายตัวและปลดปล่อยคาร์บอนออกมาได้ง่ายกว่าวัสดุจำพวกเนื้อไม้ เนื่องจากสารประกอบคาร์บอนในเนื้อไม้ส่วนใหญ่คือลิกนิน ซึ่งทนทานต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ซึ่งตรงกันข้ามกับคาร์บอนในน้ำตาลที่พบในผลไม้เหลือทิ้งจะย่อยสลายเร็วกว่าคาร์บอนในเซลลูโลสของฟางข้าว (Rynk *et al*., 1992) เมื่อหมักไปได้ 84 วัน น้ำหนักกองปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสลดลงเร็วขึ้นจนใกล้เคียงน้ำหนักกองปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียที่เริ่มเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ขณะที่น้ำหนักกองปุ๋ยหมักขี้เลื่อยลดลงจนใกล้เคียงน้ำหนักกองปุ๋ยหมักฟางข้าวและชานอ้อย เมื่อหมักไปได้ประมาณ 110 วัน โดยน้ำหนักกองปุ๋ยหมักฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส เริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 112, 77, 119, 140 และ 42 วัน ตามลำดับ สาเหตุที่น้ำหนักกองปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียคงที่เร็วกว่าน้ำหนักกองฟางข้าวและชานอ้อย อาจเนื่องมาจากก่อนนำมาหมัก ตะกอนน้ำเสียได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายมาระยะหนึ่ง สังเกตได้จากมีปริมาณเถ้าในสัดส่วนที่สูงและอินทรีย์คาร์บอน

ในสัดส่วนที่ต่ำ (ตารางที่ 2) เมื่อผ่านการหมักไปได้ระยะหนึ่ง น้ำหนักกองปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียจึงค่อนข้างคงที่เร็ว ซึ่งสอดคล้องกับ Sommer and Dahl (1999) และ Eklind and Kirchmann (2000) ที่รายงานว่ามวลที่สูญหายไปส่วนใหญ่ขึ้นกับระยะเวลาการหมักและชนิดของวัสดุหมัก ซึ่งมวลที่สูญหายไปของวัสดุหมักที่แตกต่างกัน เช่น ปุ๋ยคอกและขยะบ้านเรือน มีค่าอยู่ในช่วง 40-80% ของมวลเริ่มต้น

2.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี

2.2.1 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ

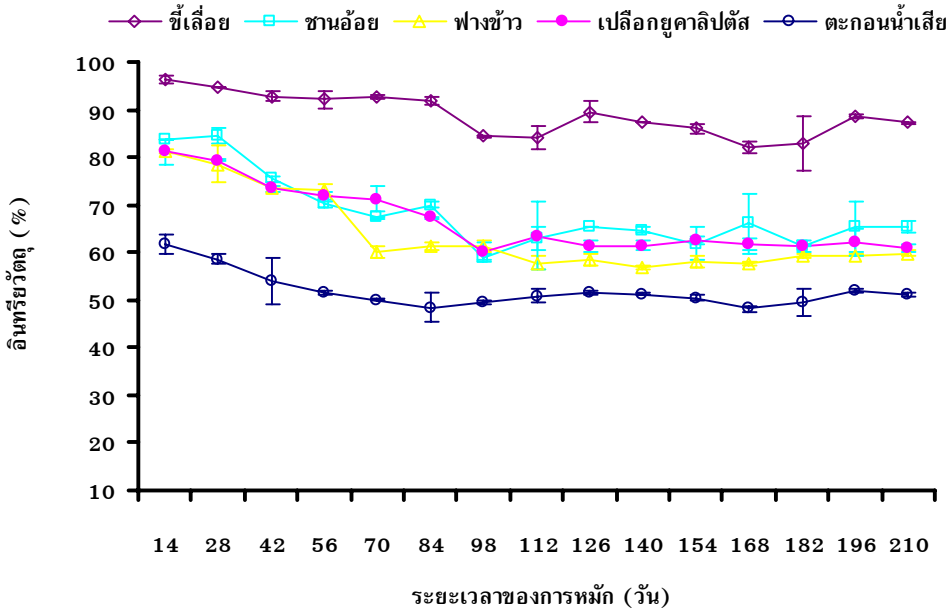
เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีอินทรียวัตถุ เท่ากับ 81.39% แล้วมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ จนเหลือเพียง 60.10% เมื่อหมักไปได้ 70 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีอินทรียวัตถุ เท่ากับ 59.89% (ตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 3)

เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีอินทรียวัตถุ เท่ากับ 83.67% แล้วมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ จนเหลือเพียง 67.23% เมื่อหมักไปได้ 70 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีอินทรียวัตถุ เท่ากับ 65.42% (ตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 3)

เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีอินทรียวัตถุ เท่ากับ 96.21% แล้วมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ จนเหลือเพียง 84.33% เมื่อหมักไปได้ 98 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีอินทรียวัตถุ เท่ากับ 87.29% (ตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 3)

เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีอินทรียวัตถุ เท่ากับ 81.15% แล้วมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนเหลือเพียง 60.07% เมื่อหมักไปได้ 98 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีอินทรียวัตถุ เท่ากับ 60.76% (ตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 3)

เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีอินทรียวัตถุ เท่ากับ 61.56% แล้วมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนเหลือเพียง 51.63% เมื่อหมักไปได้ 56 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีอินทรียวัตถุ เท่ากับ 51.06% (ตารางผนวกที่ 3 และภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

จากผลการทดลองพบว่าอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ขี้เลื่อย ชานอ้อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย มีค่าลดลงในช่วงแรก ๆ และในช่วงท้ายมีค่าค่อนข้างคงที่เป็นไปในรูปแบบคล้ายคลึงกัน สาเหตุที่อินทรียวัตถุลดลง อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ อินทรีย์คาร์บอนส่วนหนึ่งถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนของเซลล์จุลินทรีย์ ส่วนที่เหลือจะเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารประกอบอื่น ๆ ทำให้อินทรีย์คาร์บอนลดลงตามระยะเวลาการหมัก เมื่อถึงระยะสุดท้ายของการหมัก ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่เหลือจะเป็นพวกที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งบางส่วนจะแปรสภาพไปเป็นสารฮิวมิก (Crawford, 1983) โดยในช่วงแรก ๆ ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีอินทรียวัตถุสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน ส่วนปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย และเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าใกล้เคียงกันพอ ๆ กัน ขณะที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าต่ำที่สุด โดยปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย และเปลือกยูคาลิปตัสย่อยสลายเร็วกว่าปุ๋ยหมักจากขี้เลื่อยและตะกอนน้ำเสีย จึงทำให้อินทรียวัตถุลดลงมากกว่าเมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง อินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย เริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 70, 70, 98, 98 และ 56 วัน ตามลำดับ สาเหตุที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีอินทรียวัตถุคงที่เร็วกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากโดยปกติตะกอนน้ำเสียมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเซลล์จุลินทรีย์ และก่อนนำมาหมัก ตะกอนน้ำเสียได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายมาระยะหนึ่ง สังเกตได้จากมีปริมาณเถ้าในสัดส่วนที่สูงและอินทรีย์คาร์บอนในสัดส่วนที่ต่ำ (ตารางที่ 2) ทำให้เหลือเพียงสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก

เมื่อพิจารณาอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีอินทรียวัตถุสูงที่สุด ส่วนปุ๋ยหมักจากชานอ้อย เปลือกยูคาลิปตัส และฟางข้าว มีค่าลดหลั่นกันตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีอินทรียวัตถุต่ำที่สุด สาเหตุที่อินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักแต่ชนิดมีค่ามากน้อยแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากวัสดุหมักแต่ละชนิดมีอินทรีย์คาร์บอนและเถ้าแตกต่างกัน ประกอบกับมีสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากง่ายแตกต่างกัน โดยขี้เลื่อยมีอินทรีย์คาร์บอนในสัดส่วนที่สูง เถ้าในสัดส่วนที่ต่ำ และอาจมีสารประกอบอินทรีย์จำพวกลิกนินที่สลายตัวได้ยากอยู่สูง ทำให้ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีอินทรียวัตถุสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ ตลอดระยะเวลาการหมัก

เมื่อเปรียบเทียบอินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักแต่ละชนิดโดยวิธีการวิเคราะห์แต่ละวิธี (ตารางผนวกที่ 23) พบว่าอินทรียวัตถุที่วิเคราะห์โดยวิธี loss on ignition ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ มีค่าใกล้เคียงกับวิธี loss on ignition ที่อุณหภูมิ 430 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นวิธีการหาอินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในวัสดุอินทรีย์ที่ Navarro *et al*. (1993) พบว่ามีความเหมาะสมมากกว่าวิธี loss on ignition ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส นอกจากนี้วิธี loss on ignition ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ยังวิเคราะห์ได้สูงกว่าวิธี wet oxidation ซึ่งเป็นวิธีการหาอินทรียวัตถุในดิน (Faithfull, 2002) แต่ได้ค่าต่ำกว่าวิธี loss on ignition ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นวิธีการหาอินทรียวัตถุในพีท (AOAC, 2000) ที่สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (สกอช.) ใช้ในการวิเคราะห์หาอินทรียวัตถุเพื่อกำหนดมาตรฐานปุ๋ยหมัก แสดงว่าการเผาปุ๋ยหมักในระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น อินทรียวัตถุที่วิเคราะห์ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์อินทรียวัตถุของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย โดยวิธี loss on ignition ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จะได้ค่ามากกว่าวิธี loss on ignition ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ประมาณ 1.3, 2.7, 3.4, 2.7 และ 6.3% ตามลำดับ

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

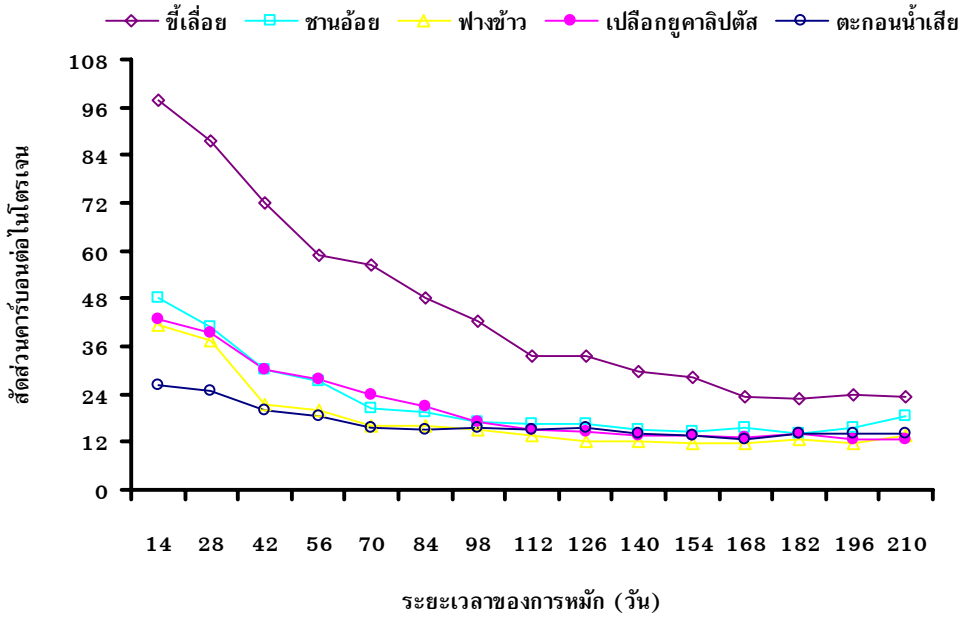
ค่า C/N ratio ของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่า C/N ratio เท่ากับ 41.28 แล้วลดลงจนเหลือเพียง 19.89 เมื่อหมักไปได้ 56 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่า C/N ratio เท่ากับ 12.15 (ตารางผนวกที่ 4 และภาพที่ 4)

ค่า C/N ratio ของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่า C/N ratio เท่ากับ 48.25 แล้วลดลงจนเหลือเพียง 19.38 เมื่อหมักไปได้ 84 วัน จากนั้นมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่า C/N ratio เท่ากับ 18.30 (ตารางผนวกที่ 4 และภาพที่ 4)

ค่า C/N ratio ของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่า C/N ratio เท่ากับ 98.78 จากนั้นมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องและค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 168 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่า C/N ratio เท่ากับ 23.35 (ตารางผนวกที่ 4 และภาพที่ 4)

ค่า C/N ratio ของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่า C/N ratio เท่ากับ 42.71% แล้วลดลงอย่างช้า ๆ จนเหลือเพียง 17.17 เมื่อหมักไปได้ 98 วัน จากนั้นมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่า C/N ratio เท่ากับ 12.59 (ตารางผนวกที่ 4 และภาพที่ 4)

ค่า C/N ratio ของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่า C/N ratio เท่ากับ 26.20 แล้วลดลงอย่างช้า ๆ จนเหลือเพียง 18.47 เมื่อหมักไปได้ 56 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่า C/N ratio เท่ากับ 14.10 (ตารางผนวกที่ 4 และภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก

จากผลการทดลองพบว่าในช่วงเริ่มต้นของการหมักมีการปรับค่า C/N ratio ของวัสดุหมักให้มีค่าประมาณ 30 ด้วยปุ๋ยยูเรีย เพื่อให้กระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เกิดได้เร็วขึ้น (Gaur, 1980) แต่เมื่อหมักไปได้ 14 วัน พบว่าค่า C/N ratio ของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว

ชานอ้อย ขี้เลื่อย และเปลือกยูคาลิปตัส มีค่าเพิ่มขึ้น อาจมีสาเหตุได้หลายประการ เช่น มีการสูญเสียไนโตรเจนทั้งในรูปแอมโมเนียหรือเกิดกระบวนการ denitrification หรือถูกชะล้างในระหว่างการรดน้ำ จากนั้นปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอเป็นไปในรูปแบบคล้ายคลึงกัน ซึ่งสาเหตุที่ค่า C/N ratio ลดลง อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและปลดปล่อยคาร์บอนไปในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้อินทรีย์คาร์บอนต่อหน่วยน้ำหนักแห้งลดลง ขณะที่ไนโตรเจนมีการสูญเสียในสัดส่วนที่น้อยกว่า จึงทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น โดยปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่า C/N ratio ลดลงมากกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน ส่วนปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย และเปลือกยูคาลิปตัส มีค่าลดลงใกล้เคียงกันพอ ๆ กัน ขณะที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง ค่า C/N ratio ต่ำกว่า 20 ซึ่งใช้เป็นดัชนีชี้วัดความสมบูรณ์ของการหมักได้ (Mathur *et al.*, 1993) โดยปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและตะกอนน้ำเสียใช้ระยะเวลาการหมักจนเสร็จสมบูรณ์น้อยที่สุดเพียง 56 วัน ส่วนปุ๋ยหมักจากชานอ้อยและเปลือกยูคาลิปตัสใช้ระยะเวลา 84 และ 98 วัน ตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยยังคงมีค่า C/N ratio สูงกว่า 20 จนสิ้นสุดการหมัก สาเหตุที่ปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและตะกอนน้ำเสียใช้เวลาการหมักจนเสร็จสมบูรณ์เร็วกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากฟางข้าวมีสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายกว่าชานอ้อย ขี้เลื่อย และเปลือกยูคาลิปตัส ขณะที่ตะกอนน้ำเสียโดยปกติมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเซลล์จุลินทรีย์ และก่อนนำมาหมักได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายมาระยะหนึ่ง สังเกตได้จากมีอินทรีย์คาร์บอนในสัดส่วนที่ต่ำและมีเถ้าในสัดส่วนที่สูง (ตารางที่ 2) ทำให้ฟางข้าวและตะกอนน้ำเสียใช้ระยะเวลาการหมักจนเสร็จสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่า C/N ratio เท่ากับ 23.35 เมื่อสิ้นสุดการหมัก แต่อาจเป็นการหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว เนื่องจากเหลือเพียงอินทรียสารที่ย่อยสลายได้ยาก ซึ่งสอดคล้องกับ Madejon *et al.* (1998) และ Filippi *et al.* (2002) ที่พบว่าการหมักเปลือกมะกอก เมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่า C/N ratio ประมาณ 30 ส่วน Thambirajah and Kuthubutheen (1989) พบว่าการหมักใยปาล์ม เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 8 สัปดาห์มีค่า C/N ratio เท่ากับ 26

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดหรือด่าง (pH)

ค่า pH ของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่า pH เท่ากับ 7.85 จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่และลดลงเล็กน้อย เมื่อหมักไปได้ 154 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่า pH เท่ากับ 7.48 (ตารางผนวกที่ 5 และภาพที่ 5)

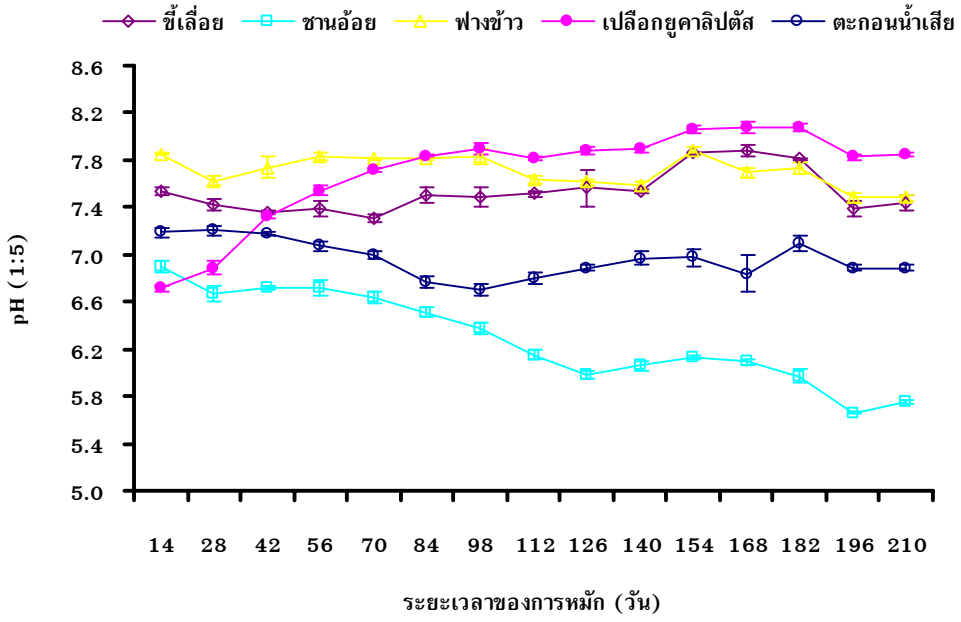
ค่า pH ของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่า pH เท่ากับ 6.90 จากนั้นมีค่าลดลงอย่างช้า ๆ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมัก

ไปได้ 140 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่า pH เท่ากับ 5.75 (ตารางผนวกที่ 5 และภาพที่ 5)

ค่า pH ของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่า pH เท่ากับ 7.53 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลง เมื่อหมักไปได้ 182 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่า pH เท่ากับ 7.44 (ตารางผนวกที่ 5 และภาพที่ 5)

ค่า pH ของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่า pH เท่ากับ 6.72 จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และลดลงเล็กน้อย เมื่อหมักไปได้ 196 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่า pH เท่ากับ 7.85 (ตารางผนวกที่ 5 และภาพที่ 5)

ค่า pH ของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่า pH เท่ากับ 7.19 จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่และลดลงเล็กน้อย เมื่อหมักไปได้ 56 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่า pH เท่ากับ 6.89 (ตารางผนวกที่ 5 และภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

จากผลการทดลองพบว่าค่า pH ของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ขี้เลื่อย และตะกอนน้ำเสีย มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยในช่วงแรก ๆ ของการหมักค่า pH เป็นด่างเล็กน้อย อยู่ในช่วง 7.20-7.85 ส่วนปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่า pH เริ่มต้นเป็นกลาง จากนั้นลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าเหลือเพียง 5.75 เป็นกรดปานกลาง อาจเนื่องมาจากการย่อยสลายของอินทรียสารมักจะผลิตกรดอินทรีย์และอนินทรีย์ออก หรือมีการระเหยของแอมโมเนียไนโตรเจน หรือมีการปลดปล่อย H^+ จากกระบวนการ nitrification ขณะที่ปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่า pH เริ่มต้นค่อนข้างเป็นกลาง จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีค่าสูงถึง 7.85 เป็นด่างเล็กน้อย เมื่อพิจารณาค่า pH ของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าสูงที่สุด ส่วนปุ๋ยหมักจากขี้เลื่อย ฟางข้าว และตะกอนน้ำเสีย มีค่าลดหลั่นกันตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามค่า pH ของปุ๋ยหมักทุกชนิด มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ที่กำหนดอยู่ในช่วง 5.5-8.5 (ตารางที่ 1)

2.2.4 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า

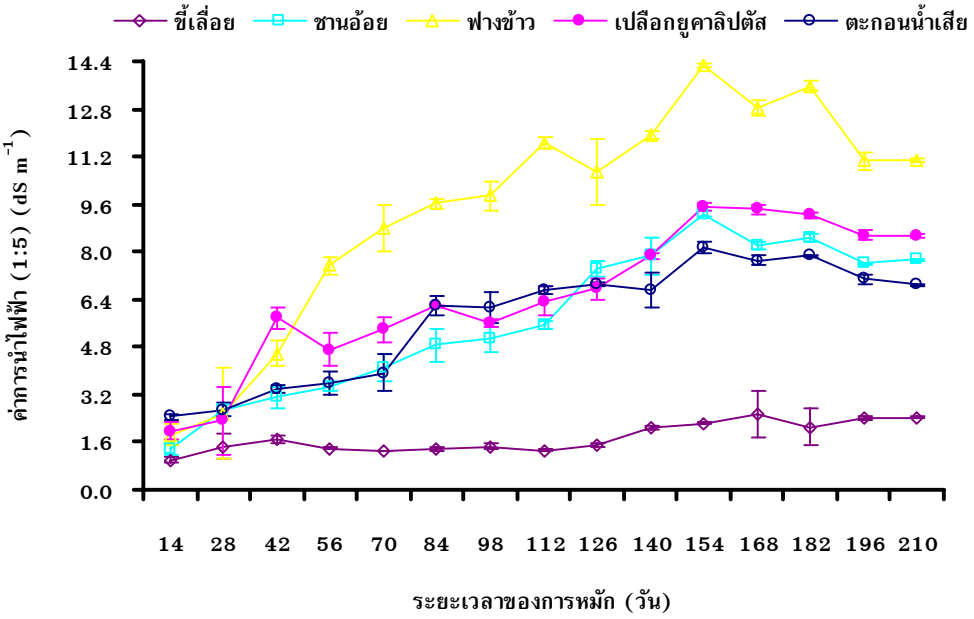
ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 1.84 dS m^{-1} แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ จนสูงถึง 14.26 dS m^{-1} เมื่อหมักไปได้ 154 วัน จากนั้นมีค่าค่อย ๆ ลดลง เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 11.06 dS m^{-1} (ตารางผนวกที่ 6 และภาพที่ 6)

ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 1.40 dS m^{-1} แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ จนสูงถึง 9.28 dS m^{-1} เมื่อหมักไปได้ 154 วัน จากนั้นมีค่าค่อย ๆ ลดลง เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 7.73 dS m^{-1} (ตารางผนวกที่ 6 และภาพที่ 6)

ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 0.99 dS m^{-1} จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างอย่างช้า ๆ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 140 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 2.43 dS m^{-1} (ตารางผนวกที่ 6 และภาพที่ 6)

ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 1.98 dS m^{-1} แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสูงถึง 9.49 dS m^{-1} เมื่อหมักไปได้ 154 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่และลดลงเล็กน้อย เมื่อหมักไปได้ 182 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 8.51 dS m^{-1} (ตารางผนวกที่ 6 และภาพที่ 6)

ค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 2.45 dS m^{-1} แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสูงถึง 8.15 dS m^{-1} เมื่อหมักไปได้ 154 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่และลดลงเล็กน้อย เมื่อหมักไปได้ 182 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 6.89 dS m^{-1} (ตารางผนวกที่ 6 และภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

จากผลการทดลองพบว่าค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ และในช่วงท้ายมีค่าค่อนข้างคงที่หรือลดลง แต่ปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน ส่วนปุ๋ยหมักจากชานอ้อย ขี้เลื่อย และตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นในระดับที่ใกล้เคียงกัน ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก สาเหตุที่ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากมวลโดยรวมลดลงจากการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ ทำให้อินทรียวัตถุมีสัดส่วนที่ลดลงและเถ้าในสัดส่วนที่สูงขึ้น ซึ่งปริมาณเถ้าจะบ่งบอกถึงปริมาณแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้า นอกจากนี้การย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ทำให้เกิดกระบวนการ mineralization ปลดปล่อยแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของอินทรียวัตถุออกมาอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้มากขึ้น เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม คลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต แอมโมเนีย และคาร์บอเนต เป็นต้น เมื่อหมักไปได้ 168-182 วัน ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย เริ่มมีค่าการนำไฟฟ้าลดลง อาจ

เนื่องมาจากมีการตกตะกอนของแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ หรือแร่ธาตุบางส่วนถูกชะล้างในระหว่างรดน้ำ เมื่อพิจารณาค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าสูงที่สุด ส่วนปุ๋ยหมักจากเปลือกยูคาลิปตัส ชานอ้อย และตะกอนน้ำเสีย มีค่าลดหลั่นกันตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าต่ำที่สุด สาเหตุที่ปุ๋ยหมักแต่ละชนิดมีค่าการนำไฟฟ้ามากน้อยแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากปุ๋ยหมักแต่ละชนิดมีอินทรียวัตถุและเถ้าในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 3 และภาพที่ 7) โดยปุ๋ยหมักฟางข้าวมีอินทรียวัตถุในสัดส่วนที่ต่ำและมีเถ้าในสัดส่วนที่สูงเช่นเดียวกับปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสีย แต่มีโพแทสเซียมที่สกัดได้ในสัดส่วนที่สูงกว่า (ภาพที่ 15) ซึ่งโพแทสเซียมเป็นธาตุที่ละลายน้ำได้ง่ายและมีค่าการนำไฟฟ้าสูง จากการทดลองวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าการนำไฟฟ้าสูงถึง 11.81 dS m^{-1}

2.2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้า

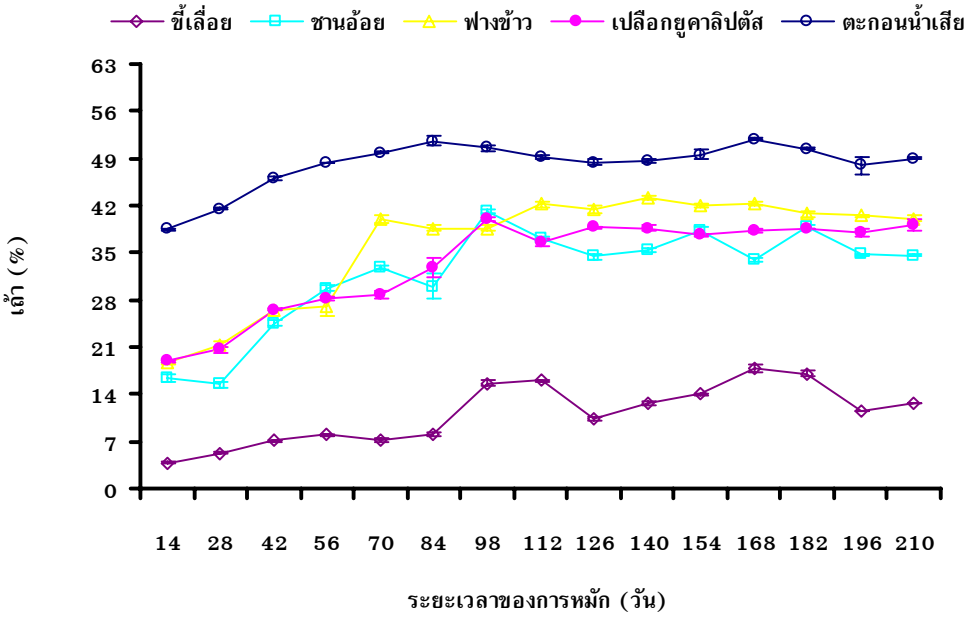
ปริมาณเถ้าของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีเถ้า เท่ากับ 18.61% แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสูงถึง 39.90% เมื่อหมักไปได้ 70 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีเถ้าเท่ากับ 40.11% (ตารางผนวกที่ 7 และภาพที่ 7)

ปริมาณเถ้าของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีเถ้า เท่ากับ 16.33% แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสูงถึง 32.77% เมื่อหมักไปได้ 70 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีเถ้าเท่ากับ 34.58% (ตารางผนวกที่ 7 และภาพที่ 7)

ปริมาณเถ้าของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีเถ้า เท่ากับ 3.79% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนมีค่าสูงถึง 15.67% เมื่อหมักไปได้ 98 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีเถ้า เท่ากับ 12.71% (ตารางผนวกที่ 7 และภาพที่ 7)

ปริมาณเถ้าของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีเถ้า เท่ากับ 18.85% แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสูงถึง 36.46% เมื่อหมักไปได้ 112 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีเถ้า เท่ากับ 39.24% (ตารางผนวกที่ 7 และภาพที่ 7)

ปริมาณเถ้าของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีเถ้า เท่ากับ 38.44% แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสูงถึง 45.97% เมื่อหมักไปได้ 42 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีเถ้า เท่ากับ 48.94% (ตารางผนวกที่ 7 และภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณเถ้าของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ และในช่วงท้ายมีค่าค่อนข้างคงที่ เป็นไปในรูปแบบคล้ายคลึงกัน ซึ่งสาเหตุที่เถ้าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการย่อยสลายของอินทรียสารมีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้สัดส่วนของอนินทรียสาร เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม เหล็ก และแมงกานีส รวมทั้งจุลธาตุชนิดอื่น ๆ เพิ่มขึ้น เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย เริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 70, 70, 98, 112 และ 42 วัน ตามลำดับ สาเหตุที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าคงที่เร็วกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อาจเนื่องมาจากตะกอนน้ำเสียได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายมาระยะหนึ่ง สังเกตได้จากเริ่มต้นมีอินทรีย์คาร์บอนในสัดส่วนที่ต่ำและมีเถ้าในสัดส่วนที่สูง (ตารางที่ 2) จึงเหลือเพียงสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก เมื่อนำมาตะกอนน้ำเสียมาหมัก ทำให้ปริมาณเถ้าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

2.2.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC)

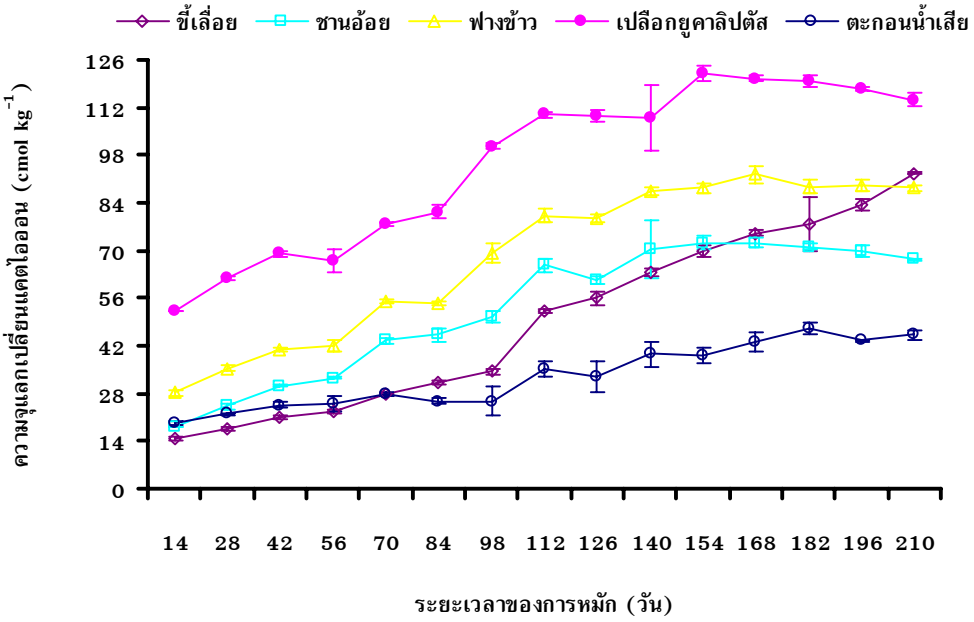
ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เท่ากับ 28.36 cmol kg^{-1} แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสูงถึง 92.24 cmol kg^{-1} เมื่อหมักไปได้ 168 วัน จากนั้นมีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เท่ากับ 88.27 cmol kg^{-1} (ตารางผนวกที่ 8 และภาพที่ 8)

ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เท่ากับ 18.11 cmol kg^{-1} แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 140 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เท่ากับ 67.38 cmol kg^{-1} (ตารางผนวกที่ 8 และภาพที่ 8)

ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เท่ากับ 14.87 cmol kg^{-1} จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอจนสูงถึง 92.71 cmol kg^{-1} เมื่อหมักไปได้ 210 วัน (ตารางผนวกที่ 8 และภาพที่ 8)

ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เท่ากับ 52.28 cmol kg^{-1} แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสูงถึง 122.01 cmol kg^{-1} เมื่อหมักไปได้ 154 วัน จากนั้นมีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เท่ากับ 114.23 cmol kg^{-1} (ตารางผนวกที่ 8 และภาพที่ 8)

ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เท่ากับ 19.76 cmol kg^{-1} จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 182 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เท่ากับ 45.16 cmol kg^{-1} (ตารางผนวกที่ 8 และภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

จากผลการทดลองพบว่าค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอในระยะแรก ๆ แต่ในระยะท้ายมีค่าค่อนข้างคงที่หรือลดลงเล็กน้อย ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการหมัก สาเหตุที่ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการย่อยสลายของอินทรียสารทำให้สารประกอบอินทรีย์บางส่วนแปรสภาพไปเป็นสารฮิวมิกเพิ่มขึ้นโดยกระบวนการ humification ซึ่งสารฮิวมิกจะมี functional group จำพวก carboxyl groups และ phenolic groups ที่ให้ประจุลบสูง และเมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง ปุ๋ยหมักจากชานอ้อยและตะกอนน้ำเสียเริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 140 และ 182 วัน ตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและเปลือกยูคาลิปตัสเริ่มมีค่าลดลง เมื่อหมักไปได้ 182 และ 168 วัน ตามลำดับ สาเหตุที่ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนลดลง อาจเนื่องมาจากการแปรสภาพของสารฮิวมิกประเภทกรดฟูลวิก ซึ่งมี functional group อยู่มาก ไปเป็นกรดฮิวมิกที่มี functional group ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Jokova *et al*. (1997) ที่พบว่าปุ๋ยหมักกิ่งก้านขององุ่น และปุ๋ยหมักร่วมระหว่างกิ่งก้าน เปลือก และเมล็ดองุ่น มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนลดลงในช่วง 120-360 วัน ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยยังมีค่าเพิ่มอย่างต่อเนื่องตลอดระยะการหมัก 360 วัน Harada *et al*. (1981) รายงานว่าปุ๋ยหมักขยะเทศบาลที่เสร็จสมบูรณ์ควรมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงกว่า 60 cmol kg^{-1} จากผลการทดลองพบว่าปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย และเปลือกยูคาลิปตัส มีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงกว่า 60 cmol kg^{-1} เมื่อหมักไปได้

98, 112, 140 และ 28 วัน ตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียยังคงมีค่าต่ำกว่าจนสิ้นสุดการหมัก เมื่อพิจารณาค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากเปลือกยูคาลิปตัสมีลิกนินสูง ผลจากการย่อยสลายของลิกนินจะเกิดเป็นสารฮิวมิกที่มีประจุลบสูง ส่วนปุ๋ยหมักจากขี้เลื่อย ฟางข้าว และชานอ้อย มีค่าลดหลั่นกันตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าต่ำที่สุด อาจเนื่องมาจากโดยปกติตะกอนน้ำเสียจะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเซลล์จุลินทรีย์

2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุอาหาร

2.3.1 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.99% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 126 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 2.42% (ตารางผนวกที่ 9 และภาพที่ 9)

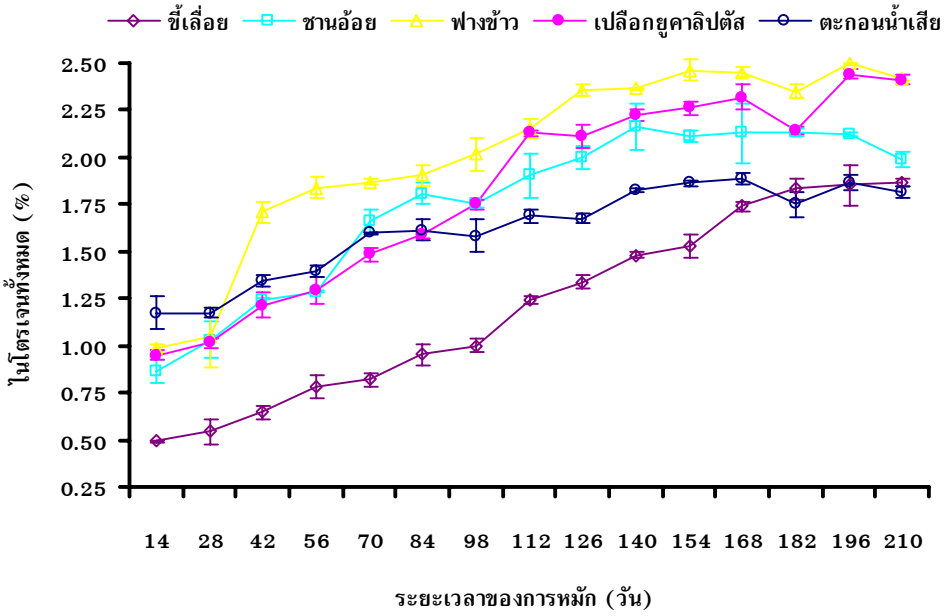
เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.87% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 140 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 1.99% (ตารางผนวกที่ 9 และภาพที่ 9)

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.49% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 182 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 1.87% (ตารางผนวกที่ 9 และภาพที่ 9)

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.95% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 196 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 2.41% (ตารางผนวกที่ 9 และภาพที่ 9)

เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 1.18% จากนั้นมีค่า

เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 140 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 1.81% (ตารางผนวกที่ 9 และภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

จากการทดลองพบว่าไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ และในช่วงท้ายมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่ปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ สาเหตุที่ไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและสูญเสียคาร์บอนไปในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้น้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลง (ภาพที่ 2) ซึ่งคาร์บอนจะมีการสูญเสียในสัดส่วนที่สูงกว่าไนโตรเจน ทำให้ไนโตรเจนทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าไนโตรเจนทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ที่อยู่อย่างอิสระในกองปุ๋ยหมัก (Zorpas *et al.*, 2003) เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย เริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 126, 140, 182, 196 และ 140 วัน ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก สังเกตได้จากน้ำหนักกองปุ๋ยหมัก อินทรียวัตถุ และเถ้าค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 2, 3 และ 7) เมื่อพิจารณาไนโตรเจนทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักฟางข้าวมีไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด ส่วนปุ๋ยหมักจากเปลือกยูคาลิปตัส ชานอ้อย และตะกอนน้ำเสีย มีค่าลดหลั่นกันตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าต่ำที่สุด สาเหตุที่ปุ๋ยหมักแต่ละชนิดมีไนโตรเจนทั้งหมดมากน้อยแตกต่างกัน อาจ

เนื่องมาจากวัสดุหมักแต่ละชนิดมีไนโตรเจนทั้งหมดและอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน โดยฟางข้าวมีไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าชานอ้อย ขี้เลื่อย และเปลือกยูคาลิปตัส แต่ต่ำกว่าตะกอนน้ำเสีย เมื่อทำการหมัก ฟางข้าวย่อยสลายได้เร็วกว่าตะกอนน้ำเสีย สังเกตได้จากน้ำหนักกองลดลงเร็วกว่า (ภาพที่ 2) ทำให้ปุ๋ยหมักฟางข้าวมีไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียม

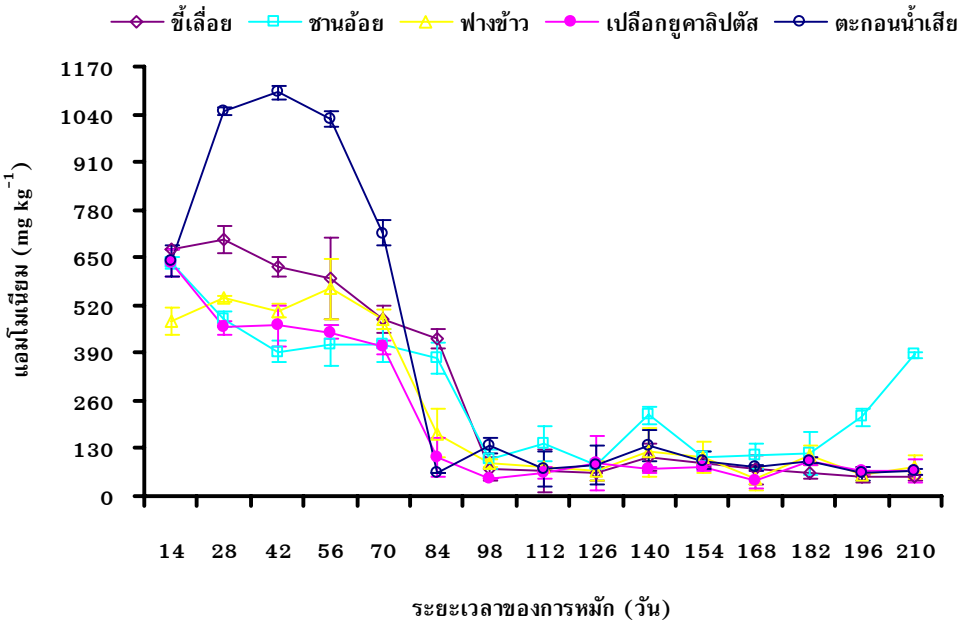
ปริมาณแอมโมเนียมของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแอมโมเนียม เท่ากับ 476.20 mg kg^{-1} แล้วมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อหมักไปได้ 84 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแอมโมเนียม เท่ากับ 78.50 mg kg^{-1} (ตารางผนวกที่ 10 และภาพที่ 10)

ปริมาณแอมโมเนียมของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแอมโมเนียม เท่ากับ 634.80 mg kg^{-1} จากนั้นมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 98 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแอมโมเนียม เท่ากับ 385.40 mg kg^{-1} (ตารางผนวกที่ 10 และภาพที่ 10)

ปริมาณแอมโมเนียมของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแอมโมเนียม เท่ากับ 670.10 mg kg^{-1} จากนั้นมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 98 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแอมโมเนียม เท่ากับ 52.30 mg kg^{-1} (ตารางผนวกที่ 10 และภาพที่ 10)

ปริมาณแอมโมเนียมของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแอมโมเนียม เท่ากับ 634.90 mg kg^{-1} จากนั้นมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 84 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแอมโมเนียม เท่ากับ 68.90 mg kg^{-1} (ตารางผนวกที่ 10 และภาพที่ 10)

ปริมาณแอมโมเนียมของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแอมโมเนียม เท่ากับ 640.70 mg kg^{-1} แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นจนสูงถึง 198.7 mg kg^{-1} เมื่อหมักไปได้ 42 วัน จากนั้นมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 84 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแอมโมเนียม เท่ากับ 66.60 mg kg^{-1} (ตารางผนวกที่ 10 และภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียมของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

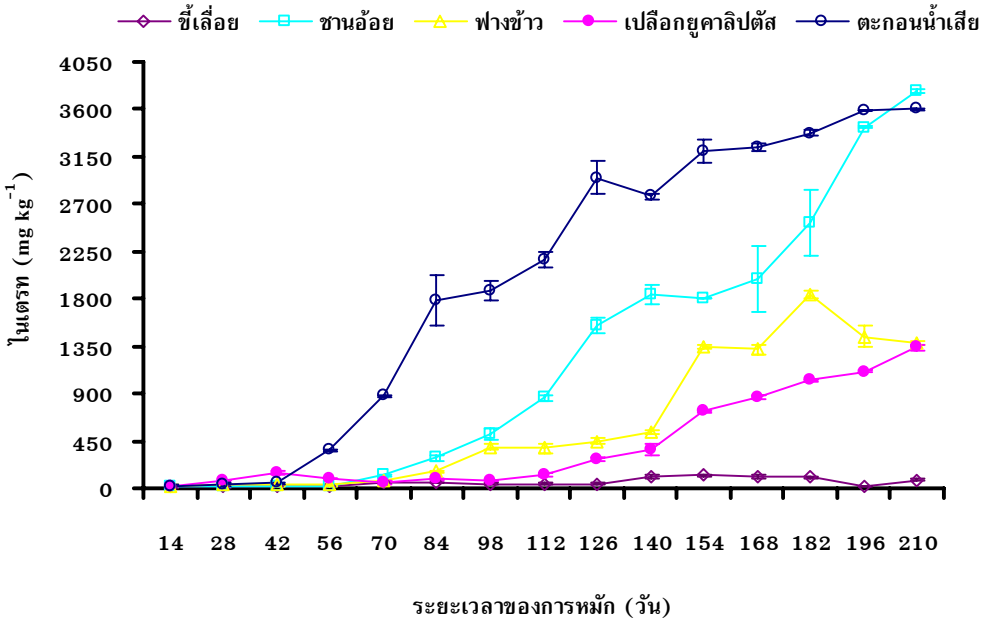
จากผลการทดลองพบว่าปริมาณแอมโมเนียมของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย และเปลือกยูคาลิปตัส มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นไปในรูปแบบคล้ายคลึงกัน ขณะที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีแอมโมเนียมเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ แล้วมีค่าลดลงเช่นเดียวกันในวันที่ 70 ของการหมัก สาเหตุที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีปริมาณแอมโมเนียมเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและปลดปล่อยแอมโมเนียมออกมาในสัดส่วนที่สูงกว่าการสูญเสียในรูปแอมโมเนียภายใต้อุณหภูมิสูง เมื่อหมักไปได้ 84-98 วัน ปริมาณแอมโมเนียมของปุ๋ยหมักทุกชนิดลดลงจนมีค่าใกล้เคียงกัน อาจมีสาเหตุได้หลายประการ เช่น มีสูญเสียแอมโมเนียมไปในรูปของแก๊สแอมโมเนีย หรือแอมโมเนียมถูกชะล้างในระหว่างการรดน้ำ หรือแอมโมเนียมถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรทโดยกระบวนการ nitrification แต่สาเหตุสำคัญคือเกิดกระบวนการ nitrification สังเกตได้จากปริมาณไนเตรทมีค่าเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณแอมโมเนียมที่ลดลง (ภาพที่ 11) จากนั้นปริมาณแอมโมเนียมของปุ๋ยหมักทุกชนิดจะค่อนข้างคงที่ แสดงว่ากระบวนการ ammonification เกิดขึ้นต่ำ ซึ่งสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดความสมบูรณ์ของการหมักได้ (Mathur *et al.*, 1993)

2.3.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรท

ปริมาณไนเตรทของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีไนเตรท เท่ากับ 23.5 mg kg^{-1} แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสูงถึง 1,839.9 mg kg^{-1} เมื่อหมักไปได้ 182 วัน จากนั้นมีค่าลดลง เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีไนเตรท เท่ากับ 1,384.7 mg kg^{-1} (ตารางผนวกที่ 11 และภาพที่ 11)

ปริมาณไนเตรทของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีไนเตรท เท่ากับ 14.7 mg kg^{-1} จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสูงถึง 3,772.2 mg kg^{-1} เมื่อหมักไปได้ 210 วัน (ตารางผนวกที่ 11 และภาพที่ 11)

ปริมาณไนเตรทของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีไนเตรท เท่ากับ 11.8 mg kg^{-1} จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 140 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีไนเตรท เท่ากับ 77.9 mg kg^{-1} (ตารางผนวกที่ 11 และภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ปริมาณไนเตรทของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีไนเตรท เท่ากับ 14.7 mg kg^{-1} จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 182 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีไนเตรท เท่ากับ 1,340.9 mg kg^{-1} (ตารางผนวกที่ 11 และภาพที่ 11)

ปริมาณไนเตรทของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีไนเตรท เท่ากับ 23.5 mg kg^{-1} จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 182 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีไนเตรท เท่ากับ 3,600.2 mg kg^{-1} (ตารางผนวกที่ 11 และภาพที่ 11)

จากผลการทดลองพบว่าในช่วงแรกของการหมัก ไนเตรทของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักยังสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส จึงยับยั้งกิจกรรมและการเจริญเติบโตของ nitrifying bacteria (Morisaki *et al*., 1989) เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ไนเตรทของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย เริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอตามระยะเวลาการหมัก โดยปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีไนเตรทเพิ่มขึ้นสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจนในช่วงแรก ๆ แต่ในช่วงท้ายมีค่าใกล้เคียงปุ๋ยหมักชานอ้อย สาเหตุที่ปริมาณไนเตรทเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากแอมโมเนียมที่ปลดปล่อยจากการสลายตัวของอินทรียสารถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนเตรท สังเกตได้จากปริมาณแอมโมเนียมลดลงสัมพันธ์กับปริมาณไนเตรทที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 10) ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักตลอดระยะเวลาการหมัก อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักยังคงสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่งปริมาณไนเตรทเริ่มสูงกว่า 300 mg kg^{-1} สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดความสมบูรณ์ของการหมักได้ (Forster *et al*., 1993) โดยปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสียใช้ระยะเวลาในการหมัก 98, 98, 140 และ 56 วัน ตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยยังคงมีค่าต่ำจนสิ้นสุดการหมัก เมื่อพิจารณาปริมาณไนเตรทของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าสูงที่สุด ส่วนปุ๋ยหมักจากชานอ้อย ฟางข้าว และเปลือกยูคาลิปตัส มีค่าลดหลั่นกันตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าต่ำที่สุด สาเหตุที่ปุ๋ยหมักแต่ละชนิดมีปริมาณไนเตรทมากน้อยแตกต่างกัน อาจเนื่องมาวัสดุหมักมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ตลอดจนกระบวนการย่อยสลายและแปรสภาพของวัสดุแต่ละชนิดแตกต่างกัน

2.3.4 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสทั้งหมด

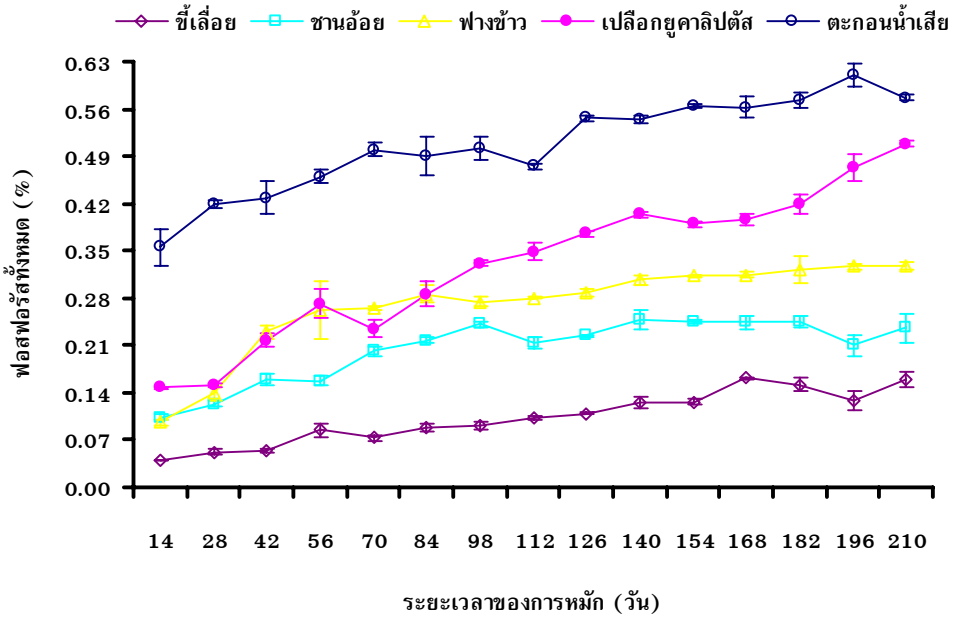
เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.096% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น

อย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 154 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.327% (ตารางผนวกที่ 12 และภาพที่ 12)

เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.104% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 98 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.236% (ตารางผนวกที่ 12 และภาพที่ 12)

เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.039% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 168 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.160% (ตารางผนวกที่ 12 และภาพที่ 12)

เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.147% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.508% (ตารางผนวกที่ 12 และภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.355% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสูงถึง 0.611% เมื่อหมักไปได้ 196 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.577% (ตารางผนวกที่ 12 และภาพที่ 12)

จากผลการทดลองพบว่าปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย มีฟอสฟอรัสทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ เป็นไปในรูปแบบคล้ายคลึงกัน แต่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน สาเหตุที่ฟอสฟอรัสทั้งหมดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้น้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลง (ภาพที่ 2) ขณะที่ฟอสฟอรัสไม่มีการสูญเสียโดยการระเหย แต่สูญเสียโดยการชะล้างเล็กน้อย เนื่องจากฟอสเฟตจะตกตะกอนเป็นของแข็งที่ละลายน้ำได้ยาก ทำให้ฟอสฟอรัสทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย เริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 154, 98, 168 และ 196 วัน ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก สังเกตจากน้ำหนักกอง อินทรียวัตถุ และเถ้าค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 2, 3 และ 7) ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยยังคงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการหมัก อาจเนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายยังไม่เสร็จสิ้น เมื่อพิจารณาฟอสฟอรัสทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าสูงที่สุด ส่วนปุ๋ยหมักจากเปลือกยูคาลิปตัส ฟางข้าว และชานอ้อย มีค่าลดหลั่นกันตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าต่ำที่สุด สาเหตุที่ปุ๋ยหมักแต่ละชนิดมีฟอสฟอรัสทั้งหมดมากน้อยแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากวัสดุหมักแต่ละชนิดมีฟอสฟอรัสทั้งหมดและอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน โดยตะกอนน้ำเสียมีฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงมาก อาจเนื่องมาจากน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษปนเปื้อนฟอฟอรัสจากการล้างวัตถุดิบฟอกเยื่อ ล้างเครื่องจักรกล และระบายความร้อน เมื่อบำบัดน้ำเสียทำให้ตะกอนที่แยกออกมามีฟอสฟอรัสปนเปื้อนอยู่สูง ซึ่งตะกอนน้ำเสียโดยทั่วไปมีฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.2-3.0% และส่วนใหญ่อยู่ในรูปอนินทรีย์ฟอสฟอรัส (Sommers, 1977)

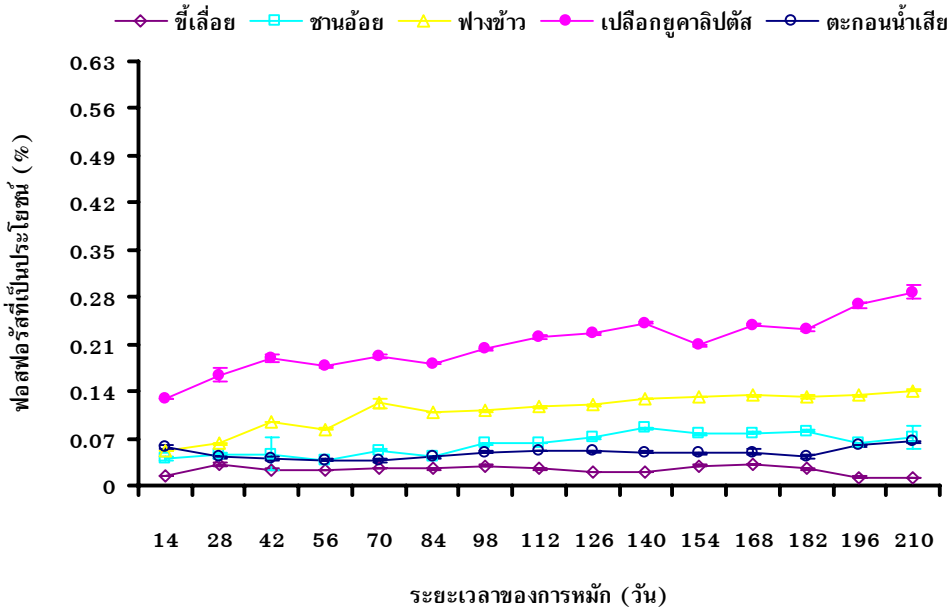
2.3.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 0.052% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสูงถึง 0.141% เมื่อหมักไปได้ 210 วัน (ตารางผนวกที่ 13 และภาพที่ 13)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 0.040% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 140 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 0.071% (ตารางผนวกที่ 13 และภาพที่ 13)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 0.015% แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสูงถึง 0.030% เมื่อหมักไปได้ 98 วัน จากนั้นมีค่าลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 0.011% (ตารางผนวกที่ 13 และภาพที่ 13)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 0.129% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 0.288% (ตารางผนวกที่ 13 และภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 0.058% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 98 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 0.065% (ตารางผนวกที่ 13 และภาพที่ 13)

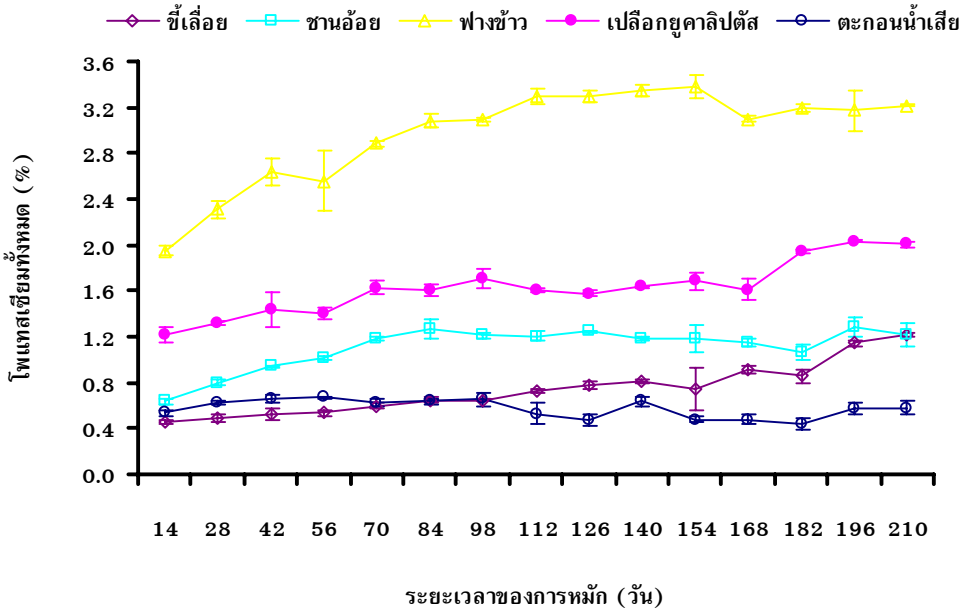
จากผลการทดลองพบว่าปุ๋ยหมักชานอ้อยมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ ในช่วงท้ายมีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการหมัก แต่ปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยและตะกอนน้ำเสียมีค่าค่อนข้างคงที่หรือลดลงเล็กน้อย สาเหตุที่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้น้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลง (ภาพที่ 2) และ C/P ratio ลดลงจนถึงประมาณ 200 ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์จึงถูกปลดปล่อยออกมา ส่วนสาเหตุที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลง อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์นำไปใช้ในการสร้างเซลล์ เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง ปุ๋ยหมักจากชานอ้อยและตะกอนน้ำเสียเริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อหมักไปได้ 140 และ 98 วัน ตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและเปลือกยูคาลิปตัสยังคงมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าสูงที่สุด ส่วนปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย และตะกอนน้ำเสีย มีค่าลดหลั่นกันตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าต่ำที่สุด สาเหตุที่ปุ๋ยหมักแต่ละชนิดมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากน้อยแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากวัสดุหมักแต่ละชนิดมีฟอสฟอรัสทั้งหมดและอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน (ตารางที่ 2) ตลอดจนลักษณะทางกายภาพของตัวอย่างปุ๋ยหมักที่ใช้วิเคราะห์ ถึงแม้ว่าปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสจะมีฟอสฟอรัสทั้งหมดต่ำกว่าปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสีย แต่เมื่อสกัดตัวอย่างปุ๋ยหมักด้วยสารละลาย Mehlich No.1 พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกสกัดออกมามีค่าใกล้เคียงฟอสฟอรัสทั้งหมดโดยเฉพาะในวันแรก ๆ ของการหมักที่ยังคงมีลักษณะเป็นเศษพืชอยู่ จึงทำการเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ของฟางข้าวและเปลือกยูคาลิปตัสที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการหมัก (ตารางผนวกที่ 24) พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่สกัดได้ใกล้เคียงกับฟอสฟอรัสฟอรัสทั้งหมดเช่นเดียวกัน แสดงว่าการนำตัวอย่างพืชมาสกัดด้วยสารละลาย Mehlich No.1 ที่ประกอบด้วย 0.05 N HCl และ 0.025 N H_2SO_4 สามารถละลายฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในสารประกอบอินทรีย์ได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรก ๆ ของการหมัก ที่ฟอสฟอรัสเป็นส่วนของสารประกอบที่โครงสร้างไม่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามในช่วงหลังของการหมักที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนมากขึ้น การสกัดด้วยสารละลายดังกล่าวจะได้น้อยลง ขณะที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียพบว่าหากตัวอย่างแห้งจะทำให้วิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้น้อยลง อาจเนื่องมาจากปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีเกลือชนิดต่าง ๆ ในปริมาณสูง สังเกตได้จากมี

ปริมาณเถ้าในสัดส่วนที่สูงมาก (ภาพที่ 7) ทำให้เกิดเป็นสารแคลเซียมหรือแมกนีเซียมฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ยาก

2.3.6 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมทั้งหมด

เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.95% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 112 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 3.22% (ตารางผนวกที่ 14 และภาพที่ 14)

เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.64% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 70 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.21% (ตารางผนวกที่ 14 และภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.46% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 196 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.22% (ตารางผนวกที่ 14 และภาพที่ 14)

เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.21% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 196 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 2.03% (ตารางผนวกที่ 14 และภาพที่ 14)

เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.53% จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีโพแทสเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.58% (ตารางผนวกที่ 14 และภาพที่ 14)

จากผลการทดลองพบว่าโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย และเปลือกยูคาลิปตัส มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ ในช่วงท้ายมีค่าค่อนข้างคงที่หรือลดลงเล็กน้อย ส่วนปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการหมัก แต่ปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน ขณะที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าลดลงบ้างเล็กน้อย สาเหตุที่โพแทสเซียมทั้งหมดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้น้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลงและเถ้าเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2 และ7) ขณะที่โพแทสเซียมไม่มีการสูญเสียโดยการระเหย แต่จะมีการสูญเสียโดยการชะล้าง ทำให้โพแทสเซียมทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มมากขึ้น เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย และเปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย เริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 112, 70, 196 และ 196 วัน ตามลำดับ สาเหตุที่โพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและชานอ้อยคงที่เร็วกว่าปุ๋ยหมักจากขี้เลื่อยและเปลือกยูคาลิปตัส อาจเนื่องมาจากฟางข้าวและชานอ้อยย่อยสลายได้ง่ายกว่าขี้เลื่อยและเปลือกยูคาลิปตัส ขณะที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าลดลงเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากมีการสูญเสียโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ในระหว่างรดน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับ Sommer (2001) ที่รายงานว่าปุ๋ยหมักจากสิ่งหมักหมมบนพื้นคอกสัตว์มีการสูญเสียโพแทสเซียมโดยการชะล้างประมาณ 8-16% ของโพแทสเซียมทั้งหมดเริ่มต้น เมื่อพิจารณาโพแทสเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าสูงที่สุด ส่วนปุ๋ยหมักจากเปลือกยูคาลิปตัส ชานอ้อย และขี้เลื่อย มีค่าลดหลั่นกันตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าต่ำที่สุด สาเหตุที่ปุ๋ยหมักแต่ละชนิดมีโพแทสเซียมทั้งหมดมากน้อยแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากวัสดุหมักแต่ละชนิดมีโพแทสเซียมทั้งหมดและอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน โดยฟาง

ข้าวมีโพแทสเซียมทั้งหมดสูงมาก อาจเนื่องมาจากข้าวต้องการโพแทสเซียมสูงมาก โดยเฉพาะในระยะที่กำเนิดช่อดอกจนถึงระยะที่ข้าวออกรวงอย่างสมบูรณ์ แต่พบว่ามีเพียง 20% ของปริมาณโพแทสเซียมที่ข้าวดูดดึงขึ้นไปเท่านั้นที่ส่งผ่านไปยังช่อดอก ส่วนที่เหลือยังคงสะสมอยู่ในส่วนของลำต้นและใบจนกระทั่งแก่ (Yoshida, 1981) ประกอบกับฟางข้าวมีสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย สังเกตได้จากน้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลงเร็ว (ภาพที่ 2) ทำให้ปุ๋ยหมักฟางข้าวมีโพแทสเซียมทั้งหมดสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน

2.3.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้

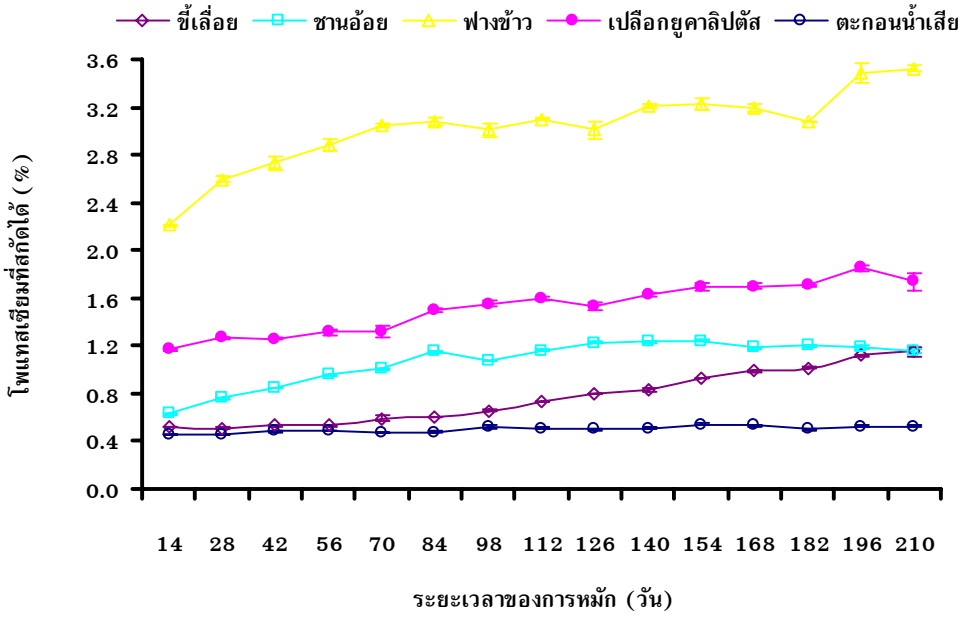
ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีโพแทสเซียมที่สกัดได้ เท่ากับ 2.21% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 196 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีโพแทสเซียมที่สกัดได้ 3.52% (ตารางผนวกที่ 15 และภาพที่ 15)

ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีโพแทสเซียมที่สกัดได้ เท่ากับ 0.63% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 112 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีโพแทสเซียมที่สกัดได้ เท่ากับ 1.16% (ตารางผนวกที่ 15 และภาพที่ 15)

ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีโพแทสเซียมที่สกัดได้ เท่ากับ 0.517% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนกระทั่งหมักไปได้ 210 วัน มีโพแทสเซียมที่สกัดได้ เท่ากับ 1.15% (ตารางผนวกที่ 15 และภาพที่ 15)

ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีโพแทสเซียมที่สกัดได้ เท่ากับ 1.17% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 154 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีโพแทสเซียมที่สกัดได้ เท่ากับ 1.74% (ตารางผนวกที่ 15 และภาพที่ 15)

ปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีโพแทสเซียมที่สกัดได้ เท่ากับ 0.45% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 98 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีโพแทสเซียมที่สกัดได้ เท่ากับ 0.52% (ตารางผนวกที่ 15 และภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย และเปลือกยูคาลิปตัส มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ และในช่วงท้ายมีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการหมัก ขณะที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แต่ปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน สาเหตุที่โพแทสเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกับโพแทสเซียมทั้งหมด อาจเนื่องมาจากโพแทสเซียมในวัสดุอินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่ได้ถูกรวมอยู่กับอินทรียสารอย่างเหนียวแน่น ประกอบกับมีโพแทสเซียมบางส่วนที่เป็นน้ำในวัสดุที่ถูกปลดปล่อยออกมาได้ง่ายในกระบวนการย่อยสลายขั้นต้น ๆ แต่จะมีโพแทสเซียมบางส่วนที่รวมตัวอยู่กับอินทรียสารแบบสลับซับซ้อนที่ต้องผ่านย่อยสลายของพืชหลายขั้นตอนจึงจะถูกปล่อยปล่อยออกมา Vogtmann *et al.* (1993) รายงานว่าปุ๋ยหมักส่วนใหญ่จะมีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์มากกว่า 85% ของโพแทสเซียมทั้งหมด เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย เริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 196, 112, 154 และ 98 วัน ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก สังเกตได้น้ำหนักกองปุ๋ยหมัก อินทรียวัตถุ และเถ้ามีค่าค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 2, 3 และ 7) เมื่อพิจารณาปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้ของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าสูงที่สุด ส่วนปุ๋ยหมักจากเปลือกยูคาลิปตัส ชานอ้อย และขี้เลื่อย มีค่าลดหลั่นตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าต่ำที่สุด สาเหตุที่ปุ๋ยหมักแต่

ละชนิดมีปริมาณโพแทสเซียมที่สกัดได้มากน้อยแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากวัสดุหมักแต่ละชนิดมีโพแทสเซียมทั้งหมดและอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน โดยเฉพาะฟางข้าวมีโพแทสเซียมทั้งหมดสูง ประกอบกับมีสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย เมื่อผ่านกระบวนการหมักจึงทำให้ปุ๋ยหมักฟางข้าวมีโพแทสเซียมที่สกัดได้สูง นอกจากนี้ฟางข้าวยังมีลักษณะเป็นเส้นใยสูงสามารถดูดซับน้ำได้มากและกักเก็บไว้ในรูพรุน ทำให้สามารถลดการสูญเสียโพแทสเซียมโดยการชะล้างได้ (Iyengar and Bhave, 2006) ขณะที่ตะกอนน้ำเสียมีโพแทสเซียมต่ำอยู่แล้ว ประกอบกับได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายมาช่วงระยะหนึ่ง ทำให้โพแทสเซียมในรูปทั้งหมดและรูปที่ละลายน้ำได้เปลี่ยนแปลงไม่มากนักตามระยะเวลาการหมัก

2.3.8 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์ทั้งหมด

เปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์ทั้งหมดของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีซัลเฟอร์ทั้งหมด เท่ากับ 0.692% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 154 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีซัลเฟอร์ทั้งหมด เท่ากับ 1.541% (ตารางผนวกที่ 16 และภาพที่ 16)

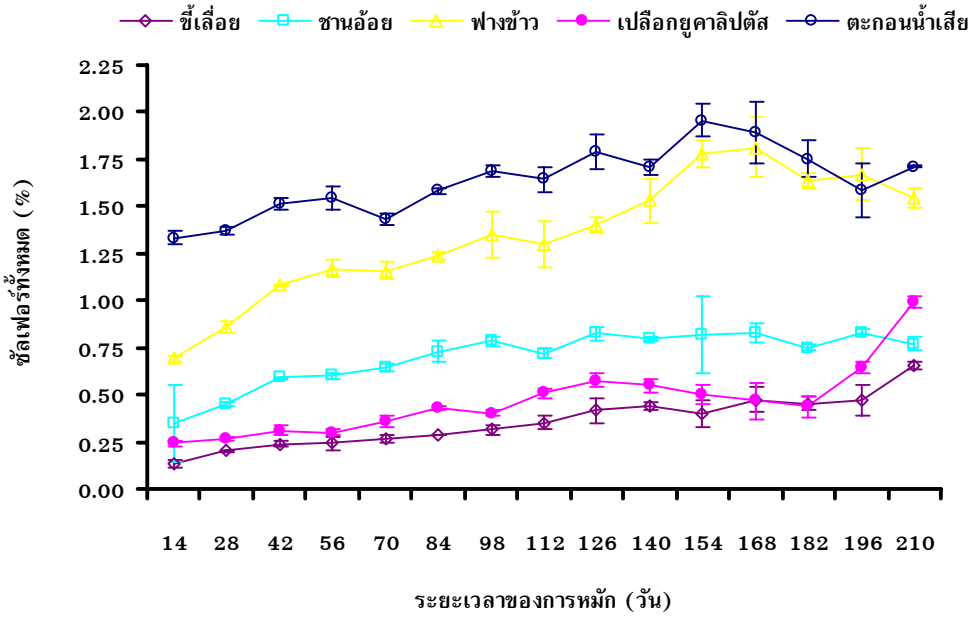
เปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์ทั้งหมดของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีซัลเฟอร์ทั้งหมด เท่ากับ 0.346% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 98 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีซัลเฟอร์ทั้งหมด เท่ากับ 0.771% (ตารางผนวกที่ 16 และภาพที่ 16)

เปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์ทั้งหมดของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีซัลเฟอร์ทั้งหมด เท่ากับ 0.136% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีซัลเฟอร์ทั้งหมด เท่ากับ 0.653% (ตารางผนวกที่ 16 และภาพที่ 16)

เปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์ทั้งหมดของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีซัลเฟอร์ทั้งหมด เท่ากับ 0.243% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีซัลเฟอร์ทั้งหมด เท่ากับ 0.988% (ตารางผนวกที่ 16 และภาพที่ 16)

เปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์ทั้งหมดของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีซัลเฟอร์ทั้งหมด เท่ากับ 1.334% จากนั้นมีค่า

เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 154 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีซัลเฟอร์ทั้งหมด เท่ากับ 1.713% (ตารางผนวกที่ 16 และภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์ทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

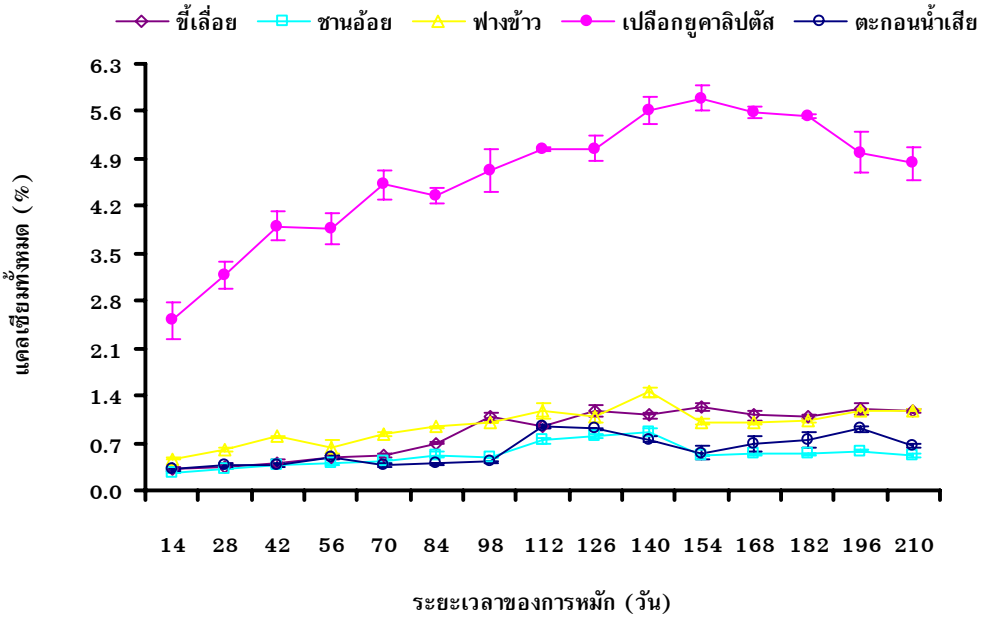
จากผลการทดลองพบว่าซัลเฟอร์ทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย และตะกอนน้ำเสีย มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ แล้วในช่วงท้ายมีค่าค่อนข้างคงที่หรือลดลง ขณะที่ปุ๋ยหมักจากขี้เลื่อยและเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการหมัก สาเหตุที่ซัลเฟอร์ทั้งหมดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้น้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลง (ภาพที่ 2) ซัลเฟอร์ทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น ซึ่งแหล่งซัลเฟอร์ของปุ๋ยหมักส่วนใหญ่อยู่ในรูปของกรดอะมิโน ได้แก่ cysteine และ methionine ในโปรตีน (Day and Shaw, 2001) เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง ปุ๋ยหมักชานอ้อยเริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 98 วัน ส่วนปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและตะกอนน้ำเสียมีค่าลดลง เมื่อหมักไปได้ 154 วัน อาจเนื่องมาจากมีการระเหยของซัลไฟด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสภาพอับอากาศ (Day and Shaw, 2001) ขณะที่ปุ๋ยหมักจากขี้เลื่อยและเปลือกยูคาลิปตัสยังคงมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาซัลเฟอร์ทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าในช่วงแรกของการหมัก ฟางข้าวมีซัลเฟอร์ทั้งหมดต่ำกว่าตะกอนน้ำเสียเกือบเท่าตัว แต่ฟางข้าวมีอัตราการย่อยสลายสูงกว่าตะกอนน้ำเสีย (ภาพที่ 2) ทำให้ในช่วงท้ายปุ๋ยหมักฟางข้าวและตะกอนน้ำเสียมีซัลเฟอร์

ทั้งหมดสูงใกล้เคียงกัน ขณะที่ปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัส ชานอ้อย ขี้เลื่อย มีค่าลดหลั่นกันตามลำดับ

2.3.9 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์แคลเซียมทั้งหมด

เปอร์เซ็นต์แคลเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแคลเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.471% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสูงถึง 1.449% เมื่อหมักไปได้ 140 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแคลเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.179% (ตารางผนวกที่ 17 และภาพที่ 17)

เปอร์เซ็นต์แคลเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแคลเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.261% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสูงถึง 0.850% เมื่อหมักไปได้ 140 วัน จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแคลเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.511% (ตารางผนวกที่ 17 และภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์แคลเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เปอร์เซ็นต์แคลเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแคลเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.318% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 126 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแคลเซียมทั้งหมด เท่ากับ 1.178% (ตารางผนวกที่ 17 และภาพที่ 17)

เปอร์เซ็นต์แคลเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแคลเซียมทั้งหมด เท่ากับ 2.510% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 140 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแคลเซียมทั้งหมด เท่ากับ 4.828% (ตารางผนวกที่ 17 และภาพที่ 17)

เปอร์เซ็นต์แคลเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแคลเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.311% แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 112 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแคลเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.662% (ตารางผนวกที่ 17 และภาพที่ 17)

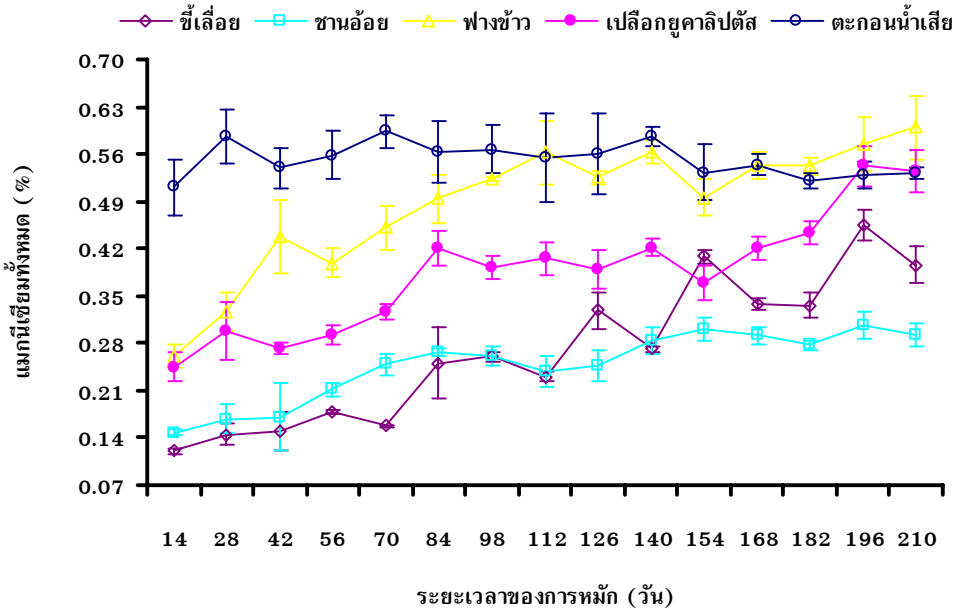
จากผลการทดลองพบว่าแคลเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย และตะกอนน้ำเสีย มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากและมีค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่ปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ ในช่วงท้ายมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่ยังคงมีค่าสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน สาเหตุที่แคลเซียมทั้งหมดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลให้น้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลงและเถ้าเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2 และ7) แคลเซียมทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย เริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 140, 140, 126, 140 และ 112 วัน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแคลเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าสูงที่สุด ส่วนปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ขี้เลื่อย และตะกอนน้ำเสีย มีค่าลดหลั่นกันตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าต่ำที่สุด สาเหตุที่ปุ๋ยหมักแต่ละชนิดมีแคลเซียมทั้งหมดมากน้อยแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากวัสดุหมักแต่ละชนิดมีแคลเซียมทั้งหมดและอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกัน โดยเปลือกยูคาลิปตัสมีแคลเซียมทั้งหมดสูงมาก ซึ่งสอดคล้องกับ Grove *et al.* (1996) ที่รายงานว่าต้นยูคาลิปตัสมีระดับแคลเซียมทั้งหมดในส่วนของเปลือกสูงกว่าพืชชนิดอื่น ๆ เมื่อนำมาหมักจึงทำให้ปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีแคลเซียมทั้งหมดสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน He *et al*. (2001) รายงานว่าความเข้มข้นของแคลเซียมในปุ๋ยหมักมีค่าอยู่ในช่วง 2.1–7.5% เฉลี่ย 3.9% รูปที่เป็นประโยชน์ขึ้นอยู่กับแหล่งของวัตถุดิบและองค์ประกอบของวัตถุดิบ

2.3.10 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์แมกนีเซียมทั้งหมด

เปอร์เซ็นต์แมกนีเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแมกนีเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.262% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 98 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแมกนีเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.599% (ตารางผนวกที่ 18 และภาพที่ 18)

เปอร์เซ็นต์แมกนีเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแมกนีเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.148% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 140 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแมกนีเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.293% (ตารางผนวกที่ 18 และภาพที่ 18)

เปอร์เซ็นต์แมกนีเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแมกนีเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.121% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 196 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแมกนีเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.396% (ตารางผนวกที่ 18 และภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์แมกนีเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เปอร์เซ็นต์แมกนีเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแมกนีเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.245% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 196 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแมกนีเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.534% (ตารางผนวกที่ 18 และภาพที่ 18)

เปอร์เซ็นต์แมกนีเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแมกนีเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.511% จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่และลดลง เมื่อหมักไปได้ 182 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแมกนีเซียมทั้งหมด เท่ากับ 0.531% (ตารางผนวกที่ 18 และภาพที่ 18)

จากผลการทดลองพบว่าแมกนีเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย และเปลือกยูคาลิปตัส มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ และในช่วงท้ายมีค่าค่อนข้างคงที่ เป็นไปในรูปแบบคล้ายคลึงกัน ขณะที่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก สาเหตุที่แมกนีเซียมทั้งหมดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลให้น้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลงและเถ้าเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2 และ 7) แมกนีเซียมทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย และเปลือกยูคาลิปตัส เริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 98, 140, 196 และ 196 วัน ตามลำดับ สาเหตุที่แมกนีเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและชานอ้อยคงที่เร็วกว่าขี้เลื่อยและปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัส อาจเนื่องมาจากมีสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายกว่า เมื่อพิจารณาแมกนีเซียมทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าในช่วงแรกปุ๋ยหมักฟางข้าวและเปลือกยูคาลิปตัสมีแมกนีเซียมทั้งหมดใกล้เคียงกัน แต่ต่ำกว่าปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียเกือบเท่าตัว แต่มีอัตราการย่อยสลายสูงกว่า สังเกตได้จากน้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลงมากกว่า (ภาพที่ 2) ทำให้ในช่วงท้ายปุ๋ยหมักฟางข้าวและเปลือกยูคาลิปตัสมีแมกนีเซียมทั้งหมดสูงใกล้เคียงปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสีย

2.3.11 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์เหล็กทั้งหมด

เปอร์เซ็นต์เหล็กทั้งหมดของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีเหล็กทั้งหมด เท่ากับ 0.036% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 140 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีเหล็กทั้งหมด เท่ากับ 0.188% (ตารางผนวกที่ 19 และภาพที่ 19)

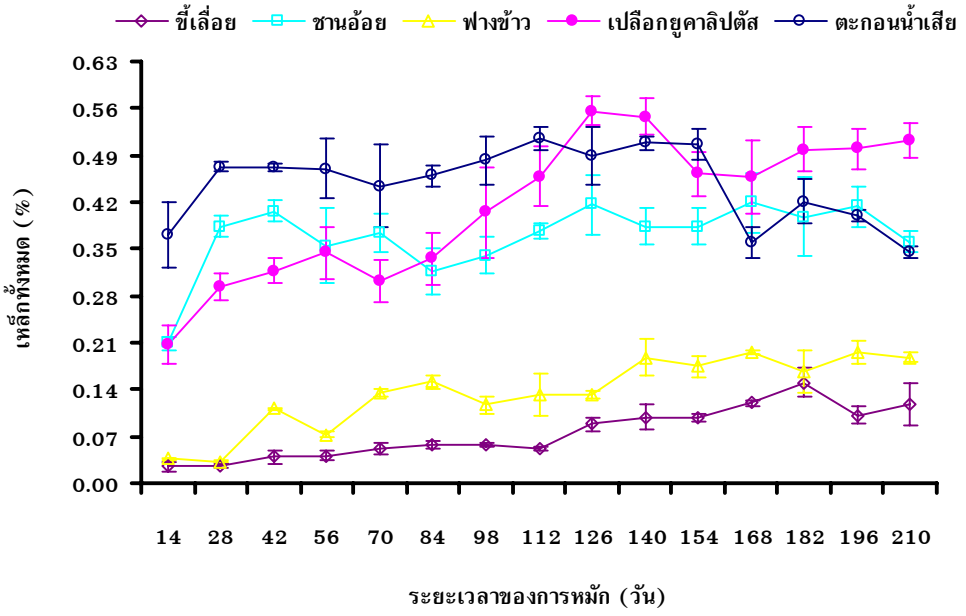
เปอร์เซ็นต์เหล็กทั้งหมดของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีเหล็กทั้งหมด เท่ากับ 0.209% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่าง

ต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 42 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีเหล็กทั้งหมด เท่ากับ 0.360% (ตารางผนวกที่ 19 และภาพที่ 19)

เปอร์เซ็นต์เหล็กทั้งหมดของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีเหล็กทั้งหมด เท่ากับ 0.025% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสูงถึง 0.151% เมื่อหมักไปได้ 182 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีเหล็กทั้งหมด เท่ากับ 0.119% (ตารางผนวกที่ 19 และภาพที่ 19)

เปอร์เซ็นต์เหล็กทั้งหมดของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีเหล็กทั้งหมด เท่ากับ 0.207% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 126 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีเหล็กทั้งหมด เท่ากับ 0.512% (ตารางผนวกที่ 19 และภาพที่ 19)

เปอร์เซ็นต์เหล็กทั้งหมดของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีเหล็กทั้งหมด เท่ากับ 0.371% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ จนสูงถึง 0.508% เมื่อหมักไปได้ 140 วัน จากนั้นมีค่าลดลงจนสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีเหล็กทั้งหมด เท่ากับ 0.345% (ตารางผนวกที่ 19 และภาพที่ 19)



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์เหล็กทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

จากผลการทดลองพบว่าเหล็กทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ขี้เลื่อย และเปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ และในช่วงท้ายมีค่าค่อนข้างคงที่หรือลดลงเล็กน้อยเป็นไปในรูปแบบคล้ายคลึงกัน แต่ในวันที่ 168 ของการหมัก ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีเหล็กทั้งหมดลดลงอย่างรวดเร็ว อาจเนื่องมาจากเหล็กในรูปที่เป็นประโยชน์ถูกชะล้างในระหว่างการรดน้ำ สาเหตุที่เหล็กทั้งหมดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลให้น้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลงและเถ้าเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2 และ7) เหล็กทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย และเปลือกยูคาลิปตัส เริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 140, 42 และ 126 วัน ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากเหลือแต่สารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก สังเกตได้จากน้ำหนักกองปุ๋ยหมัก อินทรียวัตถุ และเถ้าค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 2, 3 และ 7) เมื่อพิจารณาเหล็กทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าในช่วงแรกปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีเหล็กสูงที่สุด แต่มีการย่อยสลายไม่มากนัก ทำให้เหล็กทั้งหมดมีค่าค่อนข้างคงที่และลดลงจนใกล้เคียงปุ๋ยหมักชานอ้อย ขณะที่ปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ

2.3.12 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์สังกะสีทั้งหมด

เปอร์เซ็นต์สังกะสีทั้งหมดของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีสังกะสีทั้งหมด เท่ากับ 0.0059% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 196 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีสังกะสีทั้งหมด เท่ากับ 0.0119% (ตารางผนวกที่ 20 และภาพที่ 20)

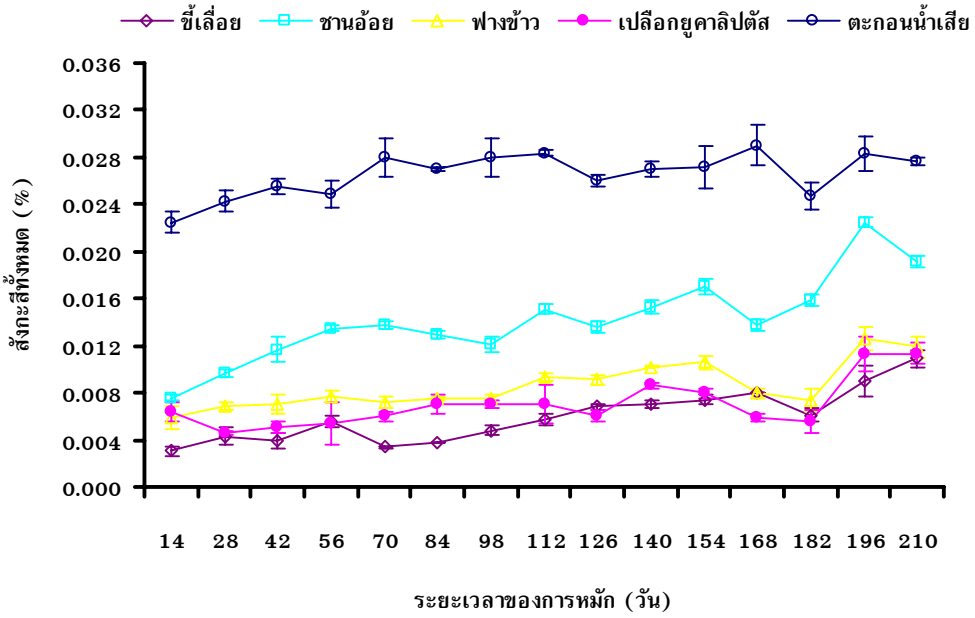
เปอร์เซ็นต์สังกะสีทั้งหมดของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีสังกะสีทั้งหมด เท่ากับ 0.0076% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจน สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 196 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีสังกะสีทั้งหมด เท่ากับ 0.0192% (ตารางผนวกที่ 20 และภาพที่ 20)

เปอร์เซ็นต์สังกะสีทั้งหมดของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีสังกะสีทั้งหมด เท่ากับ 0.0031% จากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 196 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีสังกะสีทั้งหมด เท่ากับ 0.0109% (ตารางผนวกที่ 22 และภาพที่ 20)

เปอร์เซ็นต์สังกะสีทั้งหมดของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีสังกะสีทั้งหมด เท่ากับ 0.0064% จากนั้นมีค่า

เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 196 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีสังกะสีทั้งหมด เท่ากับ 0.0113% (ตารางผนวกที่ 20 และภาพที่ 20)

เปอร์เซ็นต์สังกะสีทั้งหมดของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีสังกะสีทั้งหมด เท่ากับ 0.0225% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 70 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีสังกะสีทั้งหมด เท่ากับ 0.0277% (ตารางผนวกที่ 20 และภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์สังกะสีทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

จากผลการทดลองพบว่าสังกะสีทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ และในช่วงท้ายมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน ส่วนปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าปานกลาง ขณะที่ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ขี้เลื่อย และเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าต่ำพอ ๆ กัน สาเหตุที่สังกะสีทั้งหมดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลให้น้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลงและเถ้าเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2 และ 7) สังกะสีทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย เริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 196, 196, 196, 196 และ 70 วัน ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากเหลือเพียงสารประกอบ

อินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก สังเกตได้จากน้ำหนักกองปุ๋ยหมัก อินทรียวัตถุ และเถ้าค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 2, 3 และ 7) เมื่อพิจารณาสังกะสีทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษปนเปื้อนสังกะสีจากการล้างวัตถุดิบ ฟอกเยื่อ ล้างเครื่องจักรกล และระบายความร้อน เมื่อบำบัดน้ำเสียทำให้ตะกอนที่แยกออกมามีสังกะสีปนเปื้อนอยู่สูง ส่วนปุ๋ยหมักจากชานอ้อย ฟางข้าว และเปลือกยูคาลิปตัส มีค่าลดหลั่นกันตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าต่ำที่สุด

2.3.13 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ทองแดงทั้งหมด

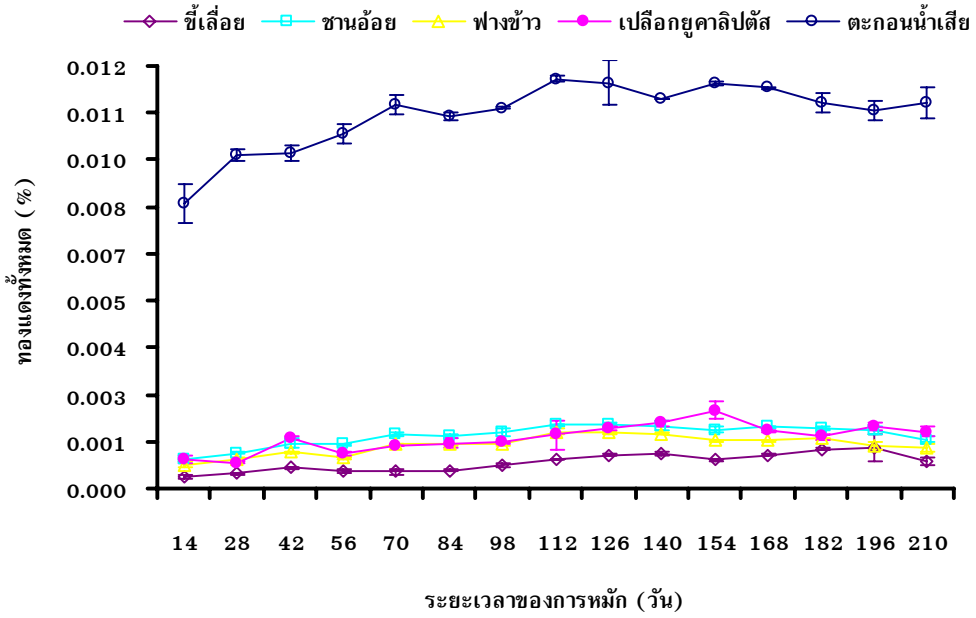
เปอร์เซ็นต์ทองแดงทั้งหมดของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีทองแดงทั้งหมด เท่ากับ 0.0007% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 70 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีทองแดงทั้งหมด เท่ากับ 0.0012% (ตารางผนวกที่ 21 และภาพที่ 21)

เปอร์เซ็นต์ทองแดงทั้งหมดของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีทองแดงทั้งหมด เท่ากับ 0.0008% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 70 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีทองแดงทั้งหมด เท่ากับ 0.0014% (ตารางผนวกที่ 21 และภาพที่ 21)

เปอร์เซ็นต์ทองแดงทั้งหมดของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีทองแดงทั้งหมด เท่ากับ 0.0003% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 98 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีทองแดงทั้งหมด เท่ากับ 0.0008% (ตารางผนวกที่ 21 และภาพที่ 21)

เปอร์เซ็นต์ทองแดงทั้งหมดของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีทองแดงทั้งหมด เท่ากับ 0.0009% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 112 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีทองแดงทั้งหมด เท่ากับ 0.0017% (ตารางผนวกที่ 21 และภาพที่ 21)

เปอร์เซ็นต์ทองแดงทั้งหมดของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีทองแดงทั้งหมด เท่ากับ 0.0083% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 70 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีทองแดงทั้งหมด เท่ากับ 0.0112% (ตารางผนวกที่ 21 และภาพที่ 21)



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ทองแดงทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

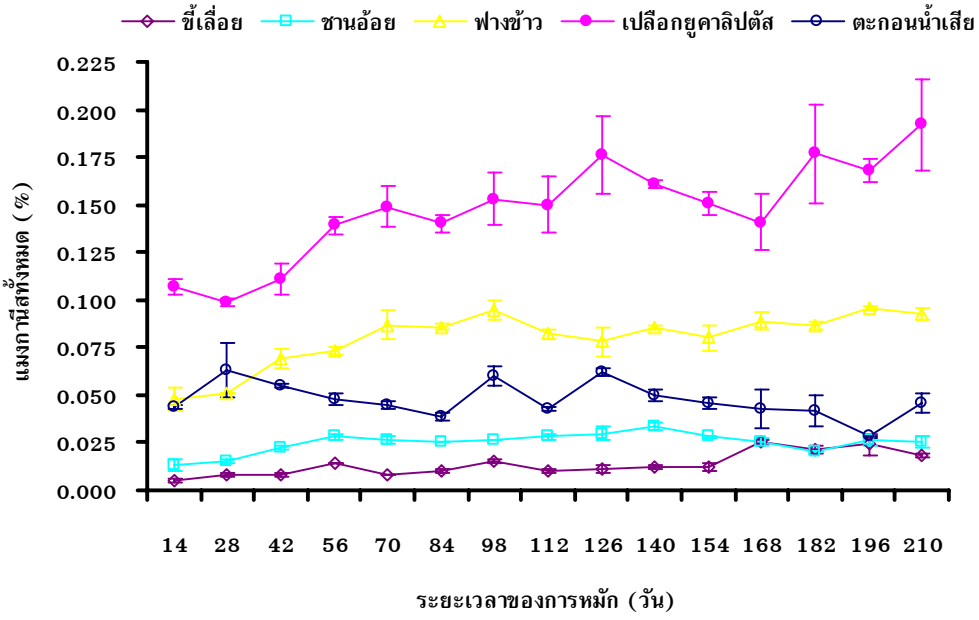
จากผลการทดลองพบว่าทองแดงทั้งหมดของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ และในช่วงท้ายมีค่าค่อนข้างคงที่ ขณะที่ปุ๋ยหมักฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย และเปลือกยูคาลิปตัส มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักและมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน สาเหตุที่ทองแดงทั้งหมดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลให้น้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลงและเถ้าเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2 และ 7) ทองแดงทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย เริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 70, 70, 98, 112 และ 70 วัน ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากเหลือแต่สารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก สังเกตได้จากน้ำหนักกองปุ๋ยหมัก อินทรียวัตถุ และเถ้าค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 2, 3 และ 7) เมื่อพิจารณาทองแดงทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากน้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษปนเปื้อนทองแดงจากการล้างวัตถุดิบ ฟอกเยื่อ ล้างเครื่องจักรกล และระบายความร้อน เมื่อบำบัดน้ำเสียทำให้ตะกอนที่แยกออกมามีทองแดงปนเปื้อนอยู่สูง ส่วนปุ๋ยหมักจากชานอ้อย เปลือกยูคาลิปตัส และฟางข้าว มีค่าลดหลั่นกันตามลำดับ ขณะที่ปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าต่ำที่สุด

2.3.14 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์แมงกานีสทั้งหมด

เปอร์เซ็นต์แมงกานีสทั้งหมดของปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแมงกานีสทั้งหมด เท่ากับ 0.048% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 70 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแมงกานีสทั้งหมด เท่ากับ 0.090% (ตารางผนวกที่ 22 และภาพที่ 22)

เปอร์เซ็นต์แมงกานีสทั้งหมดของปุ๋ยหมักชานอ้อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแมงกานีสทั้งหมด เท่ากับ 0.013% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 56 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแมงกานีสทั้งหมด เท่ากับ 0.025% (ตารางผนวกที่ 22 และภาพที่ 22)

เปอร์เซ็นต์แมงกานีสทั้งหมดของปุ๋ยหมักขี้เลื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแมงกานีสทั้งหมด เท่ากับ 0.005% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 168 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแมงกานีสทั้งหมด เท่ากับ 0.018% (ตารางผนวกที่ 22 และภาพที่ 22)



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์แมงกานีสทั้งหมดของปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย ตามระยะเวลาของการหมัก (error bars แสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

เปอร์เซ็นต์แมงกานีสทั้งหมดของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแมงกานีสทั้งหมด เท่ากับ 0.107% จากนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สม่ำเสมอ และค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 182 วัน เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแมงกานีสทั้งหมด เท่ากับ 0.192% (ตารางผนวกที่ 22 และภาพที่ 22)

เปอร์เซ็นต์แมงกานีสทั้งหมดของปุ๋ยหมักตะกอนน้ำเสียมีค่าลดลงตามระยะเวลาการหมัก โดยในวันที่ 14 ของการหมัก มีแมงกานีสทั้งหมด เท่ากับ 0.044% จากนั้นมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อสิ้นสุดการหมักที่ 210 วัน มีแมงกานีสทั้งหมด เท่ากับ 0.046% (ตารางผนวกที่ 22 และภาพที่ 22)

จากผลการทดลองพบว่าแมงกานีสทั้งหมดของปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน ส่วนปุ๋ยหมักฟางข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ แต่เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่ ขณะที่ปุ๋ยหมักจากขี้เลื่อย ชานอ้อย และตะกอนน้ำเสีย มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก สาเหตุที่แมงกานีสทั้งหมดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากอินทรียสารถูกย่อยสลายและมีการสูญเสียคาร์บอนไปในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีผลให้น้ำหนักกองปุ๋ยหมักลดลงและเถ้าเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 2 และ 7) แมงกานีสทั้งหมดต่อหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อหมักไปได้ระยะหนึ่ง ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว ชานอ้อย ขี้เลื่อย เปลือกยูคาลิปตัส และตะกอนน้ำเสีย เริ่มมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหมักไปได้ 70, 56, 168, 182 และ 28 วัน ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากเหลือแต่สารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก สังเกตได้จากน้ำหนักกองปุ๋ยหมัก อินทรียวัตถุ และเถ้าค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 2, 3 และ 7) เมื่อพิจารณาแมงกานีสทั้งหมดของปุ๋ยหมักแต่ละชนิด พบว่าปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากเปลือกยูคาลิปตัสมีแมงกานีสทั้งหมดสูง ซึ่งสอดคล้องกับ Herbert (1996) รายงานว่าแมงกานีสทั้งหมดของเปลือกยูคาลิปตัสมีค่าอยู่ในช่วง 4.46-8.44 กรัมต่อต้น และมีค่าสูงกว่าใบ กิ่งก้าน และลำต้น เมื่อผ่านกระบวนการหมักจึงทำให้ปุ๋ยหมักเปลือกยูคาลิปตัสมีแมงกานีสทั้งหมดสูงกว่าปุ๋ยหมักชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน