



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การแปรสภาพกากชีปะ่งน้ำยางชั้นโดยใช้จุลินทรีย์

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี และ คณะ

30 มิถุนายน 2552

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การแปรรูปกากชี้นำยางข้นโดยใช้จุลินทรีย์

(Modification of concentrated latex sludge using effective microorganisms)

คณะวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสงี่ยมย์ ก่อฤทธิกุลรังษี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุพดี ชัยสุขสันต์
นางสาวสระระ นิยมเดชา
นายพลาวุฒิ แสงขาว

สังกัด

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปของผู้บริหาร
(Executive Summary)

ชื่อโครงการ : การแปรรูปกากชี้ป่งน้ำยางข้นโดยใช้จุลินทรีย์

(Modification of concentrated latex sludge using effective microorganisms)

หัวหน้าโครงการ หน่วยงานที่สังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล : ศศ. เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี

หน่วยงาน : ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

ที่อยู่ : 181 ถนนเจริญประดิษฐ์ อ.เมือง จ.ปัตตานี

โทรศัพท์/โทรสาร : 073 312213 / 073 331099

E-mail : ksaovane@bunga.pn.psu.ac.th

ผู้ร่วมวิจัย ศศ. ดร. ยุพดี ชัยสุขสันต์

นักศึกษา นางสาวสระระ นิยมเดชา

นายพลาวุฒิ แสงขาว

ระยะเวลาดำเนินงาน 18 เดือน

ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2550 ถึง 29 มีนาคม พ.ศ. 2552

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

กากชี้ป่ง เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มีประมาณ 1-2% โดยน้ำหนักของน้ำยางสดที่นำมาผลิตส่วนใหญ่เกิดจากการเติมสารเคมี Diammonium hydrogen phosphate (DAHP) ทำให้อนุมูลโลหะแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางเกิดปฏิกิริยากลายเป็นแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟตตกตะกอนลงก้นถังหลังทิ้งไว้ข้ามคืน นอกจากนี้ยังมีสิ่งเจือปนของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ได้แก่ อนุภาคยางที่จับตัว สารพวกแป้ง ฟูล์ไขมัน โปรตีน สารประกอบไนโตรเจน อนุมูลของโลหะ เป็นต้น มีองค์ประกอบของธาตุอาหารที่สำคัญของพืช คือ N P K สามารถใช้เป็นประโยชน์ทางการเกษตร เป็นการเพิ่มมูลค่ากากชี้ป่ง และช่วยลดปัญหาขยะซึ่งก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้

วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาการแปรรูปกากชี้ป่งน้ำยางข้นโดยการหมักด้วยจุลินทรีย์

2.2 เพื่อศึกษานำกากชี้ป่งที่แปรรูปมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

ผลการดำเนินงาน

กากชี้ป่งจากตัวแทนโรงงานน้ำยางข้น 3 โรงงานในเขตพื้นที่ภาคใต้ นำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี พบว่า กากชี้ป่งมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.27-9.63 มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 43.23-80.40 และความชื้นร้อยละ 19.60-56.77 ส่วนกากอินทรีย์ทางการเกษตรคือ มูลไก่ ขี้เลื่อยและรำข้าว พบว่ามีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.58-6.26 ปริมาณของแข็งทั้งหมด และความชื้นใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 86.51-87.53, 12.47-13.49 ตามลำดับ)

วิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี พบว่ากากจี้แบ่งมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี อยู่ในช่วงร้อยละ 3.40-3.70, 11.32-11.41, 0.64-1.56, 5.44-14.34 และ 0.16-0.51 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สำหรับอินทรีย์วัตถุทางเกษตรประเภทรำข้าว พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และโพแทสเซียม ปริมาณสูง ร้อยละ 3.30 และ 2.96 โดยน้ำหนักตามลำดับ มูลไก่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัสทั้งหมด ร้อยละ 1.98 และ 1.02 โดยน้ำหนักตามลำดับ ส่วนจี้เลื่อยมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี ร้อยละ 0.21, 0.03, 0.49, 0.02×10^{-1} และ 0.04×10^{-1} โดยน้ำหนักตามลำดับ หากเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในจี้เลื่อยกับกากจี้แบ่ง, รำข้าว และมูลไก่ จะเห็นว่าปริมาณธาตุอาหารในจี้เลื่อย มีค่าค่อนข้างน้อย

วิเคราะห์จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM, Kyusei) คัดแยกเชื้อจุลินทรีย์ที่เลี้ยงบนอาหาร NA และ PDA พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ประกอบด้วยแบคทีเรียรูปร่างกลม แกรมบวก และแกรมลบ แบคทีเรียรูปร่างแท่งแกรมบวก และแกรมลบ ยีสต์ และเชื้อราชนิดต่างๆ สำหรับหัวเชื้อ EM มีค่าพีเอชเท่ากับ 4.41 หลังจากนำมาขยายส่วนในภาชนะปิด เป็นเวลา 9 วัน โดยมีสัดส่วนของหัวเชื้อ EM : กากน้ำตาล : น้ำ เท่ากับ 1 : 1 : 20 โดยน้ำหนัก พบว่า EM ขยายส่วนมี ค่าพีเอชลดลงเป็น 3.36 และพีเอชมีค่าเริ่มคงที่ในวันที่ 7 การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ใน EM พบว่าจุลินทรีย์มี อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกวัน และเริ่มคงที่ในวันที่ 7 ซึ่งถือว่าเหมาะสมสำหรับการนำ EM ขยาย ส่วนมาใช้ในการหมักต่อไป

กากจี้แบ่ง นำมาปรับค่าพีเอชให้มีค่าประมาณ 5-6 ด้วยกรดน้ำส้ม แล้วเติมจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน ทำให้ กลิ่นมีระดับความแรงลดลง เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเติม EM ต่อจากนั้นนำมาหมักร่วมกับกากอินทรีย์ ผสม (O) ซึ่งประกอบด้วยอัตราส่วนผสมของ รำข้าว : มูลไก่ : จี้เลื่อย เท่ากับ 1 : 1 : 1 เพื่อแปรสภาพกากจี้แบ่งเป็น สารบำรุงดิน โดยใช้อัตราส่วนของกากจี้แบ่ง (S) : กากอินทรีย์ผสม (O) : EM ขยายส่วน 5 ชุด คือ 3:1:1, 3:2:1, 4:1:1, 4:2:1 และ 4:3:1 โดยปริมาตร หมักเป็นเวลา 24 วัน ในระบบปิดและระบบเปิด

สำหรับระบบปิด พบว่าส่วนผสมที่หมักมีค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า และอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เชื้อจุลินทรีย์ ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์และเชื้อรา มีจำนวนลดลงตามเวลาที่หมักเพิ่มขึ้น ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี มีค่าลดลงเล็กน้อย ส่วนระบบเปิด พบว่า ส่วนผสมที่หมักมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น การนำไฟฟ้ามีค่าลดลง อุณหภูมิของการหมักอยู่ในช่วง $30.1-59.3^{\circ}\text{C}$ โดยอุณหภูมิ มีค่าสูงสุดในวันที่ 14-16 ของการหมัก ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา มีจำนวนเพิ่มขึ้น กระบวนการ หมักทุกอัตราส่วนในระบบเปิดมีจำนวนแบคทีเรียมากกว่ายีสต์ และเชื้อรา

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลังการหมักเป็นเวลา 24 วัน พบว่าฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียมและสังกะสี มีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 38.3-73.9, 5.8-30.4, 4.9-9.6 และ 34.9-97 ตามลำดับ ส่วนไนโตรเจน ทั้งหมด มีปริมาณลดลงร้อยละ 28.7-32.3 โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.1-2.3, 7.9-11.7, 0.3-0.5, 3.8-4.3 และ 0.2-0.5 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณธาตุอาหารหลังหมักมีความเข้มข้นสูง สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารบำรุงดินได้ด้วยการ ผสมกับดินในอัตราส่วนของสารบำรุงดิน : ดิน คือ 1:2, 1:3 และ 1:4 โดยปริมาตร พบว่า ดันทานตะวันมีความสูง ขนาดลำต้น และจำนวนใบเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการปลูก ดันทานตะวันสามารถเจริญเติบโตได้ในทุกชุดการทดลอง

โดยชุดการทดลองที่ใช้ กากจี้แ่ง (S) : กากอินทรีย์ผสม (O) : EM ขยายส่วน อัตราส่วน 4:3:1 และใช้สารบำรุงดิน : ดิน อัตราส่วน 1:3 มีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับกลุ่มที่มีการใส่ปุ๋ยทางการค้า (สูตร 15-15-15 ใส่รองพื้นก่อนปลูก และปุ๋ยยูเรียใส่หลังปลูก 30 วัน) หลังจากปลูก 60 วัน พบว่าต้นทานตะวัน มีไนโตรเจนปริมาณมากที่สุด รองลงมา คือ ฟอสฟอรัส ส่วนแมกนีเซียมและโพแทสเซียมมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับสังกะสีมีค่าน้อยที่สุด คืออยู่ในช่วงร้อยละ 0.94-1.29, 0.61-1.28, 0.14-0.20, 0.14-0.20 และ 0.02-0.06 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งสารบำรุงดินที่มีธาตุอาหารทุก ชนิดมากที่สุด คือ อัตราส่วนระหว่าง กากจี้แ่ง (S) : กากอินทรีย์ผสม (O) : EM ขยายส่วน 4:3:1 และนำสารบำรุง ดินมาผสมกับดิน อัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร สามารถนำไปใช้ในการปลูกทานตะวันแทนการใช้ปุ๋ยเคมีได้ หากนำ กากจี้แ่งที่แปรสภาพจากการหมักมาทำให้แห้ง สามารถจำหน่ายเป็นสารบำรุงดินที่มีคุณภาพ

สรุปผลการวิจัย

กากจี้แ่งน้ำยางข้น มีองค์ประกอบของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ N, P, K, Mg และ Zn การแปรสภาพกากจี้แ่ง ด้วยการหมักส่วนผสม กากจี้แ่ง : กากอินทรีย์ผสม : EM ขยายส่วน เท่ากับ 4:3:1 ส่วนโดย ปริมาตร ในระบบเปิด เป็นเวลา 24 วัน พบว่าสารอินทรีย์และธาตุอาหารถูกย่อยสลาย สามารถนำมาใช้ประโยชน์ใน การเจริญเติบโตของพืช ใช้เป็นสารบำรุงดินได้ผลดีที่สุด โดยมีสัดส่วนผสมสารบำรุงดินต่อดิน เท่ากับ 1 ต่อ:3 ส่วน โดยปริมาตร ปลูกต้นทานตะวัน 60 วัน ได้ผลผลิตดี เช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยเคมี

ข้อเสนอแนะ

กากจี้แ่งที่เกิดขึ้นจากแต่ละอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น อาจมีองค์ประกอบของธาตุอาหารที่แตกต่างกัน เนื่องจากน้ำยางสดและสารเคมีที่ใช้เก็บรักษาน้ำยางมีความแตกต่างกัน รวมทั้งแหล่งที่มาของดินที่ใช้ผสมอาจมีความ สมบูรณ์ต่างกัน ดังนั้นการนำกากจี้แ่งมาแปรสภาพเพื่อใช้เป็นสารบำรุงดิน จึงอาจใช้สัดส่วนผสมที่แตกต่างกันได้

กากจี้แ่งที่แปรสภาพ ทำให้แห้งสามารถจำหน่ายเชิงการค้า ใช้เป็นสารบำรุงดินได้ หากโรงงานน้ำยางข้น นำกากจี้แ่งที่เป็นของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ ด้วยการแปรสภาพกากจี้แ่ง ตามผลการวิจัยนี้ จะเห็นว่าสามารถ เพิ่มมูลค่าของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น ลดปัญหาขยะที่เป็นปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมได้

ศึกษาเพิ่มเติมถึงการนำกากจี้แ่งมาแปรสภาพแล้วมาใช้ปลูกพืชชนิดต่างๆ กัน สัดส่วนที่เหมาะสมในการ นำมาใช้ผสมดินต่างชนิดกัน

ศึกษาเพิ่มเติมความจำเป็นต่อการตรวจสอบสัดส่วนผสมของการนำมาใช้งานด้านการเกษตรก่อนทุกครั้ง หรือจัดทำมาตรฐานสัดส่วนที่จะนำมาใช้งานปลูกพืชที่แตกต่างกัน

วิจัยเพิ่มเติมถึงความแปรปรวนของสารอาหารในกากจี้แ่งในช่วงฤดูกาลที่แตกต่างกัน และสัดส่วนที่ เหมาะสมในการหมักร่วมกับสารกากอินทรีย์ชนิดอื่นใช้ซึ่งอาจแตกต่างกัน

วิจัยเพิ่มเติมการใช้กากอินทรีย์ชนิดอื่นเป็นส่วนผสมหมักร่วมกับกากจี้แ่ง เพื่อใช้เป็นสารบำรุงดิน

ผลงานวิชาการ

1. เผยแพร่ผลงานวิจัยภาคบรรยาย เรื่อง **ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกากขี้แป้งน้ำยางข้นและกากอินทรีย์ทางการเกษตรสำหรับการเตรียมสารปรับปรุงดินโดยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ** (Physical and Chemical Properties of Concentrated Latex Sludge and Agricultural Organic Residues to be Utilized in Preparation of Soil Amendments by Effective Microorganisms) ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 34 (วทท. 34) ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพฯ จัดโดยสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ร่วมกับคณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วันที่ 31 ตุลาคม-2 พฤศจิกายน 2551

2. เผยแพร่ผลงานในรูปแบบโปสเตอร์ เรื่อง **การแปรสภาพกากขี้แป้งน้ำยางข้นโดยใช้จุลินทรีย์ (Modification of sludge concentrated latex using effective microorganisms)** ในการประชุมวิชาการยางพาราแห่งชาติ “รวมพลังวิจัย ขับเคลื่อนเศรษฐกิจไทยอย่างยั่งยืน” ณ ห้องฟินิกซ์ ศูนย์แสดงสินค้าและการประชุมอิมแพค เมืองทองธานี จ.นนทบุรี วันที่ 5-6 มิถุนายน 2552

3. เผยแพร่ผลงานในรูปแบบโปสเตอร์ เรื่อง **การย่อยสลายกากขี้แป้งน้ำยางข้นโดยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Degradation of Concentrated Latex Sludge using Effective Microorganisms)** ในการประชุมวิชาการเพื่อนำเสนอผลงานวิจัย ม.อ. วิชาการ จัดโดยงานหลักสูตรและพัฒนาคณาจารย์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. โรงแรม ซีเอส ปัตตานี วันที่ 5 กรกฎาคม 2552

4. เผยแพร่ผลงานในรูปแบบโปสเตอร์ เรื่อง **การนำกากขี้แป้งน้ำยางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์** ในงานมหกรรมสินค้าและนวัตกรรมยางพารา ครั้งแรกของจังหวัดสงขลา "โครงการพัฒนาศักยภาพผู้ประกอบการยางพาราผู้การเป็นผู้ส่งออก ระดับนานาชาติ" Rubber Products & Innovation Expo 2009 จัดโดยศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาค 11 จังหวัดสงขลา ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติ เฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ระหว่างวันที่ 6-8 สิงหาคม 2552

บทคัดย่อ

กากจี๋แป้งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำตาลขึ้น นำมาแปรสภาพด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ร่วมกับรำข้าว มูลไก่ และขี้เลื่อย วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุก่อนและหลังแปรสภาพ พบว่ากากจี๋แป้งมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.27-9.36 มีองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) และสังกะสี (Zn) ปริมาณร้อยละ 3.40-3.70, 11.32-11.41, 0.64-1.56, 5.44-14.34 และ 0.16-0.51 โดยน้ำหนักตามลำดับ ส่วนรำข้าว มูลไก่ และขี้เลื่อย มีองค์ประกอบของธาตุอาหารในปริมาณที่ค่อนข้างน้อย จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพทางการค้า (EM, Kyusei) นำมาขยายส่วนและเลี้ยงบนอาหาร NA และ PDA พบว่าประกอบด้วย ยีสต์ รา และแบคทีเรีย แกรมบวก สามารถใช้ปรับลดกลิ่นกากจี๋แป้งได้ การแปรสภาพกากจี๋แป้งเป็นสารบำรุงดินโดยมีสัดส่วนกากจี๋แป้ง (S) กากอินทรีย์ผสม (มูลไก่:รำข้าว:ขี้เลื่อย = 1:1:1) (O) และ EM ขยายส่วน เท่ากับ 4:3:1 หมักในระบบเปิดเป็นเวลา 24 วัน มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 30-60 °C หลังหมักพบว่า ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสีมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนธาตุไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าลดลง กากจี๋แป้งที่แปรสภาพนำมาผสมดินเท่ากับ 1 : 3 โดยปริมาตร เพื่อปลูกต้นทานตะวัน (*Helianthus annuus* L., Sun-smile) พบว่า หลังการปลูกเวลา 60 วัน ต้นทานตะวันสามารถเจริญเติบโตได้ดีเช่นเดียวกับการใส่ปุ๋ยเคมีทางการค้า ดังนั้น กากจี๋แป้งที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำตาลขึ้นสามารถเพิ่มมูลค่าได้ โดยการนำมาแปรสภาพด้วยการใช้จุลินทรีย์และผสมกากอินทรีย์ชนิดต่างๆ ก่อนนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

Abstract

Concentrated latex sludge, a waste from natural rubber industry was modified by effective microorganisms (EM) mixing with rice bran, poultry manure and saw dust. The physical and chemical properties of the materials before and after modification were analyzed. It was found that the pH values, total Kjeldahl nitrogen (TKN), total phosphorus (TP), potassium (K), magnesium (Mg) and zinc (Zn) contents for concentrated latex sludge were 7.27-9.36, 3.40-3.70, 11.32-11.41, 0.64-1.56, 5.44-14.34 and 0.16-0.51% by weight, respectively. While rice bran, poultry manure and saw dust had a small content of the nutrients. The commercial EM (Kyusei) used was cultured and enlarged on NA and PDA media. Yeast, fungi and Gram positive and Gram negative bacteria were found. These EM were found to reduce the smell of the sludge. The concentrated latex sludge was modified to be used as soil amendments by mixing with the sludge (S), mixed organic materials (poultry manure: rice bran: saw dust, 1:1:1), (O) : and the enlarged EM with the proportion of 4:3:1. The mixture was fomented for 24 days in a opening system. The fermented temperature was found in a range of 30-60 °C. After fermentation, the nutrients contents of total phosphorus, potassium, magnesium and zinc were found to increase while the TKN decreased. The prepared soil amendments were mixed with soil at ratio of 1:3 by volume for planting the sunflower (*Helianthus annuus* L., Sun-smile) for 60 days. It was found that after 60 days, the plant samples grew well similar to those planed in soil adding commercial chemical fertilizer. Therefore, the sludge wasted from concentrated natural rubber latex industry could be increased in its value by being modified with effective microorganisms and mixing with various organic residues before utilization for agriculture.

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปของผู้บริหาร	i
บทคัดย่อ	iv
Abstract	iv
สารบัญ	v
สารบัญรูปภาพ	vii
สารบัญตาราง	viii
 เนื้อหาวิจัย	
1. ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย	1
2. วัตถุประสงค์	1
3. ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง	2
4. วิธีการ	5
5. ผลการวิจัย	8
5.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกากชีปะ๋งและกากอินทรีย์	8
5.1.1 ค่าพีเอช	9
5.1.2 ความหนาแน่น	9
5.1.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมดและความชื้น	10
5.1.4 ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ และของแข็งที่ระเหยได้	10
5.1.5 ปริมาณธาตุอาหาร	10
5.2 จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM)	13
5.2.1 จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพขยายส่วน	13
5.2.2 อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ EM	14
5.2.3 การแยกเชื้อจุลินทรีย์ ให้เป็นเชื้อเดี่ยว	15
5.3 การปรับกลิ่นกากชีปะ๋งโดยใช้ EM ขยายส่วน	20
5.3.1 ผลการปรับกลิ่น	20
5.3.2 ค่าพีเอชและการนำไฟฟ้าของกากชีปะ๋งหลังการปรับกลิ่น	21

5.4 การแปรสภาพกากชี้เป้งโดยการหมักด้วย EM ขยายส่วน	22
5.4.1 อุณหภูมิระหว่างหมัก	22
5.4.2 ค่าพีเอชระหว่างหมัก	25
5.4.3 ค่าน้ำไฟฟ้าระหว่างหมัก	26
5.4.4 จำนวนจุลินทรีย์ระหว่างหมัก	28
5.4.5 ธาตุอาหารก่อนและหลังการหมัก	33
5.4.6 สมบัติทางกายภาพก่อนและหลังการหมัก	35
5.5 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน	37
5.6 อัตราส่วนของสารบำรุงดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกต้นทานตะวัน	38
5.7 ปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนและหลังการปลูกต้นทานตะวัน	42
5.8 ปริมาณธาตุอาหารในต้นทานตะวัน	43
5.9 วิเคราะห์ราคาต้นทุนและความเป็นไปได้เชิงธุรกิจ	48
6. สรุปผลการวิจัย	49
7. ข้อเสนอแนะ	49
8. เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก 1 วิเคราะห์สมบัติเคมีทางกายภาพและเคมี	53
ภาคผนวก 2 ลักษณะกราฟมาตรฐาน	59
ภาคผนวก 3 การวิเคราะห์จุลินทรีย์	61
ภาคผนวก 4 ใบรายงานการทดสอบกลิ่นกากชี้เป้ง	65
ภาคผนวก 5 การหมักเบื้องต้น	66
ภาคผนวก 6 การศึกษาอัตราส่วนของสารบำรุงดินที่เหมาะสมต่อการปลูกเบื้องต้น	67
ตอบข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	69

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 สมบัติทางกายภาพของกากจีแป้งจากแหล่งต่างๆ และกากอินทรีย์ 3 ชนิด	9
รูปที่ 2 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสีและแมกนีเซียมของ ตัวอย่างกากจีแป้งจากแหล่งต่างๆและกากอินทรีย์ 3 ชนิด	11
รูปที่ 3 อุณหภูมิของ EM ขยายส่วนที่เวลาต่างๆ	13
รูปที่ 4 ค่าพีเอช และการนำไฟฟ้า (EC) ของ EM ขยายส่วนที่เวลาต่างๆ	13
รูปที่ 5 ตัวอย่างลักษณะโคโคนีเดี่ยวของจุลินทรีย์ EM	14
รูปที่ 6 จำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน (log CFU/mL) ในอาหาร PDA และ NA ที่เวลาต่างๆ	14
รูปที่ 7 การคัดแยกโคโคนีเดี่ยวโดยวิธีการ Streak plate	15
รูปที่ 8 ยีสต์ (กำลังขยาย 400 เท่า)	16
รูปที่ 9 แบคทีเรีย รูปแท่ง แกรมลบ (กำลังขยาย 1000 เท่า)	16
รูปที่ 10 เชื้อราที่ได้จากโคโคนีที่คัดเลือก (a) ราสีดำ สปอร์สีดำ (b) ราสีดำ สปอร์สีเขียว (c) ราสีเหลือง สปอร์สีดำ (d) ราสีขาว (e) ราสีขาว ตรงกลางสีน้ำตาล และ (f) ราสีน้ำตาล	16
รูปที่ 11 เชื้อแบคทีเรียชนิดต่างๆ จากการ Streak บนอาหาร NA (กำลังขยาย 1000 เท่า)	19
รูปที่ 12 ระดับกลิ่นของกากจีแป้งหลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วนที่เวลาต่างๆ	20
รูปที่ 13 ค่าพีเอชของตัวอย่างกากจีแป้ง หลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน	21
รูปที่ 14 การนำไฟฟ้า (EC) ของตัวอย่างกากจีแป้งหลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน	21
รูปที่ 15 อุณหภูมิของกากจีแป้งแปรรูปหมักด้วยจุลินทรีย์ EM ในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)	23
รูปที่ 16 อุณหภูมิของกลุ่มควบคุมหมักด้วยน้ำ ในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)	24
รูปที่ 17 ค่าพีเอชของกากจีแป้งแปรรูปหมักด้วยจุลินทรีย์ EM ในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)	25
รูปที่ 18 ค่าพีเอชของกลุ่มควบคุม หมักด้วยน้ำในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)	26
รูปที่ 19 ค่าการนำไฟฟ้าของกากจีแป้งแปรรูปหมักด้วยจุลินทรีย์ EM ในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)	27
รูปที่ 20 ค่าการนำไฟฟ้าของกลุ่มควบคุมหมักด้วยน้ำ ในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)	28
รูปที่ 21 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดระหว่างการหมักในระบบเปิด (a) อาหาร NA และ(b) อาหาร PDA	29

รูปที่ 22	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในระหว่างการหมักในระบบปิด (a) อาหาร NA และ (b) อาหาร PDA	30
รูปที่ 23	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกลุ่มควบคุมในระบบเปิด (a) อาหาร NA และ (b) อาหาร PDA	31
รูปที่ 24	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกลุ่มควบคุมในระบบปิด (a) อาหาร NA และ (b) อาหาร PDA	32
รูปที่ 25	ปริมาณธาตุอาหารหลักของการหมักชุดต่างๆก่อนการหมัก และหลังการหมัก 24 วัน (a) ไนโตรเจนทั้งหมด (b) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (c) โพแทสเซียม	34
รูปที่ 26	ธาตุอาหารรองก่อนการหมัก และหลังการหมัก 24 วัน (a) แมกนีเซียม และ (b) สังกะสี	35
รูปที่ 27	สมบัติทางกายภาพก่อนและหลังการหมัก (a) ของแข็งทั้งหมด (TSC) และ ความชื้น (MC) (b) ของแข็งที่ระเหยได้ (VC) และของแข็งที่คงอยู่ (FS) ในระบบเปิด	36
รูปที่ 28	สมบัติทางกายภาพก่อนและหลังการหมัก (a) ของแข็งทั้งหมด (TSC) และ ความชื้น (MC) (b) ของแข็งที่ระเหยได้ (VC) และของแข็งที่คงอยู่ (FS) ในระบบปิด	37
รูปที่ 29	สมบัติของแข็งทั้งหมด (TSC) ความชื้น (MC) ของแข็งที่ระเหยได้ (VC) และของแข็งที่คงอยู่ (FS) ของดิน	38
รูปที่ 30	ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ในดิน	38
รูปที่ 31	ความสูงของต้นทานตะวันที่ปลูกในระยะเวลา 60 วัน	40
รูปที่ 32	ขนาด (เส้นรอบวง) ต้นทานตะวันที่ปลูกในระยะเวลา 60 วัน	40
รูปที่ 33	จำนวนใบของต้นทานตะวันที่ปลูกในระยะเวลา 60 วัน	41
รูปที่ 34	น้ำหนักสดของต้นทานตะวันที่ระยะเวลา 60 วัน	41
รูปที่ 35	น้ำหนักแห้งของต้นทานตะวันที่ระยะเวลา 60 วัน	42
รูปที่ 36	ปริมาณธาตุอาหารหลักก่อน และหลังการปลูกในดิน (60 วัน) ที่เติมสารบำรุงดิน อัตราส่วนต่างๆ (a) ไนโตรเจนทั้งหมด (b) ฟอสฟอรัสทั้งหมด และ (c) โพแทสเซียม	45
รูปที่ 37	ปริมาณธาตุอาหารก่อน และหลังการปลูกในดิน (60 วัน) ที่เติมสารบำรุงดิน อัตราส่วนต่างๆ (a) แมกนีเซียม และ (b) สังกะสี	46
รูปที่ 39	ปริมาณแมกนีเซียมและสังกะสีในต้นทานตะวันหลังการปลูก 60 วัน	47

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	พารามิเตอร์ที่ศึกษาและวิธีการวิเคราะห์	6
ตารางที่ 2	สมบัติทางกายภาพและทางเคมีเบื้องต้นของตัวอย่างกากขี้เป้งและกากอินทรีย์	8
ตารางที่ 3	ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสี และแมกนีเซียม	11
ตารางที่ 4	ลักษณะและรูปร่างจุลินทรีย์ที่ได้จากการ Streak บนอาหาร PDA	16
ตารางที่ 5	ลักษณะ และรูปร่างจุลินทรีย์ที่ได้จากการ Streak บนอาหาร NA	18

เนื้อหาวิจัย

1. ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

น้ำยางสดที่รวบรวมมาจากสวนยาง มีสมบัติค่อนข้างแปรปรวน มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 25-45% สิ่งเจือปนและน้ำอยู่ปริมาณสูง ดังนั้นเพื่อให้มีสมบัติที่สม่ำเสมอและประหยัดในการขนส่ง จึงมีการแปรรูปน้ำยางสดเป็นน้ำยางข้น 60% ซึ่งการผลิตส่วนใหญ่จะใช้เครื่องปั่นความเร็วสูง (centrifugation) เพื่อแยกน้ำและสารเจือปนอื่นๆ ที่ละลายอยู่ในส่วนของน้ำออกไป ของเสียที่ได้ออกมาในรูปของแข็ง เรียกว่า “sludge” หรือ “กากจีแป้ง” มีประมาณ 1-2% โดยน้ำหนักของน้ำยางสดที่นำมาผลิต และน้ำยางสดที่ใช้เพื่อผลิตเป็นน้ำยางข้นของแต่ละโรงงานมีปริมาณอยู่ในช่วง 39.91-157.56 ตันต่อวัน ทำให้มีของเสียในรูปกากจีแป้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นประมาณ 0.39-1.58 ตันต่อวัน (วันชัย, 2540) สำหรับกระบวนการผลิตน้ำยางข้น โดยทั่วไปมีการเติม Diammonium hydrogen phosphate ทำให้อนุมูลโลหะแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางเกิดปฏิกิริยาเป็นแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต (Magnesium ammonium phosphate) ตกตะกอนลงก้นถังหลังทิ้งไว้ข้ามคืน ทำให้กากจีแป้ง มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ นอกจากนี้ในกากจีแป้งมีสิ่งเจือปนของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ได้แก่ อนุภาคยางที่จับตัว สารพวกแป้ง ผุ่นไขมัน โปรตีน สารประกอบไนโตรเจน อนุมูลของโลหะ เป็นต้น (เสาวนีย์ และคณะ, 2547) มีองค์ประกอบของธาตุอาหารที่สำคัญของพืช คือ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม ซึ่งเป็นธาตุโลหะสำคัญ สามารถใช้เป็นประโยชน์ในด้านการเกษตร แต่ปัจจุบันของเสียในรูปกากจีแป้งที่เกิดขึ้นในโรงงานที่ผลิตน้ำยางข้นไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่จะกำจัดทิ้งไปโดยการนำไปถมที่ ถมถนน หรือเผาทิ้ง ซึ่งถือว่าไม่เหมาะสม และก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม หากนำกากจีแป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์ จะเป็นการลดมลภาวะและเพิ่มมูลค่าของกากจีแป้งได้ โดยการนำกากจีแป้งซึ่งมีธาตุอาหารหลักที่สำคัญของพืชบางชนิดมาแปรสภาพด้วยการผสมกับกากอินทรีย์ พวกมูลสัตว์ รำข้าว หรือขี้เลื่อย ร่วมกับการใช้จุลินทรีย์กลุ่มที่มีประสิทธิภาพ (EM) หมักในสถานะที่เหมาะสม แล้วใช้เป็นสารบำรุงดิน ซึ่งจะช่วยปรับสภาพดินที่เสื่อมสภาพให้มีความอุดมสมบูรณ์กลับคืนมา และรักษาสภาพดินให้คงความอุดมสมบูรณ์ ตามแนวเศรษฐกิจพอเพียง สร้างสิ่งประดิษฐ์ใหม่ เพิ่มมูลค่าของเสียที่ต้องการกำจัดทิ้ง ให้คุณประโยชน์ต่อเศรษฐกิจของประเทศ สามารถใช้แทนปุ๋ยเคมีทางการค้าที่จำหน่ายในท้องตลาดซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อศึกษาการแปรสภาพกากจีแป้งน้ำยางข้นโดยการหมักด้วยจุลินทรีย์
- 2.2 เพื่อศึกษาการนำกากจีแป้งที่แปรสภาพมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

3. ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

การนำกากขี้เถ้าที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษและเส้นใย ได้มีการศึกษาเพื่อนำมาใช้เป็นสารตัวเติม ในการผลิตเม็ดไฟเบอร์เทอร์โมพลาสติก พวกสไตรีนบิวทาไดอินโคพอลิเมอร์ (Vinypal, 1967) พบว่าสามารถนำมาหล่อแบบพิมพ์ได้ สำหรับ Rene (1983) ได้ใช้กากขี้เถ้าที่ตกตะกอนอยู่ตรงกันภาชนะซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมน้ำตาลสังเคราะห์และยางธรรมชาติ มาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุหีบห่อ (packaging based on industrial wastes) นอกจากนี้ได้มีการศึกษาใช้กากที่เป็นของเสียจากสีที่ใช้กับยานยนต์มาใช้เป็นส่วนผสมสารตัวเติมในยางมะตอย (Gonzalez *et al*, 1998) ต่อมา มีการนำกากขี้เถ้ามาใช้เป็นสารตัวเติมในส่วนผสมยางมะตอย (Ratnasamy, 2002) โดยการนำมาผสมกับผงหิน กรวด ทราย และเซลลูโลส (ไฟเบอร์ของพวกน้ำมันปาล์ม)

เสาวนีย์ และคณะ (2548) ได้ทดลองนำกากขี้เถ้าที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำตาลขึ้น มาใช้เป็นสารตัวเติมในน้ำตาลธรรมชาติและซีเมนต์ โดยแปรปริมาณของกากขี้เถ้าที่ระดับต่างๆ และศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางฟิสิกส์ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกากขี้เถ้า ทำให้การเซตตัวและการหดตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความต้านทานต่อแรงกดมีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้กากขี้เถ้ามาเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยแปรปริมาณกากขี้เถ้าที่ระดับ 20-60 phr พบว่า ยางวัลคาไนซ์มีสมบัติทางฟิสิกส์ไม่ดี หลังการบ่มแรงยาง สมบัติจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก

มีการศึกษาสมบัติของกากขี้เถ้าจากอุตสาหกรรมน้ำตาลขึ้น พบว่าสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารปรับสภาพดินได้ โดยปี 2543 วราศรี ได้วิเคราะห์ธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช ได้แก่ N, P, K, Mg และ Zn พบว่าธาตุอาหาร N, P ในรูป P_2O_5 , K ในรูป K_2O , Mg, Zn มีปริมาณอยู่ในช่วง 2.06-2.14, 19.6-21.6, 1.8-2.1, 5.31-7.56, 1.01-0.51 % น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ได้นำกากขี้เถ้ามาปรับสภาพดินหรือทำเป็นปุ๋ยแห้ง มี สามารถปลูกหญ้าพันธุ์น้อยให้เจริญเติบโตได้ดี ช่วยทำให้ดินมีค่า pH เป็นกลาง และพบว่ากากขี้เถ้ามีสภาพไม่คงตัวสามารถถูกชะล้างได้ง่าย

เสาวนีย์ และคณะ (2547) พบว่ากากขี้เถ้ามีธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของสารอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตของต้นไม้ ประกอบด้วยธาตุ N, P, K, Mg, Zn และ Ca สามารถละลายน้ำได้ค่อนข้างต่ำ ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นปุ๋ยโดยตรง สามารถนำกากขี้เถ้ามาย่อยสลายด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้นเป็นแนวทางเตรียมปุ๋ยเหลวได้ ธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดในกากขี้เถ้าแห้ง 3 อันดับแรก คือ P, Mg, และ N มีปริมาณ 14.69%, 12.24% และ 3.31% ตามลำดับ ธาตุที่มีอยู่ในกากขี้เถ้าสามารถละลายในน้ำได้มากที่สุด 3 อันดับแรก คือ Mg, N และ K มีปริมาณ 3.90%, 0.26% และ 0.25% ตามลำดับ

ปุ๋ยเคมี ใช้ติดต่อกันเป็นเวลานาน จะทำให้สภาพดินเสื่อมโทรม ผลผลิตที่ได้ไม่เพิ่มขึ้นและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์ทำให้สมบัติทางกายภาพทางเคมีของดินดีขึ้น และทำให้ผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้น (Yaduvanshi, 2003) จึงมีการใช้วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ เพื่อใช้ปลูกพืชทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี โดย Courtney and Mullen (2008) ได้นำกาก

อินทรีย์เหลือใช้จากการเกษตรประเภทเห็ด มาทำเป็นปุ๋ยหมัก แล้วนำมาปลูกข้าวบาร์เลย์ พบว่าข้าวบาร์เลย์ มีการเจริญเติบโตดี อินทรีย์วัตถุและปริมาณธาตุอาหารในดินมีค่าเพิ่มขึ้น

อุไรวรรณ (2545) ได้ใช้กากตะกอนของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลเป็นปุ๋ยอินทรีย์ และใช้เป็นสารปรับปรุงดินในเหมืองแร่ร้าง โดยใช้ดินผสม 4 กิโลกรัม ผสมขุยมะพร้าว 15% กากตะกอนของเสีย 1% สามารถปลูกข้าวโพดหวานได้ผลดีที่สุด พบว่าดินมีค่า pH ลดลง ค่าการนำไฟฟ้า ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพิ่มขึ้น และไนโตรเจนมีปริมาณการปลดปล่อยออกมามากที่สุดในช่วงสัปดาห์แรกของการหมัก

วลัยพร (2547) ได้นำกากขี้เถ้าของเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น มาใช้ประโยชน์ร่วมกับกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานไก่สดแช่แข็ง เพื่อทำเป็นวัสดุบำรุงดินสำหรับการเกษตรกรรม พบว่ากากขี้เถ้าสามารถใช้ปลูกพืชกระถาง ผักกาดหอม มะเขือเทศ และข้าวได้ โดยใช้อัตราส่วนผสมดิน : กากขี้เถ้า : กากตะกอน = 1:3:1 พบว่าสามารถใช้ปลูกพืชได้ดีเช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยเคมี ธาตุอาหารในดินหลังการปลูกมีไนโตรเจนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1,119.0-1,132.5 mg/kg ฟอสฟอรัสมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 297.6-310.9 mg/kg และโพแทสเซียมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 366.0-384.5 mg/kg ไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืช และพบว่ามีสังกะสีในดินอยู่ในช่วง 0.4-1.6 mg/kg ซึ่งเป็นปริมาณที่ยอมรับให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตร (ไม่เกิน 280-300 mg/kg)

วิภาพรรณ (2550) ได้วิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหาร N, P ในรูป P_2O_5 , K ในรูป K_2O ในกากขี้เถ้าอินทรีย์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น พบว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.01-2.26, 26.31-46.79 และ 0.55-0.72 ในกากตะกอนแปรรูปสัตว์น้ำร้อยละ 3.54-5.24, 3.16-4.27, 0.21-0.30 ในกากน้ำมันปาล์ม (ดีแคนเตอร์) ร้อยละ 1.01-1.33, 0.30-0.7 และ 0.53-0.10 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ นำกากขี้เถ้าจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น กากอินทรีย์จากการแปรรูปสัตว์น้ำและน้ำมันปาล์ม ผสมร่วมกับเส้นใยปาล์มและเศษกระดาษสำนักงานอย่างละร้อยละ 20 พบว่าสามารถปลูกหญ้านวลน้อยได้ดี

การเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เช่น การเติมมูลไก่ ขี้เลื่อย และรำข้าว ทำให้สมบัติทางกายภาพทางเคมีของดินดีขึ้น โดยการเติมมูลไก่ และรำข้าวซึ่งเป็นสารที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงทำให้พืชสามารถได้รับไนโตรเจนอย่างเพียงพอ ส่วนขี้เลื่อยเป็นแหล่งที่มีคาร์บอนสูงอยู่ในดินได้นานและมีการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชอย่างช้าๆ (กรมปศุสัตว์, 2550) แต่การใช้อินทรีย์วัตถุเหล่านี้จะเห็นผลช้าและยังไม่เพียงพอสำหรับการเจริญของพืช จึงได้มีการประยุกต์นำจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) มาใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์และอนินทรีย์ในการเกษตร เพื่อเพิ่มธาตุอาหารและช่วยให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารจากแหล่งธาตุอาหารให้กับพืชได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

EM (effective microorganisms) เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ประกอบด้วยจุลินทรีย์หลัก 5 กลุ่ม คือ จุลินทรีย์พวกเชื้อราที่มีเส้นใย จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง จุลินทรีย์ที่ใช้หมัก จุลินทรีย์พวกตรึงไนโตรเจนและจุลินทรีย์ผลิตกรดแลกติก

Terou Higa (2006) แห่งมหาวิทยาลัยริวกิว โอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น ได้ใช้เทคนิคทางชีวภาพ โดยได้รวบรวมจุลินทรีย์กลุ่มที่มีประสิทธิภาพ (Effective microorganisms) ซึ่งมีทั้งจุลินทรีย์ต้องการอากาศ (Aerobic bacteria) และจุลินทรีย์ไม่ต้องการอากาศ (Anaerobic bacteria) โดยแบ่งเป็น 5 กลุ่ม คือ เชื้อรา จุลินทรีย์หมัก จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง จุลินทรีย์ตรึงไนโตรเจน และ จุลินทรีย์ผลิตกรดแลกติก โดยจุลินทรีย์ที่นำมาใช้จะเรียกว่าหัวเชื้อ ใช้สำหรับย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ มีกากน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ หลังการหมักและย่อยสลายสารอินทรีย์ จะพบสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน กรดอะมิโน ฮอร์โมน เอนไซม์ สามารถใช้เป็นปุ๋ยน้ำชีวภาพได้ ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ในปี 1999 ที่ญี่ปุ่นมีการจดสิทธิบัตร (JP 11304284) โดย Kenro ได้ออกแบบเพื่อหมักกากชี้นำด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพที่ความอุณหภูมิด้วยไอน้ำ ใช้เป็นปุ๋ย ในปีเดียวกันมีการค้นพบและจดสิทธิบัตรในจีน (CN 1225351) เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยี โดย Guilan ได้ผลิตปุ๋ยจากสารอินทรีย์และอนินทรีย์โดยการใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ มีการรายงานจากองค์การวิจัยการใช้เทคโนโลยีของ EM ในกลุ่มประเทศ ตะวันออกกลางและเอเชียกลาง (EM Research Organization, 2003-a) ว่า การย่อยสลายกากน้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum sludge) โดยใช้ EM เทคโนโลยี พบว่าพิษของโลหะถูกขจัดไป แล้วนำมาใช้ปลูกพืชทางเกษตร เช่น หัวหอมในปากีสถาน (EM Research Organization, 2003-b) มีการคิดค้น และจดสิทธิบัตร (EA5716) โดย Abdurazizov ได้ใช้จุลินทรีย์ผสมเพื่อทำปุ๋ยในระดับอุตสาหกรรม ด้วยการหมักในระบบที่ใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ มีสารอาหารที่ให้พลังงาน คือ แป้งข้าวสาลี 10-15, รำ 10-15, เกลือของสารโลหะ 1.5-3.0, น้ำตาล 10-15 และน้ำผึ้ง 10-12 กรัม/ลิตร สำหรับ Khaliq และคณะ (2006) ได้ศึกษาการใช้สารอาหารชนิดอินทรีย์ และ อนินทรีย์ร่วมกับจุลินทรีย์ กลุ่มที่มีประสิทธิภาพ ใช้เป็นปุ๋ยในการปลูกฝ้าย พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของฝ้ายได้ดี

กากชี้นำเหลือทิ้งจากเบนทอไนต์ มีการนำมาใช้หมักที่หรือกองทิ้งไว้ให้ย่อยสลายเอง พบว่ามีกลิ่นเหม็น ทำให้เกิดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อม และสุขภาพของชุมชน รวมทั้งชี้นำจะติดไฟง่าย ดังนั้น กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2550) ได้ใช้จุลินทรีย์สารเร่ง พด 1 ในการหมักชี้นำจากกากเหลือทิ้งเบนทอไนต์ ผสมแกลบดิบ แกลบ มูลสัตว์แห้ง และปูนโดโลไมต์ ใช้เป็นส่วนผสมในดินทราย เพื่อปรับปรุงดินทรายเสื่อมโทรม ให้สามารถใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดิน แก้ปัญหากากเหลือทิ้ง และช่วยรักษาสภาพแวดล้อม ทำนองเดียวกันกากชี้นำที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น ส่วนใหญ่จะกำจัดทิ้งไปโดยการเผาหรือใช้ถมที่ มีกลิ่นเหม็นจากสารที่เจือปน และอาจเกิดการบูดเน่ามีหนอนขึ้น จึงสร้างปัญหาทำลายบรรยากาศ

EM สามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ทำให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพและสามารถกลั่นเหม็นจากน้ำเสียลดลงได้ กนัญญาและอุบล (2549) ได้ใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ย่อยสลายกากชี้นำจากโรงงานน้ำยางข้นในจังหวัดปัตตานีและสงขลา พบว่าหลังจากย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ เป็นเวลา 14 วัน ปริมาณของแข็งในกากชี้นำมีค่าลดลง

มีโรงงานรับซื้อยางพาราได้นำเทคโนโลยี EM มาใช้ในกระบวนการแช่ยาง ล้างยาง บำบัดน้ำเสีย พบว่าสามารถช่วยลดกลิ่นในโรงงานได้ (อีเอ็ม คิวเซ, 2546)

จรัญ (2542) ได้ศึกษาใช้ EM ในสวนยางพารา และเปรียบเทียบผลผลิตน้ำยางพาราที่ใช้ปุ๋ยหมัก EM กับปุ๋ยเคมี พบว่าภายในระยะเวลา 1 ปี ต้นยางที่ได้รับ EM ให้ผลผลิตน้ำยางพาราสูงกว่า¹ และได้วิเคราะห์ทางผลการลงทุน พบว่าการใช้ EM มีราคาต้นทุนลดลงมากกว่า คือการใช้ EM มีราคาทุน 2240 บาทต่อตัน และการใช้ปุ๋ยเคมีจะมีต้นทุน 8000 บาทต่อตัน

มีรายงาน EM สามารถนำไปใช้ในการปรับกลิ่นได้โดยโรงงานรับซื้อยางพาราได้นำเทคโนโลยี EM มาใช้ในกระบวนการแช่ยาง ล้างยาง บำบัดน้ำเสีย พบว่าสามารถช่วยลดกลิ่นในโรงงานได้ (บริษัท อี เอ็ม คิว เซ, 2546) หากสามารถปรับลดกลิ่น และนำมาหมักด้วย จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) เพิ่มอาหารพวกจุลินทรีย์ มูลสัตว์แห้ง รำข้าว หรือขี้เลื่อย ทำให้ส่วนผสมที่หมักได้มีปริมาณมากขึ้น สามารถนำอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมมาใช้เป็นสารปรับสภาพดินหรือบำรุงต้นไม้ ใช้เป็นสารบำรุงดิน หรือปุ๋ยแห้ง (โบกาคิมูลสัตว์) จะเป็นการนำแปรสภาพกากชีที่ไม่มีประโยชน์ให้นำมาใช้ทางด้านการเกษตรได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะนำกากชีเป้งมาแปรสภาพให้มีคุณประโยชน์ โดยวิธีการเพิ่มสารอาหารลงในการจีเป้งด้วยวิธีการหมักกากชีเป้งด้วยจุลินทรีย์ กลุ่มที่มีประสิทธิภาพ (Effective microorganisms) เพิ่มอาหารพวกจุลินทรีย์ มูลสัตว์แห้ง รำข้าว หรือขี้เลื่อย แล้ววิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุอาหารที่มีอยู่ และเปรียบเทียบกับสารธาตุอาหารที่มีอยู่เดิม รวมถึงการทดลองนำมาใช้ทางการเกษตร

4. วิธีการ

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของกากอินทรีย์ที่ใช้ร่วมกับกากชีเป้ง

การเก็บตัวอย่างกากชีเป้งจากตัวแทนโรงงานน้ำยางชั้น 3 แห่ง ในเขตพื้นที่จังหวัดปัตตานีและสงขลาโดยเก็บตัวอย่างจากจุดที่เกิดกากชีเป้ง คือ ถังพักน้ำยางและถังปั่นน้ำยาง ขี้เลื่อยไม้ยางพารา รำข้าว และมูลสัตว์เก็บตัวอย่างจากฟาร์มสัตว์เขตท้องถื่นภาคใต้ นำตัวอย่างมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพและเคมีตามวิธีการของ AOAC (1990) และ APHA (1992) พารามิเตอร์ที่ศึกษาและวิธีการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 1

¹ ต้นยางที่ใช้ EM ให้น้ำยาง 288 กิโลกรัม/20 ไร่/วัน ส่วนต้นยางที่ได้รับปุ๋ยเคมีให้ผลผลิตน้ำยางพารา 180 กิโลกรัม/20 ไร่/วัน

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ศึกษาและวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
1. Solid Content	Gravimetric method
2. Volatile Solid	Gravimetric method
3. pH	pH meter
4. Density	Weight / Volume
5. Total Nitrogen (N)	Kjeldahl method
6. Phosphorus ในรูปของ P_2O_5	Spectrophotometer molybdovanadophosphate method
7. Potassium ในรูปของ K_2O	Atomic absorption spectrophotometer
8. Magnesium (Mg)	Atomic absorption spectrophotometer
9. Zinc (Zn)	Atomic absorption spectrophotometer

หมายเหตุ รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ดังแสดงในภาคผนวก 1-2

2 การเตรียมจุลินทรีย์ (EM) ขยายส่วน

นำหัวเชื้อจุลินทรีย์ (EM) มาขยายส่วนผสมจากน้ำตาลและน้ำ ใช้สัดส่วน EM : กากน้ำตาล : น้ำ = 1:1:20 โดยน้ำหนัก ในภาชนะปิด เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ตรวจวัดค่าพีเอช การนำไฟฟ้า และอุณหภูมิ

3. ศึกษาคุณสมบัติของจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของ EM

วิเคราะห์กลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบ EM โดยตรวจสอบรูปร่างลักษณะ (Morphology) ชนิด และจำนวนของจุลินทรีย์ โดยวิธีเขย่าจานอาหาร (pour plate) เลี้ยงเชื้อบนอาหาร NA สำหรับแบคทีเรีย และ อาหาร PDA สำหรับยีสต์ และเชื้อรา ดูรายละเอียดการวิเคราะห์ในภาคผนวก 3

4. ศึกษาการปรับลดกลิ่นเหม็นที่รบกวนจากตัวอย่างของกากขี้เถ้า

- 4.1 ปรับค่าพีเอชของตัวอย่างกากขี้เถ้าด้วย 5% กรดอะซิติก ให้มีพีเอชประมาณ 5-6
- 4.2 ผสมกากขี้เถ้า กับ EM ขยายส่วนในภาชนะปิด ใช้อัตราส่วนกากขี้เถ้า : EM ดังนี้
3:1, 2:1, 1:1, 1:1.5, 1:2 (ทดลอง 2 ซ้ำ) เป็นเวลา 2 สัปดาห์
- 4.3 วัดค่า พีเอช ค่าการนำไฟฟ้าของกากขี้เถ้า ทุกวัน เป็นเวลา 2 สัปดาห์
- 4.4 เก็บตัวอย่างกากขี้เถ้าผสม EM ขยายส่วน เพื่อทดสอบกลิ่นด้วยวิธีการดมกลิ่น

หมายเหตุ ใช้ผู้ทดสอบ 40 คน เพื่อให้คะแนนในการดมกลิ่น ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ตามแบบสอบถาม (ภาคผนวก 4)

5. ศึกษาการแปรสภาพกากขี้เถ้าโดยการหมัก ด้วยจุลินทรีย์

- 5.1 ปรับค่าพีเอชของตัวอย่างกากขี้เถ้าด้วย 5% กรดอะซิติก ให้มีพีเอชประมาณ 5-6
- 5.2 หมักกากขี้เถ้ากับ EM ขยายส่วนและกากอินทรีย์ คือ มูลไก่ ขี้เลื่อยและรำข้าว (อัตราส่วน 1:1:1 โดยปริมาตร) คลุกให้เข้ากัน ใช้อัตราส่วนกากขี้เถ้า (S): กากอินทรีย์ (O): EM คือ 3:1:1, 3:2:1,

4:1:1, 4:2:1, 4:3:1 โดยปริมาตร ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีความขึ้นเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ประมาณ 50-60% (ดังภาคผนวก 5) (Gajalakshmi and Abbasi, 2008) หมัก 2 แบบ คือ

แบบที่ 1 แบบไร้อากาศในถุงพลาสติก กวนหรือเขย่าส่วนผสมในภาชนะทุกวัน

แบบที่ 2 แบบมีอากาศบรรจุในกระสอบวางบนพื้นไม้ คลุกเคล้าด้วยการกวนทุกวัน

5.3 เตรียมชุดทดลองกลุ่มควบคุม โดยใช้น้ำกลั่นแทนจุลินทรีย์ EM ใช้อัตราส่วนและสภาวะเดียวกันชุดการทดลองของกลุ่มตัวอย่าง ข้อที่ 5.2

5.4 ตรวจวัดค่าพีเอช การนำไฟฟ้า และอุณหภูมิของตัวอย่างหมัก เป็นเวลา 24 วัน เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการหมัก

5.5 ตรวจสอบสมบัติการขึ้นที่แปรสภาพ

วิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา โดยตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์ โดยวิธี pour plate

วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารตามวิธีการของ AOAC (1990) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

6. ศึกษาการใช้ประโยชน์กากชี้แบ่งที่แปรสภาพ เป็นสารบำรุงดินในการปลูกพืช

6.1 ใช้อัตราส่วนของกากชี้แบ่ง: กากอินทรีย์ผสม : EM ขยายส่วน คือ 3:1:1, 3:2:1, 4:1:1, 4:2:1 และ 4:3:1 โดยปริมาตรในระบบเปิดเป็นสารบำรุงดินปลูกต้นทานตะวัน ด้วยการนำมาผสมกับดิน² ทำการทดลอง 3 อัตราส่วน คือ สารบำรุงดินต่อดินเท่ากับ 1:2, 1:3 และ 1:4 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ต้นทานตะวันมีการรอดชีวิตร้อยละ 95-100 (ภาคผนวก 6) โดยให้มีปริมาตรรวมเท่ากับ 2 ลิตร

6.2 ปลูกต้นทานตะวัน *Helianthus annuus* L. พันธุ์ Sun-smile ชุดการทดลองละ 10 ต้น เปรียบเทียบผลการปลูกกับกลุ่มควบคุม คือ ที่ใส่ปุ๋ยเคมี * และ กลุ่มควบคุมที่ใช้ดินทราย

หมายเหตุ เดิม ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ในอัตรา 40 กิโลกรัมต่อไร่โดยใส่รองพื้นก่อนปลูกและ

เดิม ปุ๋ยยูเรีย 25 กิโลกรัม ต่อไร่ เมื่อต้นทานตะวันอายุได้ 30 วัน

- ติดตามการเจริญเติบโตทุกๆ 10 วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน

- ติดตามการเจริญเติบโต โดยวัดความสูงต้นห่างจากดิน 1 เซนติเมตร วัดขนาดของลำต้น (เส้นรอบวง) ตรงตำแหน่งเหนือข้อแรก (บริเวณที่ใบเลี้ยงหลุดออก) ของแต่ละต้น และวัดจำนวนใบ

- ตรวจสอบน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ของต้นทานตะวันหลังจากเก็บเกี่ยวในวันที่ 60

6.3 วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินและก่อนและหลังการทดลองและในต้นทานตะวัน หลังจากเก็บเกี่ยวในวันที่ 60 โดยวิเคราะห์ธาตุอาหาร ดังนี้

- Total Kjeldahl Nitrogen

- Total Phosphorus

- Total Potassium

- Magnesium และ Zinc

² วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ตามวิธีการของ AOAC (1990) โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

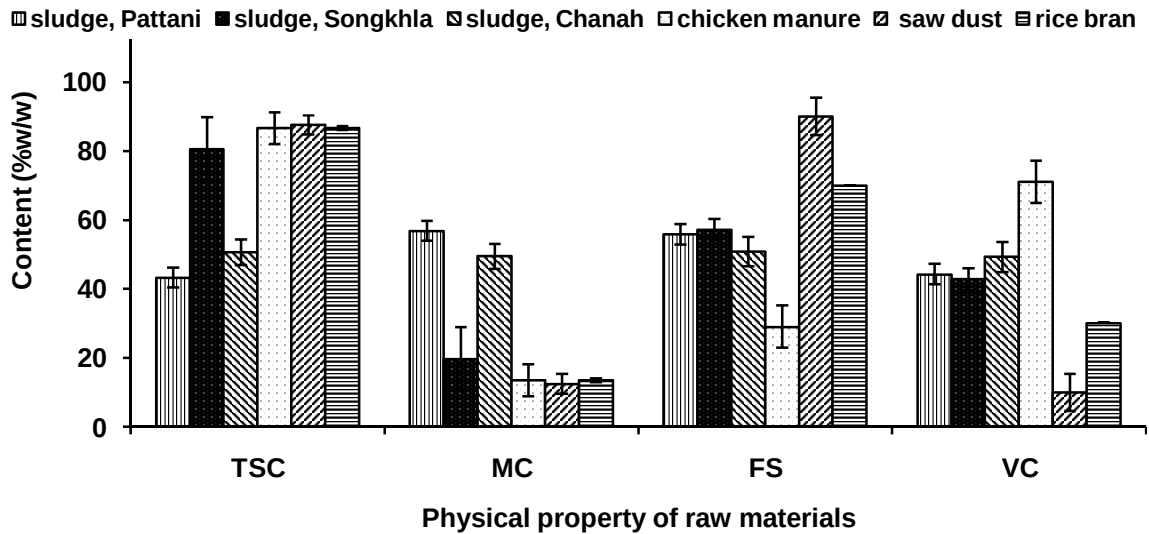
5. ผลการวิจัย

5.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกากจี๋แป้งและกากอินทรีย์

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีเบื้องต้นของตัวอย่างกากจี๋แป้งจากตัวแทนโรงงานน้ำตาลชั้น 3 โรงงาน คือ บริษัทถาวรอุตสาหกรรมจำกัด จังหวัดสงขลา บริษัทจะนะอุตสาหกรรมน้ำตาลชั้นจำกัด จังหวัดสงขลา และบริษัทปัตตานีอุตสาหกรรมจำกัด จังหวัดปัตตานี เปรียบเทียบกับสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของกากอินทรีย์เหลือใช้ทางการเกษตร 3 ชนิด คือ มูลไก่ ขี้เลื่อย และ รำข้าว โดยทำการวัดค่าพีเอช (pH) ความหนาแน่น ความชื้น (MC) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (VC) และปริมาณของแข็งที่คงอยู่ (FS) ดังแสดงตารางที่ 2 และรูปที่ 1

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีเบื้องต้นของตัวอย่างกากจี๋แป้งและกากอินทรีย์

ตัวอย่าง	พีเอช (pH)	ความหนาแน่น (g/mL)	ของแข็ง ทั้งหมด (%)	ความชื้น (%)	ของแข็งที่ ละลายได้ (%)	ของแข็งที่ คงอยู่ (%)
กากจี๋แป้ง (S)						
จ. ปัตตานี	9.36 ± 0.07	1.02 ± 0.01	43.23 ± 2.84	56.77 ± 2.84	44.20 ± 2.96	55.80 ± 2.96
จ. สงขลา	7.27 ± 0.05	1.10 ± 0.02	80.40 ± 9.27	19.60 ± 9.27	42.81 ± 3.09	57.19 ± 3.09
อ. จะนะ	9.63 ± 0.13	1.26 ± 0.01	50.59 ± 3.66	49.41 ± 3.66	50.76 ± 4.33	49.24 ± 4.33
กากอินทรีย์						
มูลไก่ (CM)	5.58 ± 0.04	1.25 ± 0.02	86.55 ± 4.70	13.45 ± 4.70	90.01 ± 5.43	9.99 ± 5.43
ขี้เลื่อย (saw dust)	5.82 ± 0.04	0.95 ± 0.06	87.53 ± 2.83	12.47 ± 2.83	71.01 ± 6.14	28.99 ± 6.14
รำข้าว (rice bran)	6.26 ± 0.03	1.12 ± 0.01	86.51 ± 0.57	13.41 ± 0.57	30.11 ± 0.01	69.89 ± 0.01



รูปที่ 1 สมบัติทางกายภาพของกากจี้แบ่งจากแหล่งต่างๆ และกากอินทรีย์ 3 ชนิด

5.1.1 ค่าพีเอช

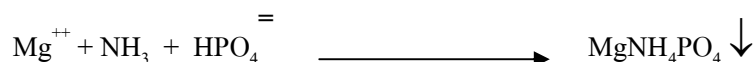
ค่าพีเอชของกากจี้แบ่งอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างเป็นกลางและเป็นเบส ($\text{pH}=7.27-9.63$) เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตน้ำยางข้นมีการเติมแอมโมเนียลงไปให้น้ำยางเพื่อรักษาความเสถียรของน้ำยาง หลังทำการปั่นเหวี่ยงกากจี้แบ่งที่แยกตัวออกมา กากจี้แบ่งที่ได้จึงมีสภาพเป็นเบส แต่แอมโมเนียที่เติมลงไปสามารถระเหยออกได้ ทำให้มีพีเอชลดลงจนกระทั่งค่อนข้างเป็นกลาง ส่วนมูลไก่ จี๋เลื้อย และรำข้าวมีค่าพีเอชในช่วงที่เป็นกรดอ่อน มีค่าพีเอชเท่ากับ 5.82, 5.58 และ 6.26 ตามลำดับ

5.1.2 ความหนาแน่น

น้ำยางสดโดยทั่วไปมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.975-0.980 g/mL อนุภาคยางมีความหนาแน่น 0.92 g/mL (เสาวนีย์, 2543) เมื่อทำการเซนตริฟิวส์ด้วยความเร็ว 2000 รอบ/นาที ทำให้สามารถแยกส่วนของอนุภาคยาง เซรุ่มและกากจี้แบ่งแยกออกจากกัน จะเห็นว่าความหนาแน่นของกากจี้แบ่งจาก 3 โรงงานมีค่าอยู่ในช่วง 1.02-1.26 g/mL ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในน้ำยาง เช่น เรซิน โลหะหนัก แป้ง โปรตีน ไขมัน และสารเคมีที่เติมลงไปก่อนนำน้ำยางมาผลิตเป็นน้ำยางข้น เช่น NH_3 , TMTD, ZnO และ DAHP เมื่อทำการเซนตริฟิวส์ส่วนประกอบของกากจี้แบ่งจะมีลักษณะเป็นโคลนตมสีเหลืองขาวหรือสีขาวอมเทา ซึ่งเป็นสารพวกแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และจี๋เลื้อย ทำให้กากจี้แบ่งมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำยางประมาณ 12-12.5% ส่วนมูลไก่ และรำข้าว มีความหนาแน่น 1.25 และ 1.12 g/mL ตามลำดับ ซึ่งมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับกากจี้แบ่ง สำหรับจี๋เลื้อยจากต้นยางพารา มีความหนาแน่นค่อนข้างต่ำ มีค่าเท่ากับ 0.95 g/mL เนื่องจากต้นยางพารามีองค์ประกอบที่สำคัญส่วนใหญ่ คือ คาร์บอน ส่วนธาตุอาหารชนิดอื่นมีปริมาณน้อยมาก

5.1.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมดและความชื้น

กากจี้แบ่งมีของแข็งทั้งหมด (TSC) อยู่ในช่วงร้อยละ 43.23-80.40 และความชื้น (MC) มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 19.60-56.77 ของแข็งส่วนใหญ่ประกอบด้วยฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการเติม DAHP เพื่อตกตะกอนไอออนแมกนีเซียมในน้ำยาง ดังสมการ



องค์ประกอบอื่นที่มีในกากจี้แบ่งได้แก่ โปรตีน และไขมัน มีความชื้นค่อนข้างสูง เนื่องจากตัวอย่างกากจี้แบ่งที่นำมาวิเคราะห์เป็นกากจี้แบ่งสดที่ได้จากกระบวนการผลิตในโรงงาน มีน้ำและแอมโมเนียเจือปนอยู่ปริมาณค่อนข้างสูง ส่งผลให้มีความชื้นสูง โดยพบว่ากากจี้แบ่งจากปัตตานีและจะนะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำ และความชื้นสูง (ร้อยละ 43.23-50.59, 56.77-49.41 ตามลำดับ) ซึ่งกนกฐยาและอุบล (2549) และ วิภาพรรณ (2550) ได้ศึกษาพบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมด มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 58.5-56.1 และ 35.83-36.82 ตามลำดับ เนื่องจากโรงงานที่ผลิตมีเทคนิคการเก็บกากจี้แบ่งออกมาจากระบบการผลิตที่ต่างกัน ส่งผลให้ของแข็งทั้งหมด ในกากจี้แบ่งมีปริมาณแตกต่างกัน ส่วนมูลไก่ จี๋เลื้อย และรำข้าวเป็นตัวอย่างแห้ง มีสารอินทรีย์ของแข็งทั้งหมด และความชื้นปริมาณค่อนข้างใกล้เคียงกัน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 86.51-87.53, 12.47-13.49 โดยน้ำหนักตามลำดับ ความชื้นมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 15 สำหรับของแข็งทั้งหมดสามารถแบ่งออกเป็นปริมาณของแข็งที่ระเหยได้และของแข็งที่คงอยู่

5.1.4 ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ และของแข็งที่ระเหยได้

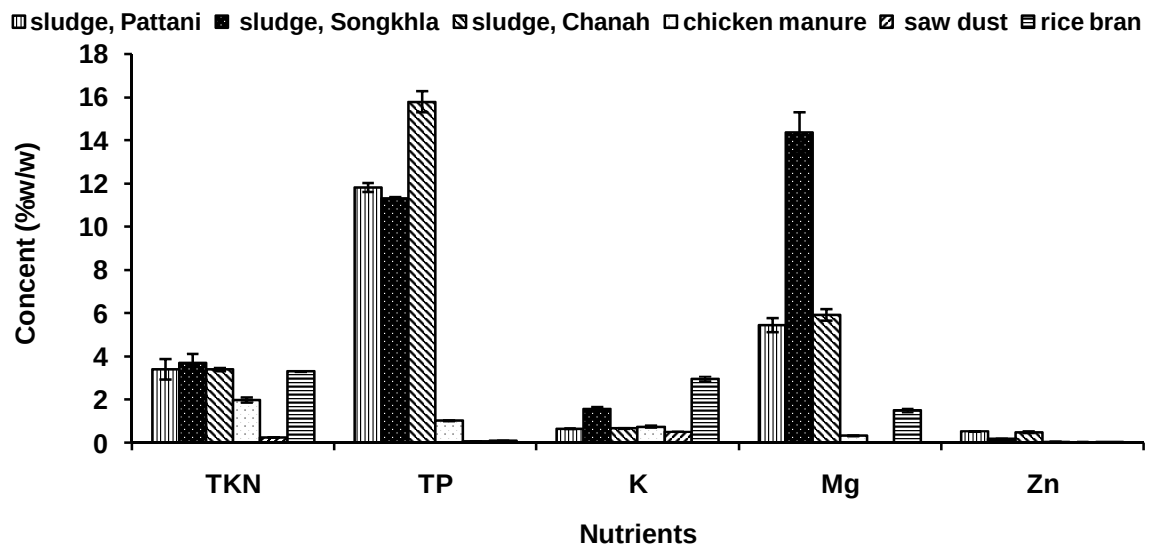
ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ (FS) ในกากจี้แบ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารพวกจี๊ด้า คาร์บอนและโลหะหนักที่เหลือจากการเผาที่อุณหภูมิ $550 \pm 50^\circ\text{C}$ ส่วนของแข็งที่ระเหยได้ (VC) เป็นสารอินทรีย์อื่นที่เจือปนอยู่จะเกิดการระเหยออกไป ในมูลไก่ พบว่าปริมาณของแข็งที่คงอยู่มีปริมาณน้อยที่สุด เนื่องจากองค์ประกอบของมูลไก่ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ ส่วนจี๋เลื้อยมีปริมาณของแข็งที่คงอยู่ต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 10 และของแข็งที่ระเหยได้ มีปริมาณสูงสุด คือ ร้อยละ 90 เนื่องจากจี๋เลื้อยประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน หลังการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง จะกลายเป็นจี๊ด้า จึงมีของแข็งที่คงอยู่ปริมาณต่ำ

5.1.5 ปริมาณธาตุอาหาร

กากจี้แบ่งจากแหล่งต่างๆและกากอินทรีย์ 3 ชนิด คือ มูลไก่ (CM) จี๋เลื้อย (saw dust) และ รำข้าว (rice bran) นำมาวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสี และแมกนีเซียม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 2

ตารางที่ 3 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสี และแมกนีเซียม

ตัวอย่าง	ปริมาณธาตุอาหาร (%โดยน้ำหนัก)				
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	แมกนีเซียม	สังกะสี
	(TKN)	(TP)	(K)	(Mg)	(Zn)
กากขี้เป้ง (S)					
จ. ปัตตานี	3.40 ± 0.47	11.81 ± 0.21	0.64 ± 0.01	5.44 ± 0.34	0.51 ± 0.03
จ. สงขลา	3.71 ± 0.40	11.32 ± 0.05	1.56 ± 0.08	14.34 ± 0.95	0.16 ± 0.01
อ. ฉะนะ	3.38 ± 0.07	15.79 ± 0.50	0.67 ± 0.01	5.91 ± 0.26	0.48 ± 0.05
กากอินทรีย์					
มูลไก่ (CM)	1.98 ± 0.11	1.02 ± 0.01	0.73 ± 0.04	0.30 ± 0.01	0.023 ± 0.001
ขี้เลื่อย (saw dust)	0.21 ± 0.01	0.03 ± 0.01	0.49 ± 0.01	0.002 ± 0.001	0.004 ± 0.001
รำข้าว (rice bran)	3.30 ± 0.01	0.09 ± 0.01	2.96 ± 0.10	1.49 ± 0.09	0.020 ± 0.001



รูปที่ 2 ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสีและแมกนีเซียม
ของตัวอย่างกากขี้เป้งจากแหล่งต่างๆและกากอินทรีย์ 3 ชนิด

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุอาหารในกากขี้เป้งโรงงานน้ำตาลขึ้นจาก 3 โรงงาน ในเขต จังหวัดปัตตานีและจังหวัดสงขลา พบว่า ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียม มีปริมาณใกล้เคียงกัน โดยตัวอย่างกากขี้เป้งมีฟอสฟอรัสทั้งหมดในปริมาณสูง คืออยู่ในช่วงร้อยละ 11.31-15.79 ซึ่งฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ได้มาจากการเติม DAHP (diammonium hydrogen phosphate) เพื่อตกตะกอน โลหะแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางสด ซึ่งได้จากต้นยางพาราก่อนที่จะนำมาผลิตเป็นน้ำยางข้น

ไนโตรเจนทั้งหมดในกากจี้แ่งมีปริมาณไม่แตกต่างกัน (ร้อยละ 3.40-3.70) ซึ่งธาตุไนโตรเจนจะเป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำยาง รวมทั้งส่วนของแอมโมเนียที่รวมตัวกับแมกนีเซียม ซึ่งอยู่ในรูปตะกอนช่วงที่เติมสารตกตะกอนโลหะอินในน้ำยาง (DAHP)

โพแทสเซียมทั้งหมดจะเป็นองค์ประกอบของธาตุอาหารในดิน ซึ่งส่วนของรากจากต้นยางพาราดูดซึมมาเลี้ยงลำต้นมีมากเพียงพอ เหลืออยู่ในส่วนของน้ำยางหลังการเซนตริฟิวจ์ และธาตุโพแทสเซียมสามารถละลายน้ำออกไปด้วย จึงมีปริมาณค่อนข้างต่ำ (ร้อยละ 0.64–1.56)

ธาตุแมกนีเซียมของกากจี้แ่งในจังหวัดสงขลา มีปริมาณสูงกว่ากากจี้แ่งจากจังหวัดปัตตานี แมกนีเซียมในกากจี้แ่งมีปริมาณสูงร้อยละ 5.43-14.34 ส่วนสังกะสีในกากจี้แ่งจากจังหวัดปัตตานี มีปริมาณสูงกว่ากากจี้แ่งจากจังหวัดสงขลา เนื่องจากแหล่งที่มาของน้ำยางและกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นของแต่ละโรงงานมีกระบวนการที่แตกต่างกัน โดยสังกะสีในน้ำยางมาจากสารประกอบสังกะสี เช่น ZnO ที่เติมลงไปในการรักษาน้ำยาง แม้จะเติมในปริมาณน้อย (<0.02%) นอกจากนี้สังกะสีจะเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด (Teilnugutom, 2005) ที่มีอยู่ในเซลล์พืช ดังนั้นหลังจากการเซนตริฟิวจ์ จึงพบสังกะสีในกากจี้แ่งในช่วงร้อยละ 0.16-0.50 ไอออนของสังกะสีที่มีอยู่ในน้ำยาง ทำให้อนุภาคยางจับตัว รวมทั้งสิ่งเจือปนที่เป็นของแข็งอื่นจะถูกแยกตัวลงสู่ก้นภาชนะจึงทำให้มีองค์ประกอบต่างๆ ตกตะกอนอยู่ร่วมกับกากจี้แ่ง

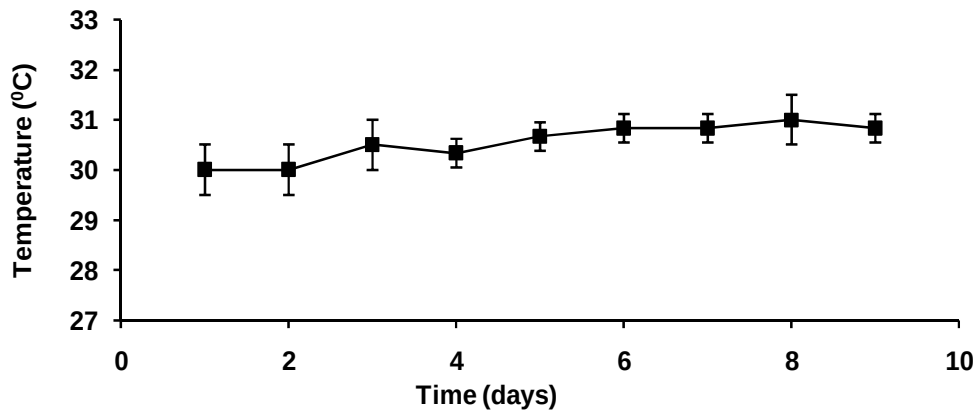
ปริมาณธาตุอาหารในกากจี้แ่งน้ำยางชั้นจากเขตจังหวัดปัตตานีและสงขลา จะเห็นว่ามีความแตกต่างกันค่อนข้างสอดคล้องอยู่ในช่วงเดียวกับธาตุอาหารในกากจี้แ่งน้ำยางชั้นที่ศึกษาโดยวิทยารณ และวารสารวิทยารณ (2550) พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียม มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 1.01-2.26, 26.31-46.79 และ 0.55-0.72 ส่วน วราศรี (2543) พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมดโพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสีในกากจี้แ่ง มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 2.06-2.14, 19.6-21.6, 1.8-2.1, 5.31-7.56, 1.01-0.51 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารจะขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำยางสด และกระบวนการผลิตน้ำยางชั้นในแต่ละโรงงาน

สำหรับกากอินทรีย์ 3 ชนิด คือ มูลไก่ จี๊เลื้อย และรำข้าว พบว่า รำข้าว มีธาตุอาหารปริมาณสูงที่สุด คือ ไนโตรเจนและโพแทสเซียม (มีค่าร้อยละ 3.33 และ 2.96) รองลงมา คือ มูลไก่ (มีปริมาณร้อยละ 1.98 และ 0.74) และจี๊เลื้อย (มีปริมาณร้อยละ 0.21 และ 0.49) ตามลำดับ สำหรับมูลไก่มีปริมาณฟอสฟอรัส (ร้อยละ 1.01) และสังกะสี (ร้อยละ 0.023) สูงกว่ารำข้าวและจี๊เลื้อย หากเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในกากจี้แ่ง กับกากอินทรีย์ทั้งสามชนิด พบว่า กากจี้แ่งมีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และสังกะสี สูงกว่า มูลไก่ จี๊เลื้อย และ รำข้าว ส่วนรำข้าว มีธาตุโพแทสเซียมปริมาณมากกว่ากากจี้แ่ง ดังนั้นการเติมมูลไก่ จี๊เลื้อย และรำข้าว ลงในกากจี้แ่งหมัก จึงเป็นการเสริมธาตุอาหารที่จำเป็นในการแปรรูปกากจี้แ่ง เพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินสำหรับการเจริญเติบโตของพืช

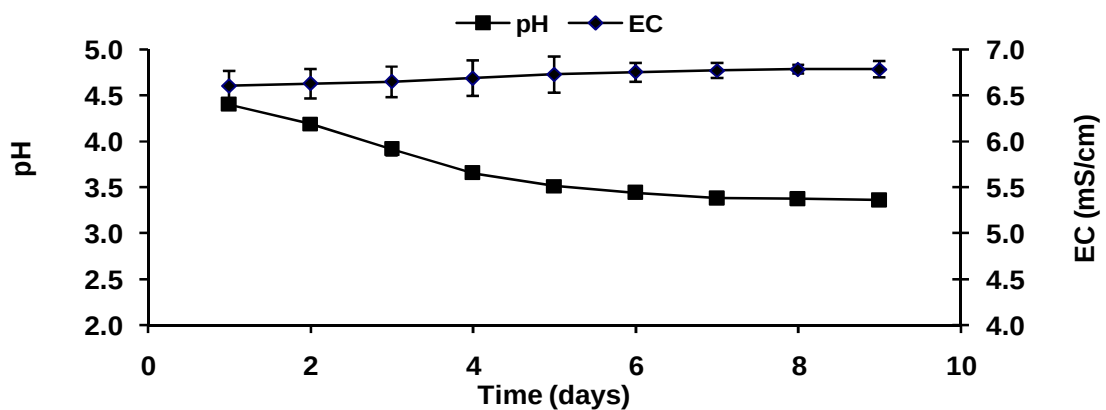
5.2 จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM)

5.2.1 จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพขยายส่วน

หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) นำมาขยายส่วนโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ EM ผสมกับกากน้ำตาลและน้ำในอัตราส่วน 1:1:20 ใส่ในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท ตรวจวัดค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ทุกวันเป็นเวลา 9 วัน ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4



รูปที่ 3 อุณหภูมิของ EM ขยายส่วนที่เวลาต่างๆ

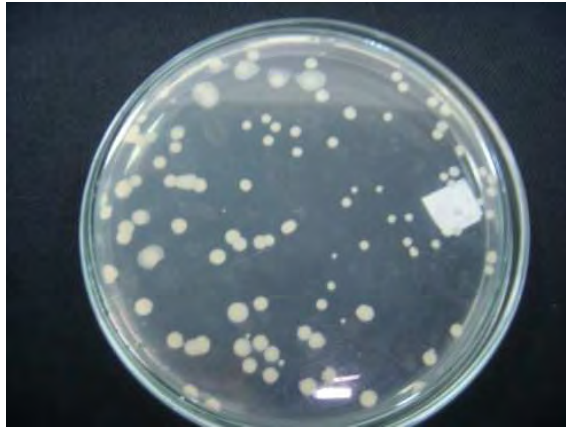


รูปที่ 4 ค่าพีเอช และการนำไฟฟ้า (EC) ของ EM ขยายส่วนที่เวลาต่างๆ

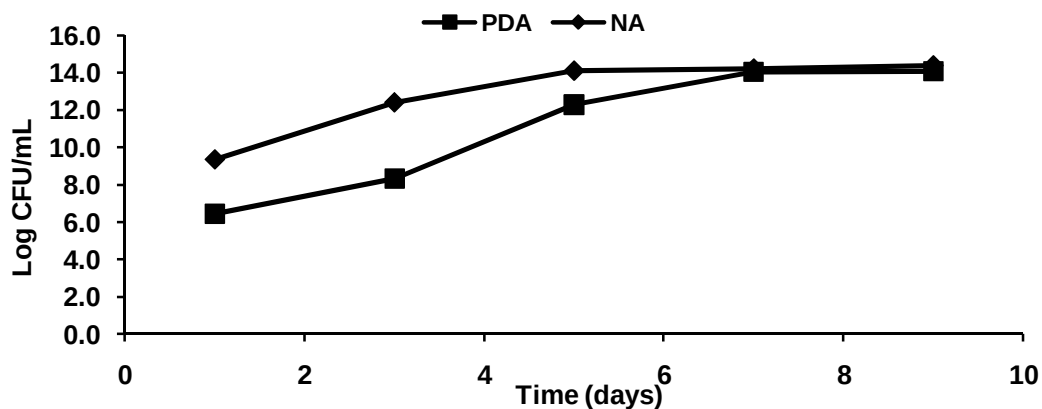
จากรูปที่ 3-4 แสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลา 9 วันของการขยายส่วนหัวเชื้อ EM พบว่า สารละลาย EM ที่ขยายส่วนมีช่วงอุณหภูมิ และการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนพีเอชมีค่าลดลง เนื่องจากในช่วงเวลาของการขยายส่วนเชื้อจุลินทรีย์ EM มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น มีการใช้สารอาหารและปล่อยกรดอินทรีย์จากกระบวนการเมแทบอลิซึมออกมา ทำให้มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น พีเอชเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจาก 4.4 เป็น 3.4 และมีวันที่ในวันที่ 7 แสดงว่าการเจริญของจุลินทรีย์ EM เริ่มคงที่ด้วย โดยค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช คือ เมื่อค่าพีเอชลดลง (เป็นกรดมากขึ้น) ความสามารถในการแตกตัวเป็นไอออนจะเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

5.2.2 อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ EM

หัวเชื้อจุลินทรีย์ EM ผสมกับกากน้ำตาล และน้ำ อัตราส่วน 1:1:20 นำมาขยายส่วนเป็นเวลา 1 อาทิตย์ เก็บตัวอย่างมาศึกษาอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ ในอาหารเลี้ยงเชื้อสองชนิด คือ Nutrient agar (NA) และ Potato dextrose agar (PDA) โดยวิธี Viable plate count ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตด้วยการเขย่าจาน (pour plate) ให้โคโลนีมีความเจือจางที่ระดับระหว่าง 30-300 โคโลนี โดยแบคทีเรียจะเลี้ยงบนอาหาร Nutrient agar (NA) ส่วนยีสต์ และเชื้อราเลี้ยงบนอาหาร Potato dextrose agar (PDA) ลักษณะเชื้อโคโลนีที่อยู่บนจานเพาะเชื้อ ดังแสดงในรูปที่ 5 สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์จุลินทรีย์ต่อมิลลิลิตรของ EM ขยายส่วน ในรูป log Colony Forming Unit (จำนวนโคโลนีที่นับได้ในจานอาหาร, CFU/mL) ต่อเวลา ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 5 ตัวอย่างลักษณะ โคโคนีเดี่ยวของจุลินทรีย์ EM



รูปที่ 6 จำนวนโคโคนีของจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน (log CFU/mL) ในอาหาร PDA และ NA ที่เวลาต่างๆ

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่า ในช่วงเริ่มต้นจำนวนจุลินทรีย์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในอาหารที่ใช้เลี้ยง เชื้อจุลินทรีย์ทั้งสองชนิด คือ Nutrient agar (NA) และ Potato dextrose agar (PDA) ช่วงวันที่ 1-6 พบว่า จำนวนแบคทีเรียบนอาหาร Nutrient agar (NA) มีปริมาณมากกว่าจำนวนยีสต์ และเชื้อราที่เลี้ยงบนอาหาร Potato dextrose agar (PDA) เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียมีความสามารถในการแบ่งเซลล์ได้รวดเร็ว กว่ายีสต์ และเชื้อรา และจำนวนจุลินทรีย์บนอาหารที่เลี้ยงเริ่มมีปริมาณคงที่และค่อนข้างใกล้เคียงกันในวันที่ 7 แสดงว่าจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน เป็นเวลา 7 วันมีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เริ่มคงที่เหมาะกับการนำไปใช้งาน คือ ใช้หมักกากชีแพ้ง และกากอินทรีย์ ต่อไป

5.2.3 การแยกเชื้อจุลินทรีย์ ให้เป็นเชื้อเดี่ยว

คัดเลือกโคโลนีเดี่ยว (pure culture) ที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยวิธีการขีดเชื้อที่คัดเลือกบนจานอาหาร (streak plate) สองชนิด คือ เชื้อแบคทีเรียใช้อาหาร NA ส่วนเชื้อยีสต์และเชื้อราใช้อาหาร PDA เพื่อให้ได้โคโลนีเดี่ยวๆ สำหรับนำไปตรวจสอบรูปร่างของจุลินทรีย์ต่อไป ตัวอย่างของ Streak plate ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การคัดแยกโคโลนีเดี่ยวโดยวิธีการ Streak plate

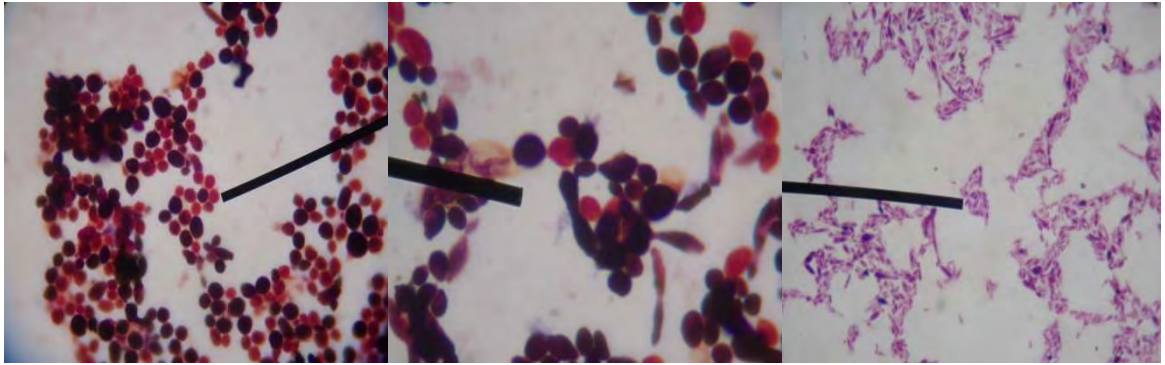
รูปร่างจุลินทรีย์ที่ได้จากโคโลนีเดี่ยว (pure culture)

ตรวจสอบชนิดจุลินทรีย์ของโคโลนีเดี่ยวที่ได้จากการคัดแยกตัวอย่าง EM ขยายส่วน โดยตรวจดูจากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายต่างๆ และศึกษารูปร่างแบคทีเรียโดยการย้อมสีแบบแกรม (Gram staining) พบว่า แบคทีเรียแกรมบวกจะย้อมติดสีม่วงของคริสตัลไวโอเลต แบคทีเรียแกรมลบย้อมติดสีแดงของสีซาฟรานิน สำหรับลักษณะและรูปร่างของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่คัดแยกได้จากการเลี้ยงเชื้อบนอาหาร PDA ดังตารางที่ 4 และรูปที่ 8-10 พบว่า ประกอบด้วยเชื้อ ยีสต์ แบคทีเรียรูปแท่ง แกรมลบ และเชื้อราชนิดต่างๆ ซึ่งในส่วนของเชื้อราไม่ต้องทำการ Streak เนื่องจากสามารถแยกชนิดของเชื้อราออกจากกันได้ อย่างชัดเจนโดยดูจากสีและสปอร์ของเชื้อรา

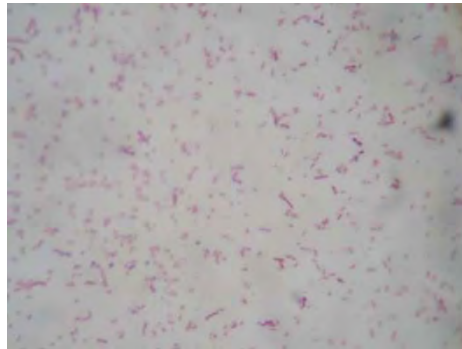
ตารางที่ 4 ลักษณะและรูปร่างจุลินทรีย์ที่ได้จากการ Streak บนอาหาร PDA

โคโลนี (ที่คัดเลือก)	โคโลนี (ที่ได้จากการ Streak)	ลักษณะ (จากกล้องจุลทรรศน์)
1. โคโลนีสีขาว ขอบขรุขระ	โคโลนีสีขาว ขอบขรุขระ	ยีสต์ ลักษณะกลมและรีเล็กน้อย ติดสีแดง-ม่วง
2. โคโลนีแผ่นลาม ขาวขุ่น	โคโลนีสีขาวขุ่น	รูปแท่ง สีแดง
3. โคโลนีสีเหลืองขุ่น	โคโลนีสีขาว	ยีสต์ ลักษณะกลมและรีเล็กน้อย ติดสีแดง-ม่วง
	โคโลนีสีเหลืองอ่อน	ยีสต์ ลักษณะกลมและรีเล็กน้อย ติดสีแดง-ม่วง
4. โคโลนีสีขาวขุ่น กลม ขอบเรียบ	โคโลนีสีขาวขุ่น กลม ขอบเรียบ	ยีสต์ ลักษณะกลมและรีเล็กน้อย ติดสีแดง-ม่วง
5. โคโลนีสีน้ำตาล ขุ่น	โคโลนีสีน้ำตาล ขุ่น	ยีสต์ ลักษณะกลมและรีเล็กน้อย ติดสีแดง-ม่วง
6. โคโลนีสีเหลืองขุ่น กลม	โคโลนีสีเหลืองขุ่น กลม	รูปแท่ง สีแดง
7. โคโลนีสีขาวขุ่น กลม	โคโลนีสีขาวขุ่น กลม	ยีสต์ ลักษณะเรียวยาว ติดสีแดง-ม่วง
8. โคโลนีแผ่นลาม สีขาวขุ่น	โคโลนีสีขาวขุ่น	รูปแท่ง สีแดง
9. โคโลนีสีขาวขุ่น ขอบเรียบ	โคโลนีสีขาวขุ่น ขอบเรียบ	ยีสต์ ลักษณะเรียวยาว ติดสีม่วง
10. โคโลนีสีขาวขุ่น	โคโลนีสีขาวขุ่น	ยีสต์ ลักษณะเรียวยาว ติดสีม่วง
11. โคโลนีสีเหลือง	โคโลนีสีเหลือง	รูปแท่งต่อกันเป็นสาย สีแดง
12. โคโลนีสีเหลือง	โคโลนีสีเหลือง	รูปแท่งต่อกันเป็นสาย สีแดง
13. ราสีดำ สปอร์สีดำ	*	เส้นใยสีดำ สปอร์สีดำ
14. ราสีดำ สปอร์สีเขียว	*	สปอร์สีดำ ตรงกลางสีเขียว
15. ราสีเหลือง สปอร์สีดำ	*	ลักษณะรี ด้านในประกอบด้วยเซลล์ขนาดเล็ก
16. ราสีขาว	*	เส้นใยสีขาว สปอร์สีดำ
17. ราสีขาว ตรงกลางสีน้ำตาล	*	เส้นใยสีขาว สปอร์ขนาดเล็ก
18. ราสีน้ำตาล	*	เส้นใยสีขาว สปอร์สีน้ำตาล

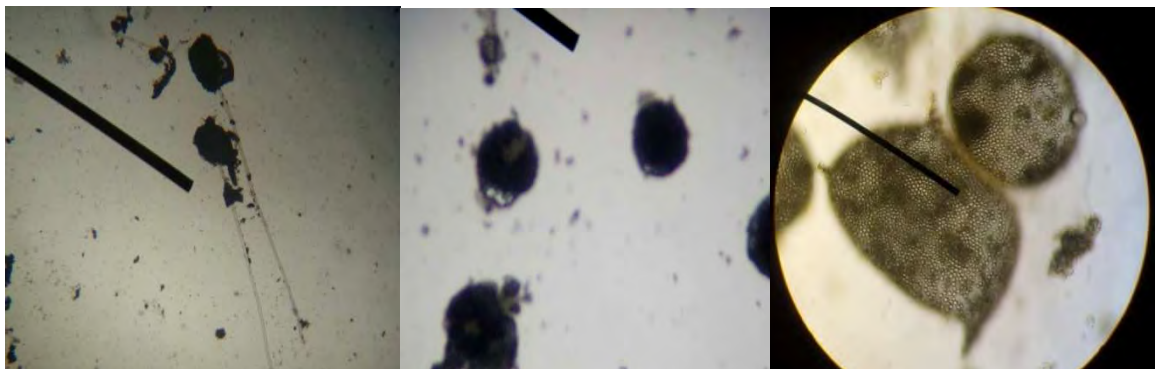
หมายเหตุ * จุลินทรีย์กลุ่มเชื้อราไม่ได้ทำการ Streak



รูปที่ 8 ยีสต์ (กำลังขยาย 400 เท่า)



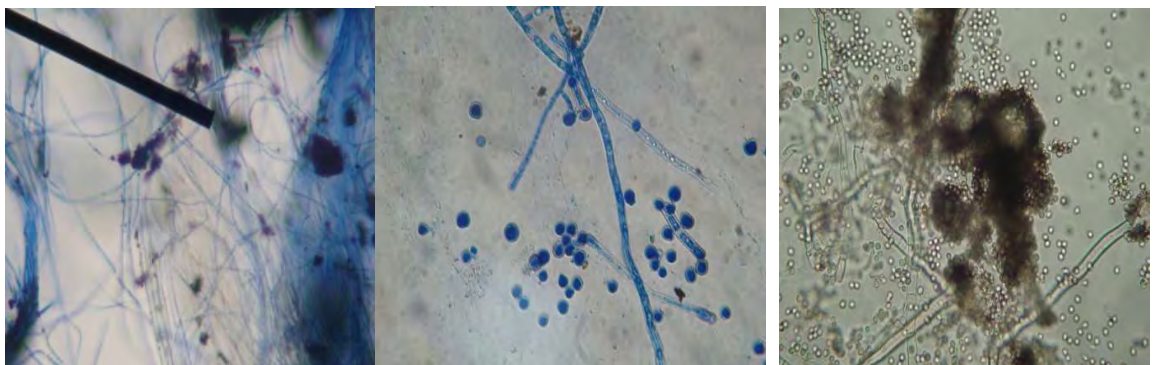
รูปที่ 9 แบคทีเรีย รูปแท่ง แกรมลบ (กำลังขยาย 1000 เท่า)



(a) กำลังขยาย 40 เท่า

(b) กำลังขยาย 100 เท่า

(c) กำลังขยาย 400 เท่า



(d) กำลังขยาย 400 เท่า

(e) กำลังขยาย 400 เท่า

(f) กำลังขยาย 400 เท่า

รูปที่ 10 เชื้อราที่ได้จากโคโลนีที่คัดเลือก (a) ราสีดำ สปอร์สีดำ (b) ราสีดำ สปอร์สีเขียว (c) ราสีเหลือง สปอร์สีดำ (d) ราสีขาว (e) ราสีขาว ตรงกลางสีน้ำตาล และ (f) ราสีน้ำตาล

การคัดแยกจุลินทรีย์ที่เลี้ยงบนอาหาร NA ซึ่งเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรีย แล้วนำมาส่องกล้องจุลทรรศน์ ตรวจสอบลักษณะรูปร่างของจุลินทรีย์ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 11 โดยสามารถแบ่งกลุ่มจุลินทรีย์ได้ 4 ลักษณะ คือ

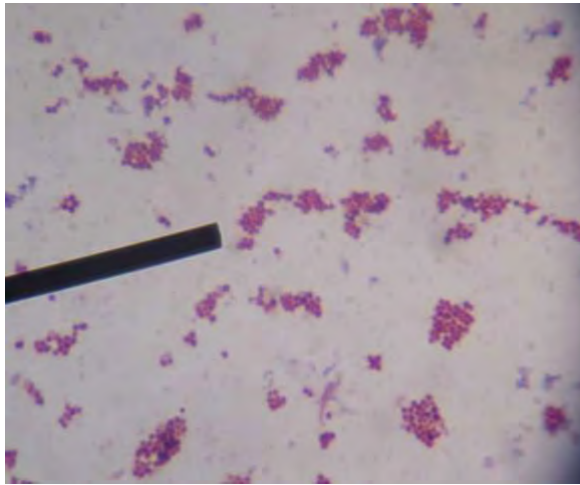
- (1) แบคทีเรียรูปกลม (Coccus) แกรมบวก (รูปที่ 11 a)
- (2) แบคทีเรียรูปกลม (Coccus) แกรมลบ (รูปที่ 11 b)
- (3) แบคทีเรียรูปแท่งต่อกัน (Bacillus) แกรมบวก (รูปที่ 11 c) และ
- (4) แบคทีเรียรูปแท่งต่อกัน แกรมลบ (รูปที่ 11 d)

สำหรับโคโลนีที่ 1, 2 และ 3 ที่ทำการคัดเลือก เมื่อนำมาทำการ Streak ไม่สามารถแยกเป็นโคโลนีเดี่ยวได้ จึงไม่สามารถทำการศึกษารูปร่างจากกล้องจุลทรรศน์

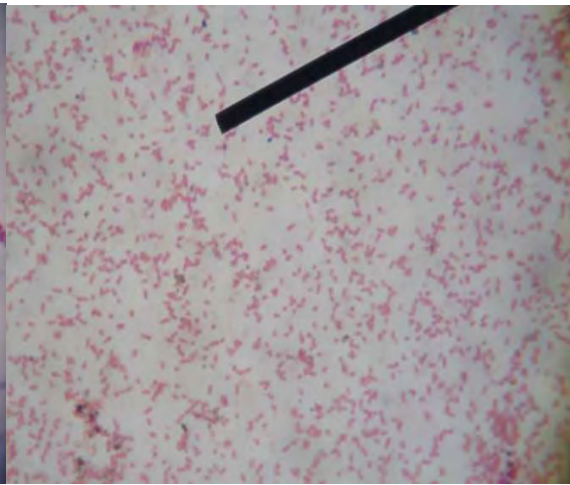
ตารางที่ 5 ลักษณะ และรูปร่างจุลินทรีย์ที่ได้จากการ Streak บนอาหาร NA

โคโลนี (ที่คัดเลือก)	โคโลนี (ที่ได้จากการ Streak)	ลักษณะ (จากกล้องจุลทรรศน์)
1. โคโลนีแผ่นลาม สีเหลือง	โคโลนีแผ่นลาม สีเหลือง	*
2. โคโลนีแผ่นลาม ขาวขุ่น	โคโลนีแผ่นลาม ขาวขุ่น	*
3. โคโลนีแผ่นลาม ขาวขุ่น	โคโลนีแผ่นลาม ขาวขุ่น	*
4. โคโลนีแผ่นลาม ขาวขุ่น	โคโลนีสีขาวขุ่น ขอบเรียบ	แบคทีเรียรูปกลม ข้อมติดสีแดง
5. โคโลนีแผ่นลาม ขาวขุ่น	โคโลนีสีขาวขุ่น	แบคทีเรียรูปแท่ง ติดสีแดง
6. โคโลนีแผ่นลาม ขาวขุ่น	โคโลนีสีขาวขุ่น	แบคทีเรียรูปแท่ง ติดสีแดง
7. โคโลนีสีเหลืองขุ่น ขอบเรียบ	โคโลนีสีเหลืองขุ่น ขอบเรียบ	แบคทีเรียรูปแท่งต่อกัน ติดสีม่วง
8. โคโลนีสีส้ม ขุ่น ขอบเรียบ	โคโลนีสีส้ม ขุ่น ขอบเรียบ	แบคทีเรียรูปกลม ข้อมติดสีม่วง
9. โคโลนีสีแดง ขุ่น ขอบเรียบ	โคโลนีสีแดง ขุ่น ขอบเรียบ	แบคทีเรียรูปแท่งต่อกัน ติดสีม่วง
10. โคโลนีสีขาวขุ่น กลม ขอบเรียบ	โคโลนีสีขาวขุ่น กลม ขอบเรียบ	แบคทีเรียรูปกลม ข้อมติดสีม่วง
11. โคโลนีแผ่นลามสีเหลืองขุ่น	โคโลนีสีเหลืองขุ่น	แบคทีเรียรูปแท่ง ติดสีแดง

หมายเหตุ * โคโลนีที่ 1, 2 และ 3 ที่ทำการคัดเลือกไม่สามารถแยกเป็นโคโลนีเดี่ยวได้
จึงไม่ได้ทำการศึกษารูปร่างจากกล้องจุลทรรศน์



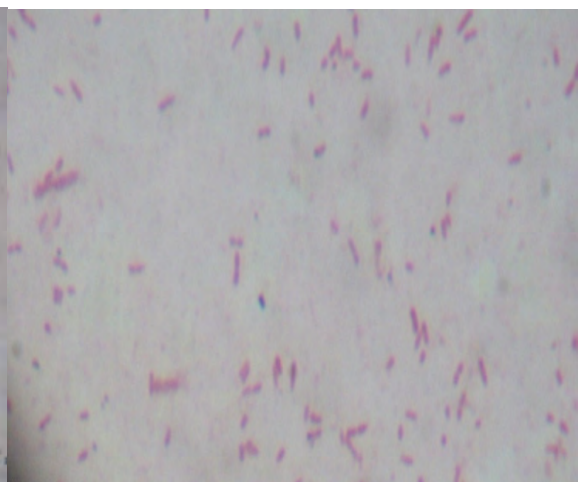
(a) แบคทีเรีย Coccus แกรมบวก



(b) แบคทีเรีย Coccus แกรมลบ



(c) แบคทีเรียรูปแท่ง แกรมบวก



(d) แบคทีเรียรูปแท่ง แกรมลบ

รูปที่ 11 เชื้อแบคทีเรียชนิดต่างๆ จากการ Streak บนอาหาร NA (กำลังขยาย 1000 เท่า)

จากรูปที่ 11 แสดงให้เห็นลักษณะของจุลินทรีย์ที่ได้จากการ Streak ในอาหาร NA ประกอบด้วยแบคทีเรีย ชนิดกลม (Coccus) แกรมบวก, Coccus แกรมลบ, แบคทีเรียรูปแท่งแกรมบวก และรูปแท่ง แกรมลบ สอดคล้องกับการศึกษาของ Khalij *et al* (2006) ซึ่งได้มีการรายงานว่าจุลินทรีย์กลุ่มหลักๆ ใน EM ประกอบด้วย กลุ่มจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง กลุ่มจุลินทรีย์ผลิตกรดแลกติก และยีสต์ ส่วนเชื้อรา และแอคติโนมัยซิสต์ มีปริมาณน้อย สำหรับจุลินทรีย์ที่ได้จากการขีดเชืบบนจานอาหาร (Streak) บนอาหาร PDA ประกอบด้วย ยีสต์ แบคทีเรียชนิดแท่ง แกรมลบ และเชื้อราชนิดต่างๆ

5.3 การปรับกลิ่นกากขี้เถ้าโดยใช้ EM ขยายส่วน

5.3.1 ผลการปรับกลิ่น

ปรับกลิ่นกากขี้เถ้าด้วย EM ขยายส่วน ซึ่งประกอบด้วยกากขี้เถ้า (S) : EM ขยายส่วน คือ 3:1, 2:1, 1:1, 1:1.5 และ 1:2 v/v รวมทั้งมีกลุ่มควบคุม ซึ่งไม่มีการเติม EM หลังการผสม EM ขยายส่วนสัดส่วนต่างๆ ทดสอบด้วยประสาทสัมผัส คือการดมกลิ่น ใช้ผู้ทดสอบ 40 คน ด้วยการตอบแบบสอบถาม (แสดงในภาคผนวก ก) โดยกำหนดให้มีระดับกลิ่นดังนี้

ระดับ 1 มีกลิ่นน้อยมาก

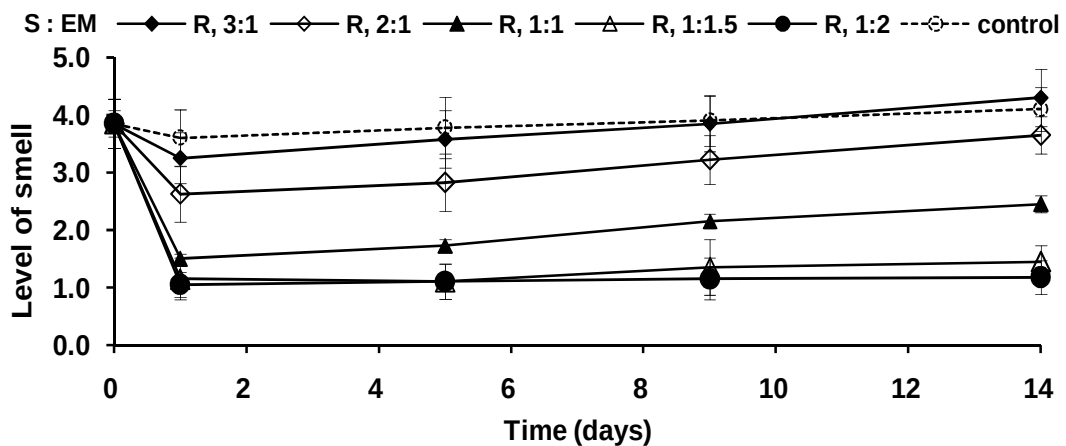
ระดับ 2 มีกลิ่นน้อย

ระดับ 3 มีกลิ่นปานกลาง

ระดับ 4 มีกลิ่นแรง

ระดับ 5 มีกลิ่นแรงมาก

ผลการทดสอบกลิ่นของกากขี้เถ้า ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 ระดับกลิ่นของกากขี้เถ้าหลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วนที่เวลาต่างๆ

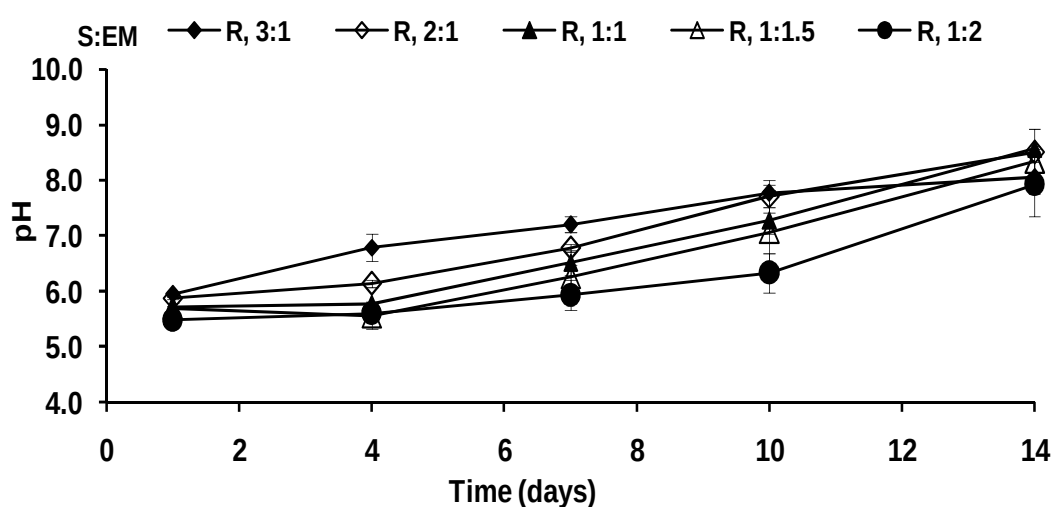
รูปที่ 12 แสดงให้เห็นว่ากลิ่นของกากขี้เถ้าหลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน มีระดับความแรงลดลงอย่างมาก โดยในวันที่ 1 ของการปรับกลิ่นด้วยหัวเชื้อ EM ให้ผลดี ระดับกลิ่นลดลงมากที่สุด ทุกชุดการทดลอง และกลิ่นจะคงที่ในวันที่ 5 ของการทดลอง เมื่อเวลาผ่านไปจะมีระดับกลิ่นเพิ่มขึ้น ยกเว้นระดับกลิ่นของชุดที่ปรับกลิ่นโดยใช้อัตราส่วนกากขี้เถ้า : EM ขยายส่วน เท่ากับ 1:2 และ 1:1.5 ซึ่งมีกลิ่นไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนระดับกลิ่นของกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเติม EM มีกลิ่นที่ค่อนข้างรุนแรง ตลอด 2 สัปดาห์ของการตรวจสอบระดับกลิ่น สำหรับการปรับกลิ่นด้วยการใช้กากขี้เถ้า : EM ขยายส่วน เท่ากับ 3:1, 2:1, 1:1, 1:1.5 และ 1:2 โดยปริมาตร พบว่าระดับกลิ่นเฉลี่ยในวันที่ 1 เท่ากับ 3.2, 2.6, 1.5, 1.1 และ 1.0 ตามลำดับ ส่วนชุดควบคุมมีค่าระดับกลิ่นเท่ากับ 3.6 แสดงว่าการเติมจุลินทรีย์ EM สามารถช่วยให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะได้อากาศคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ทำให้ไม่มีกลิ่นเหม็น แต่ในกลุ่มที่ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์การย่อยสลายไม่สมบูรณ์ มี

แอมโมเนีย ก๊าซไข่เน่า หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น และเมื่อเวลาผ่านไป ก๊าซที่สะสมเพิ่มปริมาณมากขึ้น ทำให้ระดับกลิ่นเพิ่มขึ้นด้วย

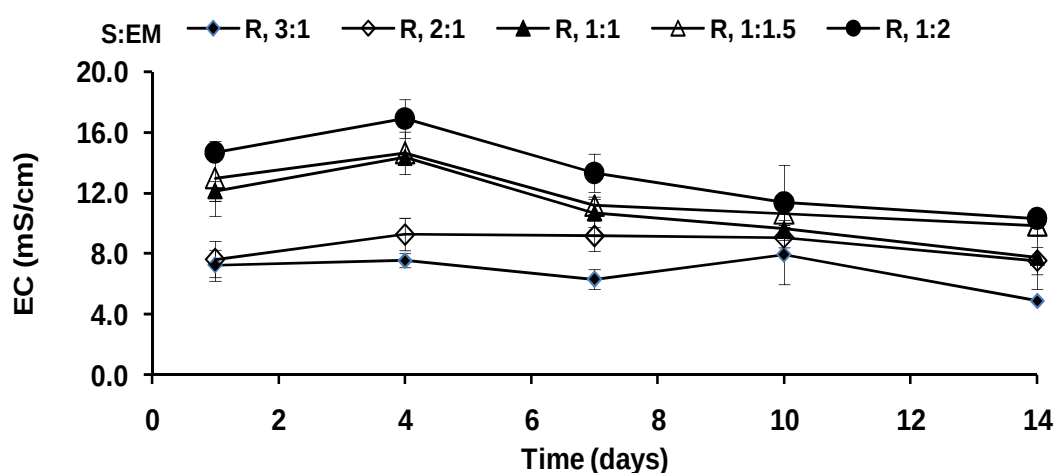
กากขี้เป้ง : EM ระดับต่างๆ มีระดับกลิ่นจากน้อยไปมาก ดังนี้ $1:2 < 1:1.5 < 1:1 < 2:1 < 3:1$ แสดงว่า จุลินทรีย์ EM สามารถนำมาใช้ในการปรับกลิ่นกากขี้เป้งให้ลดลงได้

5.3.2 ค่าพีเอชและการนำไฟฟ้าของกากขี้เป้งหลังการปรับกลิ่น

กากขี้เป้งหลังปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วนสัดส่วนต่างๆ เป็นเวลา 2 สัปดาห์ มีค่าพีเอช และค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในรูปที่ 13 -14 ตามลำดับ



รูปที่ 13 ค่าพีเอชของตัวอย่างกากขี้เป้ง หลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน



รูปที่ 14 การนำไฟฟ้า (EC) ของตัวอย่างกากขี้เป้งหลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน

จากรูปที่ 13 กากจี๋แป้งหลังปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน พบว่าพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาและปริมาณสัดส่วนของกากจี๋แป้ง โดยชุดที่มีสัดส่วนกากจี๋แป้งสูงจะมีค่าพีเอชสูงกว่าชุดที่มีกากจี๋แป้งต่ำกว่า หรือเรียงลำดับสัดส่วนกากจี๋แป้งต่อ EM ขยายส่วนได้ดังนี้ $3:1 > 2:1 > 1:1 > 1:1.5 > 1:2$ เมื่อระยะเวลาในการปรับกลิ่นนานขึ้น พีเอชมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าพีเอชมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ EM จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในกากจี๋แป้งและปล่อยสารที่มีความเป็นเบสออกมาทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้น โดยการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุด้วยจุลินทรีย์จะเกิดขึ้นได้มากในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 6-9 (ภาณุพงศ์, 2548)

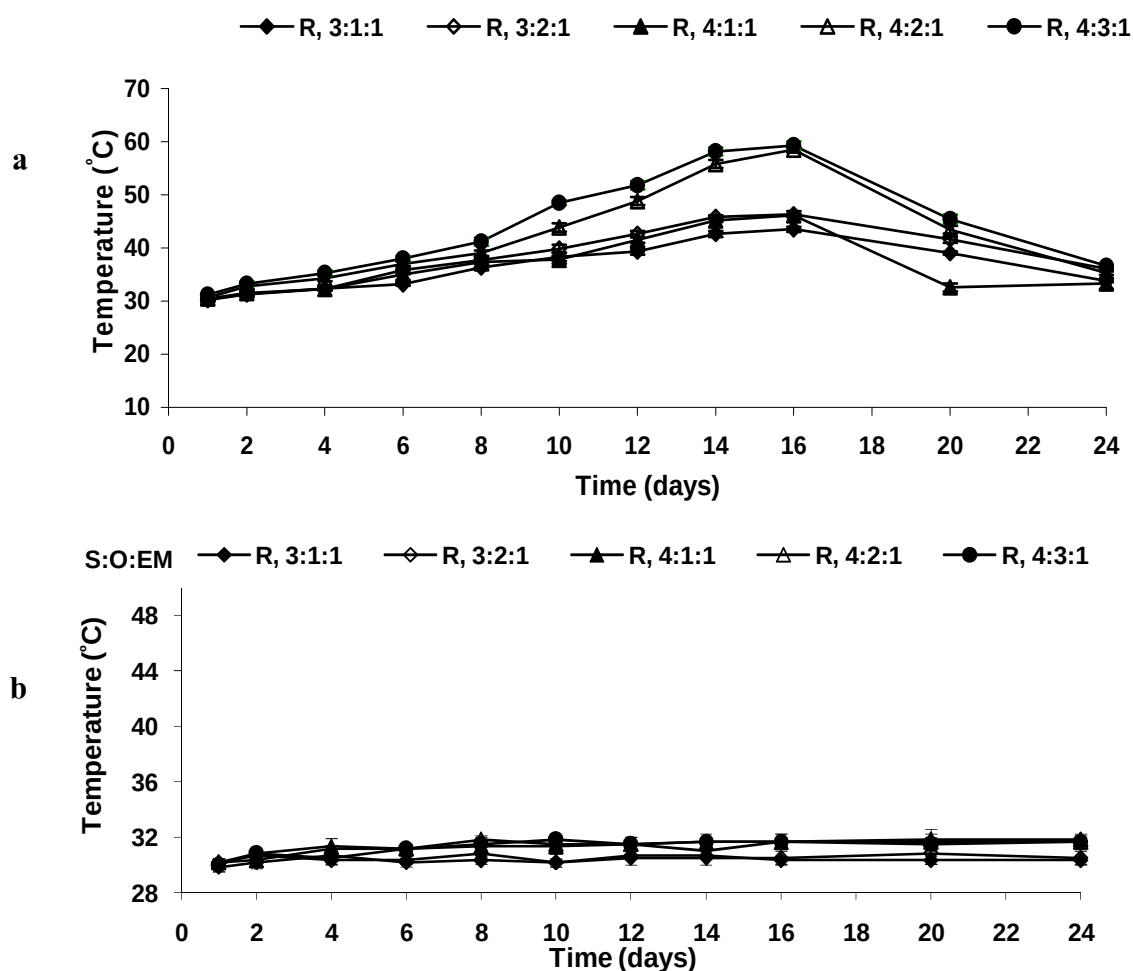
จากรูปที่ 14 การนำไฟฟ้าของกากจี๋แป้งปรับกลิ่นด้วยจุลินทรีย์ EM ขยายส่วนสัดส่วนต่างๆ ใน 4 วันแรกของการเก็บไว้ในกระบวนการปรับกลิ่น พบว่ากากจี๋แป้งมีค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ต่อจากนั้นการนำไฟฟ้าจะมีค่าลดลง เนื่องจาก จุลินทรีย์ EM ขยายส่วนที่นำมาปรับกลิ่นเริ่มต้นมีค่าพีเอชเป็นกรด ($\text{pH}=3.4$) ส่วนกากจี๋แป้งมีสภาพค่อนข้างเป็นกลาง เมื่อจุลินทรีย์ เกิดการย่อยสลายกากจี๋แป้ง ในช่วงเริ่มต้น มีไอออนของเบสเกิดขึ้น ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรก หลังจากวันที่ 4 ค่าการนำไฟฟ้าจะลดต่ำลง เนื่องจาก จุลินทรีย์ เกิดการย่อยสลายกากจี๋แป้งเพิ่มขึ้น ทำให้ธาตุอาหารหรือสารเพิ่มความเสถียรที่มีอยู่ในกากจี๋แป้งสูญเสียสภาพตกตะกอน ธาตุอาหารที่มีในกากจี๋แป้งสามารถละลายได้ดีในสถานะที่เป็นกรด แต่จะตกตะกอนเมื่อมีสภาพเป็นเบส (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) ดังนั้นค่าการนำไฟฟ้าจึงมีค่าลดลง โดยสัดส่วนที่มีการจี๋แป้งปริมาณมาก มีค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่า หรือเรียงลำดับสัดส่วนกากจี๋แป้งต่อ EM ขยายส่วนได้ดังนี้ $3:1 < 2:1 < 1:1 < 1:1.5 < 1:2$ โดยปริมาตร

5.4 การแปรสภาพกากจี๋แป้งโดยการหมักด้วย EM ขยายส่วน

การแปรสภาพกากจี๋แป้งด้วยการหมักด้วย EM ขยายส่วน โดยเลือกอัตราส่วนกากจี๋แป้ง : กากอินทรีย์ผสม : EM ขยายส่วน เท่ากับ $3:1:1$, $3:2:1$, $4:1:1$, $4:2:1$ และ $4:3:1$ เนื่องจากอัตราส่วนทั้งหมดนี้มีส่วนผสมที่สามารถคลุกเคล้ากันได้ดี ไม่แห้งหรือเปียกจนเกินไป มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 (ดูภาคผนวก 5) หากอัตราส่วนผสมมีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 50 จะส่งผลให้ความสามารถทำงานของจุลินทรีย์ลดลง แต่ถ้ามีความชื้นมากกว่าร้อยละ 60 จะมีผลให้ออกซิเจนเคลื่อนที่เข้ามาในระบบได้ยาก ทำให้กลายเป็นการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Das and Keener, 1997)

5.4.1 อุณหภูมิระหว่างหมัก

กากจี๋แป้งที่นำมาแปรสภาพ มีอัตราส่วนโดยปริมาตรของกากจี๋แป้ง (S) : กากอินทรีย์ผสม (O) : EM ขยายส่วน จำนวน 5 ชุด คือ $3:1:1$, $3:2:1$, $4:1:1$, $4:2:1$ และ $4:3:1$ ทำการหมัก 2 ระบบ คือ แบบมีอากาศ (Aerobic system) บรรจุในกระสอบ คลุกเคล้าให้เข้ากันโดยการกวน และแบบไร้อากาศ (Anaerobic system) บรรจุในถุงพลาสติก ในระหว่างที่หมักจะทำการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ พีเอช และการนำไฟฟ้า ตั้งแต่เริ่มหมักจนกระทั่งกระบวนการหมักสิ้นสุดลง ดังแสดงในรูปที่ 15 ส่วนกลุ่มควบคุมใช้น้ำแทน EM ขยายส่วน ดังแสดงในรูปที่ 16



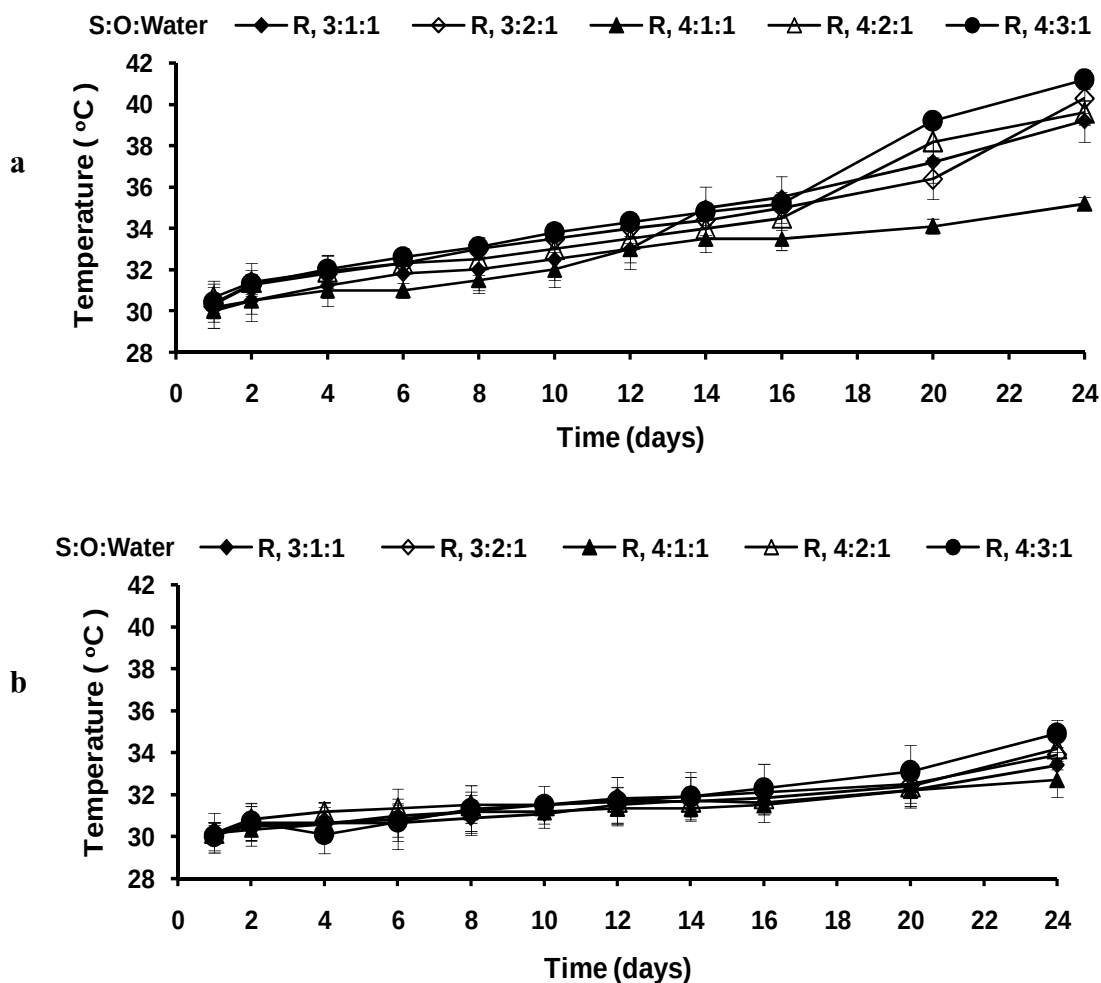
รูปที่ 15 อุณหภูมิของกากชี้แบ่งแปรสภาพหมักด้วยจุลินทรีย์ EM ในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)

จากรูปที่ 15 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการหมักเพื่อแปรสภาพกากชี้แบ่งได้เกิดขึ้นในระบบเปิด อุณหภูมิของการหมักมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 30.1-59.3 °C อัตราส่วนของกากชี้แบ่ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วนเท่ากับ 4:3:1 มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมากที่สุด รูปที่ 15 (a) หากส่วนผสมของกากอินทรีย์มีปริมาณเพิ่มขึ้น กระบวนการหมักจะเกิดได้ดีขึ้น อุณหภูมิในระหว่างการหมักมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น ส่วนในระบบปิด อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย อยู่ในช่วง 29.83-31.67 °C เนื่องจากระบบปิดเป็นการหมักที่ไม่ใช้อากาศ (Anaerobic system) จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศไม่สามารถเจริญเติบโตและย่อยสลายสารอาหารได้ ทำให้อุณหภูมิของการหมักเปลี่ยนแปลงไปน้อย ดังรูปที่ 15 (b) นอกจากนี้การใช้จุลินทรีย์ EM มีประสิทธิภาพย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าน้ำ โดยที่อุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ไม่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 15 (a) อุณหภูมิของการหมักสามารถแบ่งกระบวนการหมักได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรก ระหว่างวันที่ 1-8 อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ (Mesophilic phase) ช่วงที่ 2 ระหว่างวันที่ 9-16 อุณหภูมิ

เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Thermophilic phase) และช่วงที่ 3 ระหว่างวันที่ 17-24 อุณหภูมิของการหมักเริ่มลดลง (Cooling phase) โดยช่วงแรกที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นช้าๆ กระบวนการหมักได้เริ่มต้นขึ้น โดยจุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรีย ยีสต์ และราที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (mesophilic microorganisms) จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายก่อน เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน โปรตีน หลังจากนั้นจะเป็นช่วงที่ 2 มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่หมักเกิดขึ้นมากที่สุด อุณหภูมิของการหมักจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีช่วงอุณหภูมิระหว่าง 40-60 °C ซึ่งเหมาะสมต่อการหมัก (De Bertoldi *et al*, 1983) จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูง (Thermophilic microorganisms) จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์พวกไขมัน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ส่วนอุณหภูมิของหมักที่มากกว่า 55 °C จะทำให้จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคตายได้ แต่จุลินทรีย์ที่ทนอุณหภูมิสูง (Thermophilic bacteria) สามารถเจริญได้ หากอุณหภูมิการหมักสูงมากถึง 63 °C การทำงานของจุลินทรีย์จะลดลงอย่างรวดเร็ว (Miller, 1992) ในช่วงที่ 3 ของการหมัก อุณหภูมิของการหมักจะลดต่ำลง จะเป็นช่วงที่การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์สิ้นสุดลง อุณหภูมิของการหมักเริ่มลดลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ (Bernal *et al*, 2009)

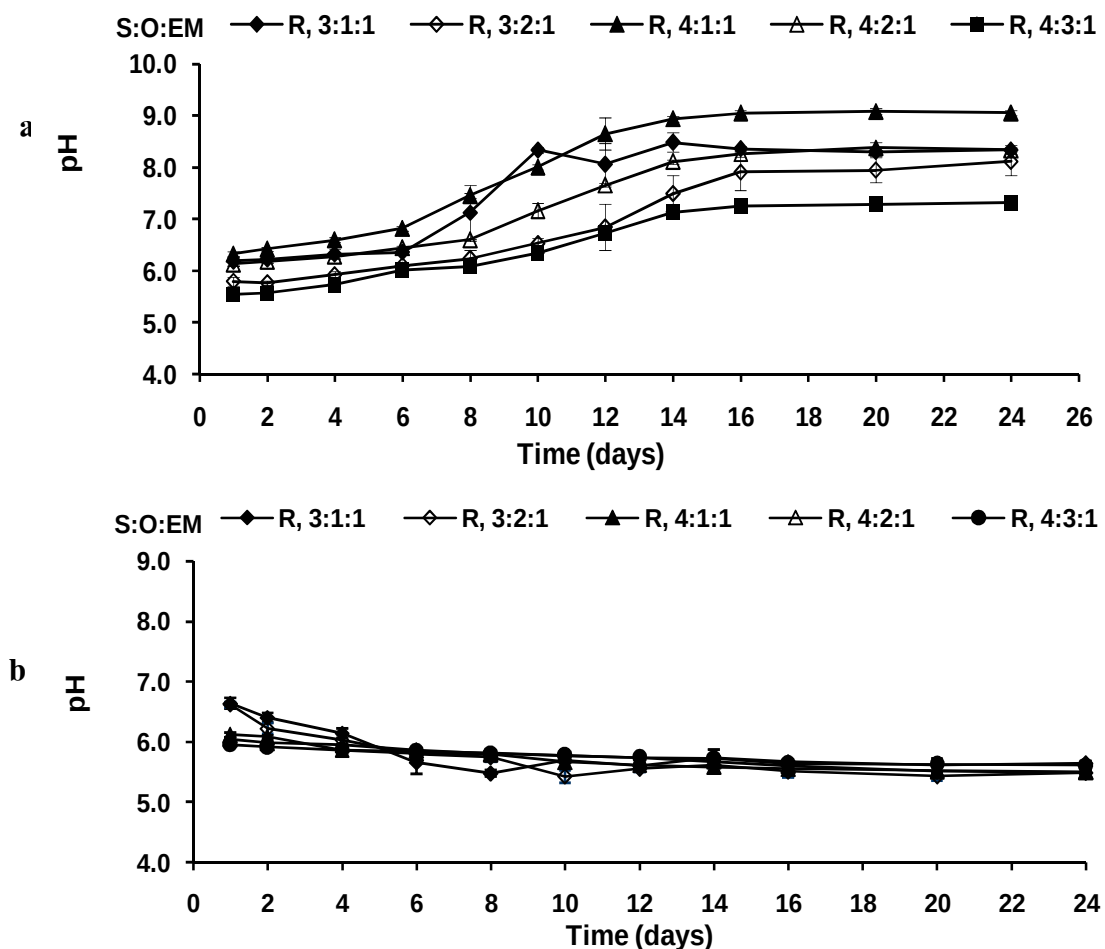
ส่วนรูปที่ 16 กลุ่มควบคุมหมักโดยใช้น้ำแทน EM จะเห็นว่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงน้อย แสดงว่ากระบวนการหมักเกิดขึ้นน้อย



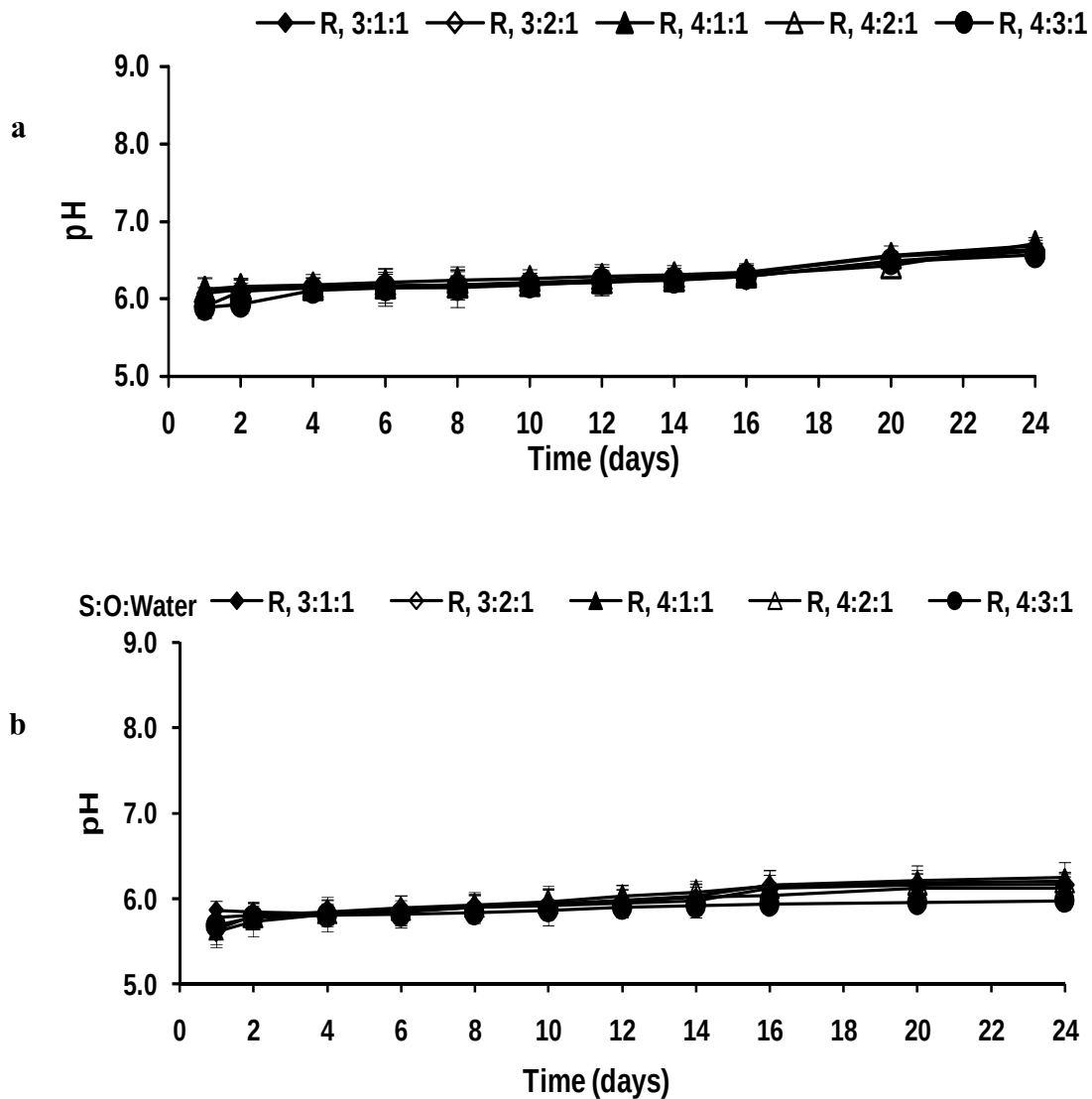
รูปที่ 16 อุณหภูมิของกลุ่มควบคุมหมักด้วยน้ำ ในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)

5.4.2 ค่าพีเอชระหว่างการหมัก

กากชี้แบ่งแปรสภาพด้วยการหมัก ในระบบเปิดและระบบปิด ค่าพีเอชที่เปลี่ยนไปดังรูปที่ 17 การหมักในระบบปิดมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อย มีค่าพีเอช 6.7-5.4 ในขณะที่พีเอชของระบบเปิดมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก โดยเฉลี่ยของทุกชุดการทดลองมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.6-9.0 ในช่วงวันที่ 1-6 จะเห็นว่าค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 8-14 โดยค่าพีเอชของชุดการทดลองที่ใช้กากชี้แบ่ง: กากอินทรีย์ผสม : EM ขยายส่วน 4:1:1 มีการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชสูงที่สุด รองลงมาคือ 3:1:1, 4:2:1, 3:2:1, และ 4:3:1 ตามลำดับ ส่วนชุดควบคุมที่ใช้น้ำแทนจุลินทรีย์ EM พบว่าทั้งในระบบเปิดและระบบปิดมีแนวโน้มของค่าพีเอชใกล้เคียงกัน ช่วงแรกวันที่ 1-16 พีเอชมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยระบบเปิดและระบบปิดมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.9-6.7 และ 5.7 – 6.2 ตามลำดับ ดังรูปที่ 18 แสดงว่าจุลินทรีย์ EM ขยายส่วนสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าในระบบที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามค่าพีเอชไม่ใช่พารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ว่าเกิดขึ้นมากหรือน้อย แต่ค่าพีเอชมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนีย ซึ่งการเปลี่ยนของไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียจะมีค่ามากขึ้นที่ค่าพีเอช >7.5 (Mari *et al*, 2005) โดยพีเอชที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ อยู่ในช่วง 6.7–9.0 (De Bertoldi *et al*, 1983)



รูปที่ 17 ค่าพีเอชของกากชี้แบ่งแปรสภาพหมักด้วยจุลินทรีย์ EM ในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)



รูปที่ 18 ค่าพีเอชของกลุ่มควบคุม หมักด้วยน้ำในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)

5.4.3 ค่านำไฟฟ้าระหว่างการหมัก

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ระหว่างการหมักที่ระยะเวลาต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 19-20

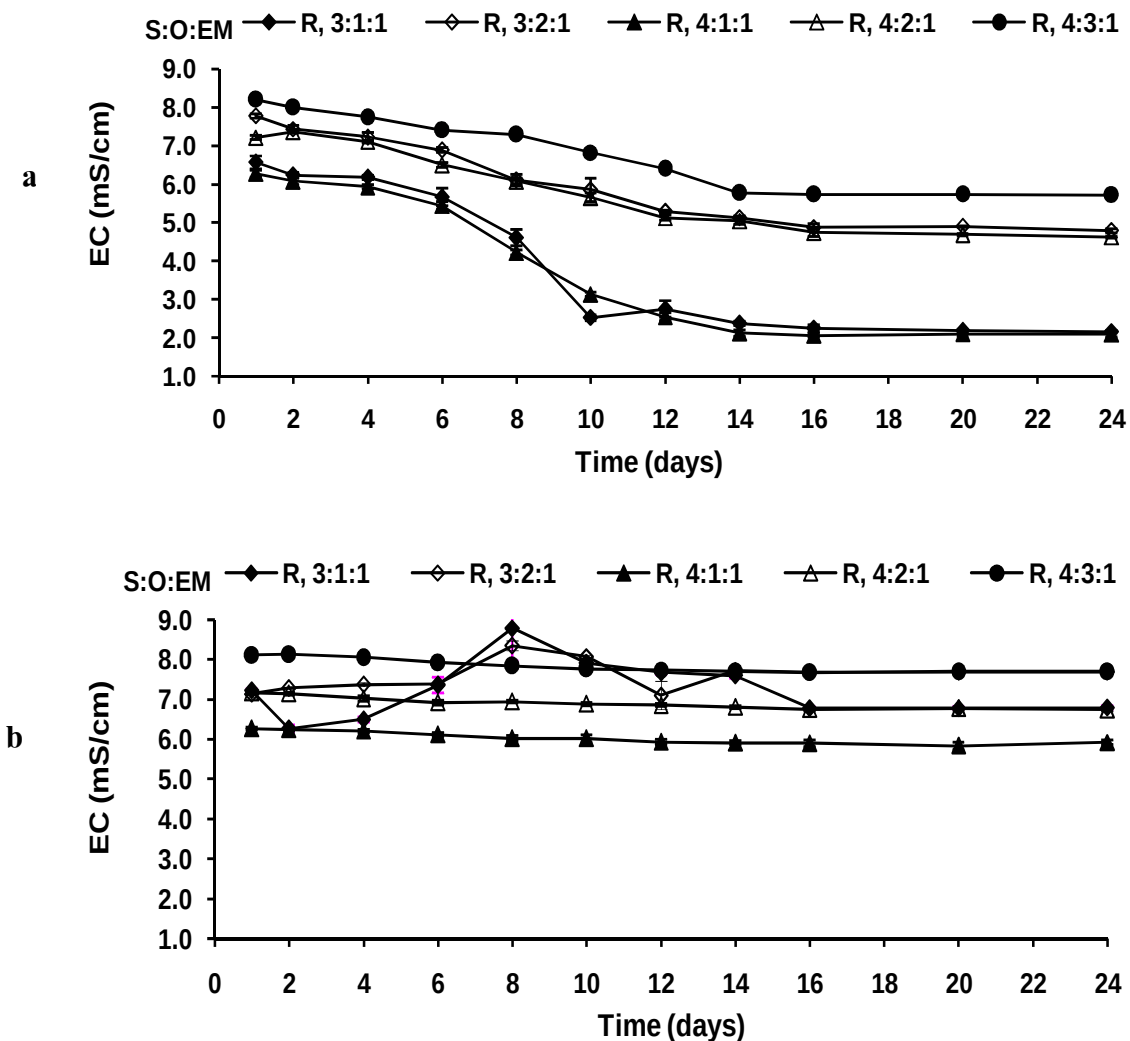
จากรูปที่ 19 (a) กากชีแป้งแปรสภาพหมักด้วยจุลินทรีย์ EM มีค่าการนำไฟฟ้าลดลง ในช่วงเวลาเดียวกันกากชีแป้งที่หมักจะมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น (รูปที่ 17 a) แสดงว่าในช่วงของการหมักที่มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น มีธาตุอาหารบางอย่างในกากชีแป้งถูกย่อยสลาย ให้สารที่มีไอออนลบ ในขณะที่จุลินทรีย์ EM ที่ใช้ในการหมักมีค่าพีเอชเป็นกรด (หัวข้อ 4.2.1) ดังนั้นค่าการนำไฟฟ้าจึงมีค่าลดลงในช่วงของการหมัก

ในระบบเปิด ค่าการนำไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 8.2 -2.2 mS/cm รูปที่ 19 (a) หลังการหมัก (วันที่ 24) จะเห็นว่าการนำไฟฟ้ามีค่าอยู่ในช่วง 2.2-5.7 mS/cm แต่โดยทั่วไปช่วงการนำไฟฟ้าที่

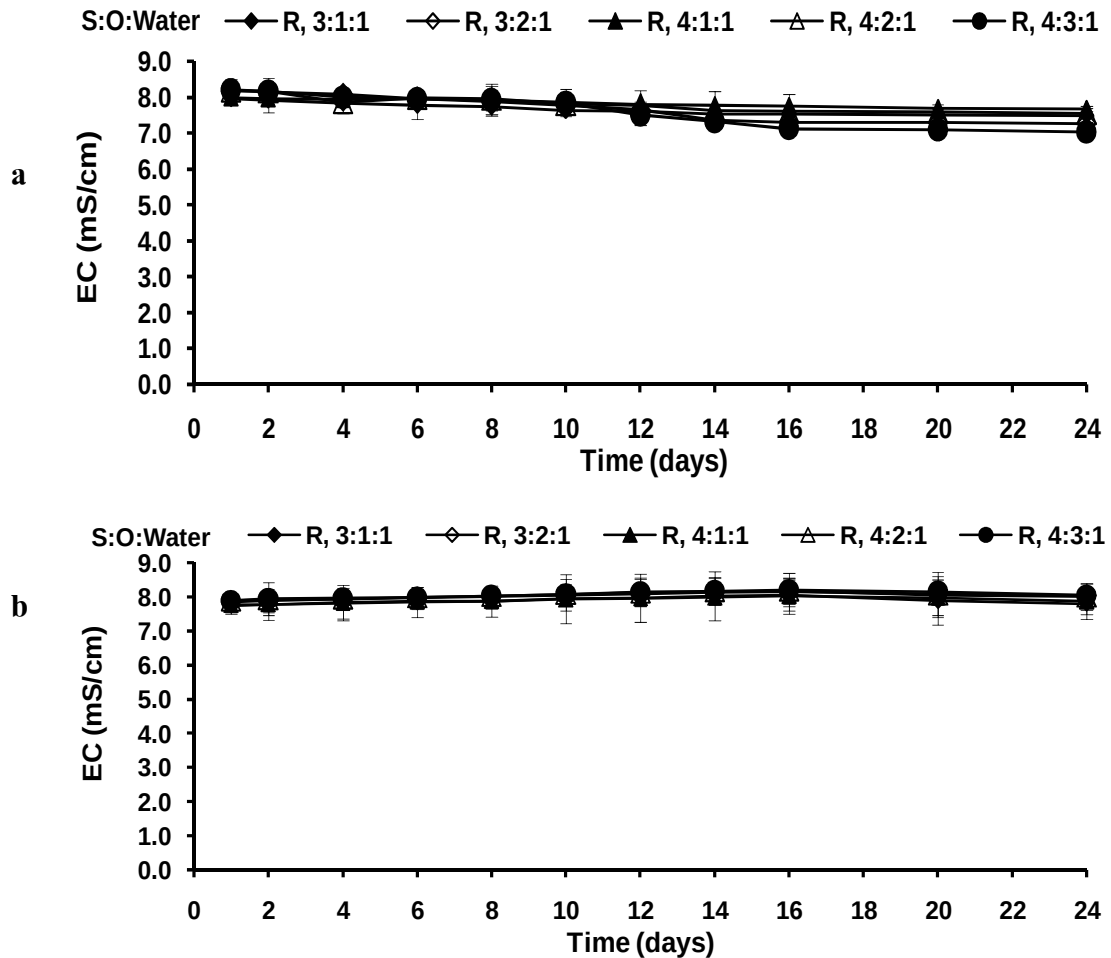
เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชมีค่าอยู่ในช่วง 1.5-3.0 mS/cm (Benoit, 1992) ดังนั้นในขั้นตอนการปลูกพืชจึงต้องลดค่าการนำไฟฟ้าด้วยการนำมาผสมกับดิน เพื่อให้มีค่าการนำไฟฟ้าลดน้อยลงจนเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

ในระบบปิด การนำไฟฟ้ามีค่าลดลงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 8.1- 5.9 mS/cm ดังรูปที่ 19 (b) ยกเว้นชุดการทดลองที่ใช้กากชี้แบ่ง กากอินทรีย์ และ EM ขยายส่วน ในอัตราส่วน 3:1:1 และ 3:2:1 การนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 4-8 ต่อจากนั้นการนำไฟฟ้ามีค่าลดลง เนื่องจากช่วงตรวจวัดการนำไฟฟ้ามีอากาศเข้าไปในชุดการทดลองนี้ ทำให้กระบวนการหมักเกิดขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าจึงเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น หลังจากการย่อยสลายหยุดลง การนำไฟฟ้าจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง

ส่วนการใช้น้ำแทนจุลินทรีย์ EM ในการหมักทั้งระบบเปิดและระบบปิด ดังรูปที่ 20 พบว่าการนำไฟฟ้ามีค่าอยู่ระหว่าง 7.0-8.2 และ 7.7-8.2 mS/cm ตามลำดับ จะเห็นว่าการนำไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงว่า การใช้น้ำแทนจุลินทรีย์ EM ไม่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระหว่างการหมัก



รูปที่ 19 ค่าการนำไฟฟ้าของกากชี้แบ่งแปรสภาพหมักด้วยจุลินทรีย์ EM
ในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)



รูปที่ 20 ค่าการนำไฟฟ้าของกลุ่มควบคุมหมักด้วยน้ำ ในระบบเปิด (a) และระบบปิด (b)

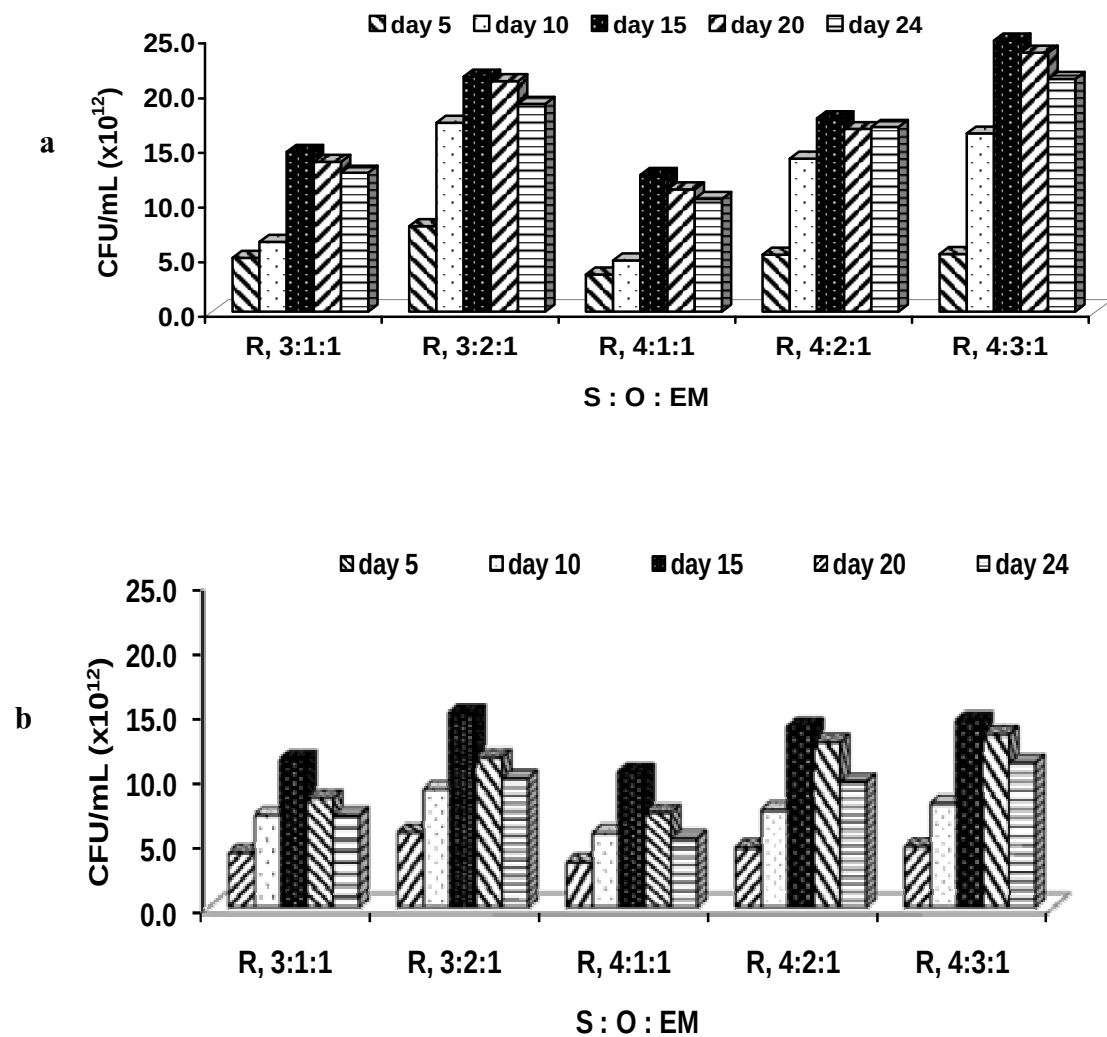
5.4.4 จำนวนจุลินทรีย์ระหว่างการหมัก

กากชี้แบ่งแปรสภาพด้วยการหมักในระบบเปิดและระบบปิดที่ระยะเวลาต่างๆ จำนวนจุลินทรีย์ระหว่างการหมัก มีปริมาณดังแสดงในรูปที่ 21-24 (ภาคผนวก 3)

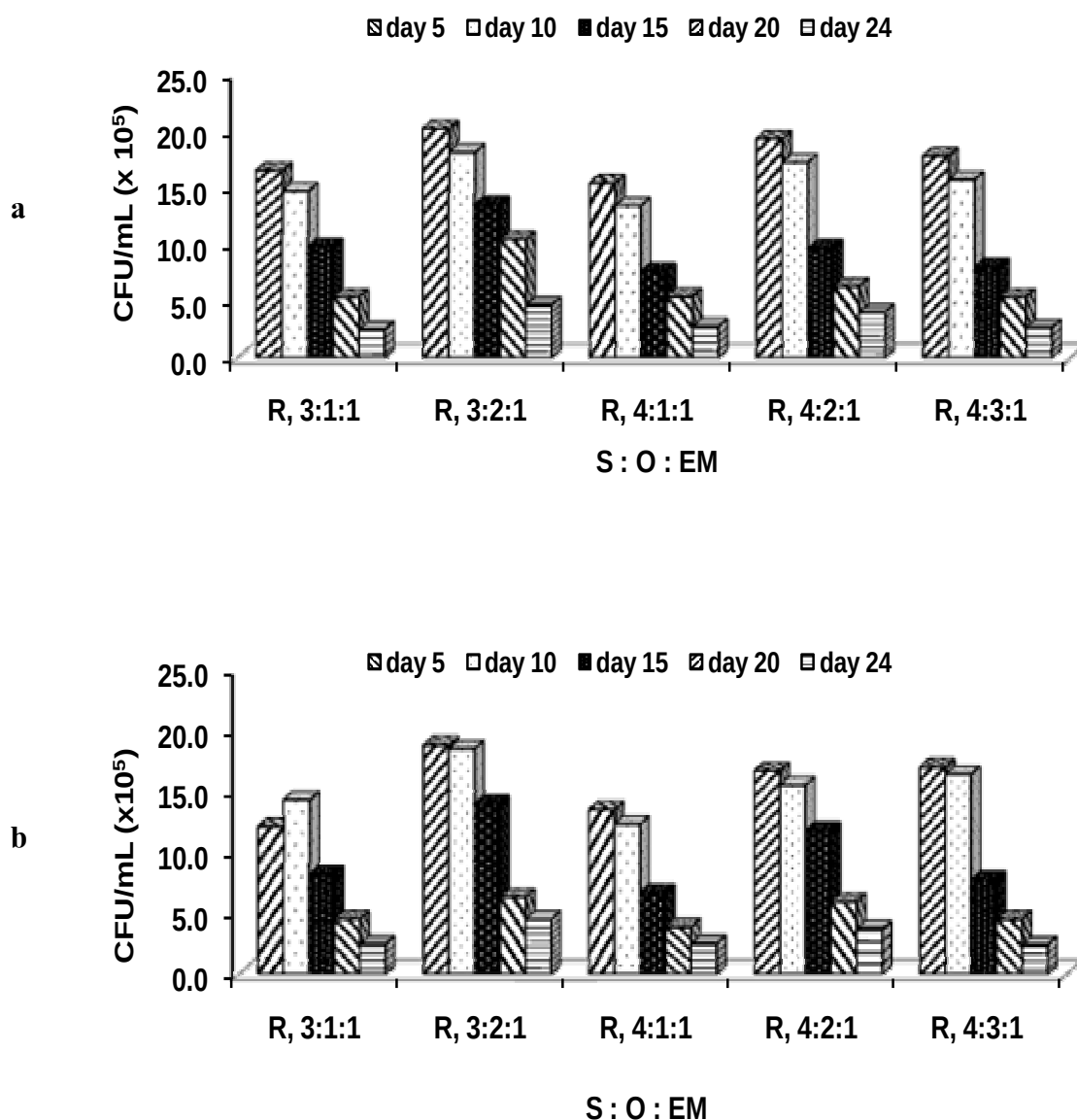
จากรูปที่ 21 จำนวนจุลินทรีย์ในระบบเปิดจากกระบวนการหมักที่ระยะเวลา 5, 10, 15, 20 และ 24 วัน พบว่าแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา มีจำนวนเพิ่มขึ้นในช่วง 15 วันแรกของการหมัก ต่อจากนั้นจำนวนจุลินทรีย์จะมีปริมาณลดลงเล็กน้อยทุกสัดส่วนของการหมัก จำนวนแบคทีเรียเลี้ยงบนอาหาร NA พบว่ามีอยู่ในช่วง $3.4 - 24.8 \times 10^{12}$ CFU/mL ส่วนจำนวนยีสต์ และราที่เลี้ยงบนอาหาร PDA มีอยู่ในช่วง $3.5 - 14.5 \times 10^{12}$ CFU/mL จะเห็นว่า จำนวนแบคทีเรียมีการเจริญเติบโตมากกว่ายีสต์และรา เนื่องจากช่วงเวลาของการเจริญเติบโต และแบ่งเซลล์ของแบคทีเรียรวดเร็วกว่ายีสต์และรา (Bernal *et al*, 2009)

รูปที่ 22 จะเห็นว่าจำนวนจุลินทรีย์ในระบบปิดมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาหมัก จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ดีในระบบปิด จำนวนแบคทีเรีย (เลี้ยงบนอาหาร NA) มีปริมาณ $2.7 - 20.2 \times 10^5$ CFU/mL ส่วนยีสต์ และรา (เลี้ยงบนอาหาร NA) มีปริมาณ $2.3 - 18.8 \times 10^5$ CFU/mL จะเห็นว่าแบคทีเรีย มีจำนวนมากกว่ายีสต์และรา แต่หากว่าความชื้นช่วงที่หมักต่ำกว่า 35% จะพบเชื้อรา มีจำนวนมากกว่าแบคทีเรีย

เมื่อวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ จะพบว่าในระบบเปิด การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ EM เกิดขึ้นได้ดี โดยการย่อยสลายเกิดขึ้นได้มากที่สุดในวันที่ 15 ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาที่อุณหภูมิและค่าพีเอชเปลี่ยนแปลงสูงสุด โดยช่วงแรกจุลินทรีย์จะย่อยกากอินทรีย์ที่สลายตัวง่ายก่อน (Wu *et al*, 2005) ต่อจากนั้นจึงย่อยสลายกากจีแป้ง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก พบว่าลักษณะทางกายภาพของกากจีแป้งมีการเปลี่ยนแปลงไปคือ ของแข็งที่คงอยู่มีค่าลดลง ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการย่อยของจุลินทรีย์ สำหรับในระบบปิด กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้น้อย เนื่องจากจุลินทรีย์มีจำนวนลดลง ค่าอุณหภูมิ พีเอช และการนำไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

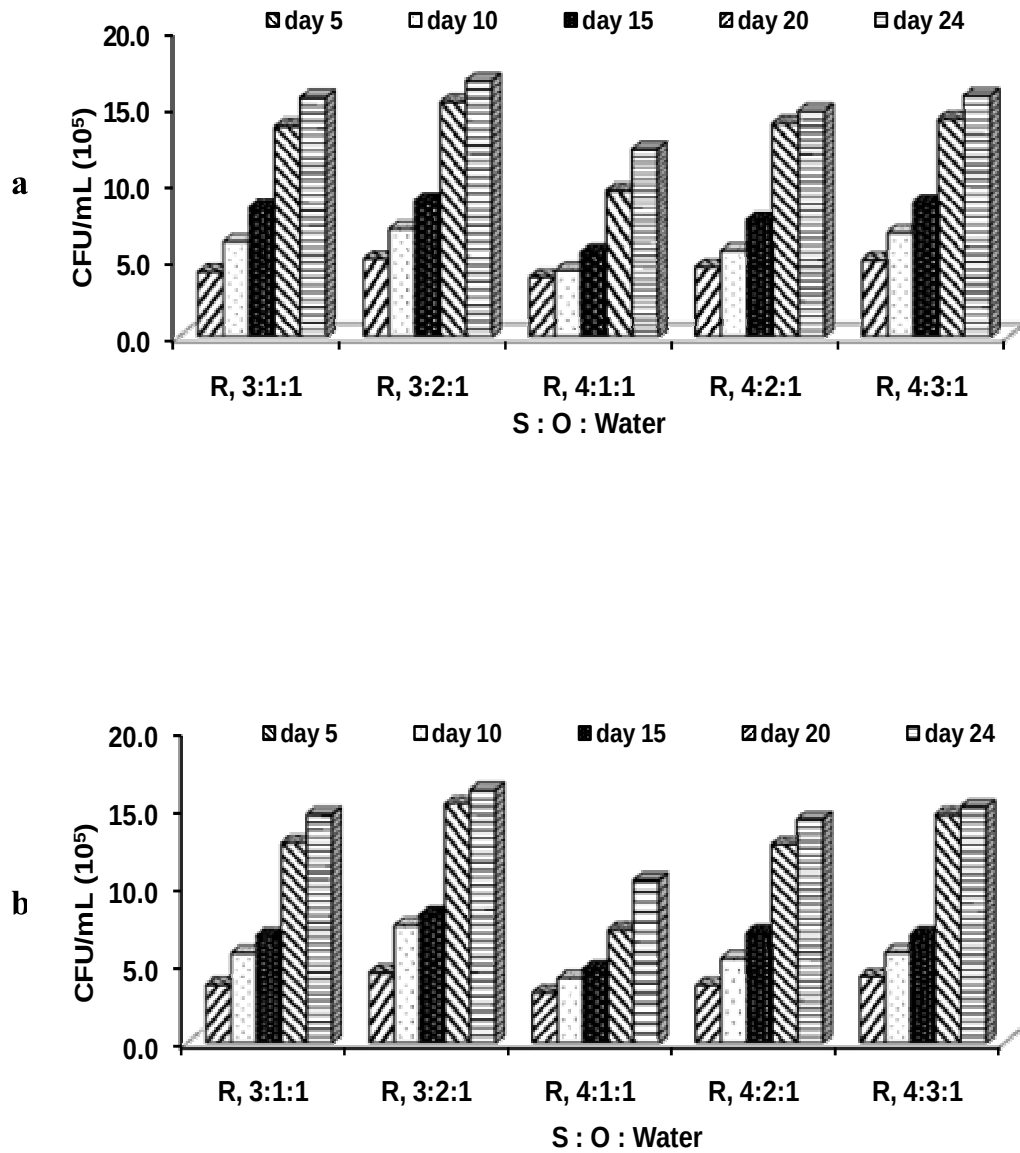


รูปที่ 21 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดระหว่างกระบวนการหมักในระบบเปิด (a) อาหาร NA และ (b) อาหาร PDA

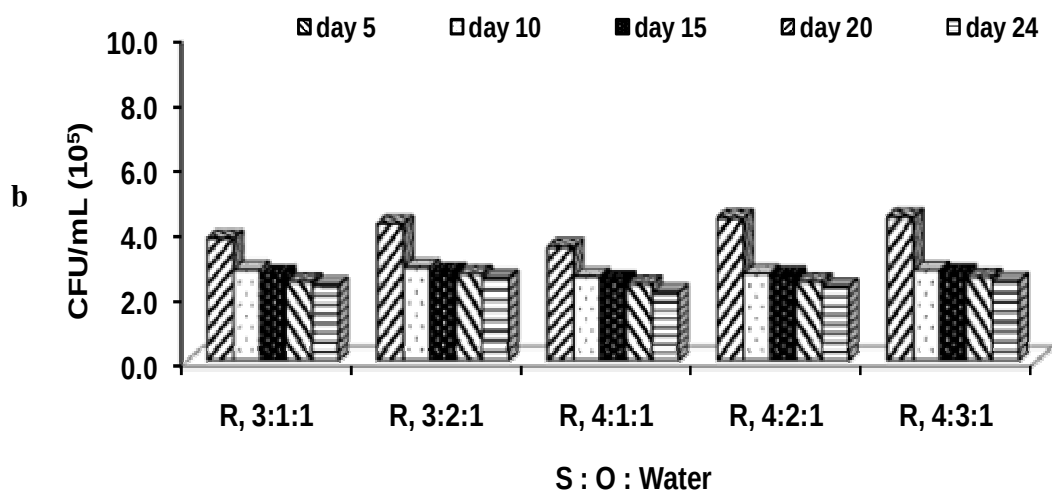
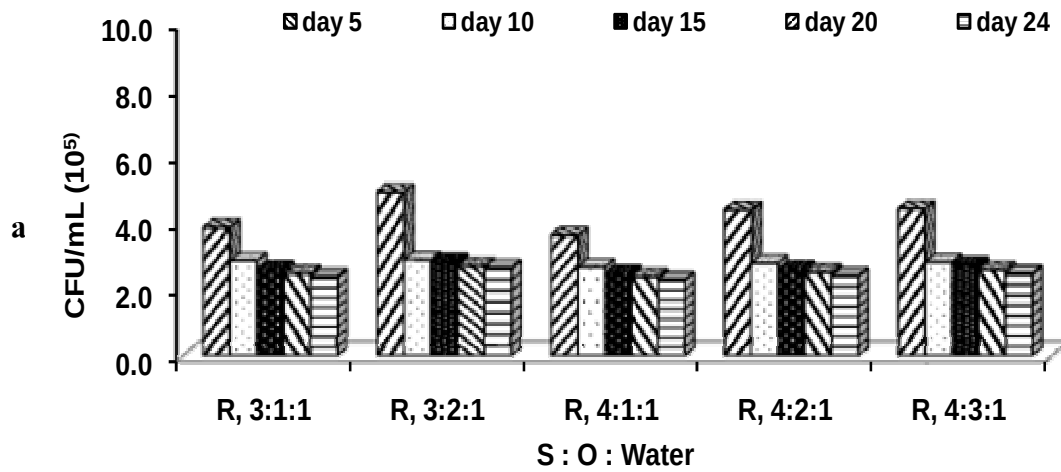


รูปที่ 22 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในระหว่างการหมักในระบบปิด (a) อาหาร NA และ (b) อาหาร PDA

สำหรับรูปที่ 23-24 แสดงจำนวนจุลินทรีย์ที่หมักโดยใช้น้ำแทนจุลินทรีย์ EM เพื่อใช้เป็นกลุ่มควบคุมสำหรับเทียบกับการใช้จุลินทรีย์ EM จะเห็นว่าจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตามระยะเวลา และมีอัตราการเพิ่มช้ากว่าการใช้ จุลินทรีย์ EM ในระบบเปิด (รูปที่ 23) แบคทีเรีย ยีสต์ และรา ที่มีอยู่ในอาหาร NA และ PDA มีจำนวนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาหมัก โดยมีจำนวนแบคทีเรียในช่วง $3.8-16.7 \times 10^5$ CFU/mL เชื้อยีสต์ และรา มีจำนวนอยู่ในช่วง $3.2-16.2 \times 10^5$ CFU/mL ส่วนในระบบปิด (รูปที่ 24) จำนวนจุลินทรีย์จะลดลงตลอดระยะเวลาการหมัก โดยแบคทีเรียมีจำนวนอยู่ในช่วง $2.2-4.4 \times 10^5$ CFU/mL ส่วนยีสต์และรา มีอยู่ในช่วง $2.1-4.4 \times 10^5$ CFU/mL



รูปที่ 23 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกลุ่มควบคุมในระบบเปิด (a) อาหาร NA และ (b) อาหาร PDA



รูปที่ 24 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของกลุ่มควบคุมในระบบปิด (a) อาหาร NA และ (b) อาหาร PDA

5.4.5 ธาตุอาหารก่อนและหลังการหมัก

สารบำรุงดินจำนวน 5 ชุด ประกอบด้วยอัตราส่วนของกากชี้แบ่ง: กากอินทรีย์ผสม : EM ขยาย ส่วน เท่ากับ 3:1:1, 3:2:1, 4:1:1, 4:2:1 และ 4:3:1 วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารก่อนทำการหมัก พบว่าธาตุอาหารหลักไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 3.26-3.36, 5.12-7.80 และ 0.27-0.47 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ส่วนธาตุอาหารรอง แมกนีเซียม และสังกะสี มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 3.60-3.95 และ 0.11-0.26 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังรูปที่ 25-26

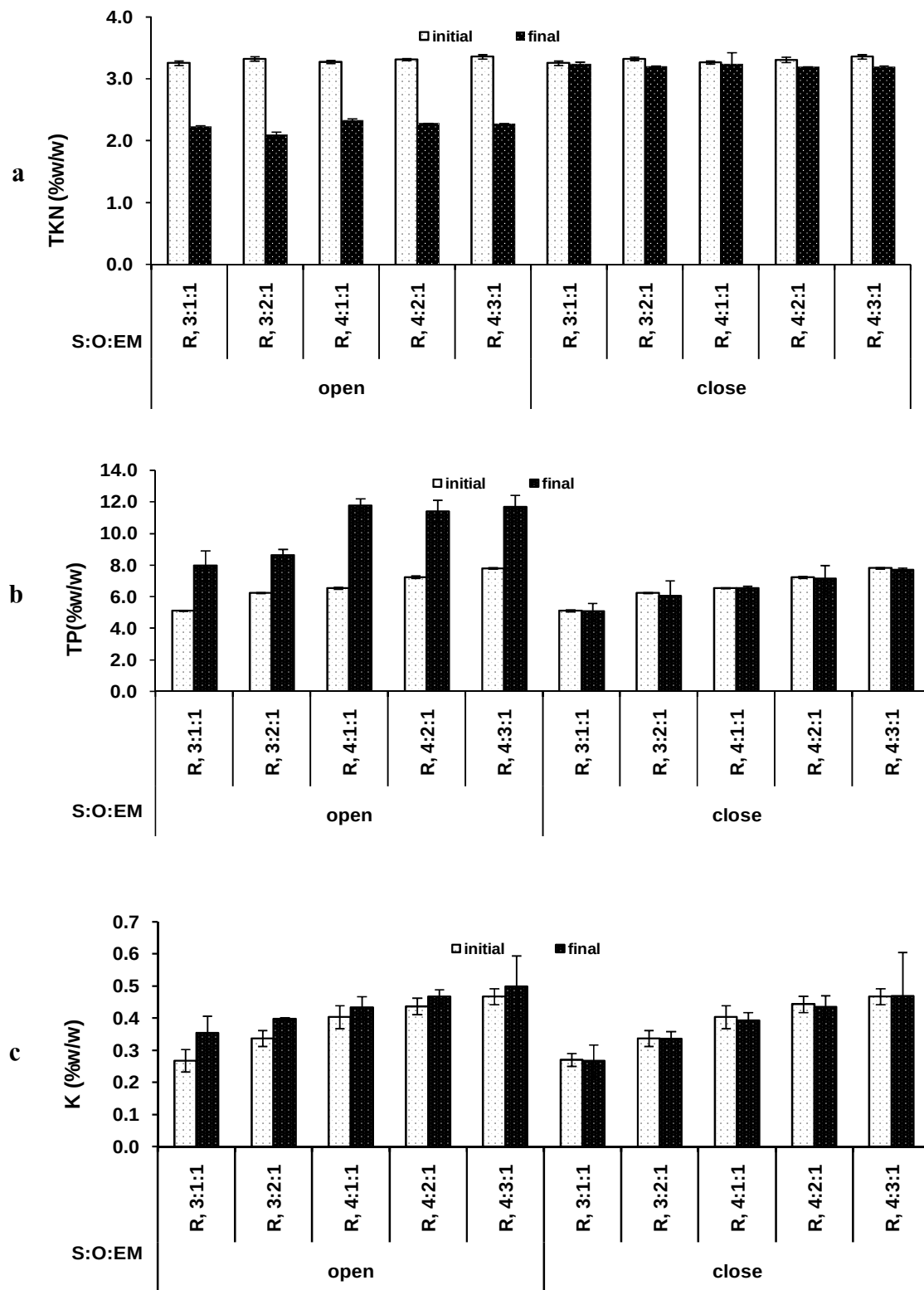
จากรูปที่ 25 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลัก หลังจากหมักกากชี้แบ่งเป็นเวลา 24 วัน ในระบบเปิด พบว่าไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียม มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.1-2.3, 7.9-11.7 และ 0.3-0.5 ตามลำดับ

ไนโตรเจนทั้งหมด มีปริมาณลดลงร้อยละ 28.7-32.3 เนื่องจากสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ในไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ในขั้นตอนของการหมักแบบที่มีอากาศ (ระบบเปิด) ช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้น (Thermophilic phase) จะมีความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนมากที่สุด กรณีที่พีเอชมีค่ามากกว่า 7.5 และมีอุณหภูมิสูง กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) จะเกิดค่อนข้างน้อย เนื่องจากกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์เกิดขึ้นน้อย ทำให้แอมโมเนียมไอออนอยู่ในรูปของแอมโมเนีย และระเหยออกสู่อากาศ ดังนั้นความเข้มข้นของไนโตรเจนจึงมีค่าลดลง (Tiquia, 2002)

ฟอสฟอรัสทั้งหมดและโพแทสเซียมมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 38.3-73.9 และ 5.8-30.4 เนื่องจากในระหว่างการหมัก อินทรีย์วัตถุจะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ ทำให้ธาตุอาหารต่างๆ ที่จับตัวกันแน่นหรือแตกตัวได้ยากถูกเปลี่ยนเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลง นอกจากนี้สารอินทรีย์ประเภทคาร์บอนจะมีปริมาณลดลงด้วย โดยการลดลงของอินทรีย์วัตถุตรวจสอบได้จากน้ำหนักแห้งที่ลดลง (Garrison *et al*, 2001) และผลจากน้ำหนักแห้งที่ลดลงระหว่างการหมัก ทำให้ความเข้มข้นของธาตุต่างๆ มีค่าเพิ่มขึ้น

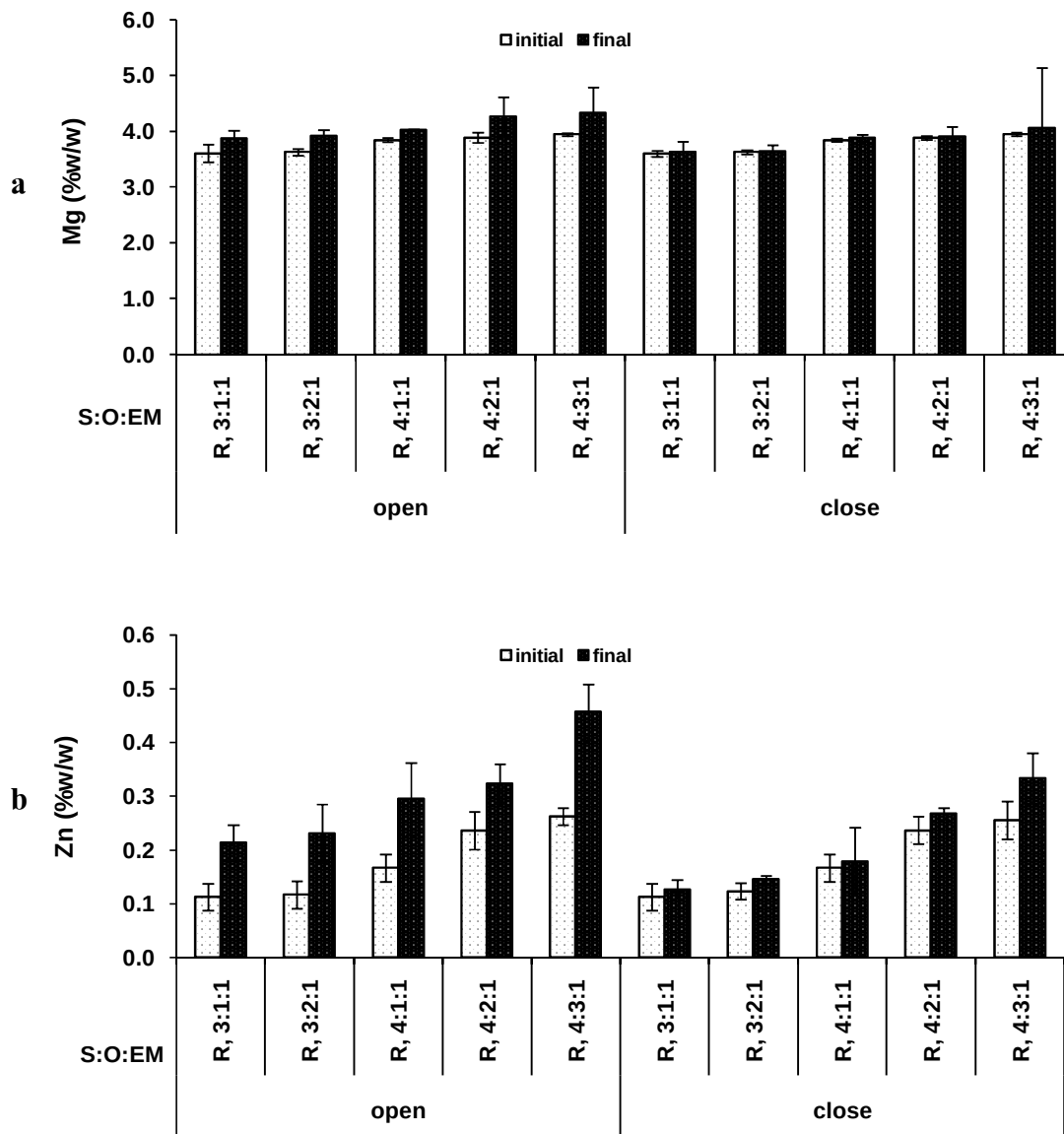
ส่วนธาตุอาหารรอง ได้แก่ แมกนีเซียม และสังกะสี ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงร้อยละ 4.9-9.6 และ 34.9-97.8 ตามลำดับ (รูปที่ 26) หลังจากหมักกากชี้แบ่งในระบบเปิด จะเห็นว่าปริมาณธาตุอาหารมีความเข้มข้นค่อนข้างสูง ดังนั้นการนำกากชี้แบ่งที่แปรสภาพมาใช้ประโยชน์เป็นสารบำรุงดิน จะต้องนำสารบำรุงดินมาเจือจางด้วยการผสมดินก่อน จึงนำมาทดลองปลูกต้นทานตะวันต่อไป

ส่วนระบบปิด หลังจากหมักกากชี้แบ่งเป็นเวลา 24 วัน ธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง มีปริมาณเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 25 ปริมาณธาตุอาหารหลักของการหมักชุดต่างๆ ก่อนการหมัก และหลังการหมัก 24 วัน

(a) ไนโตรเจนทั้งหมด (b) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (c) โพแทสเซียม



รูปที่ 26 ธาตุอาหารรองก่อนการหมัก และหลังการหมัก 24 วัน (a) แมกนีเซียม และ (b) สังกะสี

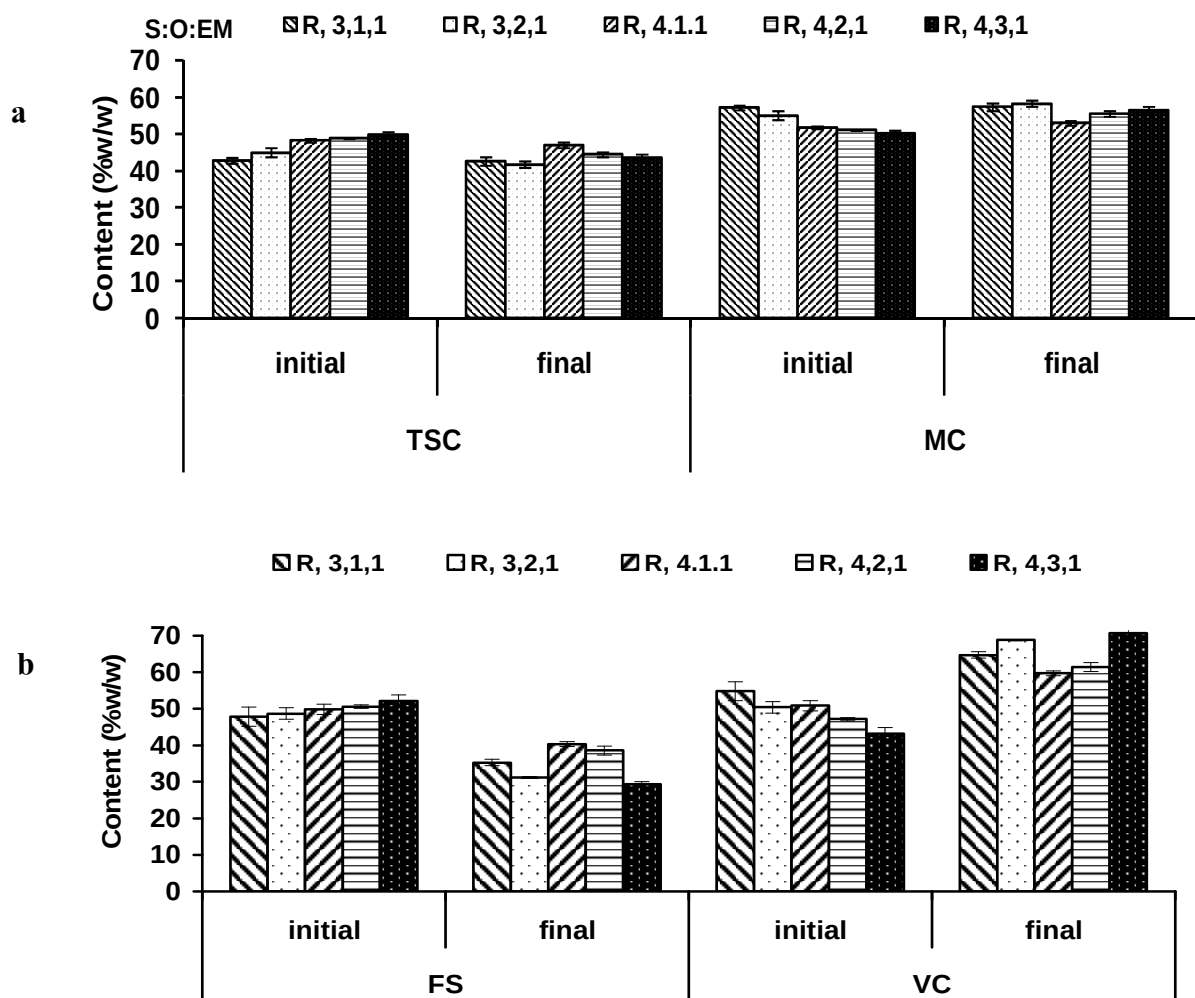
5.4.6 สมบัติทางกายภาพก่อนและหลังการหมัก

กากชี้แป้งแปรสภาพเป็นสารบำรุงดินจำนวน 5 ชุด ประกอบด้วยอัตราส่วนของกากชี้แป้ง: กากอินทรีย์ผสม : EM ขยายส่วน เท่ากับ 3:1:1, 3:2:1, 4:1:1, 4:2:1 และ 4:3:1 ก่อนทำการหมัก พบว่าของแข็งทั้งหมด ความชื้น ของแข็งที่ระเหยได้ และของแข็งที่คงอยู่ มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 42.8-49.8, 50.2-57.2, 47.8-52.1 และ 43.2-54.8 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ หลังหมักกากชี้แป้งในระบบเปิด และระบบปิดเป็นเวลา 24 วัน พบว่าสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 27-28

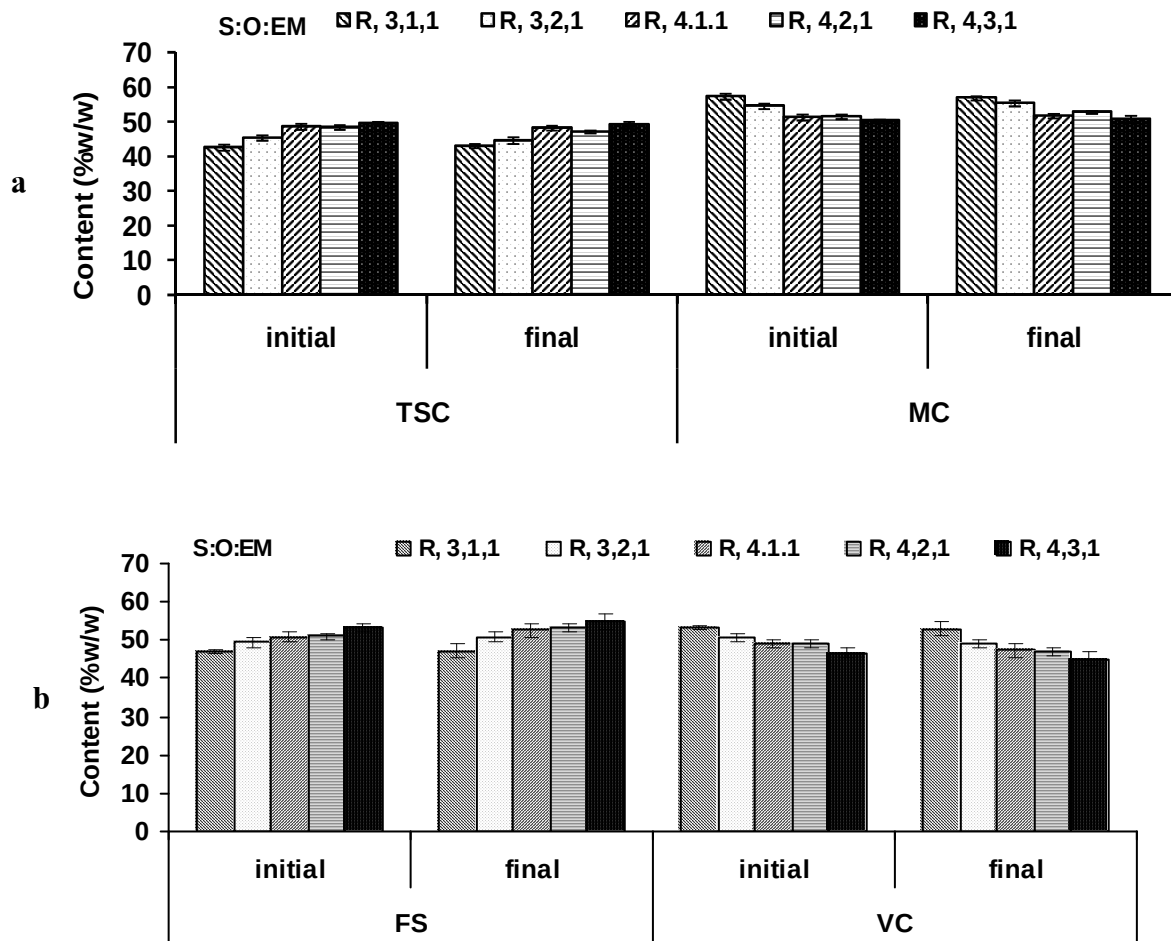
รูปที่ 27 แสดงสมบัติทางกายภาพหลังการหมักในระบบเปิดเป็นเวลา 24 วัน พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งที่ระเหย มีค่าลดลงช่วงร้อยละ 0.4-12.5 และ 19.1-43.8 โดยน้ำหนัก ส่วน

ความชื้นและของแข็งที่คงอยู่ มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 0.3-12.5 และ 18.9-47.7 โดยน้ำหนักตามลำดับ เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ ในช่วงระหว่างการหมัก โดยจุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนที่มีสายโซ่โมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นคาร์บอนที่ขนาดโมเลกุลเล็กลง สามารถระเหยได้ง่าย ทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง และของแข็งที่ระเหยได้มีค่าเพิ่มมากขึ้น (Bernal *et al*, 2009)

สำหรับสมบัติทางกายภาพหลังการหมักในระบบปิดเป็นเวลา 24 วัน(รูปที่ 28) พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ความชื้น ของแข็งที่ระเหยได้ และของแข็งที่คงอยู่ มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากอยู่ในช่วงร้อยละ 0.8-2.6, 0.8-2.4, 0.8-4.1 และ 0.7-4.3 ตามลำดับ เนื่องจากในระหว่างการหมักเป็นเวลา 24 วัน กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นน้อย ทำนองเดียวกับจุลินทรีย์ซึ่งมีจำนวนลดลง (หัวข้อ 5.4.4) ดังนั้นการหมักในระบบเปิดจึงเป็นวิธีการที่เหมาะสม สำหรับใช้เตรียมกากชี้แป้งแปรสภาพด้วยจุลินทรีย์ EM เพื่อใช้เป็นสารบำรุงดินต่อไป



รูปที่ 27 สมบัติทางกายภาพก่อนและหลังการหมัก (a) ของแข็งทั้งหมด (TSC) และ ความชื้น (MC) (b) ของแข็งที่ระเหยได้ (VC) และของแข็งที่คงอยู่ (FS) ในระบบเปิด



รูปที่ 28 สมบัติทางกายภาพก่อนและหลังการหมัก (a) ของแข็งทั้งหมด (TSC) และ ความชื้น (MC) (b) ของแข็งที่ระเหยได้ (VC) และของแข็งที่คงอยู่ (FS) ในระบบปิด

5.5 สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน

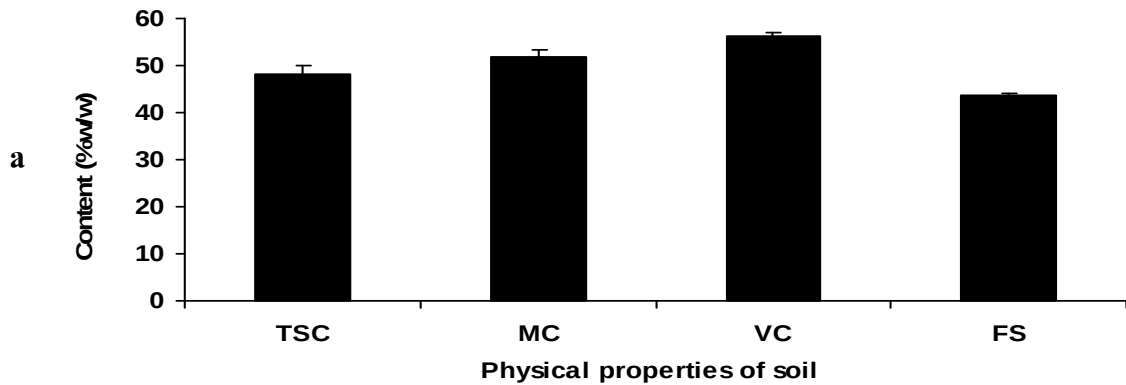
ดินที่นำมาใช้ผสมกับกากชี้เป้งที่แปรสภาพเป็นสารบำรุงดิน มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 29-30

จากรูปที่ 29 จะเห็นว่าสมบัติทางกายภาพของดินที่ใช้ผสมสารบำรุงดินมีค่าพีเอช 6.84 ± 0.07 ความหนาแน่น 1.12 ± 0.01 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณของแข็งทั้งหมด ความชื้น ของแข็งที่ระเหยได้ และของแข็งที่คงอยู่ มีร้อยละ 48.3 ± 1.6 , 51.7 ± 1.6 , 56.4 ± 0.6 และ 43.6 ± 0.6 โดยน้ำหนัก

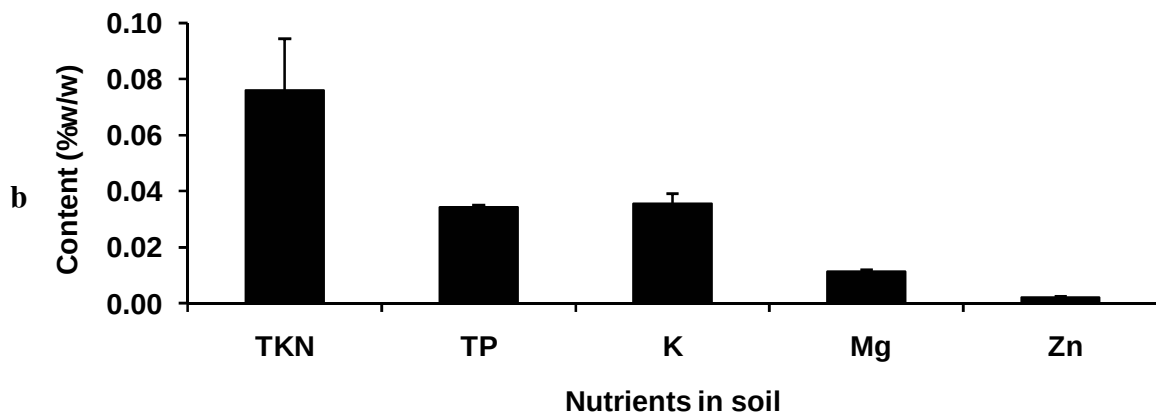
รูปที่ 30 แสดงสมบัติทางเคมีของดิน พบว่าธาตุอาหารต่างๆ ในดินมีปริมาณค่อนข้างน้อย โดยไนโตรเจนทั้งหมด มีปริมาณสูงสุด รองลงมาคือ ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี ดังนี้ 0.076 ± 0.018 , 0.034 ± 0.001 , 0.035 ± 0.004 , 0.011 ± 0.001 และ 0.002 ± 0.001 ร้อยละโดยน้ำหนักตามลำดับ หากเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารของดินและกากชี้เป้งที่แปรสภาพซึ่งจะใช้เป็นสารบำรุงดิน (อัตราส่วนที่ผ่านการหมักแล้ว) พบว่ากากชี้เป้งที่แปรสภาพแล้ว มีปริมาณธาตุอาหารมากกว่าดินค่อนข้างมาก คือ ธาตุอาหารหลักไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม มีปริมาณสูงกว่าในดิน

ประมาณ 25 เท่า 275 เท่า และ 10 เท่า ส่วนธาตุอาหารรอง แมกนีเซียม และสังกะสี มีปริมาณสูงกว่าในดินประมาณ 200 เท่า

ดังนั้น การนำสารบำรุงดินไปใช้ในการปลูกต้นทานตะวันจึงต้องปรับสัดส่วนของดินและสารบำรุงดินให้เหมาะสมก่อนนำไปปลูกพืช ดังแสดงในหัวข้อ 5.6



รูปที่ 29 สมบัติของแข็งทั้งหมด (TSC) ความชื้น (MC) ของแข็งที่ระเหยได้ (VC) และของแข็งที่คงอยู่ (FS) ของดิน



รูปที่ 30 ปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ในดิน

5.6 อัตราส่วนของสารบำรุงดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกต้นทานตะวัน

กากขี้เป้งที่แปรรูปแล้ว ซึ่งจะนำมาใช้เป็นสารบำรุงดิน (SA) เตรียมจากอัตราส่วนผสมระหว่างกากขี้เป้ง กากอินทรีย์ และ EM ขยายส่วน หมักในระบบเปิดเป็นเวลา 24 วัน มีจำนวน 5 ชุด (คือ 3:1:1, 3:2:1, 4:1:1, 4:2:1 และ 4:3:1) นำมาผสมกับดิน โดยใช้สารบำรุงดิน (SA) : ดิน (Soil) เท่ากับ 1:2, 1:3 และ 1:4 โดยปริมาตร อัตราส่วนนี้สามารถนำมาปลูกต้นทานตะวัน ซึ่งมีโอกาสรอดชีวิตได้ร้อยละ 80-100 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก 6) โดยเตรียมดินผสมสารบำรุงดินให้มีปริมาตรรวมเท่ากับ 2 ลิตร จากนั้นนำต้นกล้าต้นทานตะวัน *Helianthus annuus* L. พันธุ์ Sun-smile มาปลูกชุดการทดลองละ 10 ต้น ทำนองเดียวกันปลูกต้นกล้าต้นทานตะวันด้วยดินกลุ่มควบคุม ซึ่งประกอบด้วย 3 ชุด คือ

- กลุ่ม positive control (Pos) หมายถึง ใส่ปุ๋ยเคมี³
- กลุ่ม negative control (Neg) หมายถึง ใช้ดินทรายสำหรับปลูก และ
- กลุ่มควบคุม (Con) หมายถึง ใช้ดินปกติ

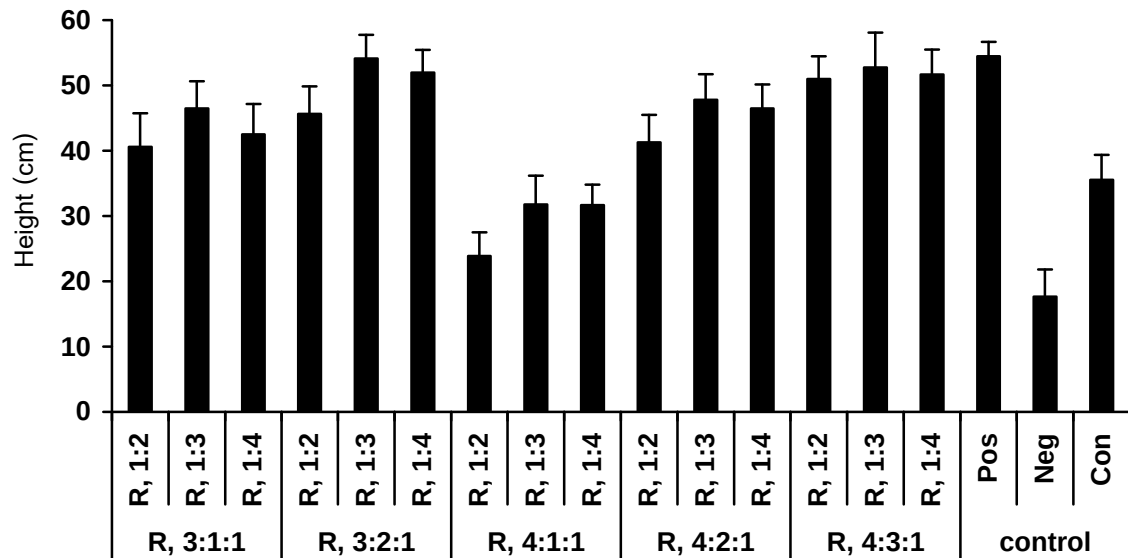
ติดตามการเจริญเติบโตทุกๆ 10 วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน ด้วยการตรวจสอบ คือ วัดความสูงของต้น ด้วยการเริ่มวัดตรงตำแหน่งที่ระยะห่างจากดิน 1 เซนติเมตร ขนาดลำต้น (หรือเส้นรอบวง) วัดตรงตำแหน่งเหนือข้อแรก (ตรงตำแหน่งที่ใบเลี้ยงหลุดออก) และนับจำนวนใบ

จากรูปที่ 31-33 จะเห็นว่าต้นทานตะวันมีความสูง ขนาดลำต้น และจำนวนใบเพิ่มขึ้นทุกชุดการทดลองตามระยะเวลาปลูก แสดงว่าต้นทานตะวันสามารถเจริญเติบโตได้ทุกชุดการทดลอง ซึ่งชุดการทดลองที่ใช้ กากจี้เป้ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน เท่ากับ 4:3:1 เป็นสารบำรุงดินนำมาผสมดินโดยใช้ อัตราส่วนผสมระหว่างสารบำรุงดิน : ดิน เท่ากับ 1:3 และ 1:4 พบว่าสามารถปลูกต้นทานตะวัน มีความสูง ขนาดลำต้น และจำนวนใบมากที่สุด รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ใช้ กากจี้เป้ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน เท่ากับ 3:2:1 เป็นสารบำรุงดิน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างสารบำรุงดิน : ดิน เท่ากับ 1:3 และ 1:4 พบว่าต้นทานตะวันมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับกลุ่มที่มีการใส่ปุ๋ยเคมี (Pos) ทางการค้า นอกจากนี้พบว่าทุกชุดการทดลองมีความสูง ขนาดลำต้น และจำนวนใบ มากกว่ากลุ่มที่ปลูกด้วยทราย (Neg) และเจริญเติบโตมากกว่าชุดควบคุมที่ปลูกในดินอย่างเดียว (Con) ยกเว้น ชุดการทดลองที่ใช้กากจี้เป้ง : กากอินทรีย์ : EM x เท่ากับ 4:1:1 พบว่าต้นทานตะวันมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด

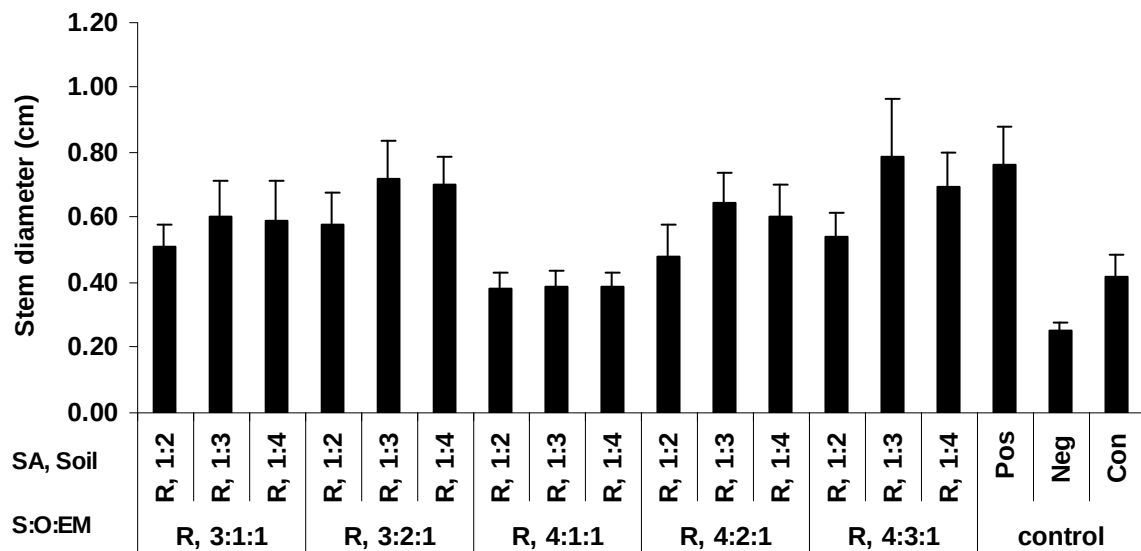
จากรูปที่ 34-35 จะเห็นว่าต้นทานตะวันหลังการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาปลูก 60 วัน มีน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งแตกต่างกัน โดยน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นทานตะวันมีแนวโน้มสามารถแสดงถึงการเจริญเติบโตของต้นทานตะวันได้ทำนองเดียวกัน ชุดการทดลองที่ใช้อัตราส่วนกากจี้เป้ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน เท่ากับ 4:3:1 เป็นสารบำรุงดิน และใช้อัตราส่วนผสมระหว่างสารบำรุงดิน : ดิน เท่ากับ 1:3 พบว่าต้นทานตะวันมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงสุด รองลงมาคือ อัตราส่วนกากจี้เป้ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน เท่ากับ 3:2:1 และใช้อัตราส่วนระหว่างสารบำรุงดิน : ดิน เท่ากับ 1:3 สำหรับน้ำหนักสดและแห้งของต้นทานตะวันมีน้ำหนักสูงกว่าชุดการทดลองที่ใช้ปุ๋ยเคมี เนื่องจากชุดการทดลองทั้งสอง (กากจี้เป้ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน เท่ากับ 4:3:1 และ 3:2:1 ผสมกับดิน 1 : 3) มีจำนวนจุลินทรีย์ในขั้นตอนการหมักมากที่สุดดังรูปที่ 21 (หัวข้อ 5.4.4) ส่งผลให้ต้นทานตะวันมีการเจริญเติบโตดี สอดคล้องกับการทดลองของ Wu *et al* (2005) ซึ่งระบุว่าจุลินทรีย์มีส่วนช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน ทำให้ดินมีความร่วนซุย รากพืชสามารถดูดสารอาหารต่างๆในดินเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้ง่ายขึ้น ทำให้ในระบบปลูกที่มีจำนวนจุลินทรีย์มากพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าในระบบปลูกที่มีจำนวนจุลินทรีย์น้อย ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับจรัญ (2542) ที่พบว่าต้นยางที่ได้รับ EM ให้

³ ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ใส่รองพื้นก่อนปลูก 6 กรัมต่อต้น (0.06 กิโลกรัม ต่อพื้นที่ 2.4 ตารางเมตร) และใส่ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) หลังปลูก 30 วัน 3.75 กรัมต่อต้น (0.0375 กิโลกรัม ต่อพื้นที่ 2.4 ตารางเมตร)

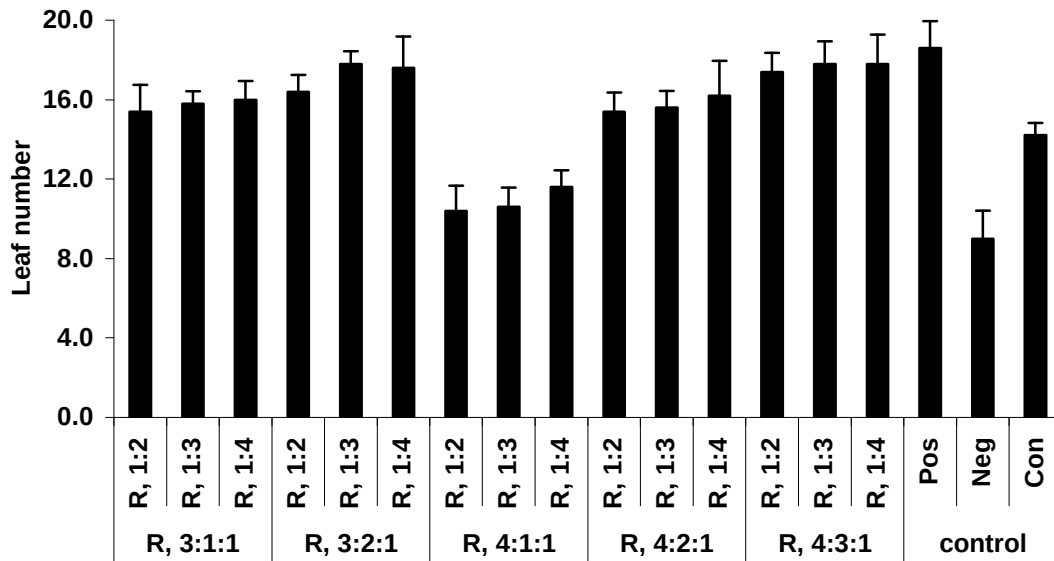
น้ำยางสูงกว่าต้นยางที่ได้รับปุ๋ยเคมี และสภาพของสวนยางมีหน้าดินร่วนซุย ส่วน Khaliq *et al.* (2006) พบว่า การใช้สารอินทรีย์ร่วมกับ EM และการใช้ NPK ร่วมกับ EM และสารอินทรีย์ทำให้ผลผลิตฝ้ายเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับกลุ่มที่ใช้ปุ๋ยเคมี



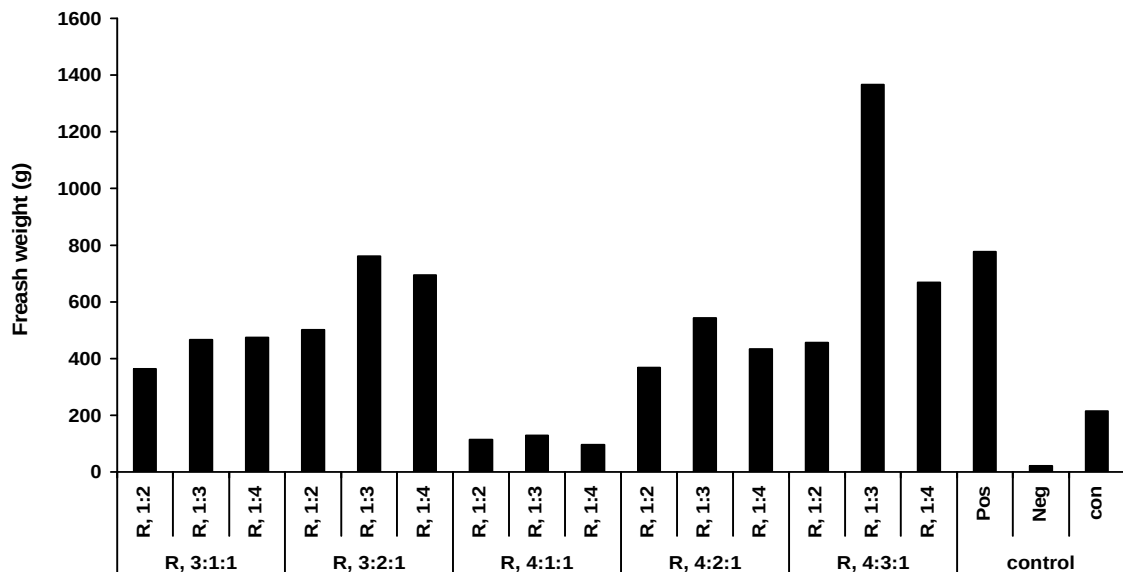
รูปที่ 31 ความสูงของต้นทานตะวันที่ปลูกในดิน 5 ชุดทดลองที่ระยะเวลา 60 วัน



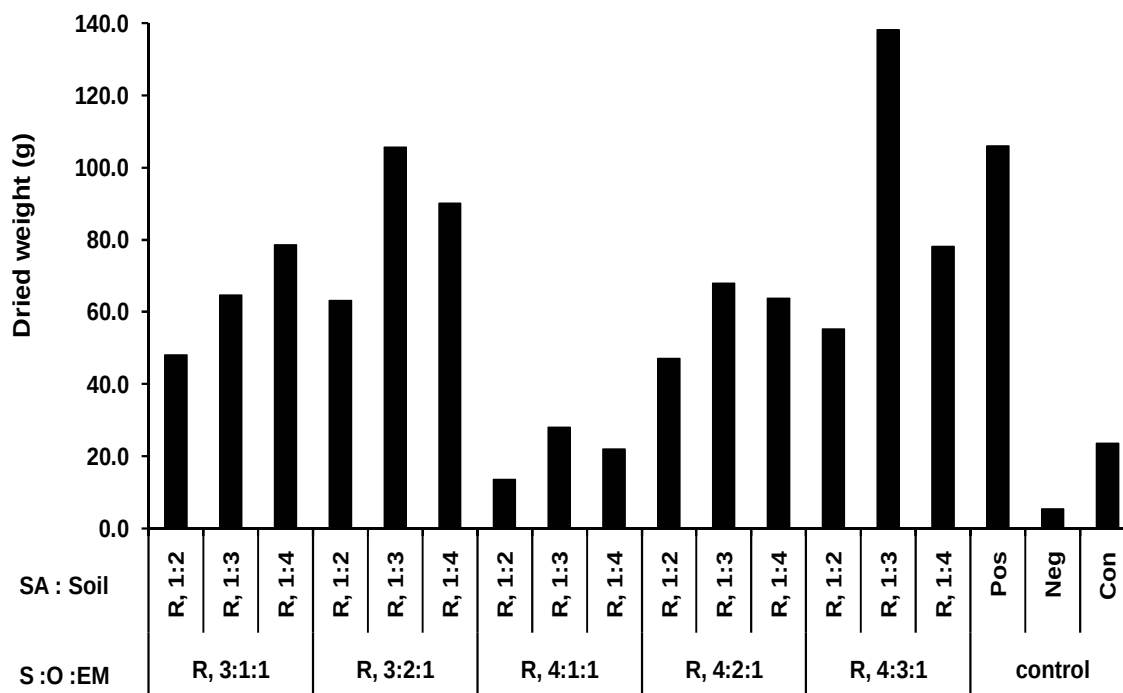
รูปที่ 32 ขนาด (เส้นรอบวง) ต้นทานตะวันที่ปลูกในดิน 5 ชุดทดลองที่ระยะเวลา 60 วัน



รูปที่ 33 จำนวนใบของต้นทานตะวันที่ปลูกในดิน 5 ชุดทดลองที่ระยะเวลา 60 วัน



รูปที่ 34 น้ำหนักสดของต้นทานตะวันที่ระยะเวลา 60 วัน



รูปที่ 35 น้ำหนักแห้งของดินทานตะวันที่ระยะเวลา 60 วัน

5.7 ปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนและหลังการปลูกต้นทานตะวัน

ดินที่ใช้ปลูกต้นทานตะวัน ประกอบด้วยสารบำรุงดินจำนวน 5 ชุด ผสมดิน 3 อัตราส่วน คือ 1:2, 1:3 และ 1:4 วิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี ก่อนและหลังปลูกต้นทานตะวัน พบว่าธาตุอาหารในดินมีปริมาณลดลง โดยไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียม มีค่าลดลงมากกว่าแมกนีเซียม และสังกะสี เนื่องจาก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการใช้ในปริมาณสูง (Jones, 1979)

จากรูปที่ 36 ธาตุอาหารหลักไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมในดิน 5 ชุดการทดลองซึ่งผสมสารบำรุงดิน เริ่มต้นปลูกพบว่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีปริมาณร้อยละอยู่ในช่วง 0.56-0.86, 1.72-3.63 และ 0.09-0.15 หลังจากปลูกต้นทานตะวันเป็นเวลา 60 วัน ไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในดินมีค่าลดลงมากที่สุดในช่วงร้อยละ 74.7-90.6 เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต นอกจากนี้ไนโตรเจนบางส่วนจะถูกเปลี่ยนจากแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เป็นแอมโมเนีย ซึ่งสามารถระเหยออกไปสู่บรรยากาศได้ ทำให้ไนโตรเจนส่วนหนึ่งหายไป ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนมีค่าลดลงไป สำหรับฟอสฟอรัสทั้งหมด มีปริมาณลดลงร้อยละ 25.7-41.3 ซึ่งเป็นปริมาณที่ลดลงไม่มากนัก เนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสที่ทำการวิเคราะห์เป็นปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณของฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ อยู่ในรูป H_2PO_4^- และ HPO_4^{2-} (Mohanty *et al*, 2006) ส่วนโพแทสเซียมสามารถละลายน้ำมีปริมาณลดลงในช่วงร้อยละ 17.3-62.7 เนื่องจากเป็นธาตุ

อาหารที่มีความสำคัญในการสร้างและการเคลื่อนย้ายอาหารพวกแป้งและน้ำตาลไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเติบโต และส่งไปเก็บไว้เป็นเสบียงที่หัวหรือที่ลำต้น (Soumaré *et al.*, 2002)

สำหรับธาตุอาหารรองได้แก่ แมกนีเซียม และสังกะสี เป็นธาตุที่พืชต้องการในปริมาณน้อย ช่วงเริ่มปลูกต้นทานตะวัน โดยใช้สารบำรุงดินจำนวน 5 ชุด ผสมดิน 3 อัตราส่วน คือ 1:2, 1:3 และ 1:4 ดังแสดงในรูปที่ 37 พบว่า ธาตุอาหารแมกนีเซียม และสังกะสี มีปริมาณร้อยละอยู่ในช่วง 0.29-0.48 และ 0.06-0.10 ตามลำดับ และหลังปลูกต้นทานตะวันเป็นเวลา 60 วัน พบว่าแมกนีเซียมและสังกะสีมีปริมาณลดลงในช่วงร้อยละ 29.2-80.2 และ 27.5-77 ตามลำดับ

จากรูปที่ 36-37 จะเห็นว่าชุดการทดลองที่ใช้อัตราส่วนระหว่าง กากขี้เถ้า : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน เท่ากับ 4:3:1 เป็นสารบำรุงดิน มีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองทุกชนิดปริมาณลดลงมากที่สุด กล่าวคือ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี มีปริมาณลดลงร้อยละ 96.3, 27.7, 62.8, 80.3 และ 77.0 ส่วนชุดการทดลองที่ใส่ปุ๋ยเคมีพบว่า ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี มีปริมาณลดลงร้อยละ 89.6, 31.2, 34.9, 60.2 และ 89.4 ตามลำดับ แสดงว่าธาตุอาหารในดินชุดทดลองจำนวนหนึ่ง (ปริมาณที่ลดลงไป) ถูกใช้ไปในการเจริญเติบโตระหว่างการปลูกต้นทานตะวัน และมีปริมาณที่ถูกใช้ไปใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมี

5.8 ปริมาณธาตุอาหารในต้นทานตะวัน

วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี ในต้นทานตะวันหลังจากการปลูกที่ 60 ในดินที่ใช้สารบำรุงดินจำนวน 5 ชุด ผสมดิน 3 อัตราส่วน คือ 1:2, 1:3, 1:4 และดินกลุ่มควบคุมที่ใส่ปุ๋ยเคมี ดังแสดงในรูปที่ 38-39 พบว่า

ไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารหลักที่สำคัญของพืช โดยทั่วไปพืชต้องการไนโตรเจนปริมาณร้อยละ 1-2.5 โดยน้ำหนัก (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) สำหรับต้นทานตะวันที่ปลูก 60 วัน ในดิน 5 ชุดทดลอง และดินกลุ่มควบคุมที่ใส่ปุ๋ยเคมี ตรวจพบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.94-1.29 และ 1.37 ตามลำดับ (รูปที่ 38) โดยธาตุไนโตรเจนที่ตรวจพบ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบหลายชนิดในต้นทานตะวัน ได้แก่ โปรตีน และ คลอโรฟิลล์ เป็นต้น (จำเริญ, 2547) เมื่อต้นทานตะวันได้รับปริมาณไนโตรเจนปริมาณพอเพียง จะสามารถเจริญเติบโตได้ดี ใบมีขนาดใหญ่และมีสีเขียวเข้ม นอกจากนี้ Putnam (1990) ได้พบว่าปริมาณของธาตุไนโตรเจน มีผลต่อการสร้างเมล็ดในต้นทานตะวันด้วย

ฟอสฟอรัส เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์หลายชนิดในพืช เช่น กรดนิวคลีอิก ฟอสโฟไลปิด โปรตีน และเป็นองค์ประกอบของ ATP *⁴ (Jones, 1979) พืชสามารถนำไปใช้ได้อยู่ในรูป $H_2PO_4^-$

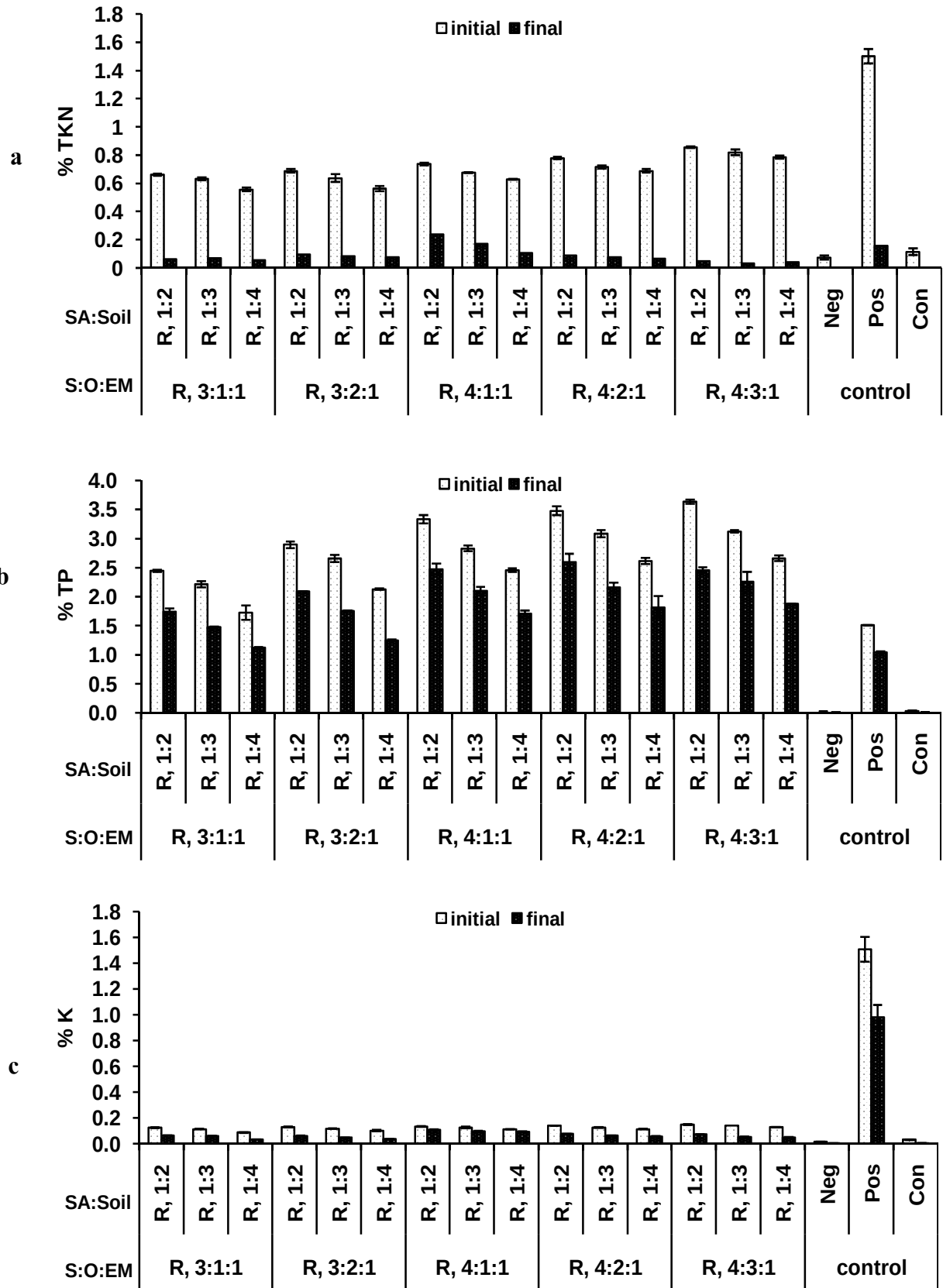
⁴ หมายเหตุ * ATP (adenosine triphosphate) หมายถึง พลังงานที่ได้จากการเมแทบอลิซึม หรือการหายใจ

และ HPO_4^{2-} โดยทั่วไปพืชมีความต้องการฟอสฟอรัสร้อยละ 0.3–0.5 โดยน้ำหนัก สำหรับต้นทานตะวัน หลังการปลูกที่ 60 ในดิน 5 ชุดทดลอง และดินกลุ่มควบคุมที่ใส่ปุ๋ยเคมี ตรวจพบว่าปริมาณฟอสฟอรัส ทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.61-1.28 และ 0.76 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 38 โดยฟอสฟอรัสที่ตรวจพบ มีปริมาณมากเกินไป ทำหน้าที่ช่วยในการเจริญของต้นอ่อน มีผลต่อการออกดอกของต้นทานตะวัน และการเติบโตของเมล็ด (Thompson and Troeh, 1978)

ธาตุโพแทสเซียม ที่ตรวจพบในต้นทานตะวัน ที่ปลูก 60 วัน ในดิน 5 ชุดทดลอง มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 0.14-0.20 ส่วนดินกลุ่มควบคุมที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 0.27 ดังแสดงในรูปที่ 38 แสดงว่า ธาตุโพแทสเซียมที่มีอยู่ในดิน ส่วนของต้นทานตะวันได้ถูกนำไปใช้และเก็บสะสมไว้ที่ลำต้นในปริมาณต่ำกว่าร้อยละ 0.3 ซึ่งโดยทั่วไปธาตุโพแทสเซียมที่พบในพืช มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 0.2-3.5 (ศรีสม, 2544) เนื่องจากธาตุโพแทสเซียมมีความสำคัญต่อการสร้างและการเคลื่อนย้ายอาหารประเภทแป้งและน้ำตาล เพื่อนำไปเลี้ยงส่วนที่กำลังเจริญเติบโตของต้นทานตะวัน ส่วนของธาตุโพแทสเซียมที่เหลือจะส่งไปเก็บไว้ที่หัว หรือลำต้น

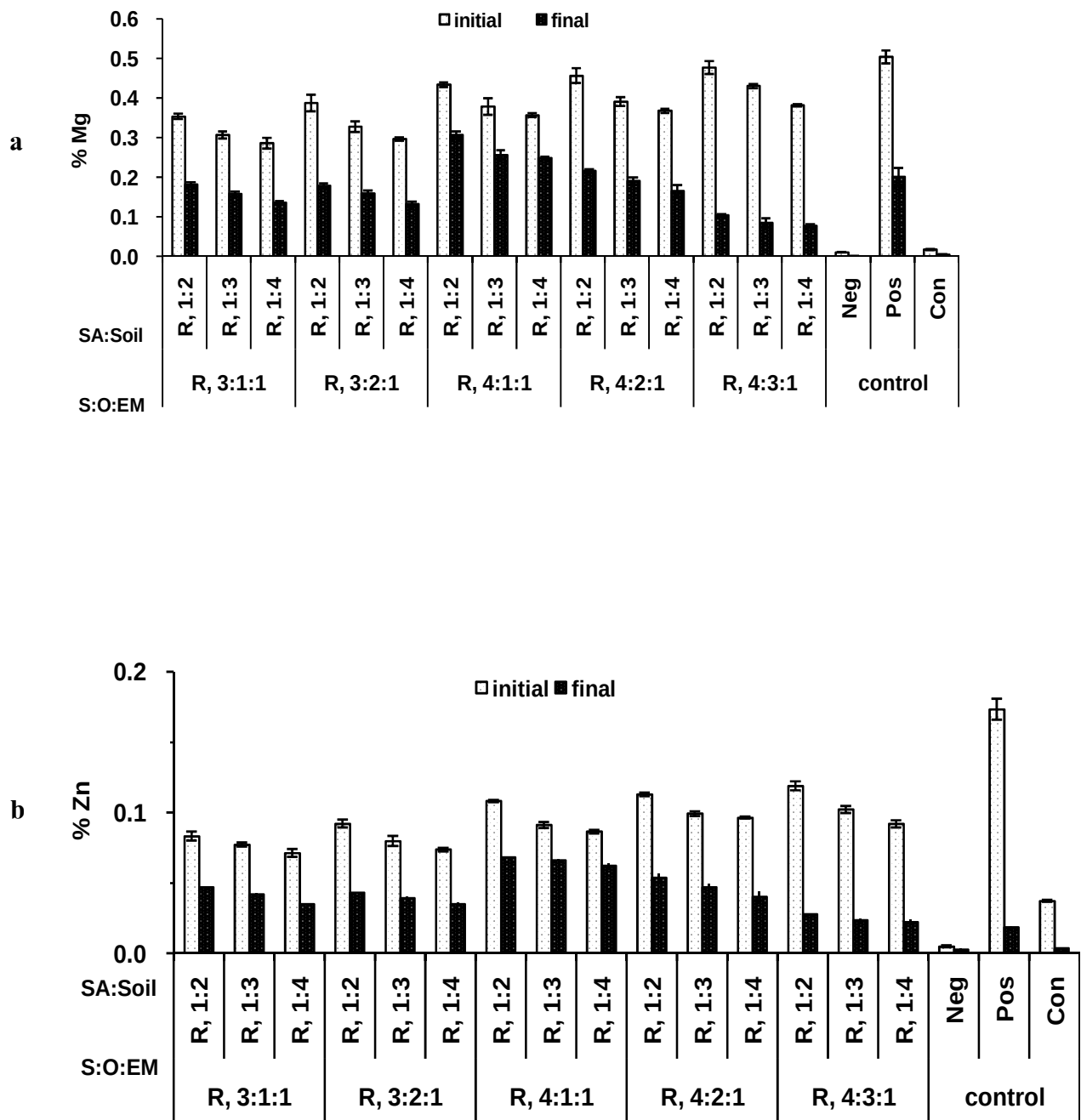
ธาตุแมกนีเซียม และสังกะสี ซึ่งตรวจพบในต้นทานตะวัน ที่ปลูก 60 วัน ในดิน 5 ชุดทดลอง มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 0.12-0.33 และ 0.02-0.06 ตามลำดับ ส่วนดินกลุ่มควบคุมที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีปริมาณร้อยละ 0.31, 0.12 ตามลำดับ ดังรูปที่ 39 จะเห็นว่าธาตุแมกนีเซียมและสังกะสีที่ปลูกในดิน 5 ชุดทดลองมีปริมาณค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตามธาตุแมกนีเซียมและสังกะสีเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการน้อย (ธาตุอาหารรอง) พืชโดยทั่วไปต้องการธาตุแมกนีเซียมร้อยละ 0.15-0.35 (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) ส่วนสังกะสี EPA (Environmental Protection Agency) ได้กำหนดให้กากตะกอนที่จะนำไปใช้ในการเกษตรกรรมได้ ต้องมีปริมาณสังกะสีต่ำกว่า 7500 ส่วนในล้านส่วน หรือร้อยละ 0.75 (Brady and Weil, 2002) ซึ่งสารบำรุงดินที่ใช้ในการปลูกต้นทานตะวันมีปริมาณน้อยกว่าที่ EPA กำหนด จึงสามารถนำไปใช้ได้

จะเห็นว่า ต้นทานตะวัน ซึ่งปลูก 60 วัน ในดินที่ประกอบด้วย กากขี้เถ้าแปรสภาพ (กากขี้เถ้า : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน = 4:3:1) ในรูปของสารบำรุงดิน ผสมกับดินในสัดส่วน 1 : 3 พบว่าต้นทานตะวันที่ปลูกมีธาตุอาหาร TKN, TP, K, Mg และ Zn ปริมาณร้อยละ 1.23 ± 0.02 , 1.08 ± 0.06 , 0.20 ± 0.01 , 0.33 ± 0.01 และ 0.06 ± 0.01 ส่วนธาตุอาหารที่ตรวจพบในต้นทานตะวันซึ่งปลูกในดินที่ใส่ปุ๋ยเคมี มีปริมาณร้อยละ 1.37 ± 0.05 , 0.76 ± 0.14 , 0.27 ± 0.01 , 0.31 ± 0.04 และ 0.12 ± 0.01 ตามลำดับ จะเห็นว่าธาตุอาหารที่ตรวจพบในต้นทานตะวันที่ปลูกในดินทั้งสองสภาวะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า กากขี้เถ้าแปรสภาพ (กากขี้เถ้า : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน = 4:3:1) นำมาใช้ในรูปของสารบำรุงดินผสมกับดิน ด้วยสัดส่วนผสม 1 : 3 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด สามารถนำไปใช้ในการปลูกต้นทานตะวันแทนการใช้ปุ๋ยเคมีได้

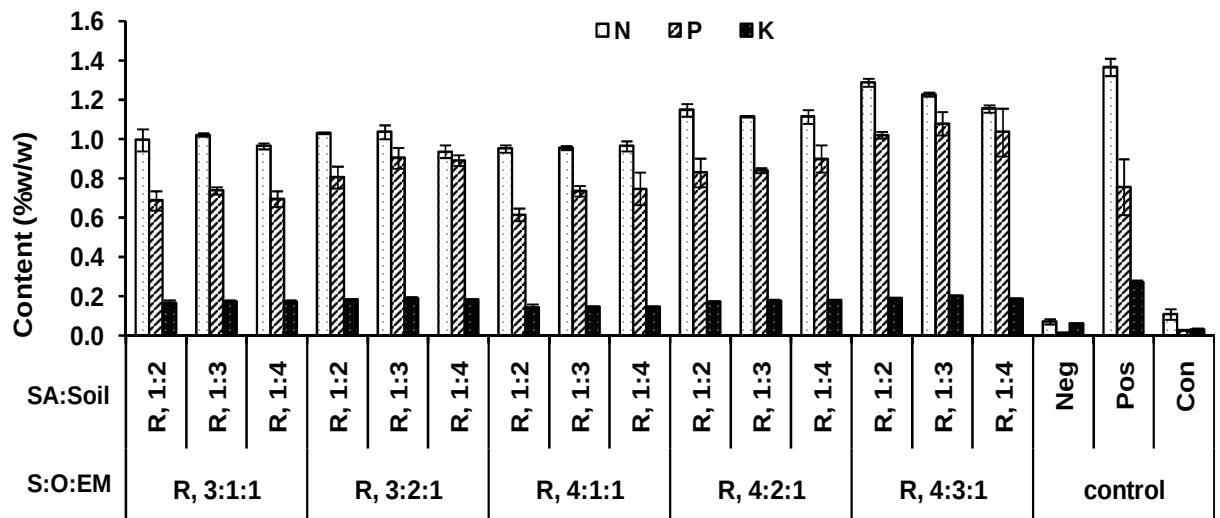


รูปที่ 36 ปริมาณธาตุอาหารหลักก่อน และหลังการปลูกในดิน (60 วัน) ที่เติมสารบำรุงดิน

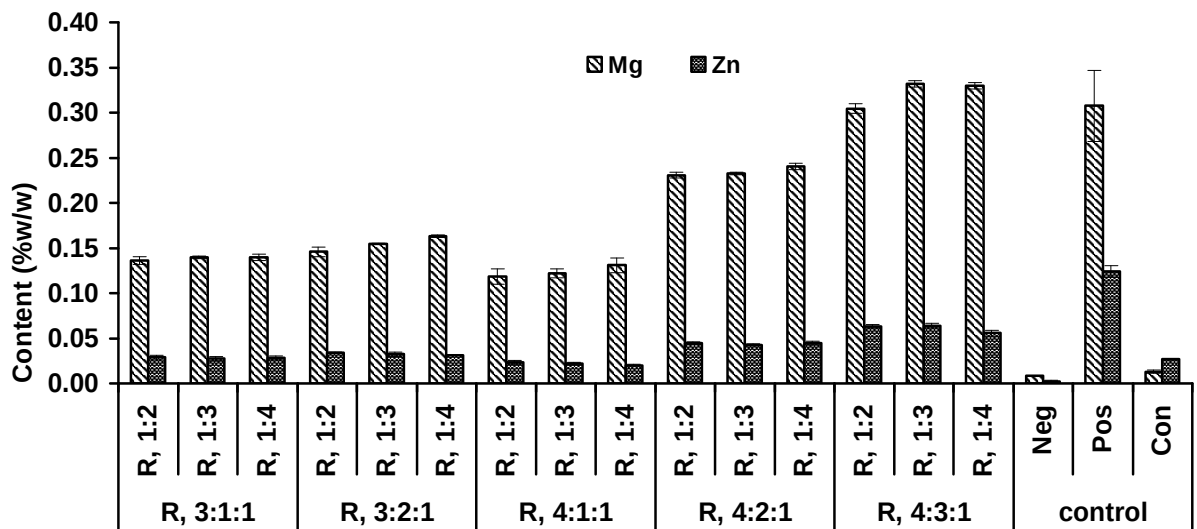
อัตราส่วนต่างๆ (a) ไนโตรเจนทั้งหมด (b) ฟอสฟอรัสทั้งหมด และ (c) โพแทสเซียม



รูปที่ 37 ปริมาณธาตุอาหารก่อน และหลังการปลูกในดิน (60 วัน) ที่เติมสารบำรุงดิน
อัตราส่วนต่างๆ (a) แมกนีเซียม และ (b) สังกะสี



รูปที่ 38 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียม ในดินทานตะวัน
หลังการปลูก 60 วัน



รูปที่ 39 ปริมาณแมกนีเซียมและสังกะสีในดินทานตะวันหลังการปลูก 60 วัน

5.9 วิเคราะห์ราคาต้นทุน และความเป็นไปได้เชิงธุรกิจ

การใช้กากจี้เป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาแปรรูป ด้วยการผสมร่วมกับกากอินทรีย์ คือ มูลไก่ จี้เลื่อย และรำข้าว หมักร่วมกับจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน แล้วนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารบำรุงดิน ปลุกพืชทางเกษตร ได้แก่ ต้นทานตะวัน เป็นต้น โดยเลือกอัตราส่วนสารบำรุงดินที่ทำให้ต้นทานตะวันมีการเจริญเติบโตสูงสุด คือ อัตราส่วนของกากจี้เป้ง : กากอินทรีย์ : EM ขยายส่วน เท่ากับ 4:3:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด

ในการเตรียมจะต้องนำกากจี้เป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มาปรับค่าความเป็นกรดก่อนให้มีค่าพีเอช 5-6 เตรียมโดยใช้กากจี้เป้งซึ่งเป็นของเสียจากโรงงาน 4 ลิตร (4.08 กิโลกรัม) ต่อจากนั้นจึงนำกากจี้เป้งนี้มาผสมกับกากอินทรีย์ และจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน

ราคาต้นทุนวัตถุดิบที่มีจำหน่ายทางการค้าที่ต้องใช้ในการแปรรูปกากจี้เป้ง คือ หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ราคา 90 บาท/ลิตร, กากน้ำตาล ราคา 15 บาท/กิโลกรัม น้ำส้มสายชู ราคา 10 บาท/ขวด/0.75 ลิตร, มูลไก่ ราคา 1 บาท/กิโลกรัม รำข้าว ราคา 8 บาท/กิโลกรัม จี้เลื่อย ราคา 2 บาท/กิโลกรัม

คำนวณราคาต้นทุนวัตถุดิบ *

ใช้กากจี้เป้งเป็นของเสียที่ได้จากโรงงานน้ำยางข้น 4 ลิตร (4.08 กิโลกรัม) เป็นเงิน 0 บาท			
ใช้น้ำส้มสายชู 150 ลบ.ซม.	เป็นเงิน	2	บาท
ใช้มูลไก่ 1 ลิตร (1.25 กิโลกรัม)**	เป็นเงิน	1.25	บาท
ใช้จี้เลื่อย 1 ลิตร (0.95 กิโลกรัม)**	เป็นเงิน	1.90	บาท
ใช้รำข้าว 1 ลิตร (1.12 กิโลกรัม)**	เป็นเงิน	8.96	บาท
ใช้ EM ขยายส่วน 1 ลิตร **	เป็นเงิน	4.80	บาท
รวมน้ำหนักทั้งหมด(4.08+1.25+0.95+1.12+1+0.15)	=	8.55	กิโลกรัม
หลังหมักเสร็จ อบให้แห้ง น้ำหนักหายไป 60% มีน้ำหนัก	=	3.42	กิโลกรัม
คิดเป็นราคาต้นทุนของวัตถุดิบต่อน้ำหนักสุทธิของสารบำรุงดิน	=	(2+1.25+1.90+8.96+4.8) / 3.42	
	=	5.52	บาท ต่อ กิโลกรัม

หมายเหตุ

* ไม่คิดค่าแรงในการเตรียม

** มูลไก่ : จี้เลื่อย : รำข้าว = 1:1:1 โดยปริมาตร คิดเป็นน้ำหนักที่ใช้ 1.25: 0.95:1.12 กิโลกรัม

(มีความหนาแน่น = 1.25: 0.95:1.12 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

*** EM ขยายส่วน ประกอบด้วย EM : กากน้ำตาล : น้ำ = 1:1:20 โดยน้ำหนัก

วิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงธุรกิจ

กากจีแป๋งน้ำยางข้น เป็นของเสียจากโรงงานที่ไม่มีมูลค่า นำมาแปรสภาพด้วยการผสมกับกากอินทรีย์ และจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน แล้วใช้ประโยชน์ด้านการเกษตร เป็นสารบำรุงดิน ปลุกดิน ทานตะวันพืช ได้ผลดีเช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15

ปุ๋ยเคมี สูตร 15-15-15 ตรวจสอบราคาจำหน่ายในท้องตลาด 1,000 บาท ต่อกระสอบ (หรือ 20 บาท ต่อกิโลกรัม) ส่วนผลิตภัณฑ์สารบำรุงดินที่ผลิตจากกากจีแป๋งน้ำยางข้นร่วมกับส่วนผสมกากอินทรีย์และจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน มีราคาค้นทุนเท่ากับ 5.52 บาท ต่อกิโลกรัม

ดังนั้นจึงเห็นว่าการผลิตผลิตภัณฑ์สารบำรุงดินจากกากจีแป๋งน้ำยางข้น สามารถเพิ่มมูลค่าของเสียที่ต้องกำจัดทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น และลดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จะให้ความคุ้มค่าในเชิงธุรกิจสามารถนำไปผลิตได้จริงเพื่อจำหน่ายในเชิงธุรกิจต่อไป

6. สรุปผลการวิจัย

การแปรสภาพกากจีแป๋งโดยใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ร่วมกับกากอินทรีย์วัตถุ คือ มูลสัตว์ จีเลื้อย และรำข้าว พบว่ากากจีแป๋งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมีสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ธาตุอาหารที่พบมากที่สุด คือ P รองลงมา คือ ธาตุ Mg, N, K และ Zn สำหรับกากอินทรีย์พวก มูลไก่ รำข้าว และจีเลื้อย มีปริมาณธาตุอาหารน้อย และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การแปรสภาพกากจีแป๋ง ด้วยจุลินทรีย์ EM ที่อัตราส่วนระหว่าง กากจีแป๋ง: กากอินทรีย์ผสม : EM ขยายส่วนเท่ากับ 4:3:1 โดยปริมาตร หมักในระบบเปิด เป็นเวลา 24 วัน สามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารบำรุงดิน ทำให้ต้นทานตะวันเจริญเติบโตได้ผลผลิตดีเช่นเดียวกับการใช้ปุ๋ยเคมี โดยมีสัดส่วนผสมสารบำรุงดินต่อดิน เท่ากับ 1 ต่อ:3 ส่วน การนำมาหมักแปรสภาพร่วมกับกากอินทรีย์ทางเกษตร หลังจากทำให้แห้ง สามารถนำมาจำหน่ายในเชิงการค้า ใช้เป็นสารบำรุงดินได้ เป็นการเพิ่มมูลค่าของเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น และลดปัญหาขยะที่เป็นปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมได้

7. ข้อเสนอแนะ

7.1. ศึกษาเพิ่มเติมถึงการนำกากจีแป๋งมาแปรสภาพแล้วมาใช้ปลูกพืชชนิดต่างๆ กัน และสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำมาใช้ผสมดินต่างชนิดกัน

7.2 ศึกษาเพิ่มเติมความจำเป็นต้องมีการตรวจสอบสัดส่วนผสมของการนำมาใช้งานด้านการเกษตรก่อนทุกครั้ง หรือจัดทำมาตรฐานสัดส่วนที่จะนำมาใช้งานปลูกพืชต่างชนิดกัน

7.3 วิจัยเพิ่มเติมถึงความแปรปรวนของสารอาหารในกากจีแป๋งที่ช่วงฤดูกาลที่แตกต่างกัน และสัดส่วนที่เหมาะสมในการหมักร่วมกับสารกากอินทรีย์ชนิดอื่น

7.4 วิจัยเพิ่มเติมการใช้กากอินทรีย์ชนิดอื่นเป็นส่วนผสมหมักร่วมกับกากจีแป๋ง เพื่อใช้เป็นสารบำรุงดิน

8. เอกสารอ้างอิง

กัญญา รัตนะ และอุบล บุญชู. 2549. การเตรียมปุ๋ยหมักชีวภาพจากกากขี้เป้งด้วยกลุ่มจุลินทรีย์.

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต (ศึกษาศาสตร์) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

กรมปศุสัตว์ 2550. รำข้าว (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://www.dld.go.th/nutrition/exhibition/feed> [10 ม.ค. 2551]

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. สืบค้นจาก

http://www.ldd.go.th/menu_5wonder/wonder10-2.htm [9 มิ.ย. 2550].

กรมส่งเสริมการเกษตร 2547. สารปรับปรุงดิน (ออนไลน์). สืบค้นจาก <http://www.doae.go.th/pl> [2 ส.ค. 2550]

จัญญ์ จันทรเกิด. 2542. การใช้ EM ในสวนยางพันธุ์ดีจังหวัดสุราษฎร์ธานี. ว. เกษตรนิวส์, 7 (28) : 54-55.

จำเริญ ทองอ่อน. 2547. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บริษัท อี เอ็ม คิวเซ จำกัด. 2546. EM (ออนไลน์). สืบค้นจาก :<http://www.emkyusei.com> [2 ส.ค. 2550].

ภานุพงศ์ บางรักย์. 2548. การทำปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มผสมน้ำหมักของ

Rhodobacter capsulatus SS3 และใช้ในการปลูกผักบุ้งและต้นหอม. วิทยานิพนธ์วิทยา

ศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วันชัย แก้วยอด. 2540. การตรวจสอบการจัดการน้ำเสียโรงงานยาง: กรณีศึกษาจังหวัดสงขลาวิทยานิพนธ์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วลัยพร ผ่องแผ้ว. 2547. การใช้ประโยชน์กากขี้เป้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นในรูปสารบำรุงดิน

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วราศรี เอกประสิทธิ์. 2543. การนำกากขี้เป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็น

วัสดุบำรุงดิน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วิภาพรรณ อุบล. 2550. การใช้ประโยชน์กากอินทรีย์อุตสาหกรรมน้ำยางข้น แปรรูปสัตว์น้ำและน้ำมัน

ปาล์ม ในการเตรียมวัสดุปลูกหญ้าสนาม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2544. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เสาวนีย์ ก่ออุทัยกุลรังษี. 2543. การผลิตยางธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เสาวนีย์ ก่ออุทัยกุลรังษี วิไลรัตน์ ชิวเศรษฐธรรม ธนธรณ์ นวลปาน และ ญัฐพงศ์ นิธิอุทัย. 2547. การศึกษา

เบื้องต้นเกี่ยวกับการเตรียมปุ๋ยเหลวจากกากขี้เป้งน้ำยางข้น. ชุดโครงการพัฒนาอุตสาหกรรม

ยางพารา สกว. สัญญาเลขที่ RDG 4750017.

เสาวนีย์ ก่ออุทัยกุลรังษี เอกพล จันอิ และ ประวิทย์ คงจันทร์. 2548. การใช้กากขี้เป้งน้ำยางข้นเป็นสารตัว

เติมซีเมนต์ยางปูพื้น. ชุดโครงการพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา สกว. สัญญาเลขที่ RDG4850016.

อุไรวรรณ ไอยสุวรรณ. 2545. การใช้ประโยชน์กากตะกอนของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล

สำหรับเป็นปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดิน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการ

จัดการทรัพยากรดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- AOAC. 1990. Official Methods of the Association of official Analytical Chemists, 15th ed., U.S.A.
- APHA, AWWA and WEF. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed., New York. : American Public Health Association.
- Brady, N. C., and R. R. Weil. 2002. The Nature and Properties of Soils. 13th ed. NJ: Prentice-Hall, Inc.
- Benoit, F. 1992. Nitrogen Source and Transformation. Available, [http:// www.ext.colostate. edu/pubs nitrogen.shtml](http://www.ext.colostate.edu/pubs/nitrogen.shtml) [January 19, 2008].
- Bernal,M.P., Albuquerque, J.A. and Moral, R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. Bio resource Technology. 100: 5444-5453
- CN1225351: 1999. Technology for producing composite fertilizer contg. microorganism, organic and inorganic matters.. Aug. 11.
- Courtney, R.G. and Mullen, G.J. 2008. Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types. Bioresource Technology, 99: 2913-2918.
- Das, K., Keener, H.M., 1997. Moisture effect on compaction and permeability in composts. J. Environ. Eng. 123: 275–281.
- De Bertoldi, M., Vallini, G., Pera, A., 1983. The biology of composting: a review. Waste Manage. Res. 1: 157–176.
- EA5716: 2005: Complex Microbiological Fertilizer and Process for Preparing Thereof. April. 28.
- EM Research Organization Inc. 2003-a. Treatment of Petroleum Sludge using EM Technology, Phase I. Region Office for Middle East and Central Asia, Lagore, Pakistan. 13.
- EM Research Organization Inc. 2003-b. Application of Bioremediate Sludge to Onion Crop, Phase II. Region Office for Middle East and Central Asia, Lagore, Pakistan. 39.
- Gajalakshmi, S., Abbasi, S.A., 2008. Solid waste management by composting: state of the art. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 38: 311–400.
- Garrison, M.V., Richard, T.L., Tiquia, S.M., Honeyman, M.S., 2001. Nutrient losses from unlined bedded swine hoop structure and an associated windrow composting site. Paper 01-2238. ASAE Annual International Meeting, Sacramento, CA, 30 July–1, August 2002.
- Gonzalez,-A. G. and Castro-M.A.J. 1998. Use of automotive paint sludge as filler in asphaltic mixtures, Journal of Solid Waste Technology and Management. 25(3) 193-196 .
- Higa, T. (on line) 2006 [http:// www.nfe.go.th/13/banprak/culture/cul02.html](http://www.nfe.go.th/13/banprak/culture/cul02.html) [30 กันยายน 2549].
- Jones, L. 1979. Fertilizers and Soil Fertility. Reston Virginia: Reston Publishing Company Inc.
- JP11304284 : 1999. Air Conditioning System Utilizing Steam Generated Through Treatment of Sludge.. November 05.

- Khaliq, A., Abbasi M. K. and Hussain, T. 2006. Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. *Bioresource Technology*. J. *Bioresource Technology*. 97 : 967-972.
- Mari, I., Ehaliotis, C., Kotsou, M., Chatzipavlidis, I., Georgakakis, D., 2005. Use of sulfur to control pH in composts derived from olive processing by-products. *Compost Sci. Util.* 13, 281–287.
- Miller, F.C., 1992. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In: Metting, F.B., Jr. (Ed.), *Soil Microbial Ecology, Applications in Agricultural and Environmental Management*. Marcel Dekker, Inc., New York, pp. 515–544.
- Mohanty, S., Paikaray, N.K. and RaJan, AR. 2006. Availability and uptake of phosphorus from organic manures in groundnut (*Archis hypogeal* L.) - corn (*Zea mays* L.) sequence using radio tracer technique. *Geoderma*, 133: 225-230.
- Putnam, D.H., Oplinger, E.S., Hicks, D.R., Durgan, B.R., Noetzel, D.M., Meronuck, R.A., Doll J.D. and Schulte, E.E. 1990. *Alternative field crop manual*. Departments of Agronomy and Plant Genetics, Entomology and Plant Pathology, University of Minnesota.
- Rene, B. 1983. Products for facings, insulation and packaging based on industrial wastes, and particularly paper sludge, and method for their manufacture. CA1195053, October 19.
- Soumaré, M., Tack, F. M. G. and Verloo, M. G. 2002. Effects of a municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mali. *Bioresource Technology*, 86 : 15-20.
- Teilnugutom, B. 2005. Nutrient. Available, http://www.nsr.ac.th/elearning/soil/clesson_9_7.php. [March 19, 2009].
- Thompson, L.M. and Troeh, F.R. (1978) *Soils and Soil Fertility*, 4th ed. McGraw-Hill Inc., New York.
- Tiquia, S. and Tam, N., 2002. Characterization and composting of poultry litter in forced aeration piles. *Process Biochem.* 37: 869–880.
- Vinypal S. A. 1967. Production of thermoplastic granulates. GB 1075241, July 12.
- Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C. and Wong, M.H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, 125:155–166.
- Yaduvanshi, N.P.S. 2003. Substitution of inorganic fertilizers by organic manures and the effect on soil fertility in rice–wheat rotation on reclaimed sodic soil in India. *Journal of Agricultural Science*, 140:161–168.

ภาคผนวก 1

วิเคราะห์สมบัติเคมีทางกายภาพและเคมี

1. การวิเคราะห์สมบัติเคมีของตัวอย่าง

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างตามวิธีการของ AOAC (1990) มีดังนี้

1.1 ความเป็นกรด-ด่าง (กากขี้เป้ง:น้ำ, 1:5 w/w)

วิธีทำ

1. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 mL
2. เติมน้ำกลั่น 50 mL เขย่าประมาณ 30 นาที โดยเขย่าให้เข้ากันประมาณ 1 นาที
3. วางทิ้งไว้ให้ตกตะกอนประมาณ 5 นาที จากนั้นวัดค่า pH ของสารละลายด้วย pH Meter

1.2 ความหนาแน่น

วิธีทำ

1. เติมน้ำกลั่น 50 mL ลงในบีกเกอร์แล้วทำเครื่องหมายบอกระดับน้ำไว้
2. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์
3. บันทึกน้ำหนักของสารตัวอย่าง
4. ใช้หลอดหยดหรือไปเปิดคูดน้ำออกจนถึงขีดระดับที่ทำเครื่องหมาย นำมาวัดปริมาตรที่ถูก

มวลของตัวอย่างแทนที่

การคำนวณ

$$D = \frac{M}{V}$$

โดยที่

D = ความหนาแน่น (g/mL)

M = มวลของสารตัวอย่าง (g)

V = ปริมาตรของน้ำที่ถูกแทนที่ (mL)

1.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (Total solid content and Volatile solid content :AOAC 1990)

วิธีทำ

1. อบด้วยระเหยที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่
2. นำถ้วยไปใส่ในเคสซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น (ประมาณ 15-30 นาที)
3. ชั่งน้ำหนักถ้วย (A) แล้วตัดตัวอย่างใส่ลงในถ้วย บันทึกน้ำหนักรวมของถ้วยและตัวอย่าง (B)
4. นำถ้วยไปอบที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่
5. นำถ้วยไปใส่ในเคสซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น (ประมาณ 15-30 นาที)
6. ชั่งน้ำหนักรวมของถ้วยและสารตัวอย่างหลังการอบ (C)
7. นำถ้วยไปอบที่อุณหภูมิ $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 20 นาที
8. นำถ้วยไปใส่ในเคสซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น (ประมาณ 15-30 นาที)
9. ชั่งน้ำหนักรวมของถ้วยและสารตัวอย่างหลังการอบ (D)

การคำนวณ

$$\begin{aligned}\% \text{TSC (ปริมาณของแข็งทั้งหมด)} &= (Y \times 100) / X \\ \% \text{ VC (ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้)} &= ((Y - Z) \times 100) / Y \\ \% \text{ MC (ปริมาณความชื้น)} &= ((Y - X) \times 100) / X \\ \% \text{ FS (ปริมาณของแข็งที่คงอยู่)} &= (Z \times 100) / Y\end{aligned}$$

โดยที่

$$\begin{aligned}X &= \text{น้ำหนักของสารตัวอย่างสด} = B - A \text{ (กรัม)} \\ Y &= \text{น้ำหนักของสารตัวอย่างหลังอบ} = C - A \text{ (กรัม)} \\ Z &= \text{น้ำหนักของสารตัวอย่างหลังเผา} = C - D \text{ (กรัม)}\end{aligned}$$

1.4 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen :AOAC 1990)

การเตรียมสารเคมี

1. Catalyst mixture

ผสม potassium sulfate 30 ส่วน Copper sulfate pentahydrate 4 ส่วนและ Selenium 1 ส่วน ให้เข้ากันเป็นอย่างดี ใช้ประมาณ 0.65 กรัมต่อตัวอย่างสาร 0.1 กรัม

2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulfuric acid)
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% (40% NaOH)

ละลาย NaOH 400 กรัม ในน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตรด้วยน้ำ de-ionized

4. สารละลายอินดิเคเตอร์ผสม (Mix indicator solution)

ละลาย Methyl red indicator 0.066 กรัม และ Bromocresol green 0.099 กรัม ใน ethyl alcohol ปรับเป็นสีเขียวเข้ม (pH ประมาณ 4.2) ด้วย 0.1 N NaOH แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 mL ด้วย ethyl alcohol

5. สารละลายกรดบอริก อินดิเคเตอร์ (Boric indicator solution)

ละลาย H_3BO_3 20 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 900 mL ให้ความร้อนบนเตาให้ความร้อนจนละลายหมด ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

6. สารละลายมาตรฐานไฮโดรคลอริก 0.1 N (0.1 N HCl)

ไปเปิด conc. HCl 8.3 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ด้วยน้ำ de-ionize

วิธีทำ

1. ชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ในหลอดย่อยโปรตีน
2. เติม Catalyst mixture 6.5 กรัม เพื่อเร่งปฏิกิริยาการย่อยซึ่งสารตัวเร่งจะเป็นตัวทำให้จุดเดือดของสารละลายสูงขึ้น และเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นประมาณ 15 mL
3. เตรียม blank โดยใส่เฉพาะกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15 mL และ Catalyst mixture 6.5 กรัมย่อยตัวอย่างด้วยเครื่องย่อยโปรตีนที่อุณหภูมิ $420^{\circ}C$ จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีใส ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. เติมน้ำกลั่น 15 mL และ 40% NaOH 40 mL
5. เตรียม 4% กรดบอริกใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL แล้วรองไว้ใต้ condenser ของเครื่องกลั่นจากนั้นกลั่นตัวอย่างที่ผ่านการย่อยด้วยเครื่องกลั่นโปรตีน
6. เติมอินดิเคเตอร์ลงไปในช่วงรูปชมพู่ที่มีสารละลายที่ผ่านการกลั่น ไตเตรทด้วย 0.1 N HCl จนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรกรด

การคำนวณ

$$\%Total\ N = \frac{[(S - B) \times N \times 14]}{W \times 10}$$

โดยที่

S = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรทสารละลายตัวอย่าง (mL)

B = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรท blank (mL)

N = Normality สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

W = น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)

1.5 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus :AOAC 1990)

การเตรียมสารเคมี

1. ผสม conc. HNO_3 กับ 70% HClO_4 ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปเก็บไว้ในขวดสีชา

2. สารละลายโมลิบโดวานาเตท (Molybdovanadate solution) หรือ Barton's reagent

2.1 ละลาย $\text{NH}_4\text{Molybdate} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 40 กรัมในน้ำกลั่นร้อน 400 mL แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ระหว่างกำลังละลายต้องใช้แท่งแก้วคนเป็นระยะๆ จนกว่าจะละลายหมด

2.2 ละลาย NH_4VO_3 2 กรัมในน้ำกลั่นร้อน 250 mL ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติม 70% HClO_4 450 mL ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้เย็น

2.3 ผสมสารละลายในข้อ 2.1 ลงในสารละลายในข้อ 2.2 ใช้แท่งแก้วคนและเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรจนครบ 2 เก็บไว้ในขวดสีชา ซึ่งจะได้สารละลายสีค่อนข้างเหลืองอ่อน

หมายเหตุ ต้องเติมตามขั้นตอน หากผิดขั้นตอนสารละลายจะเกิดการตกตะกอนไม่สามารถนำไปใช้งานได้

3. สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต

3.1 ละลาย KH_2PO_4 ซึ่งอบที่ 105°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณ 0.4394 กรัม ในขวดวัดปริมาตร 100 mL

3.2 เติมน้ำกลั่นจนครบ สารละลายที่ได้จะมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส 1000 mg/L

3.3 ไปเปิดสารละลายจาก stock solution ความเข้มข้น 1000 mg/L ปริมาตร 10 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 mL เติมน้ำกลั่นจนครบ สารละลายที่ได้จะมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส 100 mg/L

3.4 ไปเปิดสารละลายจาก stock solution ความเข้มข้น 100 mg/L มาครั้งละ 1, 2, 3,...6 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 mL เติมสารละลาย Molybdovanadate ขวดละ 10 mL และใส่ในขวดวัดปริมาตรที่ไม่ได้เติมสารละลายฟอสฟอรัสด้วยเพื่อทำเป็น blank เติมน้ำกลั่นจนครบ 100 mL ทำให้ได้ฟอสฟอรัสที่ความเข้มข้น 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 mg/L

วิธีทำ

1. ชั่งสารตัวอย่างอบแห้ง 1 กรัม (ทศนิยมถูกต้อง 4 ตำแหน่ง) ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL

2. เติมกรดผสมลงไปประมาณ 20 mL แล้วย่อยบนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C ย่อยจนสารละลายมีลักษณะใสเหลืองอยู่ในขวดรูปชมพู่ประมาณ 5-10 mL เอาลงจาก Hot plate ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2-4 ชั่วโมง ตามลักษณะของตัวอย่าง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3. นำสารละลายที่ย่อยสมบูรณ์แล้วใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL การถ่ายต้องทำด้วยระมัดระวัง โดยอาจใช้ขวดรูปชมพู่ ด้วยแท่งโพลิชแมนให้ฟอสเฟตที่ติดอยู่ข้างขวดออกให้หมด เมื่อแน่ใจว่าหมดแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 mL ด้วยน้ำกลั่น

4. ปิเปตสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 3 มา 5 mL ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 mL (ปริมาตรที่ปิเปตสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามปริมาณฟอสเฟตที่มีอยู่ในตัวอย่าง ถ้ามีมากอาจปิเปตน้อยกว่า 5 mL แต่อย่างน้อย ให้ปิเปตมากกว่า 5 mL) แล้วเติมสารละลาย molybdovanadate 5 mL (1/10 ของปริมาตรสุดท้ายที่ทำให้เจือจาง) ปรับปริมาตรให้ได้ 50 mL ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที

5. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 420 nm เทียบกับสารละลายมาตรฐาน โดยให้แสงผ่าน Blank หรือ 0 mg/L 100 % แล้วปรับเป็น 0 เมื่อแสงไม่ผ่าน โดยอ่านเป็นค่าเปอร์เซ็นต์การดูดกลืนแสง (Abs)

6. อ่านค่าของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 0, 1, 2, 3...6 mg/L ทำการวาดกราฟโดยให้แกนตั้งเป็นค่าการดูดกลืนแสง (Abs) และแกนนอนเป็นค่าของความเข้มข้น (mg/L) แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างมาอ่านค่าของความเข้มข้นจากกราฟ

2. การวิเคราะห์ธาตุอาหารรอง (Minor Elements in Fertilizers)

วิเคราะห์ธาตุ โพแทสเซียม แมกนีเซียม และ สังกะสีโดยใช้เทคนิค Flame Atomic Absorption Spectrophotometry (FAAS) ตามวิธีของ AOAC (1990)

2.1 การวิเคราะห์ธาตุ โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี

การเตรียมสารเคมี

1. กรดผสม

ผสม conc. HNO_3 กับ 70% HClO_4 ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตรผสมให้เข้ากันแล้วเก็บในขวดสีชา

2. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (Potassium standard solution)

2.1) ชั่ง KCl ซึ่งอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ปริมาณ 0.1583 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL จะได้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมความเข้มข้น 1000 mg/L

2.2) ปิเปตสารละลายจากสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 1000 mg/L จำนวน 10 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 mL เติมน้ำกลั่น สารละลายที่ได้มีความเข้มข้นของโพแทสเซียม 100 mg/L

2.3) เตรียมสารละลายจากสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเพื่อทำ calibration curve โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 100 mg/L ปริมาณ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 mL เติมน้ำกลั่นจนครบ 100 mL จะได้สารละลายโพแทสเซียมความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 mg/L ตามลำดับ

3. สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม

3.1) ปิเปต stock standard ของแมกนีเซียมความเข้มข้น 1000 mg/L มาปริมาตร 10 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL จะได้สารละลายมาตรฐาน แมกนีเซียม ความเข้มข้น 100 mg/L

3.2) เตรียมสารละลายจากสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียมเพื่อทำ calibration curve โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม 100 mg/L ปริมาณ 0, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 mL เติมน้ำกลั่นจนครบ 100 mL ทำให้ได้สารละลายแมกนีเซียมความเข้มข้น 0.0, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 mg/L ตามลำดับ

4. สารละลายมาตรฐานสังกะสี

4.1 ปิเปต stock standard ของสังกะสีความเข้มข้น 1000 mg/L ปริมาตร 10 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตร 100 mL ได้สารละลายมาตรฐานสังกะสีความเข้มข้น 100 mg/L

4.2 เตรียมสารละลายจากสารละลายมาตรฐานสังกะสีเพื่อทำ calibration curve โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสี 100 mg/L ปริมาณ 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 mL เติมน้ำกลั่นจนครบ 100 mL จะได้สารละลายสังกะสีความเข้มข้น 0, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 mg/L ตามลำดับ

วิธีทำ

1. ชั่งสารตัวอย่างอบแห้ง 1 กรัม (ทศนิยมถูกต้อง 4 ตำแหน่ง) กรณีน้ำสกัดจากการจีแป้งให้ปิเปตมา 20 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL

2. เติมกรดผสมลงไปประมาณ 20 mL แล้วย่อยบนเตาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 220°C ย่อยจนสารละลายมีลักษณะใสเหลืออยู่ในขวดรูปชมพู่ประมาณ 5-10 mL ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2-4 ชั่วโมง ตามลักษณะของตัวอย่าง ดังทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3. นำสารละลายที่ย่อยสมบูรณ์แล้วใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL ปรับปริมาตรให้ได้ 100 mL ด้วยน้ำกลั่น

4. ปิเปตสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 3 มา 5 mL ลงในขวดวัดปริมาตรในขนาด 50 mL (ปริมาตรที่ปิเปตมาสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามปริมาณโลหะหนักในตัวอย่าง ถ้ามีมากอาจปิเปตน้อยกว่า 5 mL แต่ถ้าน้อย ปิเปตสารมากกว่า 5 mL) ปรับปริมาตรให้ได้ 50 mL

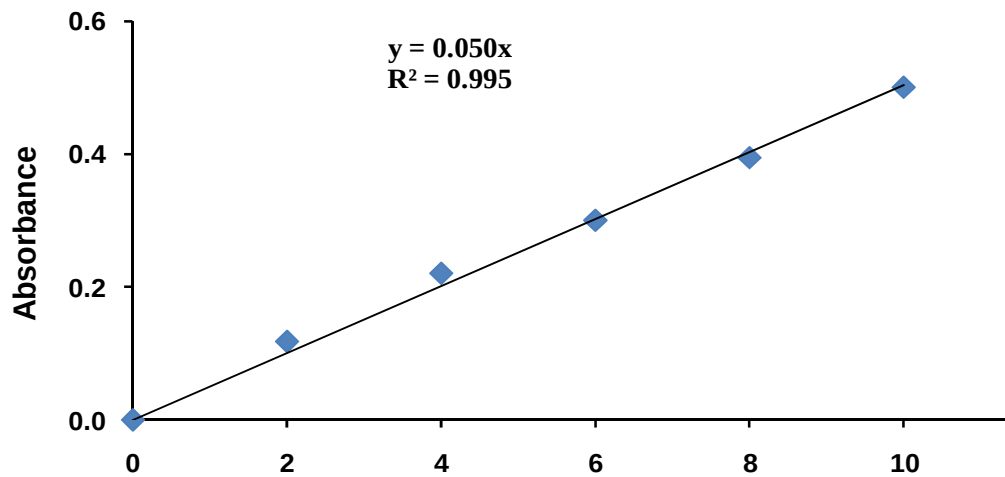
5. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง FAAS ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ตามความเหมาะสมของธาตุแต่ละตัว โดยที่

- โพแทสเซียม วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 766.5 nm
- แมกนีเซียม วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 285.2 nm
- สังกะสี วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 213.9 nm

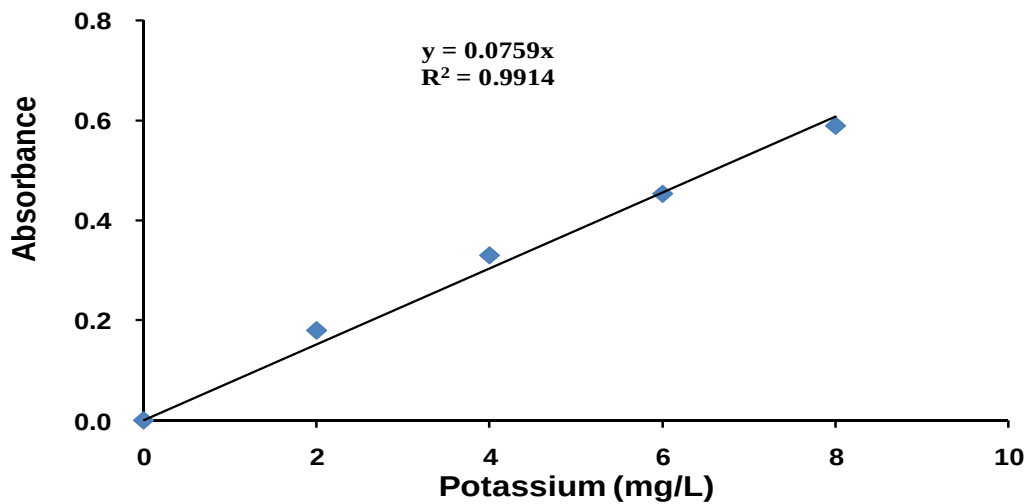
ภาคผนวก 2

ลักษณะกราฟมาตรฐาน

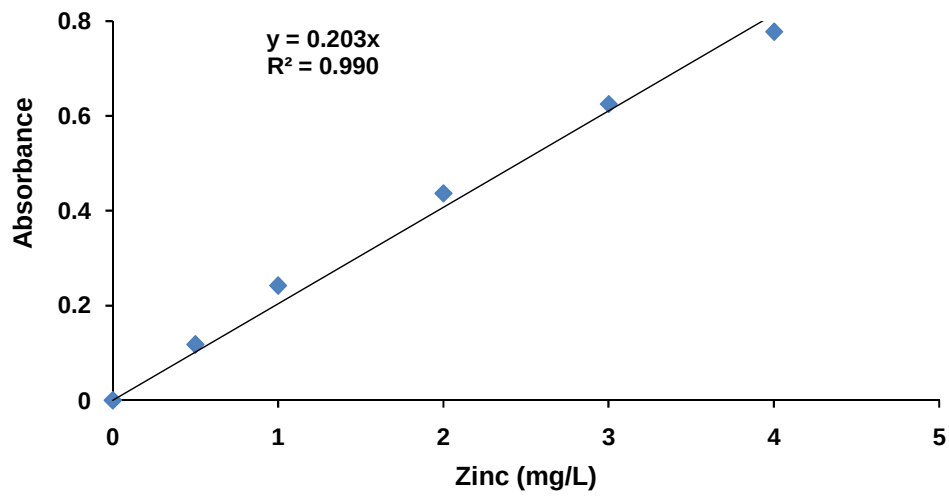
การวิเคราะห์ปริมาณของฟอสฟอรัส โพแทสเซียม สังกะสี และ แมกนีเซียม



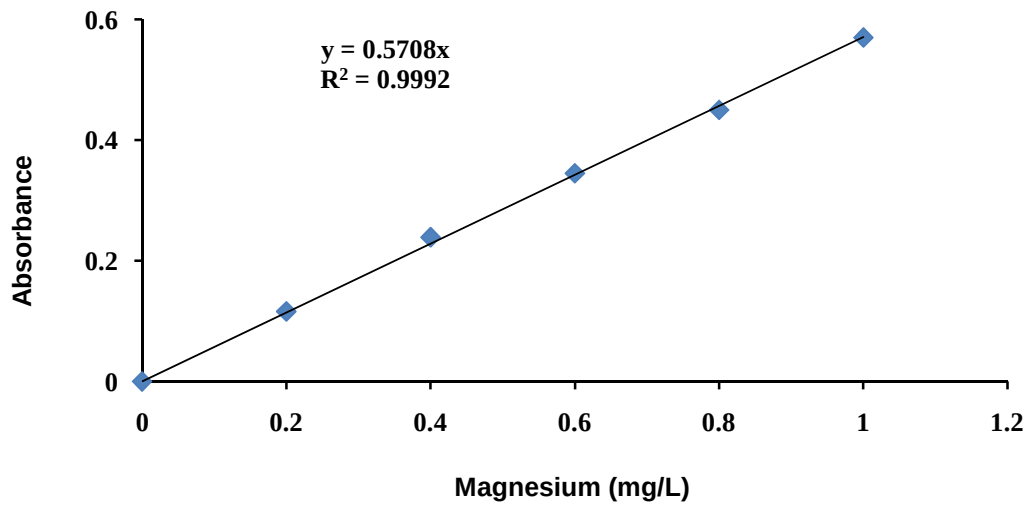
รูปที่ 1 กราฟมาตรฐานของฟอสฟอรัส วิเคราะห์โดยเครื่อง UV – Visible spectrophotometer



รูปที่ 2 กราฟมาตรฐานของโพแทสเซียม วิเคราะห์โดย Flame Atomic Absorption Spectrophotometer



รูปที่ 3 กราฟมาตรฐานของสังกะสี วิเคราะห์โดย Flame Atomic Absorption Spectrophotometer



รูปที่ 4 กราฟมาตรฐานของแมกนีเซียม วิเคราะห์โดย Flame Atomic Absorption Spectrophotometer

ภาคผนวก 3

การวิเคราะห์จุลินทรีย์

1. การเจือจางตัวอย่างอาหาร

การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ด้วยวิธีการต่างๆ ต้องทำการเจือจางตัวอย่างลงไปจนถึงระดับที่ทำให้การตรวจวัดได้ โดยต้องเขย่าให้ตัวอย่างอาหารกระจายอยู่ในน้ำยาสำหรับเจือจางอย่างทั่วถึงเป็นเนื้อเดียวกัน

การเจือจางตัวอย่างอาหารโดยทั่วไป นิยมทำให้ตัวอย่างอาหารเจือจาง 1:10 เท่า

- ตัวอย่างอาหารที่เป็นของแข็ง ซึ่งอาหาร 10 กรัม ใส่ในขวดซึ่งมีน้ำยาสำหรับเจือจาง 9 mL ได้ตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจาง 1:10
- ไปเปิดตัวอย่างอาหารที่มีความเจือจาง 1:10 จำนวน 1 mL ใส่ในขวดซึ่งมีน้ำยาสำหรับเจือจาง 9 mL เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าไฟฟ้า จะได้ตัวอย่างที่มีความเจือจาง 1:100 (10^{-2}) เตรียมตัวอย่างเจือจาง 1:1000 (10^{-3}), 1:10000 (10^{-4}) และอื่นๆ ตามลำดับ โดยวิธีเดียวกัน

2. การตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์โดยการนับจุลินทรีย์ที่มีชีวิตในจานอาหาร (Viable plate count)

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ด้วยวิธี Viable plate count เป็นการนับจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต และสามารถเพิ่มจำนวนโคโลนีบนอาหารรุ่นได้ โดยตัวอย่างที่ทำการตรวจนับต้องมีความเจือจางที่เหมาะสม คือ มีจำนวนโคโลนี 30-300 โคโลนีต่อจานเพาะเชื้อ

การตรวจวิเคราะห์จำนวนโดยวิธีการเขย่าจาน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. หลอมอาหารเพาะเชื้อให้ละลายแล้วทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 50°C เตรียมตัวอย่างอาหารให้เจือจางตามความต้องการ 3 ระดับความเจือจาง
2. ใช้ไปเปิดจุดแต่ละความเจือจางโดยเริ่มจากตัวอย่างที่เจือจางมากที่สุดก่อน ใส่ในจานเพาะเชื้อจานละ 1 mL แต่ละระดับความเจือจางควรทำอย่างน้อย 2 จาน เทอาหารเลี้ยงเชื้อลงในจานประมาณ 15-20 mL เขย่าจาน โดยหมุนไปทางซ้ายและขวา 3-4 ครั้ง ตั้งทิ้งไว้จนอุ่นแข็งตัว
3. บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
4. นับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งบนผิวหน้าและที่ฝังในอาหารเลี้ยงเชื้อ
5. รายงานผลการตรวจนับจุลินทรีย์ต่อกรัมหรือมิลลิลิตรของตัวอย่างอาหาร

3. การแยกแบคทีเรียที่ต้องการ (pure culture) ออกจากแบคทีเรียที่ปนกัน โดยวิธีการ Streak plate

วิธีแยก pure culture ทำได้ 2 แบบ คือ การเลี้ยงเชื้อในอาหารเหลว และการเลี้ยงเชื้อในอาหารแข็ง

วิธีการ Streak plate เป็นวิธีการที่ง่าย และได้ผลดีมาก มีขั้นตอน ดังนี้

1. ใช้เข็มเย็บเชื้อที่ทนไฟฆ่าเชื้อแล้ว ตักเชื้อมาจิด Streak บนจานอาหาร โดยจิดไปมาในแนวที่ขนานกัน และมาทับรอยกัน
2. เพาะเชื้อไว้ในตู้บ่มเชื้อ 35°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แบคทีเรียจะแบ่งตัวตามรอยจิด โดยรอยจิดในตอนแรกจะมีแบคทีเรียอยู่หนาแน่น ส่วนรอยจิดในตอนท้ายมีแบคทีเรียอยู่น้อย แต่ละโคโลนีจะอยู่แยกกัน
3. ใช้เข็มเย็บเชื้อที่ทนไฟฆ่าเชื้อแล้ว เย็บเชื้อจากโคโลนีเดียว และนำไปเพาะเลี้ยงในจานอาหารใหม่ ด้วยวิธีการ Streak plate เพื่อให้แน่ใจว่าได้เชื้อชนิดเดียวแล้ว เย็บเชื้อจากโคโลนีที่ได้ไปเก็บไว้เป็น pure culture ในอาหารที่เหมาะสม

4. จำนวนจุลินทรีย์

เชื้อที่คัดเลือกบนจานอาหาร (streak plate) สองชนิด คือ เชื้อแบคทีเรียใช้อาหาร NA ส่วนเชื้อยีสต์และเชื้อราใช้อาหาร PDA

จำนวนจุลินทรีย์ (log CFU/mL) ที่ตรวจพบใน EM ขยายส่วน ในระหว่างการหมักของชุดทดลอง และชุดควบคุมทั้งในระบบเปิด และระบบปิด ดังแสดงในตารางที่ 1-5

ตารางที่ 1 จำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน (log CFU/mL) ในอาหาร PDA และ NA ที่เวลาต่างๆ

เวลา (วัน)	log CFU/mL	
	PDA	NA
1	6.44 ± 0.03	9.34 ± 0.06
3	8.31 ± 0.05	12.42 ± 0.03
5	12.28 ± 0.05	14.12 ± 0.07
7	14.05 ± 0.05	14.24 ± 0.05
9	14.07 ± 0.08	14.40 ± 0.06

ตารางที่ 2 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดระหว่างการหมักที่เวลาต่างๆ ของชุดทดลองในระบบเปิดบนอาหาร NA และอาหาร PDA

S:O:EM	CFU/mL ($\times 10^{12}$)									
	วันที่ 5		วันที่ 10		วันที่ 15		วันที่ 20		วันที่ 24	
	NA	PDA	NA	PDA	NA	PDA	NA	PDA	NA	PDA
3:1:1	4.93±0.47	4.20±0.87	6.40±0.92	7.13±0.42	14.60±0.64	11.50±0.90	13.70±0.46	8.43±0.47	12.70±0.71	7.13±0.31
3:2:1	7.83±0.81	5.77±0.38	17.30±0.57	9.13±0.60	21.50±1.12	15.10±0.30	21.10±0.75	11.60±0.56	19.00±0.31	10.00±0.11
4:1:1	3.43±0.42	3.47±0.31	4.70±0.56	5.73±0.90	12.50±0.82	10.50±0.61	11.20±0.40	7.33±0.25	10.30±0.46	5.30±0.62
4:2:1	5.23±0.60	4.60±0.62	14.00±0.52	7.53±0.55	17.70±1.20	14.00±0.45	16.70±0.56	12.80±0.40	16.90±0.20	9.70±0.26
4:3:1	5.30±0.60	4.67±0.72	16.30±0.66	8.03±0.40	24.80±0.81	14.50±0.42	23.70±0.50	13.40±0.62	21.30±0.57	11.20±0.70

ตารางที่ 3 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในการหมักที่เวลาต่างๆ ของชุดทดลองในระบบปิด บนอาหาร NA และอาหาร PDA

S:O:EM	CFU/mL ($\times 10^{12}$)									
	วันที่ 5		วันที่ 10		วันที่ 15		วันที่ 20		วันที่ 24	
	NA	PDA	NA	PDA	NA	PDA	NA	PDA	NA	PDA
3:1:1	16.50±0.60	12.10±0.82	14.70±0.92	14.30±0.47	9.80±0.12	8.20±0.60	5.33±0.91	4.50±0.66	2.46±0.70	2.42±0.42
3:2:1	20.20±0.85	18.80±0.51	18.10±0.35	18.50±0.70	13.50±0.13	14.00±0.32	10.40±0.61	6.30±0.11	4.63±0.55	4.47±0.60
4:1:1	15.40±0.65	13.50±0.60	13.40±0.89	12.30±0.50	7.63±0.75	6.67±0.61	5.37±0.95	3.83±0.25	2.72±0.13	2.47±0.75
4:2:1	19.30±0.93	16.70±0.61	17.20±0.75	15.50±0.82	9.67±0.13	11.80±0.56	6.27±0.96	5.90±0.11	4.00±0.46	3.67±0.15
4:3:1	17.80±0.56	17.00±0.74	15.70±0.56	16.40±0.78	8.03±0.96	7.76±0.61	5.33±0.87	4.47±0.99	2.63±0.57	2.37±0.71

ตารางที่ 4 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของชุดทดลองกลุ่มควบคุมในระบบเปิดบนอาหาร NA และอาหาร PDA

S:O:EM	CFU/mL ($\times 10^{12}$)									
	วันที่ 5		วันที่ 10		วันที่ 15		วันที่ 20		วันที่ 24	
	NA	PDA	NA	PDA	NA	PDA	NA	PDA	NA	PDA
3:1:1	4.20±0.40	3.70±0.95	6.20±0.46	5.73±0.75	8.43±0.72	6.83±0.31	13.70±0.60	12.80±0.30	15.60±0.71	14.60±0.45
3:2:1	5.07±0.25	4.50±0.30	7.03±0.38	7.51±0.35	8.87±0.86	8.20±0.60	15.30±0.90	15.30±0.45	16.70±0.56	16.20±0.46
4:1:1	3.87±0.31	3.20±0.26	4.30±0.40	4.13±0.31	5.50±0.60	4.73±0.40	9.50±0.26	7.23±0.72	12.20±0.42	10.40±0.40
4:2:1	4.53±0.32	3.67±0.50	5.60±0.62	5.40±0.36	7.60±0.60	7.03±0.40	13.90±0.55	12.70±0.42	14.70±0.50	14.30±0.78
4:3:1	4.97±0.32	4.23±0.47	6.77±0.35	5.77±0.65	8.73±0.35	6.9±0.20	14.20±0.55	14.60±0.38	15.70±0.95	15.10±0.46

ตารางที่ 5 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของชุดทดลองกลุ่มควบคุมในระบบปิดบนอาหาร NA และอาหาร PDA

S:O:EM	CFU/mL ($\times 10^{12}$)									
	วันที่ 5		วันที่ 10		วันที่ 15		วันที่ 20		วันที่ 24	
	NA	PDA	NA	PDA	NA	PDA	NA	PDA	NA	PDA
3:1:1	3.87±0.25	3.77±0.40	2.86±0.62	2.80±0.32	2.61±0.66	2.66±0.62	2.47±0.40	2.43±0.45	2.37±0.74	2.32±0.56
3:2:1	4.93±0.47	4.23±0.72	2.89±0.66	2.87±0.71	2.83±0.46	2.73±0.42	2.70±0.30	2.66±0.50	2.65±0.21	2.53±0.47
4:1:1	3.63±0.15	3.50±0.40	2.67±0.46	2.59±0.50	2.48±0.72	2.50±0.26	2.37±0.46	2.35±0.66	2.28±0.75	2.09±0.90
4:2:1	4.40±0.53	4.40±0.50	2.78±0.87	2.68±0.35	2.61±0.75	2.62±0.50	2.50±0.60	2.43±0.45	2.41±0.50	2.28±0.85
4:3:1	4.43±0.50	4.43±0.51	2.82±0.75	2.79±0.35	2.73±0.67	2.70±0.53	2.58±0.80	2.57±0.49	2.47±0.40	2.44±0.67

ภาคผนวก 4

ใบรายงานการทดสอบกลิ่นกากขี้เป้ง
การให้คะแนนการสดกลิ่นกากขี้เป้งโดยใช้จุลินทรีย์ EM

ผลิตภัณฑ์ กากขี้เป้งที่ผ่านการหมัก

วันที่..... เวลา.....

คำแนะนำ กรุณาจดตัวอย่างที่กำหนดให้แล้วให้คะแนนที่ใกล้เคียงกับความรู้สึมากที่สุด
โดยกำหนดให้ มีระดับการให้คะแนน ดังนี้

ระดับคะแนน 1 มีกลิ่นน้อยมาก

ระดับคะแนน 2 มีกลิ่นน้อย

ระดับคะแนน 3 มีกลิ่นปานกลาง

ระดับคะแนน 4 มีกลิ่นแรง

ระดับคะแนน 5 มีกลิ่นแรงมาก

สูตรอาหาร	ระดับกลิ่น
1	
2	
3	
4	
5	
6	

ข้อเสนอแนะ

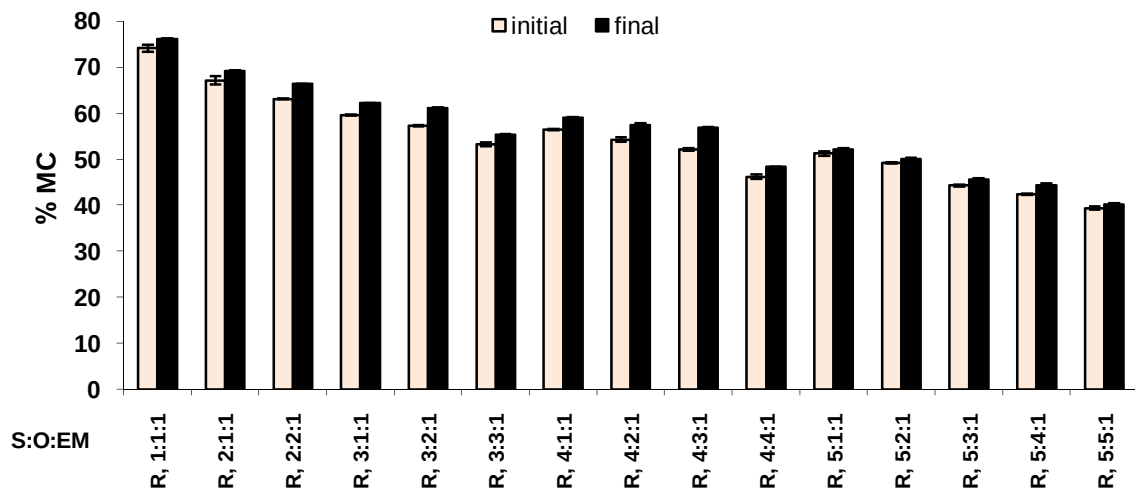
.....

ภาคผนวก 5

การหมักเบื้องต้น

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการแปรสภาพกากชี้เป้งโดยการหมักด้วยจุลินทรีย์ EM ขยายส่วนและกากอินทรีย์ผสม โดยใช้อัตราส่วนระหว่างกากชี้เป้ง กากอินทรีย์ผสม และ EM ขยายส่วน ดังนี้ 1:1:1, 2:1:1, 2:2:1, 3:1:1, 3:2:1, 3:3:1, 4:1:1, 4:2:1, 4:3:1, 4:4:1, 5:1:1, 5:2:1, 5:3:1, 5:4:1 และ 5:5:1 v/v ทำการหมัก 14 วัน วัดปริมาณความชื้นก่อนและหลังการทดลอง

อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการหมักเพื่อเตรียมสารปรับปรุงดิน คืออัตราส่วนที่เตรียมได้จากการใช้อัตราส่วนกากชี้เป้ง: กากอินทรีย์ผสม : EM 5 ชุด คือ 3:1:1, 3:2:1, 4:1:1, 4:2:1 และ 4:3:1 โดยปริมาตร ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีความชื้น 50-60% ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์เหมาะสม ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปริมาณความชื้น (%MC) ของอัตราส่วนต่างๆที่ทำการหมักเป็นเวลา 14 วัน (ระบบเปิด)

ภาคผนวก 6

การศึกษาอัตราส่วนของสารบำรุงดินที่เหมาะสมต่อการปลูกเบื้องต้น

นำสารบำรุงดินที่ได้จากการหมักระหว่างกากขี้เถ้า : กากอินทรีย์ผสม : EM 5 ชุด คือ 3:1:1, 3:2:1, 4:1:1, 4:2:1 และ 4:3:1 โดยปริมาตร ในระบบเปิด มาผสมกับดินโดยใช้อัตราส่วนของ สารบำรุงดิน : ดิน ดังนี้ 3:1, 2:1, 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 โดยปริมาตร ปรับให้มีให้มีปริมาตรรวมเท่ากับ 2 ลิตร จากนั้นปลูกต้นทานตะวัน *Heliaths annus* L. พันธุ์ Sun-smile ชุดการทดลองละ 10 ต้น เป็นระยะเวลา 10 วัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 โดยพบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนของสารบำรุงดิน: ดิน ในอัตราส่วน 1:2, 1:4 และ 1:6 ทำให้ต้นทานตะวันรอดชีวิตได้เป็นเวลา 10 วัน โดยมีร้อยละการรอดชีวิตในช่วง 95-100 ดังนั้นในการทดลองเมื่อทำการปลูกจริงจึงเลือกสารบำรุงดิน: ดิน 3 อัตราส่วน คือใช้สารบำรุงดิน: ดิน 1:2, 1:3 และ 1:4 โดยปริมาตร

ตารางที่ 1 จำนวนทานตะวันที่รอดชีวิต ณ เวลาต่างๆ โดยใช้สารบำรุงดินและดินในอัตราส่วนต่างๆ

สารบำรุงดิน S:O:EM	สารบำรุงดิน : ดิน	จำนวนต้นที่รอดชีวิตเวลา (วัน) ต่างๆ		
		1	5	10
3:1:1	3:1	4	0	0
	2:1	5	1	0
	1:1	5	2	0
	1:2	10	10	9
	1:4	10	10	10
	1:6	10	10	10
3:2:1	3:1	3	1	0
	2:1	5	1	0
	1:1	4	0	0
	1:2	10	10	10
	1:4	10	10	10
	1:6	10	10	10
4:1:1	3:1	3	0	0
	2:1	4	2	0
	1:1	4	3	0
	1:2	10	10	8
	1:4	10	10	10
	1:6	10	10	10

ตารางที่ 1 (ต่อ)

สารบำรุงดิน S:O:EM	สารบำรุงดิน : ดิน	จำนวนต้นที่รอดชีวิตเวลา (วัน) ต่างๆ		
		1	5	10
4:2:1	3:1	3	2	0
	2:1	4	2	0
	1:1	5	2	0
	1:2	10	10	10
	1:4	10	10	10
	1:6	10	10	10
4:3:1	3:1	5	0	0
	2:1	4	3	0
	1:1	5	3	0
	1:2	10	10	10
	1:4	10	10	10
	1:6	10	10	10
	control	10	10	10