

บทที่ 4

ผลการทดลอง

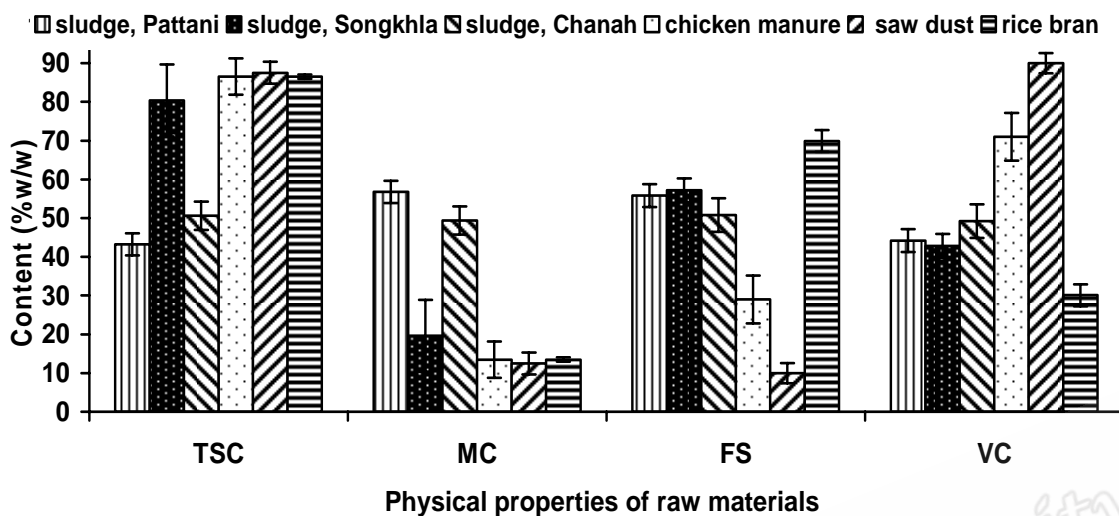
4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกากซีเป้งและกากอินทรีย์

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีเบื้องต้นของตัวอย่างกากซีเป้งจากตัวแทนโรงงานน้ำตาลชั้น 3 โรงงาน คือ บริษัทถาวรอุตสาหกรรมจำกัด จังหวัดสงขลา บริษัทจะนะอุตสาหกรรมน้ำตาลชั้นจำกัด จังหวัดสงขลา บริษัทปัตตานีอุตสาหกรรมจำกัด จังหวัดปัตตานีเพื่อหาความแปรปรวนของกากซีเป้ง และเปรียบเทียบกับสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกากอินทรีย์เหลือใช้ทางการเกษตร 3 ชนิด ได้แก่ มูลไก่ ขี้เลื่อย และรำข้าว โดยทำการวัดค่าพีเอช (pH) ความหนาแน่น ความชื้น (Moisture content, MC) ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content, TSC) ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (Volatile solid content, VC) และปริมาณของแข็งที่คงอยู่ (Fixed solid content, FS) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของตัวอย่างกากซีเป้งและกากอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

| ตัวอย่าง | พีเอช (pH) | ความหนาแน่น (g/mL) | ของแข็ง ทั้งหมด (%) | ความชื้น (%) | ของแข็งที่ คงอยู่ (%) | ของแข็งที่ ระเหยได้ (%) |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| กากซีเป้ง (S) | | | | | | |
| จ. ปัตตานี | 9.36 ± 0.07 ^b | 1.02 ± 0.01 ^c | 43.23 ± 2.84 ^b | 56.77 ± 2.84 ^a | 55.80 ± 2.96 ^b | 44.20 ± 2.96 ^c |
| จ. สงขลา | 7.27 ± 0.05 ^c | 1.10 ± 0.02 ^b | 80.40 ± 9.27 ^a | 19.60 ± 9.27 ^b | 57.19 ± 3.09 ^b | 42.81 ± 3.09 ^c |
| อ. จะนะ | 9.63 ± 0.13 ^a | 1.26 ± 0.01 ^a | 50.59 ± 3.66 ^b | 49.41 ± 3.66 ^a | 49.24 ± 4.33 ^b | 50.76 ± 4.33 ^c |
| กากอินทรีย์ | | | | | | |
| มูลไก่ (CM) | 5.58 ± 0.04 ^f | 1.25 ± 0.02 ^a | 86.55 ± 4.70 ^a | 13.45 ± 4.70 ^b | 28.99 ± 6.14 ^c | 71.01 ± 6.14 ^b |
| ขี้เลื่อย (saw dust) | 5.82 ± 0.04 ^e | 0.95 ± 0.06 ^d | 87.53 ± 2.83 ^a | 12.47 ± 2.83 ^b | 9.99 ± 2.60 ^d | 90.01 ± 2.60 ^a |
| รำข้าว (rice bran) | 6.26 ± 0.03 ^d | 1.12 ± 0.01 ^b | 86.51 ± 0.57 ^a | 13.49 ± 0.5 ^b | 69.89 ± 2.83 ^a | 30.11 ± 2.83 ^d |

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



รูปที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพของกากขี้เป้งจากแหล่งต่างๆ และกากอินทรีย์ 3 ชนิด

ค่าพีเอช

ค่าพีเอชของกากขี้เป้งจาก 3 แหล่ง พบว่าอยู่ในช่วง กลาง – เบส คือ 7.27-9.63 ซึ่งค่าพีเอชจากทั้งสามโรงงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4.1) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ วิภาพรรณ (2550) มีค่ากรดเบสอยู่ในช่วงเป็นเบส คือ 9.02-9.94 และการศึกษาของเสาวนีย์และคณะ (2547) พบว่ามีค่าพีเอชอยู่ในช่วงเป็นกลาง คือ 7.38-7.74 ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตน้ำยางชั้นมีการเติมแอมโมเนีย หลังทำการปั่นเหวี่ยงกากขี้เป้งที่แยกตัวออกมาจึงมีความเป็นเบส แต่แอมโมเนียที่เติมลงไปสามารถระเหยออกได้ ทำให้มีพีเอชลดลงได้บ้าง ส่วนมูลไก่ ขี้เลื่อย และรำข้าวมีค่าพีเอชอยู่ในช่วงกรดโดยมีค่าเท่ากับ 5.58, 5.82 และ 6.26 ตามลำดับ

ความหนาแน่น

น้ำยางสดโดยทั่วไปมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.97-0.98 g/mL ส่วนอนุภาคยางมีความหนาแน่น 0.92 g/mL (เสาวนีย์, 2543) เมื่อทำการเซนตริฟิวส์ด้วยความเร็ว 2000 รอบ/นาที ทำให้สามารถแยกส่วนของอนุภาคยาง เซรุ่มและกากขี้เป้งแยกออกจากกัน จะเห็นว่าความหนาแน่นของกากขี้เป้งจาก 3 แหล่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คือ อยู่ในช่วง 1.02-1.26 g/mL ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในน้ำยาง เช่น เรซิน โลหะหนัก แป้ง โปรตีน ไขมัน และสารเคมีที่เติมลงไปก่อนนำน้ำยางมาผลิตเป็นน้ำยางชั้น เช่น NH_3 , TMTD, ZnO และ DAHP เมื่อทำการเซนตริฟิวส์ส่วนประกอบของกากขี้เป้งจะมีลักษณะเป็นโคลนตมสีเหลืองขาวหรือสีขาวอมเทา

ซึ่งเป็นสารพวกแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และซีลีเนียมทำให้กากซีเป็งมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำยางประมาณร้อยละ 12-12.5 ส่วนมูลไก่และรำข้าวมีความหนาแน่น 1.25 และ 1.12 g/mL ตามลำดับ ซึ่งมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับกากซีเป็ง สำหรับซีลีเนียมจากต้นยางพารามีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ คาร์บอนส่วนธาตุอาหารชนิดอื่นมีน้อยมากจึงมีความหนาแน่นต่ำ (0.95 g/mL)

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC) และความชื้น (MC)

ตัวอย่างกากซีเป็งจาก 3 โรงงาน มีของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 43.23-80.40 และความชื้นร้อยละ 19.60-56.77 ของแข็งส่วนใหญ่ประกอบด้วยฟอสฟอรัสและแมกนีเซียมซึ่งส่วนใหญ่มาจากการเติมสาร DAHP เพื่อตกตะกอนไอออนแมกนีเซียมในน้ำยาง นอกจากนี้ยังประกอบด้วย แป้ง โปรตีนและไขมัน (เสาวนีย์และคณะ, 2547) จะเห็นว่าความชื้นในกากซีเป็งมีปริมาณสูง เนื่องจากตัวอย่างกากซีเป็งที่นำมาวิเคราะห์เป็นกากซีเป็งที่ได้จากกระบวนการเซ็นตริฟิวจ์ทันที จึงมีปริมาณน้ำและแอมโมเนียที่เหลืออยู่ในกากซีเป็งสูง ทำให้มีปริมาณความชื้นสูง โดยพบว่ากากซีเป็งจากปัตตานีและจะนะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำ (ร้อยละ 43.23-50.59) และมีความชื้นสูง (ร้อยละ 49.41 - 56.77) ซึ่งจากการศึกษาของกัญญาและอุบล (2549) พบว่าในกากซีเป็งมีของแข็งทั้งหมด 56.1 - 58.5 ส่วนการศึกษาของวิภาพรรณ (2550) พบว่ากากซีเป็งมีของแข็งทั้งหมด และความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 35.83-36.82 และ 62.19-64.23 เนื่องจากกากซีเป็งเก็บมาจากระบบการผลิตในโรงงานน้ำยางข้นทำให้มีความชื้นสูง ส่วนมูลไก่ ซีลีเนียม และรำข้าวมีของแข็งทั้งหมดและความชื้นในปริมาณใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 86.51-87.53 และ 12.47-13.49 ตามลำดับ) เนื่องจากตัวอย่างมูลไก่ ซีลีเนียม และรำข้าวที่ใช้เป็นตัวอย่างแห้งความชื้นจึงมีน้อย ปริมาณของแข็งทั้งหมดแบ่งออกเป็นของแข็งที่ระเหยได้และของแข็งที่คงอยู่

ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ (FS) และของแข็งที่ระเหยได้ (VC)

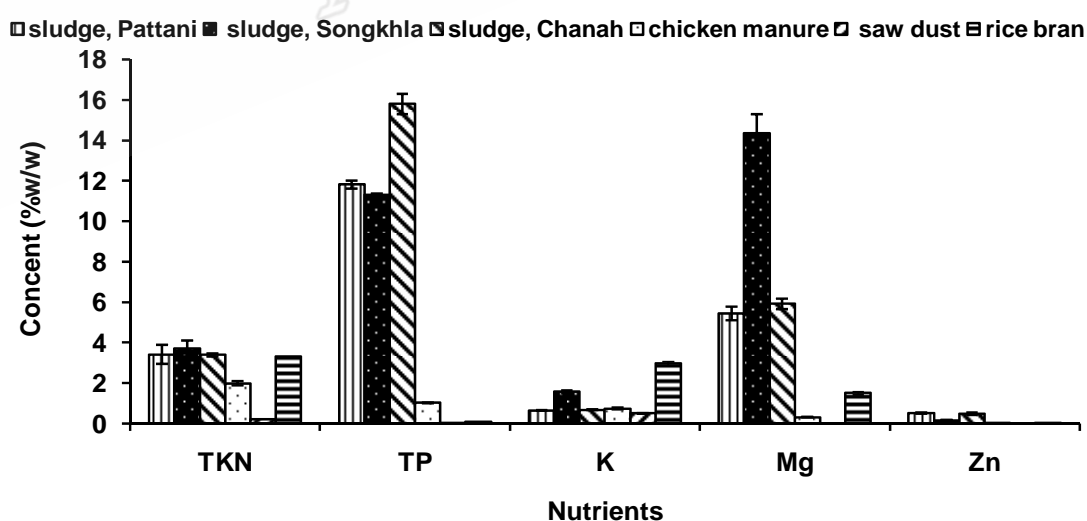
ปริมาณของแข็งที่คงอยู่ในกากซีเป็งส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารพวกซีลีเนียม และโลหะหนักที่เหลือจากการเผาที่อุณหภูมิ $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$ ส่วนสารอินทรีย์อื่นที่มีอยู่ เช่น คาร์บอนจะเกิดการระเหยออกไป โดยกากซีเป็งมีปริมาณของแข็งที่คงอยู่และของแข็งที่ระเหยได้ใกล้เคียงกัน สำหรับมูลไก่ และซีลีเนียมมีปริมาณของแข็งที่คงอยู่น้อยและมีของแข็งที่ระเหยได้สูง โดยซีลีเนียมมีปริมาณของแข็งที่คงอยู่ร้อยละ 10 และมีปริมาณของแข็งที่ระเหยได้สูงสุดประมาณร้อยละ 90 ทั้งนี้เนื่องจากซีลีเนียมประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลังการเผาไหม้แล้วสามารถระเหยออกไปได้น้อย ส่วนรำข้าวมีปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ร้อยละ 30 และของแข็งที่คงอยู่ร้อยละ 70

ปริมาณธาตุอาหารในตัวอย่าง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุต่างๆ ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม สังกะสี และแมกนีเซียม ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียม และสังกะสี ของตัวอย่างกากขี้เป้งจากแหล่งต่างๆ และกากอินทรีย์ 3 ชนิด

| ตัวอย่าง | ปริมาณธาตุอาหาร (%โดยน้ำหนัก) | | | | |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | ไนโตรเจน (TKN) | ฟอสฟอรัส (TP) | โพแทสเซียม (K) | แมกนีเซียม (Mg) | สังกะสี (Zn) |
| กากขี้เป้ง (S) | | | | | |
| จ. ปัตตานี | 3.40 ± 0.47 ^a | 11.81 ± 0.21 ^b | 0.64 ± 0.01 ^c | 5.44 ± 0.34 ^b | 0.51 ± 0.03 ^a |
| จ. สงขลา | 3.71 ± 0.40 ^a | 11.32 ± 0.05 ^b | 1.56 ± 0.08 ^b | 14.34 ± 0.95 ^a | 0.16 ± 0.01 ^b |
| อ. ฉะนะ | 3.38 ± 0.07 ^a | 15.79 ± 0.50 ^a | 0.67 ± 0.01 ^c | 5.91 ± 0.26 ^b | 0.48 ± 0.05 ^a |
| กากอินทรีย์ | | | | | |
| มูลไก่ (CM) | 1.98 ± 0.11 ^b | 1.02 ± 0.01 ^c | 0.73 ± 0.04 ^c | 0.30 ± 0.01 ^d | 0.023 ± 0.001 ^c |
| ขี้เลื่อย (saw dust) | 0.21 ± 0.003 ^c | 0.03 ± 0.001 ^d | 0.49 ± 0.01 ^d | 0.002 ± 0.001 ^d | 0.004 ± 0.001 ^c |
| รำข้าว (rice bran) | 3.30 ± 0.01 ^a | 0.09 ± 0.01 ^d | 2.96 ± 0.10 ^a | 1.49 ± 0.09 ^c | 0.020 ± 0.001 ^c |



รูปที่ 4.2 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) และสังกะสี (Zn) ของตัวอย่างกากขี้เป้งจากแหล่งต่างๆ และกากอินทรีย์ 3 ชนิด

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างกากขี้เถ้าจากโรงงานน้ำยางข้นจังหวัดปัตตานีและจังหวัดสงขลามีปริมาณ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมใกล้เคียงกัน โดยกากขี้เถ้ามีฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คืออยู่ในช่วงร้อยละ 11.32-15.79 ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ได้มาจากการเติม DAHP (diammonium hydrogen phosphate) เพื่อตกตะกอนโลหะแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางสดก่อนที่จะนำมาผลิตเป็นน้ำยางข้น ในกากขี้เถ้าจากแต่ละโรงงานมีไนโตรเจนทั้งหมดไม่แตกต่างกันคือร้อยละ 3.40 -3.71 โดยน้ำหนัก ไนโตรเจนในกากขี้เถ้าส่วนใหญ่ได้มาจากส่วนของโปรตีนบนอนุภาคของยาง และขั้นตอนการเตรียมน้ำยางข้นมีการเติมแอมโมเนียลงไป ส่วนโพแทสเซียมในตัวอย่างกากขี้เถ้ามีปริมาณน้อย (ร้อยละ 0.64 – 1.56) ซึ่งมีที่มาจากโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบของธาตุอาหารในดินที่ต้นยางพาราดูดมาเลี้ยงลำต้น และเป็นองค์ประกอบของอนุภาคยาง เมื่อนำน้ำยางมาทำการเซ็นทรีฟิวจ์ โพแทสเซียมบางส่วนตกตะกอนลงสู่ภาชนะรวมอยู่ในกากขี้เถ้าในกระบวนการผลิต (เสาวนีย์และคณะ, 2547) สำหรับแมกนีเซียมในตัวอย่างกากขี้เถ้ามีปริมาณสูง (ร้อยละ 5.44-14.34) โดยกากขี้เถ้าจากโรงงานในจังหวัดสงขลามีแมกนีเซียม (ร้อยละ 14.34) ปริมาณสูงกว่ากากขี้เถ้าจากโรงงานจังหวัดปัตตานีและโรงงานจะนะ ส่วนสังกะสีตรวจพบในกากขี้เถ้าในช่วงร้อยละ 0.16-0.51 สังกะสีในกากขี้เถ้าจากจังหวัดปัตตานีและจะนะมีปริมาณสูงกว่ากากขี้เถ้าจากจังหวัดสงขลา ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นของแต่ละโรงงานมีขั้นตอนที่แตกต่างกันตามความต้องการของโรงงาน ธาตุสังกะสีนี้มาจากสังกะสีที่มีอยู่ในเซลล์พืชโดยเป็นองค์ประกอบของฮอร์โมนและเอนไซม์หลายชนิด (Teilnugutom, 2005) และมาจากสารประกอบสังกะสี เช่น ZnO เพื่อรักษาน้ำยางในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น ซึ่งแม้จะเติมในปริมาณน้อย (< ร้อยละ 0.02) แต่หลังทำการเซ็นทรีฟิวจ์ ไอออนของโลหะที่มีอยู่ในน้ำยางทำให้อนุภาคยางจับตัว รวมทั้งสิ่งเจือปนที่เป็นของแข็งอื่นจะถูกแยกตัวลงสู่ก้นภาชนะจึงทำให้มีองค์ประกอบต่างๆ ตกตะกอนอยู่ร่วมกับกากขี้เถ้า

ปริมาณธาตุอาหารที่ตรวจพบในกากขี้เถ้ามีความสอดคล้องกับการศึกษาของวิภาพรรณ (2550) ซึ่งพบว่า ในกากขี้เถ้ามี TKN, P ในรูป P_2O_5 , K ในรูป K_2O อยู่ในช่วงร้อยละ 1.01-2.26, 26.31-46.79 และ 0.55-0.72 ส่วน วราศรี (2543) พบว่าในกากขี้เถ้ามี TKN, P ในรูป P_2O_5 , K, Mg, Zn อยู่ในช่วงร้อยละ 2.06-2.14, 19.6-21.6, 1.8-2.1, 5.31-7.56, 0.51 - 1.01 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ

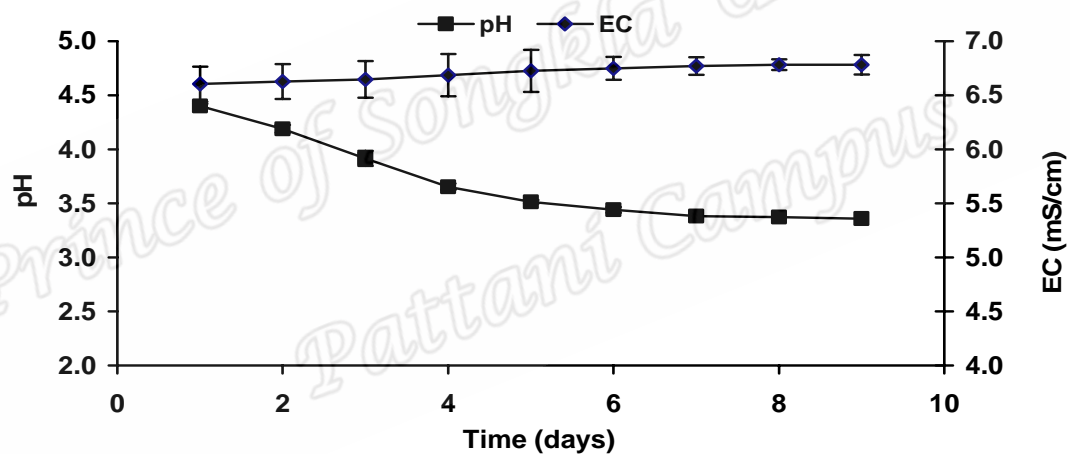
สำหรับกากอินทรีย์สามชนิดที่ใช้ในการศึกษานี้ พบว่ารำข้าวมีปริมาณไนโตรเจนและโพแทสเซียมสูงที่สุด (ร้อยละ 3.30 และ 2.96) รองลงมาคือมูลไก่ (ร้อยละ 1.98 และ 0.73) และขี้เลื่อย (ร้อยละ 0.21 และ 0.49) แต่มูลไก่มีปริมาณฟอสฟอรัส (ร้อยละ 1.01) และสังกะสี (ร้อยละ 0.023) สูงกว่ารำข้าว และขี้เลื่อย

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในกากจี้แ่ียง กับกากอินทรีย์ทั้งสามชนิด พบว่า ตัวอย่างกากจี้แ่ียงมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด แมกนีเซียม และสังกะสี สูงกว่า มูลไก่จี้แ่ียง และ รำข้าว มีเพียงโพแทสเซียมที่พบในรำข้าวมากกว่ากากจี้แ่ียง ดังนั้นการเติมมูลไก่จี้แ่ียง และ รำข้าว ลงในกากจี้แ่ียงหมัก จึงมีส่วนในการเสริมธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชเพื่อเตรียมสารปรับปรุงดิน

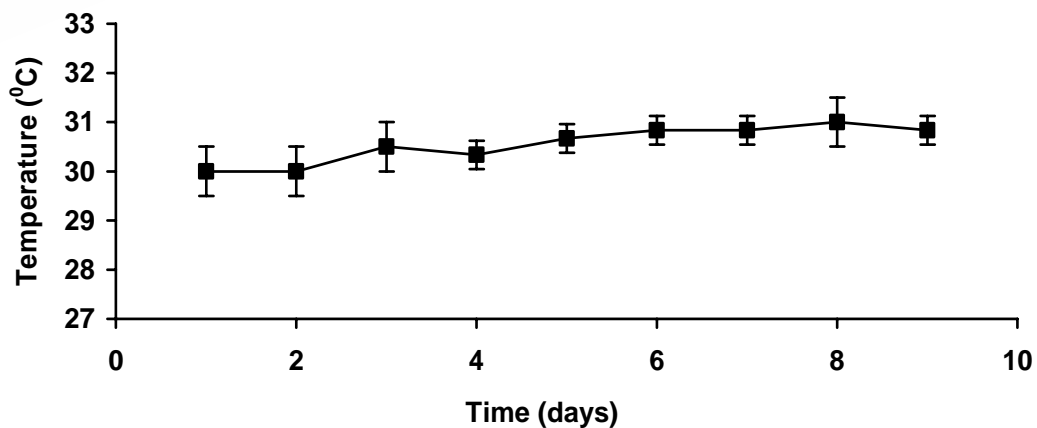
4.2 จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (EM) ขยายส่วน

4.2.1 EM ขยายส่วน

จากการเตรียม EM ขยายส่วน โดยใช้หัวเชื้อ EM ผสมกับกากน้ำตาลและน้ำในอัตราส่วน 1:1:20 โดยปริมาตร ในภาชนะปิดสนิท และตรวจวัดค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในสารละลายทุกวันเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ให้ผลแสดงดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 ค่าพีเอช และการนำไฟฟ้า (EC) ของ EM ขยายส่วนที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิของ EM ขยายส่วนที่เวลาต่างๆ

การขยายหัวเชื้อ EM เป็นเวลา 9 วัน พบว่าพีเอชมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จาก 4.4 เป็น 3.4 เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ EM มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น มีการใช้สารอาหารโดยจุลินทรีย์ปล่อยเอนไซม์ออกมาช่วยย่อยสารอินทรีย์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นพวกกรดอินทรีย์ ได้แก่ กรดแลกติก กรดอะซิติก จากกระบวนการเมแทบอลิซึมออกมา (วรารุติ, 2538) ทำให้สารละลายมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ค่าพีเอชจึงลดลงเล็กน้อย โดยพบว่าค่า พีเอชเริ่มคงที่ในวันที่ 7 ซึ่งแสดงถึงการเจริญของจุลินทรีย์ EM เริ่มคงที่ ส่วนค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับค่าพีเอช คือ เมื่อค่าพีเอชลดลง (เป็นกรดมากขึ้น) ความสามารถในการแตกตัวเป็น ไอออนจะเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

4.2.2 อัตราการเจริญของจุลินทรีย์ EM โดยวิธี Viable plate count

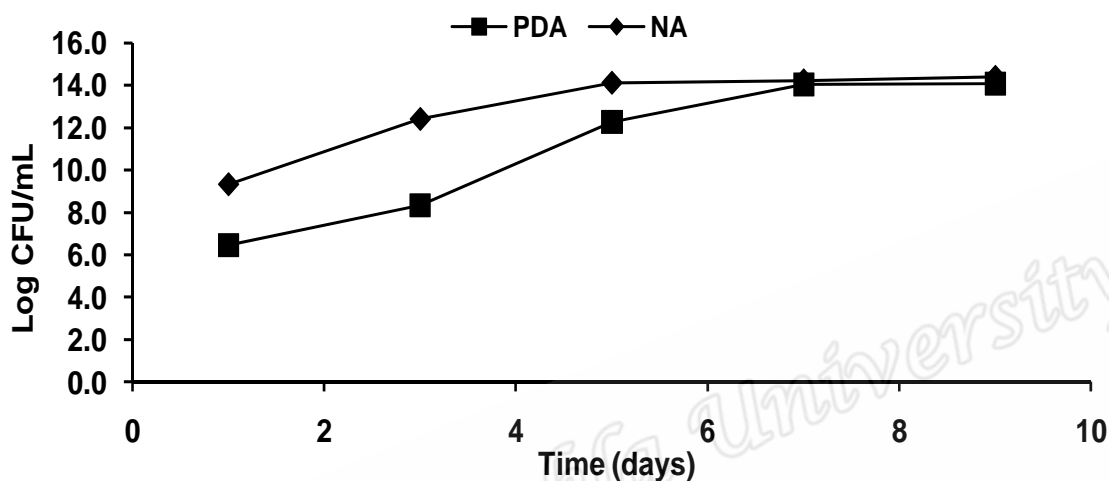
จากการศึกษาอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ EM ขยายส่วนโดยใช้หัวเชื้อ EM ผสมกับกากน้ำตาล และน้ำ ในอัตราส่วน 1:1:20 นับจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตด้วยวิธีการเขย่าจาน โดยใช้อาหารสองชนิด คือ นับแบคทีเรียบนอาหาร Nutrient agar (NA) และ นับยีสต์และราที่เลี้ยงบนอาหาร Potato dextrose agar (PDA) นับจำนวนจุลินทรีย์จากระดับความเงาจากที่มีโคโลนีระหว่าง 30-300 โคโลนี ตัวอย่างของโคโลนีที่ได้จากการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างลักษณะโคโลนีเดี่ยวของจุลินทรีย์ EM

ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์โดยวิธีการเขย่าจาน เพื่อหาอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน โดยใช้อาหารสองชนิด คือ PDA และ NA เป็นเวลา 9 วัน ได้ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์จุลินทรีย์ต่อมิลลิตรของ EM ขยายส่วน ซึ่งแสดงในรูป log Colony Forming Unit (จำนวนโคโลนีที่นับได้ในจานอาหาร, CFU/mL) ต่อเวลา (รูปที่ 4.6) พบว่าอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ EM ในอาหาร NA ในวันที่ 1-4 แบคทีเรียมีจำนวนเพิ่มขึ้น และเริ่มคงที่ในวันที่ 6-7 สำหรับในอาหาร PDA วันที่ 1-6 ยีสต์และรามิมีจำนวนเพิ่มขึ้น และเริ่มคงที่ในวันที่ 7 นอกจากนี้ยังพบว่า เริ่มต้นตรวจ

พบเชื้อแบคทีเรียสูงกว่ายีสต์และราโดยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียมีความสามารถในการแบ่งเซลล์ได้รวดเร็วกว่ายีสต์และรา แต่เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน เชื้อจุลินทรีย์จะมีจำนวนใกล้เคียงกันและการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เริ่มคงที่ เหมาะกับการนำไปใช้ในการหมักต่อไป



รูปที่ 4.6 จำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน (log CFU/mL) ในอาหาร PDA และ NA ที่เวลาต่างๆ

4.2.3 การแยกเชื้อจุลินทรีย์ให้เป็นเชื้อเดี่ยว (pure culture) ด้วยวิธีการขีดบนจานอาหาร (Streak plate)

ทำการคัดเลือกโคโลนีเดี่ยวที่มีลักษณะแตกต่างกันโดยขีดเชื้อที่คัดเลือกบนจานอาหาร บนอาหารสองชนิด คือ เชื้อแบคทีเรียใช้อาหาร NA ส่วนยีสต์และราใช้อาหาร PDA เพื่อให้ได้โคโลนีเดี่ยวๆ สำหรับนำไปตรวจสอบรูปร่างของจุลินทรีย์ต่อไป ตัวอย่างของ Streak plate แสดงในรูปที่

4.7



รูปที่ 4.7 การคัดแยกโคโลนีเดี่ยวโดยวิธีการ Streak plate

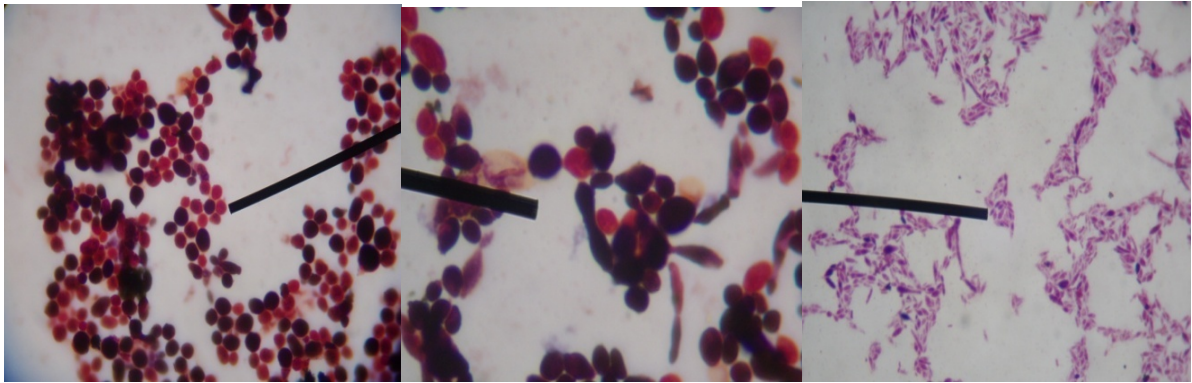
รูปร่างจุลินทรีย์ที่ได้จากโคโลนีเดี่ยว (pure culture)

ตรวจสอบชนิดจุลินทรีย์ของโคโลนีเดี่ยวที่ได้จากการคัดแยกตัวอย่าง EM ขยายส่วน ศึกษา รูปร่างแบคทีเรียโดยการย้อมสีแบบแกรม (Gram staining) พบว่าแบคทีเรียแกรมบวกย้อมติดสีม่วง ของคริสตัลไวโอเลต แบคทีเรียแกรมลบย้อมติดสีแดงของสีซาฟรานิน ลักษณะและรูปร่างของ เชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่คัดแยกได้จากอาหาร PDA ซึ่งเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับยีสต์และรา พบว่าประกอบด้วย เชื้อ ยีสต์ แบคทีเรียรูปแท่ง แกรมลบ และราชนิดต่างๆ (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.8- 4.10)

ตารางที่ 4.3 ลักษณะและรูปร่างจุลินทรีย์ที่ได้จากการ Streak บนอาหาร PDA

| โคโลนี (ที่คัดเลือก) | โคโลนี (ที่ได้จากการ Streak) | ลักษณะ (จากกล้องจุลทรรศน์) |
|---------------------------------|------------------------------|--|
| 1. โคโลนีสีขาว ขอบขรุขระ | โคโลนีสีขาว ขอบขรุขระ | ยีสต์ ลักษณะกลมและรีเล็กน้อย ติดสีแดงและม่วง |
| 2. โคโลนีแผ่นลาม ขาวขุ่น | โคโลนีสีขาวขุ่น | รูปแท่ง สีแดง |
| 3. โคโลนีสีเหลืองขุ่น | โคโลนีสีขาว | ยีสต์ ลักษณะกลมและรีเล็กน้อย ติดสีแดงและม่วง |
| | โคโลนีสีเหลืองอ่อน | ยีสต์ ลักษณะกลมและรีเล็กน้อย ติดสีแดงและม่วง |
| 4. โคโลนีสีขาวขุ่น กลม ขอบเรียบ | โคโลนีสีขาวขุ่น กลม ขอบเรียบ | ยีสต์ ลักษณะกลมและรีเล็กน้อย ติดสีแดงและม่วง |
| 5. โคโลนีสีน้ำตาล ขุ่น | โคโลนีสีน้ำตาล ขุ่น | ยีสต์ ลักษณะกลมและรีเล็กน้อย ติดสีแดงและม่วง |
| 6. โคโลนีสีเหลืองขุ่น กลม | โคโลนีสีเหลืองขุ่น กลม | รูปแท่ง สีแดง |
| 7. โคโลนีสีขาวขุ่น กลม | โคโลนีสีขาวขุ่น กลม | ยีสต์ ลักษณะเรียวยาว ติดสีแดงและม่วง |
| 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 |

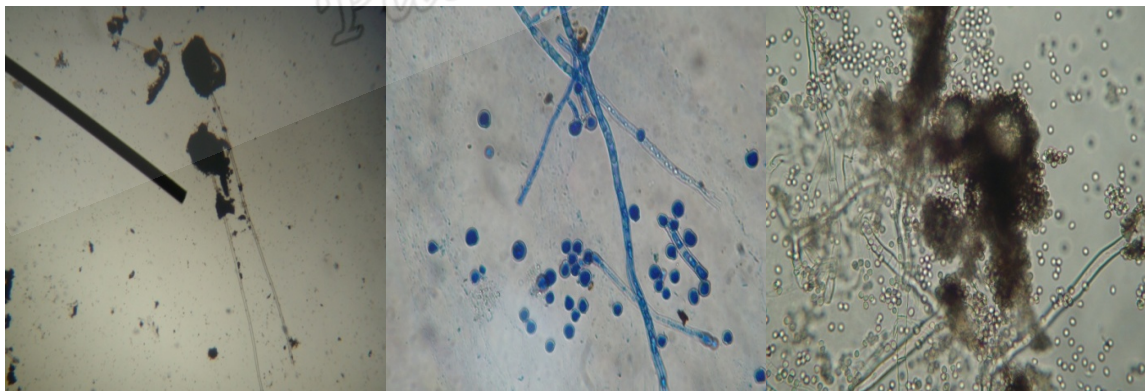
หมายเหตุ * จุลินทรีย์กลุ่มเชื้อราไม่ได้ทำการ Streak เนื่องจากสามารถแยกได้ชัดเจนจากสีและสปอร์



รูปที่ 4.8 ยีสต์ (กำลังขยาย 400 เท่า)



รูปที่ 4.9 แบคทีเรีย รูปแท่ง แกรมลบ (กำลังขยาย 1000 เท่า)



(a) กำลังขยาย 40 เท่า

(b) กำลังขยาย 400 เท่า

(c) กำลังขยาย 400 เท่า

รูปที่ 4.10 เชื้อราที่ได้จากโคโลนีที่คัดเลือก ได้แก่ (a) ราสีดำ สปอร์สีดำ
(b) ราสีขาว ตรงกลางสีน้ำตาล และ (c) ราสีน้ำตาล

กรณีการคัดแยกจุลินทรีย์ที่เลี้ยงบนอาหาร NA ซึ่งเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรีย เมื่อนำมาส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อศึกษารูปร่าง (ตารางที่ 4.4) พบว่ากลุ่มจุลินทรีย์ประกอบด้วยแบคทีเรียรูปกลม (Coccus) แกรมบวก (รูปที่ 4.11 a) แบคทีเรียรูปกลม (Coccus) แกรมลบ (รูปที่ 4.11 b) แบคทีเรียรูปแท่ง แกรมบวก (รูปที่ 4.11 c) และ แบคทีเรียรูปแท่ง แกรมลบ (รูปที่ 4.11 d) โดยแบคทีเรียแกรมบวกจะมีผนังเซลล์หนากว่าแกรมลบร้อยละ 20-40 ของน้ำหนักเซลล์ เมื่อทำให้แห้งการข้อมติแกรม ในขั้นแรกข้อม คริสตัลไวโอเลต เซลล์แบคทีเรียทุกเซลล์ จะติดสีน้ำเงินหรือม่วง ต่อมาเมื่อด่างเซลล์แบคทีเรียด้วย ethyl alcohol 95% ขั้นตอนนี้ แบคทีเรียแกรมลบซึ่งมีไขมันอยู่ในส่วนประกอบของผนังเซลล์มาก ไขมันจะถูกละลายออกมากับแอลกอฮอล์ ทำให้รูผนังเซลล์กว้างขึ้น ผลึกของสีจึงหลุดออกมากับผนังเซลล์ตอนนี้แบคทีเรียแกรมลบจึงไม่ติดสี ซึ่งต่อมาเมื่อข้อมทับด้วยซาฟรานิน (สีแดง) แบคทีเรียแกรมลบจะติดสีแดง

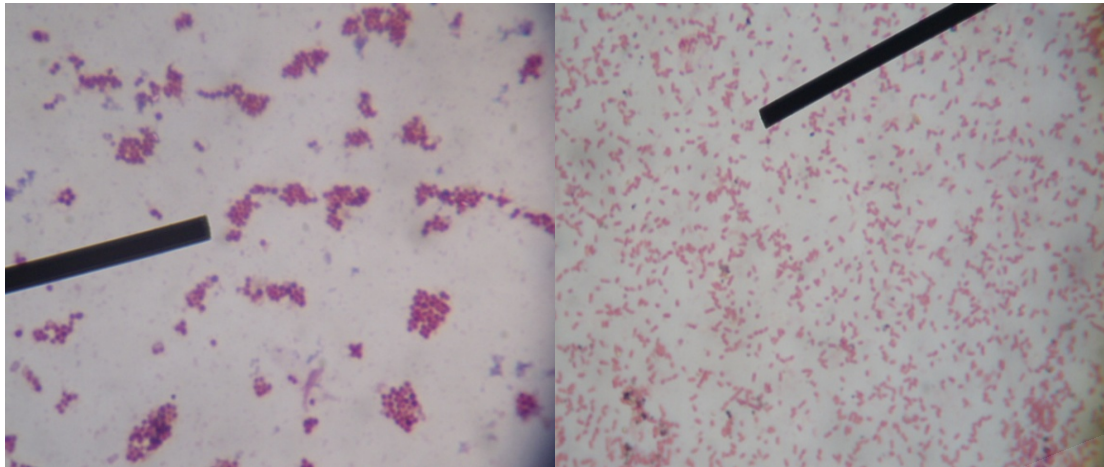
สำหรับโคโลนีที่ 1, 2 และ 3 ที่ทำการคัดเลือก หลังการ Streak ไม่สามารถแยกเป็นโคโลนีเดี่ยวได้ จึงไม่สามารถทำการศึกษารูปร่างจากกล้องจุลทรรศน์

ตารางที่ 4.4 ลักษณะ และรูปร่างจุลินทรีย์ที่ได้จากการ Streak บนอาหาร NA

| โคโลนี (ที่คัดเลือก) | โคโลนี (ที่ได้จากการ Streak) | ลักษณะ (จากกล้องจุลทรรศน์) |
|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| 1. โคโลนีแผ่นลาม ขาวขุ่น | 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 |

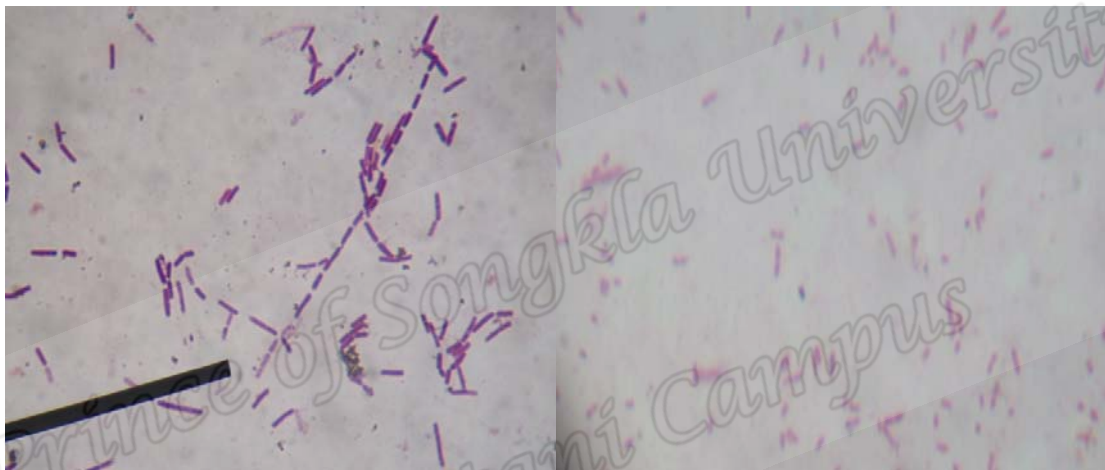
หมายเหตุ * โคโลนีที่ 1, 2 และ 3 ที่ทำการคัดเลือกไม่สามารถแยกเป็นโคโลนีเดี่ยวได้ จึงไม่ได้

ทำการศึกษารูปร่างจากกล้องจุลทรรศน์



(a)

(b)



(c)

(d)

รูปที่ 4.11 เชื้อแบคทีเรียชนิดต่างๆ จากการ Streak บนอาหาร NA (กำลังขยาย 1000 เท่า)

(a) แบคทีเรียรูปกลม แกรมบวก (b) แบคทีเรียรูปกลม แกรมลบ (c) แบคทีเรียรูปแท่ง แกรมบวก (d) แบคทีเรียรูปแท่ง แกรมลบ

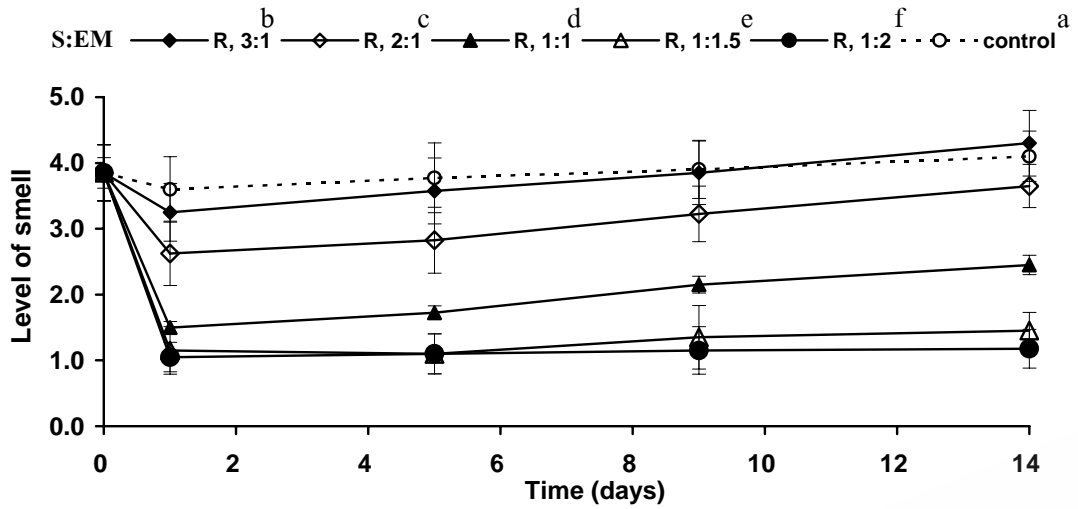
สำหรับจุลินทรีย์ที่ได้จากการฉีดเชื้อบนจานอาหาร บนอาหาร PDA ประกอบด้วย ยีสต์ แบคทีเรียชนิดแท่ง แกรมลบ และเชื้อราชนิดต่างๆ และจุลินทรีย์ที่ได้จากการ Streak ในอาหาร NA ประกอบด้วย แบคทีเรียรูปแท่ง แกรมบวก, รูปแท่ง แกรมลบ, ชนิดกลม แกรมบวก และ แกรมลบ พบว่าสอดคล้องกับการศึกษาของ Khalij *et al.* (2006) ซึ่งรายงานจุลินทรีย์กลุ่มหลักๆ ใน EM คือ กลุ่มจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง กลุ่มจุลินทรีย์ผลิตกรดแลกติก ยีสต์ ส่วนรา และแอคทีโนไมซีตส์มีอยู่น้อย

4.3 การปรับกลิ่นกากจีเป้งโดยใช้ EM ขยายส่วน

4.3.1 ผลการปรับกลิ่น

หลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน ซึ่งใช้อัตราส่วนระหว่าง กากจีเป้ง (S) : EM ขยายส่วน คือ 3:1, 2:1, 1:1, 1:1.5 และ 1:2 v/v กลุ่มควบคุมซึ่งไม่มีการเติม EM ทดสอบด้วยประสาทสัมผัส คือการดมกลิ่น ใช้ผู้ทดสอบ 40 คนในการทำแบบสอบถาม (ภาคผนวก จ) โดยมีระดับกลิ่นดังนี้ ระดับ 1 มีกลิ่นน้อยมาก ระดับ 2 มีกลิ่นน้อย ระดับ 3 มีกลิ่นปานกลาง ระดับ 4 มีกลิ่นแรง ระดับ 5 มีกลิ่นแรงมาก

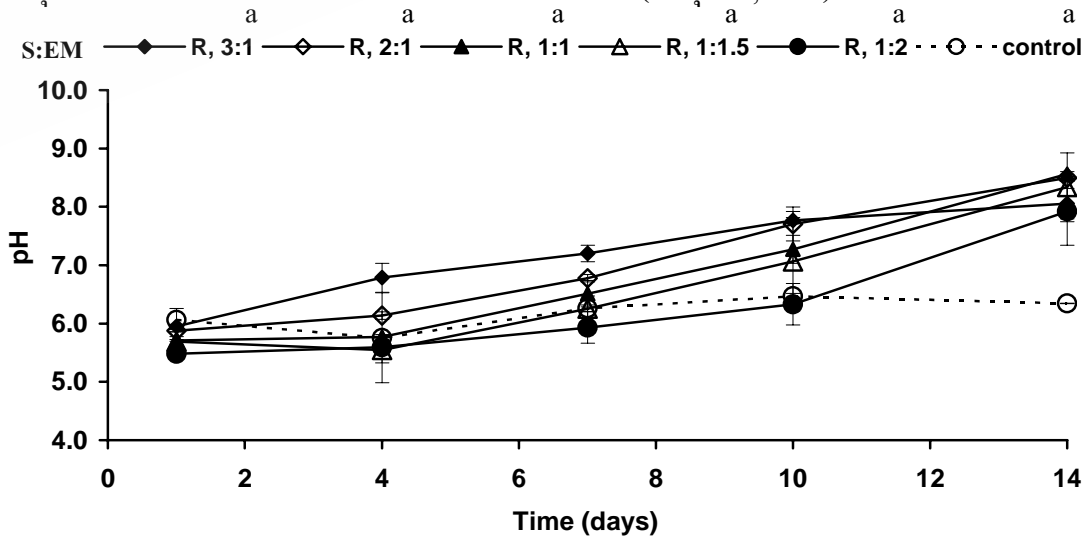
ผลการทดสอบกลิ่นของกากจีเป้งหลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน พบว่าเมื่อเติม EM ใน กากจีเป้งจะทำให้กลิ่นมีระดับความแรงลดลงโดยมีระดับกลิ่นแตกต่างจากกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเติม EM อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แสดงดังรูปที่ 4.12 ซึ่งพบว่าในวันที่ 1 การปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน ให้ผลดี เนื่องจากระดับกลิ่นจะลดลงมากที่สุดทุกชุดการทดลอง และกลิ่นจะคงที่ในวันที่ 5 ของการทดลอง เมื่อเวลาผ่านไปจะมีระดับกลิ่นเพิ่มขึ้นทุกชุดการทดลอง โดยชุดการทดลองที่ปรับกลิ่นได้ดีที่สุด คือชุดการทดลองที่ใช้ กากจีเป้ง:EM เท่ากับ 1:2 ในวันที่ 1 ซึ่งแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้พบว่าระดับกลิ่นเฉลี่ยในวันที่ 1 เมื่อใช้ กากจีเป้ง : EM ขยายส่วน 3:1 เท่ากับ 3.2, อัตราส่วน 2:1 เท่ากับ 2.6, อัตราส่วน 1:1 เท่ากับ 1.5, อัตราส่วน 1:1.5 เท่ากับ 1.1 อัตราส่วน 1:2 เท่ากับ 1.0 ส่วน ชุดควบคุมมีค่าระดับกลิ่นเท่ากับ 3.6 ซึ่งการเติมจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน สามารถช่วยให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ทำให้ไม่มีกลิ่นเหม็น แต่ในกลุ่มที่ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์เกิดการย่อยสลายไม่สมบูรณ์ได้ แอมโมเนียแก๊สไข่เน่าหรือไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น และเมื่อเวลาผ่านไป แก๊สที่สะสมเพิ่มปริมาณมากขึ้น ทำให้ระดับกลิ่นเพิ่มขึ้นด้วย (รัตนดาและคณะ, 2549) จากการทดลองนี้เรียงลำดับชุดทดลองที่มีกากจีเป้ง : EM ขยายส่วน ระดับต่างๆ ที่มีระดับกลิ่นจากน้อยไปมาก ดังนี้ $1:2 < 1:1.5 < 1:1 < 2:1 < 3:1$ จากผลการศึกษาี้ แสดงให้เห็นว่า จุลินทรีย์ EM สามารถนำมาใช้ในการปรับกลิ่นกากจีเป้งให้ลดลงได้



รูปที่ 4.12 ระดับกลิ่นของกากชี้แข็งหลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วนที่เวลาต่างๆ

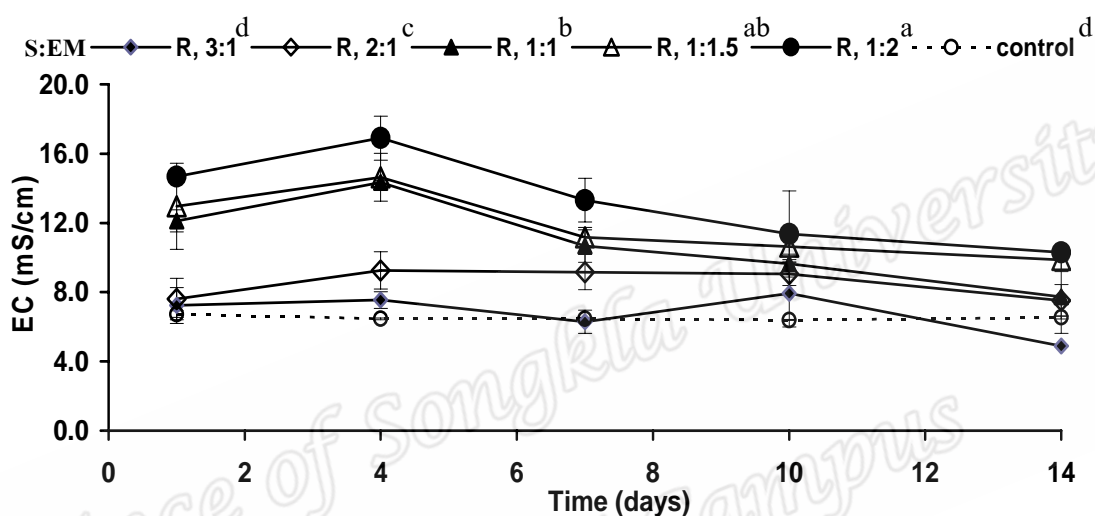
4.3.2 ค่าพีเอชและค่าการนำไฟฟ้าหลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน

ค่าพีเอชของกากชี้แข็งหลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วนอัตราส่วนต่างๆ โดยปริมาตรเป็นเวลา 2 สัปดาห์แสดงดังรูปที่ 4.13 ซึ่งจะเห็นได้ว่าพีเอชของทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นโดยชุดที่มีอัตราส่วนที่มีกากชี้แข็งสูงจะมีค่าพีเอชสูงกว่าชุดที่มีกากชี้แข็งต่ำกว่า โดยค่าพีเอชของชุดทดลองต่างๆ สามารถเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ 3:1 > 2:1 > 1:1 > 1:1.5 > 1:2 นอกจากนี้พบว่าเมื่อระยะเวลาในการปรับกลิ่นเพิ่มขึ้นพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าพีเอชมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์และปล่อยผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นเบส ได้แก่ สารประกอบเอมีน แอมโมเนีย ออกมาทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้น ซึ่งการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์ จะเกิดขึ้นได้มากในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 6-9 (ภาณุพงศ์, 2548)



รูปที่ 4.13 ค่าพีเอชของตัวอย่างกากชี้แข็ง หลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน

ปรับกลิ่นกากชี้เป้งด้วยจุลินทรีย์ EM ขยายส่วน ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน พบว่าการนำไฟฟ้าของทุกชุดการทดลองมีค่าลดลง แสดงดังรูปที่ 4.14 เนื่องมาจากค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น ทำให้อนุมูลโลหะ เช่น PO_4^{2-} และ CO_3^{2-} ตกตะกอน อนุมูลโลหะเหล่านี้สามารถละลายได้ดีในสถานะที่เป็นกรด แต่จะตกตะกอนเมื่อมีสภาพเป็นเบส (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) จึงทำให้มีค่าการนำไฟฟ้าที่ลดลง ค่าการนำไฟฟ้าของชุดทดลองอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างกากชี้เป้ง: EM ชุดต่างๆ สามารถเรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ $3:1 < 2:1 < 1:1 < 1:1.5 < 1:2$



รูปที่ 4.14 การนำไฟฟ้า (EC) ของตัวอย่างกากชี้เป้งหลังการปรับกลิ่นด้วย EM ขยายส่วน

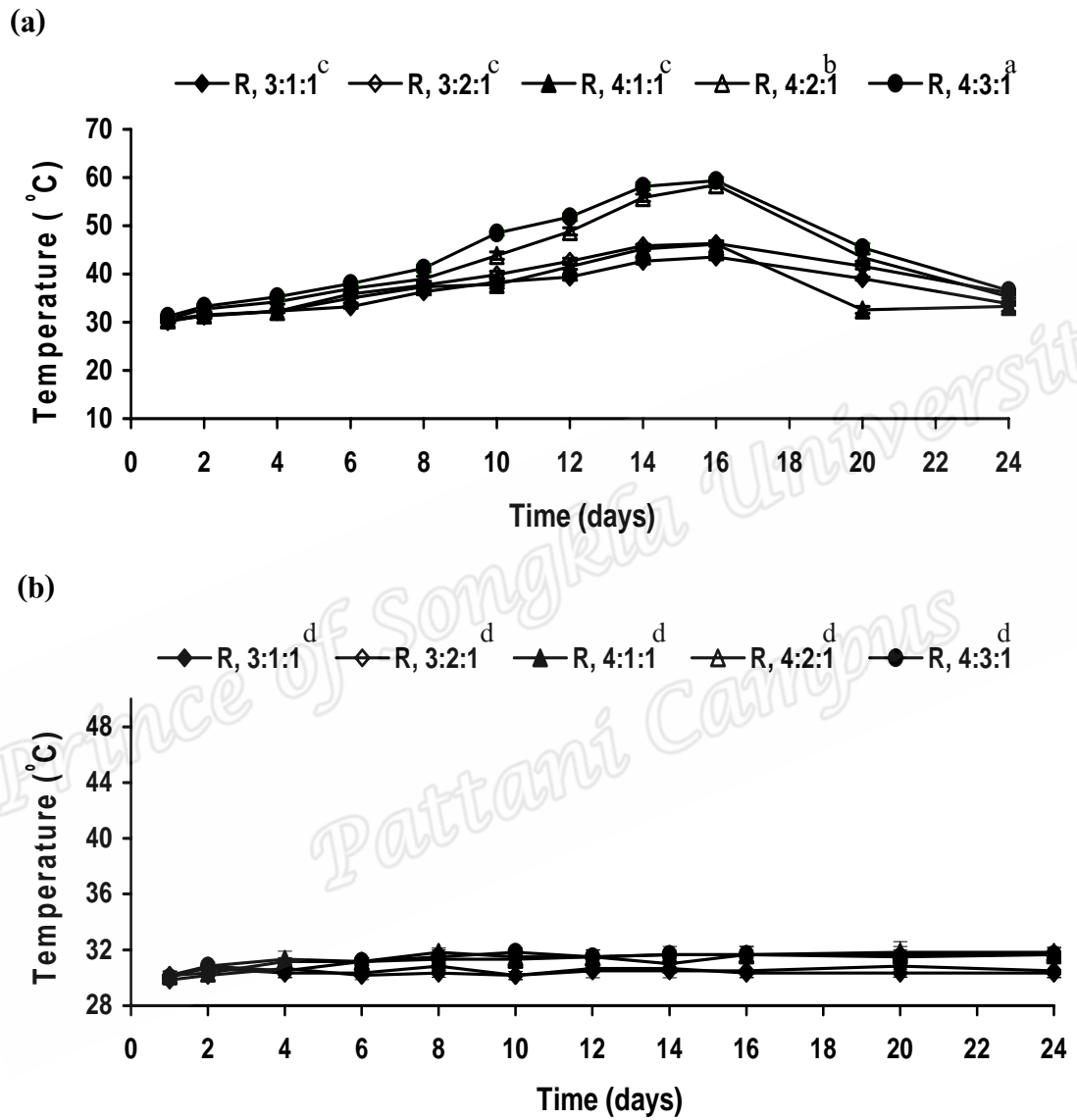
4.4 การแปรสภาพกากชี้เป้งโดยการหมักด้วย EM ขยายส่วน

การแปรสภาพกากชี้เป้งโดยใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรของกากชี้เป้ง (S) : กากอินทรีย์ผสม (O) : EM ขยายส่วน 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 การที่เลือกใช้อัตราส่วนกากชี้เป้ง:กากอินทรีย์ผสม: EM เป็น 3:1:1, 3:2:1, 4:1:1, 4:2:1 และ 4:3:1 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ส่วนผสมสามารถคลุกเคล้ากันได้ดี ไม่แห้งหรือเปียกจนเกินไปมีความชื้นอยู่ในระดับร้อยละ 50-60 (ภาคผนวก จ) เนื่องจากหากความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 50 ความสามารถในการทำงานของจุลินทรีย์จะน้อยลง และหากความชื้นมีค่ามากกว่าร้อยละ 60 จะทำให้ออกซิเจนเคลื่อนที่เข้ามาในระบบได้ยาก ทำให้กลายเป็นการหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Das and Keener, 1997) ทำการวัดค่า อุณหภูมิ พีเอช และการนำไฟฟ้า (EC) ของตัวอย่างหมัก ติดตามกระบวนการหมักตั้งแต่เริ่มหมักจนกระทั่งกระบวนการหมักสิ้นสุดลง ได้จาก

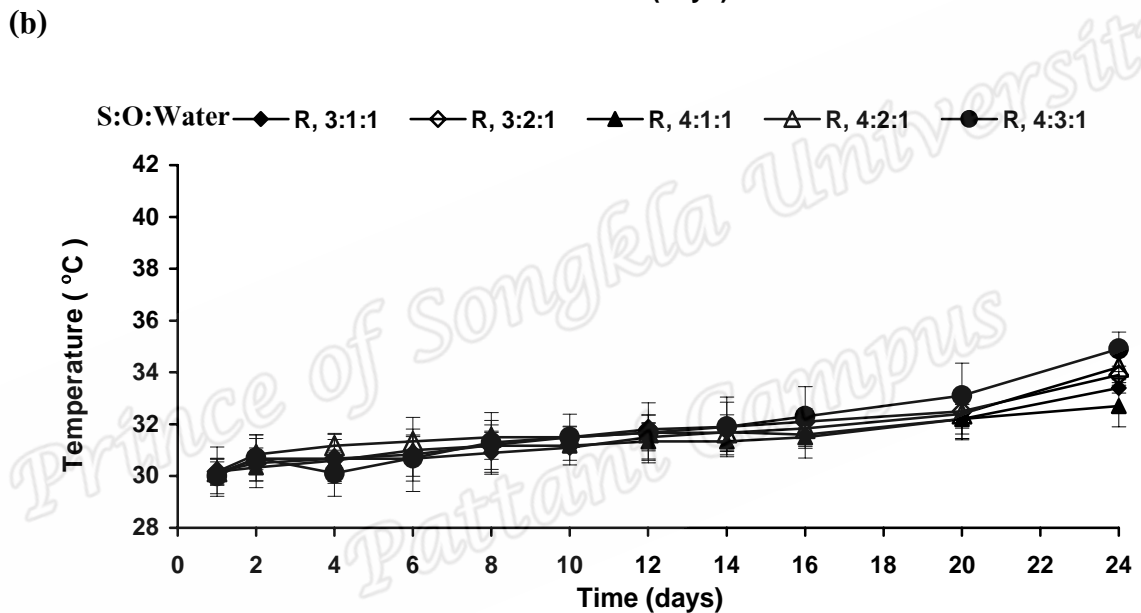
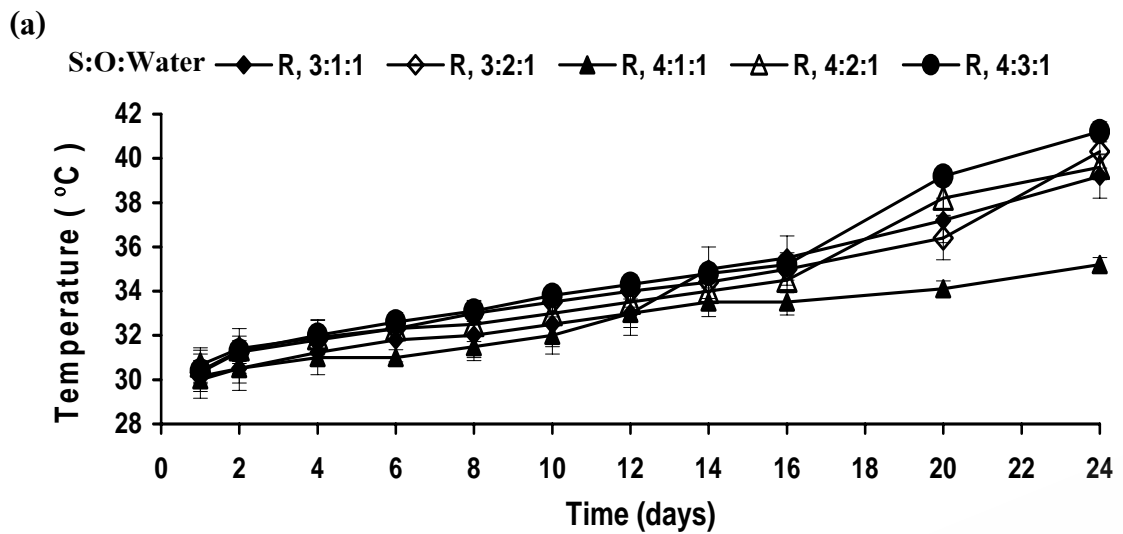
การวัดอุณหภูมิของการหมัก โดยทั่วไปกระบวนการหมักแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือ Mesophilic phase ใช้เวลา 1-3 วัน โดยแบคทีเรีย ยีสต์ และราที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (mesophilic microorganisms) จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายก่อน เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน โปรตีน อุณหภูมิการหมักจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงที่ 2 คือ Thermophilic phase โดยจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูง (Thermophilic microorganisms) จะมีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์ พวก ไชมัน เซลลูโลส และลิกนิน ในช่วงที่ 2 นี้การหมักจะเกิดได้ดีที่สุด จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนที่ 3 คือ Cooling phase อุณหภูมิของการหมักเริ่มลดลง การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ สิ้นสุดลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ (Bernal *et al.*, 2008)

4.4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการหมัก

จากรูปที่ 4.15-4.16 พบว่า อุณหภูมิของชุดทดลองระหว่างการหมักมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะในระบบเปิด โดยอุณหภูมิของทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วง 30.1-59.3 °C ชุดการทดลองที่ใช้สัดส่วน กากขี้เป้ง:กากอินทรีย์: EM ขยายส่วน = 4:3:1 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากที่สุด เมื่อใช้สัดส่วนกากอินทรีย์ผสมเพิ่มขึ้น กระบวนการหมักจะเกิดได้ดีขึ้น ยืนยันได้จากอุณหภูมิในระหว่างการหมักมีค่าสูง และอุณหภูมิของทุกชุดการทดลองจะสูงสุดและเริ่มคงที่ในวันที่ 14-16 แสดงว่าเชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตเต็มที่ โดยอุณหภูมิของการหมักเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่บอกระดับความสามารถในการหมักด้วยจุลินทรีย์ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการหมักจะอยู่ในช่วง 40-65 °C (De Bertoldi *et al.*, 1983) เมื่ออุณหภูมิการหมักมากกว่า 55 °C จะทำให้จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคตายได้แต่จุลินทรีย์ที่ทนอุณหภูมิสูง (Thermophilic bacteria) สามารถเจริญได้ หากอุณหภูมิการหมักสูงมากถึง 63 °C การทำงานของจุลินทรีย์จะลดลงอย่างรวดเร็ว (Miller, 1992) จากอุณหภูมิของการหมักสามารถแบ่งกระบวนการหมักได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรก (Mesophilic phase) คือวันที่ 1-8 ขั้นที่ 2 (Thermophilic phase) คือ วันที่ 9-16 และขั้นตอนที่ 3 (Cooling phase) คือ วันที่ 17-24 ส่วนในระบบปิดมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย อยู่ในช่วง 29.8-31.7 °C เนื่องจากระบบปิดเป็นการหมักที่ไม่ใช้อากาศ จุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศไม่สามารถเจริญเติบโตและย่อยสลายสารอาหารได้ ทำให้อุณหภูมิของการหมักเปลี่ยนแปลงน้อย นอกจากนี้การใช้จุลินทรีย์ EM มีประสิทธิภาพย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าน้ำ โดยพบว่าอุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ไม่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.15 อุณหภูมิของการหมักหลังการแปรสภาพ (a) ระบบเปิด และ (b) ระบบปิดที่เวลาต่างๆ

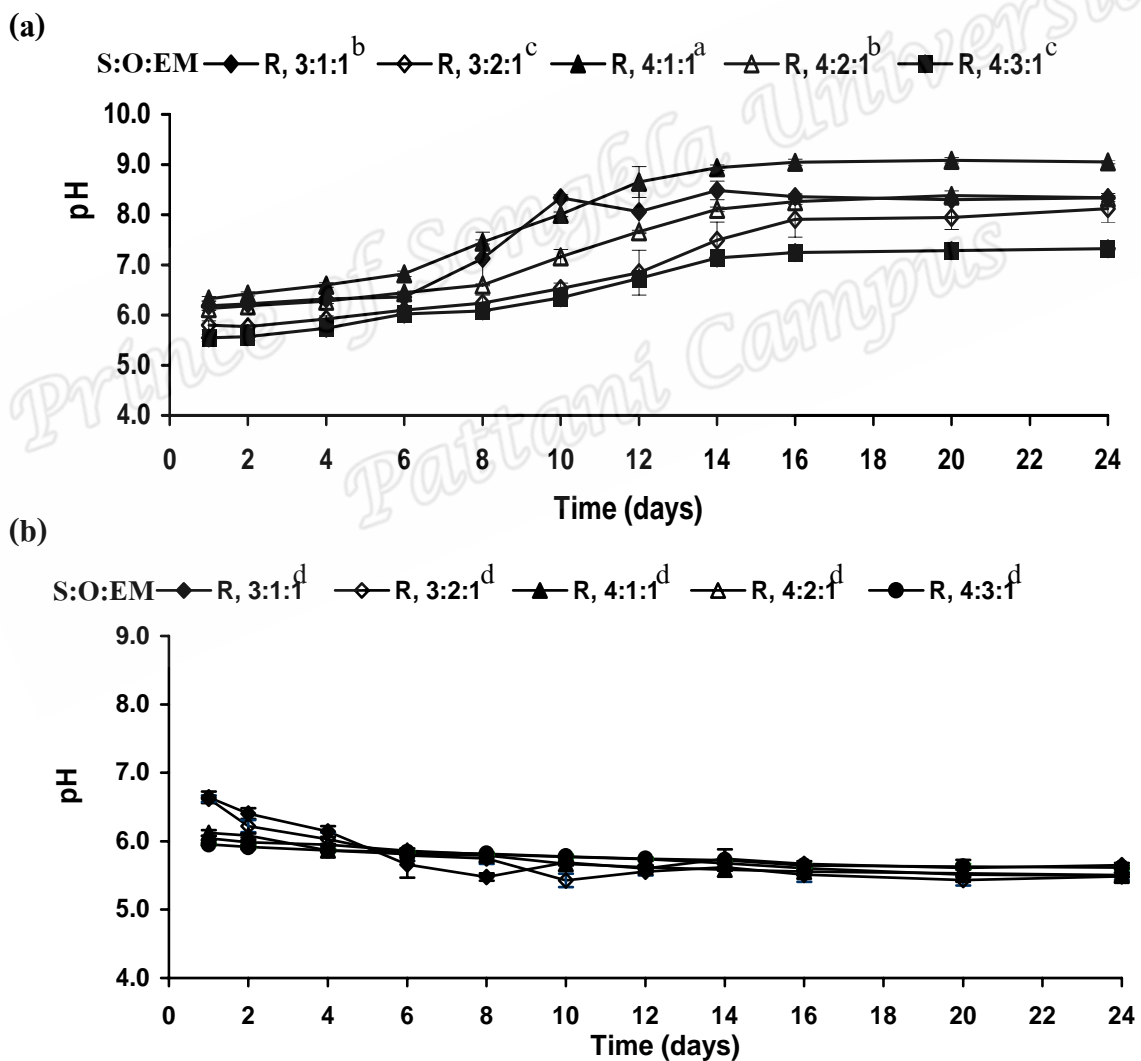


รูปที่ 4.16 อุณหภูมิของการหมักหลังการแปรสภาพของกลุ่มควบคุม (a) ระบบเปิด และ (b) ระบบปิดที่เวลาต่างๆ

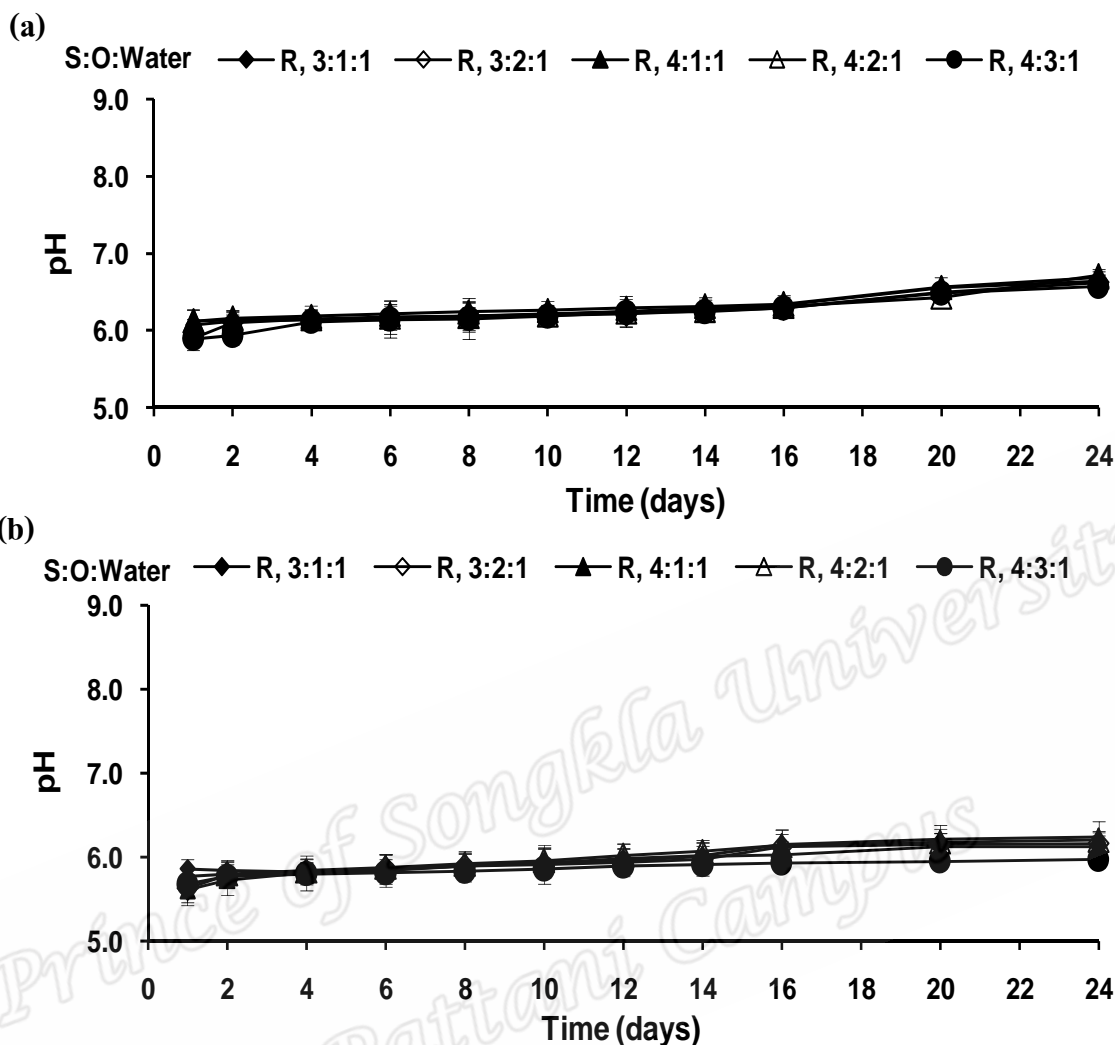
4.4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชระหว่างการหมัก

การหมักในระบบเปิดและระบบปิดมีค่าพีเอชแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยในระบบปิดมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชที่ลดลงเล็กน้อย คือมีค่าพีเอชจาก 6.6 ที่เวลาเริ่มต้นเป็น 5.4 ที่เวลา 24 วัน ในขณะที่พีเอชของชุดทดลองในระบบเปิดมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก โดยเฉลี่ยของทุกชุดการทดลอง พบว่ามีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.6-9.1 ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 1-6 และเพิ่มขึ้นรวดเร็วในวันที่ 8-14 โดยค่าพีเอชของชุดการทดลองที่ใช้กากชี้แบ่ง: กากอินทรีย์ผสม : EM ขยายส่วน 4:1:1 มีการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด รองลงมาคือ 3:1:1, 4:2:1, 3:2:1, และ 4:3:1 ตามลำดับ การที่ชุดการทดลองในระบบเปิดมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์มีการย่อย

สลายกากชี้แป้ง ซึ่งมีคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ โดยโปรตีนถูกย่อยสลายให้ผลิตภัณฑ์คือสารประกอบเอมีน และแอมโมเนีย ซึ่งมีสมบัติเป็นเบส ทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น ส่วนชุดควบคุมที่ใช้น้ำแทนจุลินทรีย์ (รูปที่ 4.18) พบว่าชุดการทดลองทั้งระบบเปิดและในระบบปิดมีแนวโน้มของค่าพีเอชค่อนข้างคงที่ใกล้เคียงกันในระหว่างวันที่ 1-16 โดยระบบเปิดมีพีเอชอยู่ในช่วง 5.9 - 6.7 และในระบบปิดอยู่ในช่วง 5.7 - 6.2 แสดงว่าจุลินทรีย์ EM ขยายส่วนสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าในระบบที่ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามค่าพีเอชไม่ใช่พารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ว่าเกิดขึ้นมากหรือน้อย แต่ค่าพีเอชมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนีย ซึ่งการเปลี่ยนของไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียจะมีค่ามากขึ้นทำให้ค่าพีเอชมากกว่า 7.5 (Mari *et al.*, 2005) โดยพีเอชที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยจุลินทรีย์ อยู่ในช่วง 6.7 - 9.0 (de Bertoldi *et al.*, 1983)



รูปที่ 4.17 ค่าพีเอชของชุดทดลองหลังการแปรสภาพ (a) ระบบเปิด และ (b) ระบบปิดที่เวลาต่างๆ

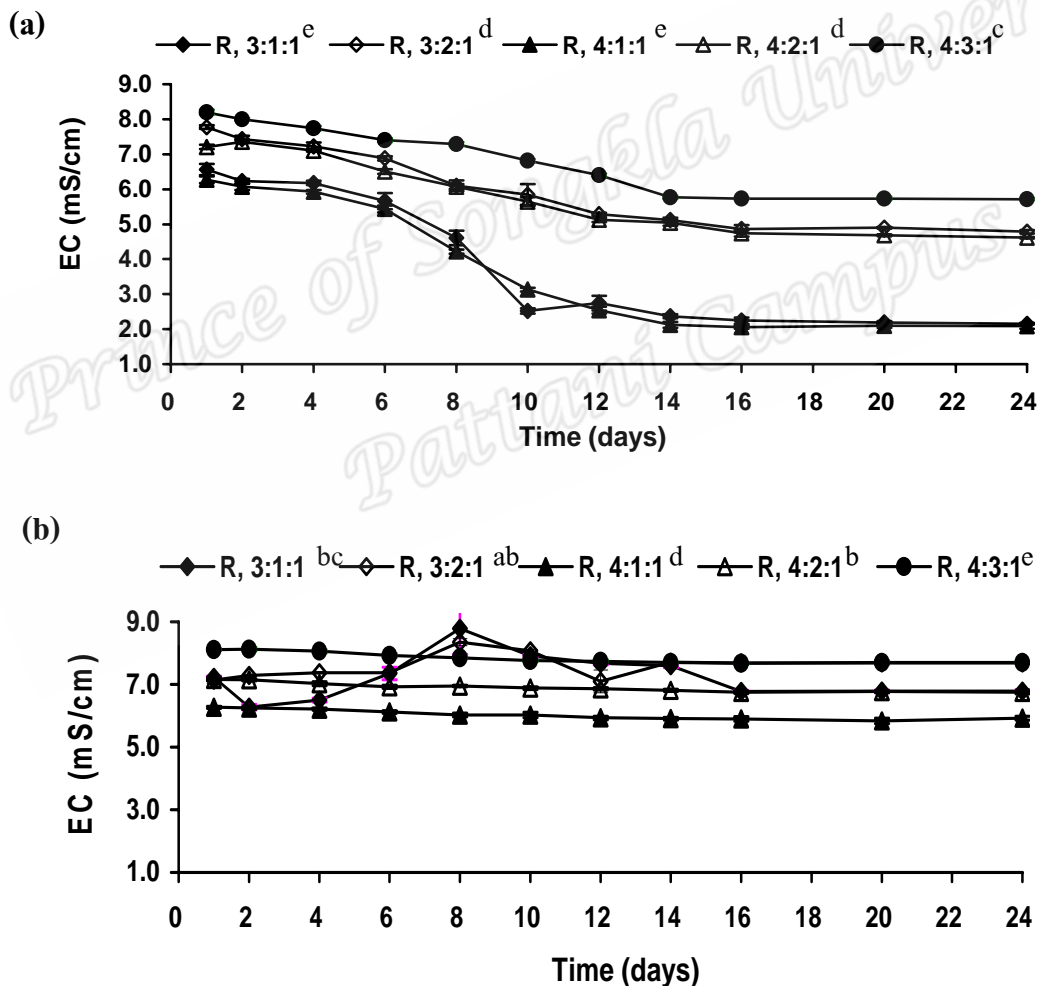


รูปที่ 4.18 ค่าพีเอชของชุดทดลองของกลุ่มควบคุม (a) ระบบเปิด และ (b) ระบบปิด ที่เวลาต่างๆ

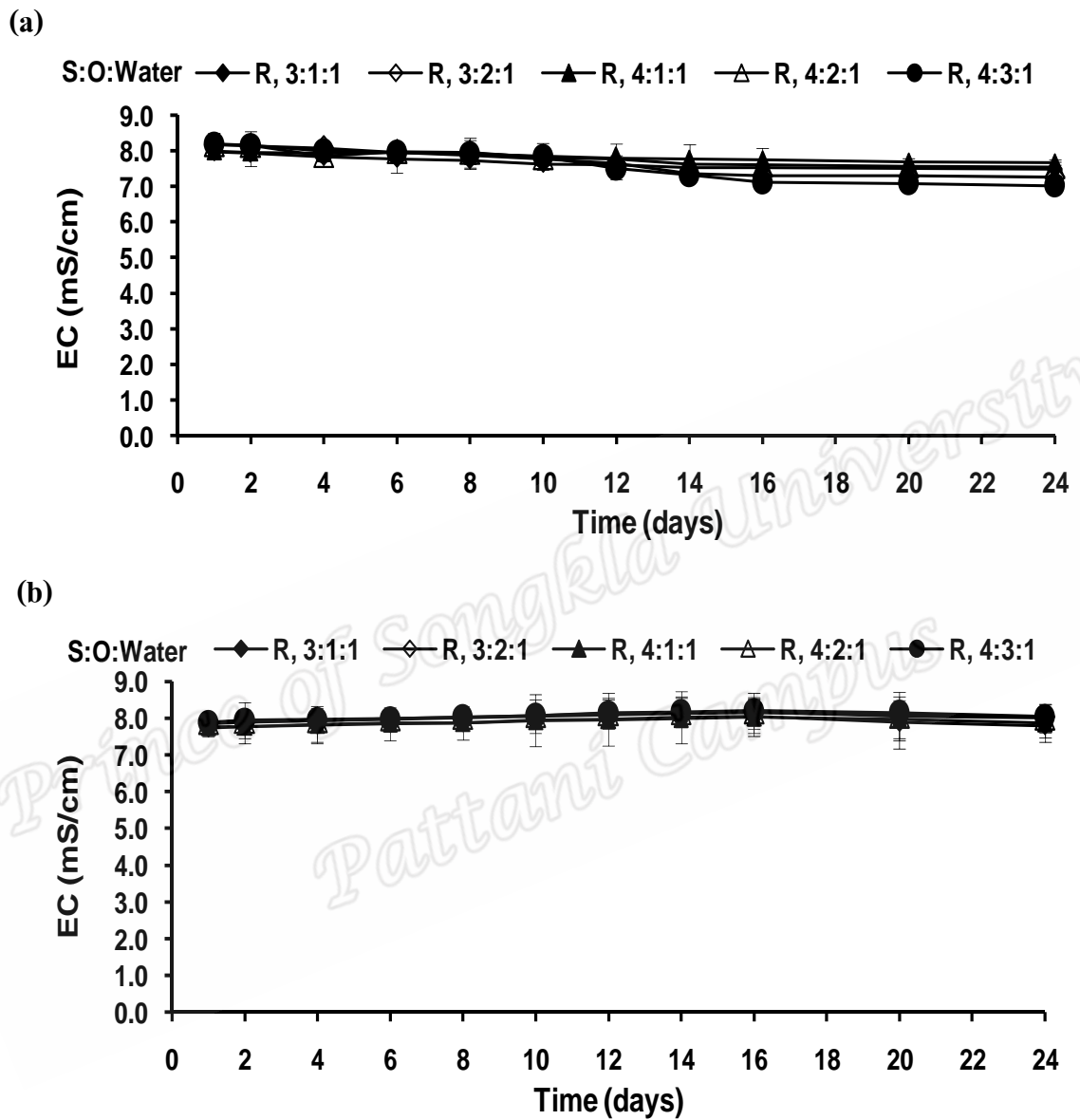
4.4.3 การเปลี่ยนแปลงค่านำไฟฟ้าระหว่างการหมัก

ค่าการนำไฟฟ้า (EC) เป็นการวัดปริมาณไอออนบวกและไอออนลบของชุดทดลองที่เวลาหมักต่างๆ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงในขณะที่พีเอชเพิ่มขึ้น โดยค่าการนำไฟฟ้าของระบบเปิดมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 2.16 -8.20 mS/cm (รูปที่ 4.19) เนื่องจากค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น ทำให้ไอออนบวกและไอออนลบ เกิดการรวมตัวกัน มีความเสถียรเพิ่มขึ้นและตกตะกอน ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้สามารถแตกตัวได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด แต่จะตกตะกอนเมื่อมีสภาพเป็นเบส (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547) จึงทำให้มีค่าการนำไฟฟ้าที่ลดลง ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าของระบบปิดมีค่าแตกต่างจากระบบเปิดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งมีค่าลดลงเล็กน้อย อยู่ในช่วง 8.1- 5.9 mS/cm ยกเว้นชุดการทดลองที่ใช้กากชี้แป้ง กากอินทรีย์ และ EM ในอัตราส่วน 3:1:1 และ 3:2:1 ค่าการนำ

ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในวันที่ 4-8 จากนั้นจะลดลง เนื่องจากการมีอากาศเข้าไปในชุดการทดลองนี้ ทำให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นค่าการนำไฟฟ้าจึงเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น หลังจากการการย่อยสลายหยุดลง การนำไฟฟ้าจะคงที่ พืชโดยทั่วไปมีค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 1.5-3.0 mS/cm (Benoit, 1992) ซึ่งจากการทดลองในระบบเปิด ค่าการนำไฟฟ้าหลังการหมัก (วันที่ 24) ของทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วง 2.16-5.7 mS/cm บางชุดการทดลองมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงกว่าความต้องการของพืช ดังนั้นในขั้นตอนการปลูกพืช จะต้องทำการลดค่าการนำไฟฟ้า โดยนำไปผสมกับดิน เพื่อให้มีค่าการนำไฟฟ้าน้อยลงจนเหมาะสมต่อการเจริญของพืช ส่วนในการทดลองที่ใช้ใช้น้ำแทนจุลินทรีย์ EM พบว่าทั้งในระบบเปิดและระบบปิดค่าการนำไฟฟ้าลดลงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.20 ค่าการนำไฟฟ้าในระบบเปิดและระบบปิดอยู่ระหว่าง 7.0-8.2, 7.7-8.2 ตามลำดับ แสดงว่าในระบบที่ใช้ใช้น้ำแทนจุลินทรีย์ EM ไม่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระหว่างการหมัก



รูปที่ 4.19 ค่าการนำไฟฟ้าของชุดทดลองหลังการแปรสภาพ (a) ระบบเปิด และ (b) ระบบปิดที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 4.20 ค่าการนำไฟฟ้าของชุดทดลองกลุ่มควบคุม (a) ระบบเปิด และ (b) ระบบปิด ที่เวลาต่างๆ