บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพของกากตะกอน

การเติมหัวเชื้อลงในระบบที่ใช้ในการหมักเพื่อการผลิตแก๊สชีวภาพ นั้นเป็นการเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เข้าสู่ระบบ ซึ่งการทดลองครั้งนี้ใช้หัวเชื้อ สองชนิด ได้แก่ มูลวัวสด และกากตะกอนจากบ่อดักน้ำยางที่ได้กระบวนการผลิตน้ำยางข้น ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ จากบริษัทผลิตน้ำยางข้น ในจังหวัดสงขลา โดยสมบัติทางกายภาพและทางเคมีบางประการ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบ

พารามิเตอร์	วัตถุดิบ	
	มูลวัวสด	กากตะกอน
ปริมาณความชื้น (%Moisture content, %MC)	67.69±10.18	37.45±5.44
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%Total solid content, %TSC)	32.31±10.18	62.55±5.44
ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (%Volatile solid content, %VSC)	28.24±9.83	59.80±5.34
ค่าพีเอช (pH)	7.38	5.27

จากตาราง มูลวัวสดมีปริมาณความชื้นสูงกว่ากากตะกอน โดยมูลวัวสด มีความชื้นร้อยละ 67.69±10.18 ส่วนกากตะกอนมีความชื้นร้อยละ 37.45±5.44 ซึ่งส่งผลให้กากตะกอนมีปริมาณของแข็งทั้งหมด รวมทั้งของแข็งระเหยได้ สูงกว่ามูลวัวสด โดยปริมาณของแข็งระเหยได้ของกากตะกอนสูงกว่ามูลวัวสดประมาณ 2 เท่า คือ ร้อยละ 59.80±5.34 และ 28.24±9.83 ตามลำดับ แสดงว่ากากตะกอนมีปริมาณสารที่เชื้อจุลินทรีย์อาจสามารถนำไปใช้ได้มากกว่ามูลวัว แต่เมื่อพิจารณาค่า พีเอช พบว่า มูลวัวมีค่าพีเอช ที่เป็นกลาง คือ 7.38 ส่วนกากตะกอนที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำยางข้นมีสภาพความเป็นกรด ซึ่งมีค่า 5.27 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก กระบวนการผลิตน้ำ

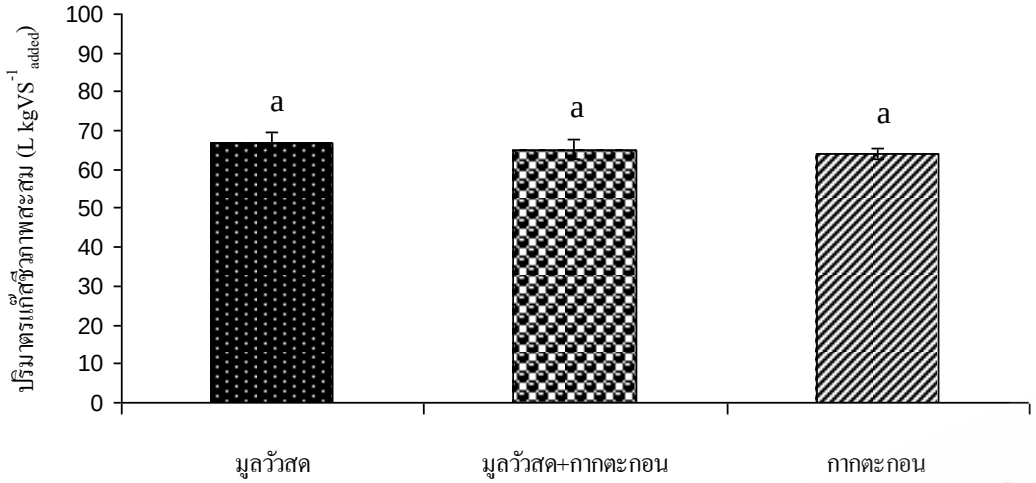
Prince of Songkla University Pattani Campus

ยางข้น มีการใช้กรดเพื่อจับตัวเนื้อยาง ในขั้นตอนการผลิตยางสกิม ส่งผลให้กากตะกอนที่ได้มีความเป็นกรดด้วย

ประสิทธิภาพของหัวเชื้อทั้งสองชนิดในการผลิตแก๊สชีวภาพ ได้ทำการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ หมักในสภาวะแบบเมโซฟิลิก ขนาดของถังปฏิกรณ์เท่ากับ 500 มิลลิลิตร พร้อมทั้งตรวจวัดปริมาตร แก๊สชีวภาพทุกๆ 1 วัน เป็นระยะเวลา 14 วัน ในการทดลองได้ทำการแปรสัดส่วนการเติมมูลวัว และ กากตะกอน 3 ชุด โดยชุดที่ 1 เติมมูลวัวสด เพียงอย่างเดียว สามารถผลิตแก๊สชีวภาพรวม 67 ± 3 L $kgVS^{-1}_{added}$ การทดลองชุด ที่ 2 เติมมูลวัวสดผสมกับกากตะกอน ในอัตราส่วนมูลวัวสดหนึ่งส่วนต่อกากตะกอนหนึ่งส่วน โดยน้ำหนักสด ได้ปริมาตรแก๊สชีวภาพรวม 65 ± 2 L $kgVS^{-1}_{added}$ และการทดลองชุดที่ 3 เติมกากตะกอนเพียงอย่างเดียว สามารถผลิตแก๊สชีวภาพรวม 64 ± 1 L $kgVS^{-1}_{added}$ ซึ่งทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Single factor ANOVA) ดังแสดงตามรูปที่ 4.1 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสมบัติบางประการของหัวเชื้อทั้งสองชนิด ถึงแม้กากตะกอนมีปริมาณของแข็งระเหยได้มากกว่ามูลวัวสดประมาณ 2 เท่า ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้มากกว่าเมื่อเทียบกับมูลวัวสด แต่เนื่องจากกากตะกอนมีความเป็นกรดมากกว่ามูลวัวสด อาจทำให้มีสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการหมัก ส่วนมูลวัวสดถึงแม้ว่ามีค่าพีเอชที่เป็นกลาง แต่ มีปริมาณของแข็งระเหยได้ที่น้อยกว่ากากตะกอน ทำให้เชื้อจุลินทรีย์นำไปใช้ได้น้อย จากสมบัติดังกล่าวทำให้กากตะกอน และมูลวัวสดสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ไม่แตกต่างกัน

ดั้งนั้นหัวเชื้อที่เหมาะสำหรับการทดลองครั้งต่อไป ได้แก่ กากตะกอนจากบ่อดักยางโรงงานน้ำยางข้น เนื่องจากกากตะกอนมีราคาถูกกว่า มูลวัวสด

Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 4.1 ปริมาตรแก๊สชีวภาพสะสมที่เกิดจากวัตถุดิบต่างกัน โดยชุดที่ 1 มูลวัวสด ชุดที่ 2 มูลวัวสดผสมกับกากตะกอน และ ชุดที่ 3 กากตะกอน (n=3)

4.2 ผลของการเติมและไม่เติมกากตะกอนต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ

การทดลองผลิตแก๊สชีวภาพ ของระบบผสมรวมวัตถุดิบระหว่างสาหร่ายและซีรัมน้ำยาง สกิมโดยมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพของระบบเมื่อมีการเติมกากตะกอนและไม่เติมกากตะกอนเข้าสู่ระบบการหมัก ซึ่งในการทดลองนี้ใช้สาหร่ายขนาดใหญ่ได้แก่ คีโตมอร์ฟา (*Chaetomorpha* sp.) ทำการหมักรวมกับซีรัม น้ำยางสกิม โดยเติมกากตะกอน 1% โดยน้ำหนักลงในชุดการทดลองที่ต้องเติมกากตะกอนลงในระบบ ซึ่งกากตะกอนได้รับการอนุเคราะห์จากโรงงานผลิตน้ำยางข้น จังหวัดสงขลา สมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของวัตถุดิบ ได้แสดง ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักแก๊สชีวภาพ

พารามิเตอร์	ซีรัมน้ำยางสกิม	*Chaetomorpha* sp.	กากตะกอน
%MC	97.34±0.78	87.87±1.88	44.40±4.5
%TSC	2.66±0.78	12.13±1.88	55.60±4.5
%VSC	1.39±0.29	6.06±0.93	26.78±3.8
pH	5.28	-	5. 82
EC (mS cm^{-1})	15.73	-	24.8
COD (mg L^{-1})	10,028±227	-	-

จากตารางที่ 4.2 ซีรัมน้ำยางสกิมและ *Chaetomorpha* sp. มีปริมาณความชื้นที่เป็นองค์ประกอบสูง โดยสูงกว่ากากตะกอนประมาณ 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งทั้งหมด ปรากฏว่า กากตะกอนมีปริมาณของแข็งสูงกว่า ซีรัมน้ำยางสกิมและ *Chaetomorpha* sp. โดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 55.60±4.5, 2.66±0.78 และ 12.13±1.88 ตามลำดับ ส่วนปริมาณของแข็งระเหย ที่เป็นองค์ประกอบของซีรัมน้ำยางสกิม *Chaetomorpha* sp. และกากตะกอนมีปริมาณของแข็งระเหยได้ร้อยละ 1.39±0.29, 6.06±0.93 และ 26.78±3.8 ตามลำดับ จากตารางพบว่าซับสเตรตทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณของแข็งระเหยได้ประมาณ 50% ของของแข็งทั้งหมด แสดงว่าซับสเตรตทั้ง3 มีปริมาณของแข็งที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ประมาณครึ่งหนึ่งของของแข็งทั้งหมด การวิเคราะห์ปริมาณซีโอดี ในน้ำยางสกิมซีรัม พบว่าน้ำยางสกิมซีรัมมีค่าซีโอดีที่สูง คือ 10,028±227 mg L^{-1} แสดงให้เห็นว่าในน้ำยางสกิมซีรัมมีปริมาณสารอินทรีย์สูง จากการวัดค่าพีเอชของน้ำยางสกิมซีรัมและกากตะกอนปรากฏว่า ตัวอย่างทั้งสอง มีสภาพความเป็นกรด โดยสามารถตรวจวัดได้ 5.28 และ 5.82 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 สูตรที่ใช้หมักแก๊สชีวภาพในระบบที่มีการเติมและไม่เติมกากตะกอน

สูตร	สัดส่วนมวลของซับสเตรต (น้ำหนักสด)	
	สาหร่าย	ซีรัมน้ำยางสกิม
1	3	-
2	2	1
3	1	2
4	-	3

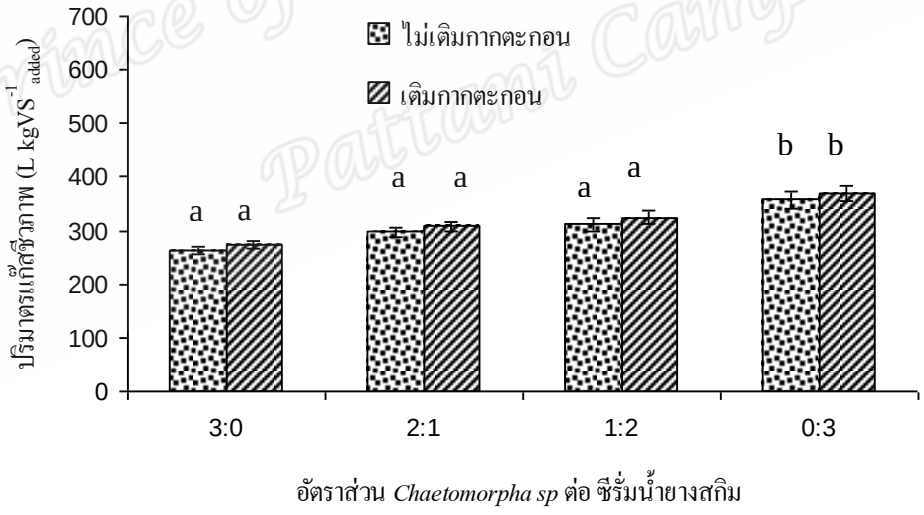
หมายเหตุ ชุดการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพเมื่อเติมกากตะกอนในระบบ มีการเติมกากตะกอน ร้อยละ1โดยน้ำหนัก

จากตารางที่ 4.3 แสดงสูตรที่ใช้ในการทดลองเกี่ยวกับผลของการเติมและไม่เติมกากตะกอนลงในระบบที่ทำการหมักต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งมี 4 ชุดการทดลอง โดยมีการแปรสัดส่วนของสาหร่าย (*Chaetomorpha* sp.) และซีรัม น้ำยางสกิม ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพระหว่างระบบที่ไม่เติมกากตะกอนและ

Prince of Songkla University Pattani Campus

ระบบที่เติมกากตะกอน โดยระบบที่มีการเติมตะกอน จะทำการเติมกากตะกอนร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในทุก ๆ ชุดการทดลอง

ปริมาณผลผลิตแก๊สชีวภาพรวม ของชุดการทดลองที่เติมและไม่เติมกากตะกอนในระบบ ดังแสดงในภาพที่ 4.2 การทดลองครั้งนี้ทำการทดลอง 4 ชุดการทดลอง และเปรียบเทียบปริมาตรแก๊สชีวภาพรวมของแต่ละสูตรการทดลองที่เติมกากตะกอนร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในทุกชุดการทดลองกับสูตรการทดลองที่ไม่มีการเติมกากตะกอนเข้าสู่ระบบ ปรากฏว่าในทุกชุดการทดลองเมื่อเติมกากตะกอนลงไปในระบบปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้น โดยชุดการทดลองที่มีการใช้เฉพาะซีรัมน้ำยางสกิม ได้ปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุดคือ 358± 16 L $kgVS^{-1}_{added}$ (ไม่เติมกากตะกอน) และ 368±14 L $kgVS^{-1}_{added}$ (เติมกากตะกอน) แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊สรวมที่เกิดขึ้นระหว่างชุดการทดลองที่เติมกากตะกอน และไม่เติมกากตะกอนลงไปในระบบ ปรากฏว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Single factor ANOVA) ดังนั้นในการดำเนินการทดลองในขั้นต่อไป จึงเลือกไม่เติมกากตะกอนลงไปในระบบ



รูปที่ 4.2 ปริมาตรแก๊สชีวภาพที่เกิดจากการหมักด้วยวัตถุดิบต่างๆ เมื่อมีการเติมกากตะกอนและไม่เติมกากตะกอนเข้าสู่ระบบ

Prince of Songkla University Pattani Campus

4.3 ความสามารถในการผลิตแก๊สชีวภาพของซีรัมน้ำยางสกิมและสาหร่ายขนาดใหญ่

ซีรัมน้ำยางสกิมที่ใช้ในการทดลองได้มาจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้นจากโรงงานจะนะน้ำยาง ซึ่งเป็นซีรัมน้ำยางสกิมที่ได้จากการจับตัวหางน้ำยางหลังจากกระบวนการน้ำปั่นเหวี่ยง เพื่อผลิตน้ำยางข้น

ในการทดลองใช้สาหร่ายสีเขียวสองสายพันธุ์ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. และ *Ulva intestinalis* ซึ่งมีการเก็บตัวอย่างบริเวณคลองระบายน้ำจากบ่อเลี้ยงกุ้ง อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

เศษขี้ยางใช้ในการทดลองได้จากการแยกเศษขี้ยางที่ปนอยู่ในกากขี้แป้ง ซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองนี้มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 4.4 จากตารางจะพบว่าสาหร่ายทั้งสองชนิดและซีรัมน้ำยางสกิมมีปริมาณความชื้นเป็นองค์ประกอบสูง ส่งให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดของวัตถุดิบทั้งสามมีปริมาณต่ำ ซึ่งตรงข้ามกับเศษขี้ยางที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดในปริมาณที่สูง โดยสาหร่ายทั้งสองชนิดมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 9.08±1.44 และ 7.46±0.45 ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Zhong *et al.* (2012) ได้รายงานสมบัติของสาหร่าย *Microcystis* spp. ซึ่งเป็นสาหร่ายสีน้ำเงินในทะเลสาบTaihu มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 8.22 รวมทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gurung *et al*. (2012) ที่รายงานปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งระเหยได้ของสาหร่ายสีเขียวเท่ากับร้อยละ 10.9±1.8 และ 8.4±0.9 ตามลำดับ เมื่อคำนวณปริมาณของแข็งระเหยได้ปรากฏว่าวัตถุดิบทั้งสี่ชนิดปรากฏว่า เศษขี้ยางมีปริมาณของแข็งระเหยได้สูงสุดคือร้อยละ 67.87±8.23 ส่วนซีรัมน้ำยางสกิมมีปริมาณต่ำสุดคือ 1.45±0.27 ในส่วนของสาหร่ายทั้งสองชนิด *Chaetomorpha* sp. และ *Ulva intestinalis* มีปริมาณของแข็งระเหยได้ไม่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณของแข็งระเหยได้ร้อยละ 5.77±0.77และ 6.46±0.33 ตามลำดับ การวิเคราะห์ปริมาณซีโอดี ในซีรัมน้ำยางสกิมพบว่าซีรัมน้ำยางสกิมมีค่าซีโอดีที่สูง คือ 7,511±373 mgL^{-1} แสดงให้เห็นว่าในซีรัมน้ำยางสกิมมีปริมาณสารอินทรีย์สูง สำหรับปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจน ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available-P) ซึ่งจัดเป็นธาตุที่จำเป็นเพื่อนำไปใช้สร้างกรดนิวคลิอิกและพลังงานสำหรับเชื้อจุลินทรีย์ โดยปริมาณของธาตุอาหารที่เป็นองค์ในสาหร่ายทั้งสองชนิดปรากฏว่า มีปริมาณขององค์ประกอบดังกล่าวที่ไม่แตกต่างกัน โดยปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจนของ *Chaetomorpha* sp. และ *Ulva intestinalis* มีค่าเท่ากับ 0.46±0.02 และ 0.54±0.02 ร้อยละโดยน้ำหนัก ปริมาณออร์แกนิกคาร์บอน มีค่าเท่ากับ 2.41±0.35 และ 3.23±0.48 ร้อยละโดยน้ำหนัก และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ มีค่าเท่ากับ 121.53±6.77 และ 110.05±4.06 ร้อยละโดยน้ำหนัก (w/w) ตามลำดับ

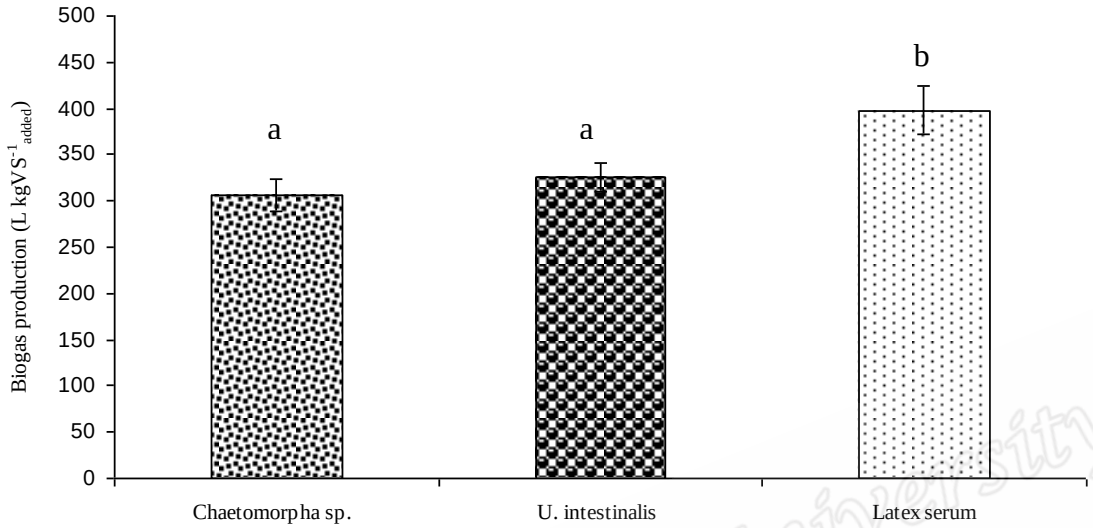
ตารางที่ 4.4 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักแก๊สชีวภาพ

Parameter	*Chaetomorpha* sp.	*Ulva intestinalis*	*Hevea* latex serum	Rubber solid waste
%MC	90.92±1.44	92.54±0.45	98.14±0.24	23.19±3.23
%TSC	9.08±1.44	7.46±0.45	1.86±0.24	76.81±3.23
%VSC	5.77±0.77	6.46±0.33	1.45±0.27	67.87±8.23
pH	-	-	5.48	-
EC (mS cm^{-1})	-	-	25	-
COD (mg L^{-1})	-	-	7511±373	-
TKN (%)	0.46±0.02	0.54±0.02	0.62±0.01	0.16±0.01
TOC (%)	2.41±0.35	3.23±0.48	0.15±0.06	6.28±0.09
Available-P (w/w)	121.53±6.77	110.5±4.06	17.44±1.64*	-

หมายเหตุ * หน่วย mg L^{-1}

Prince of Songkla University Pattani Campus

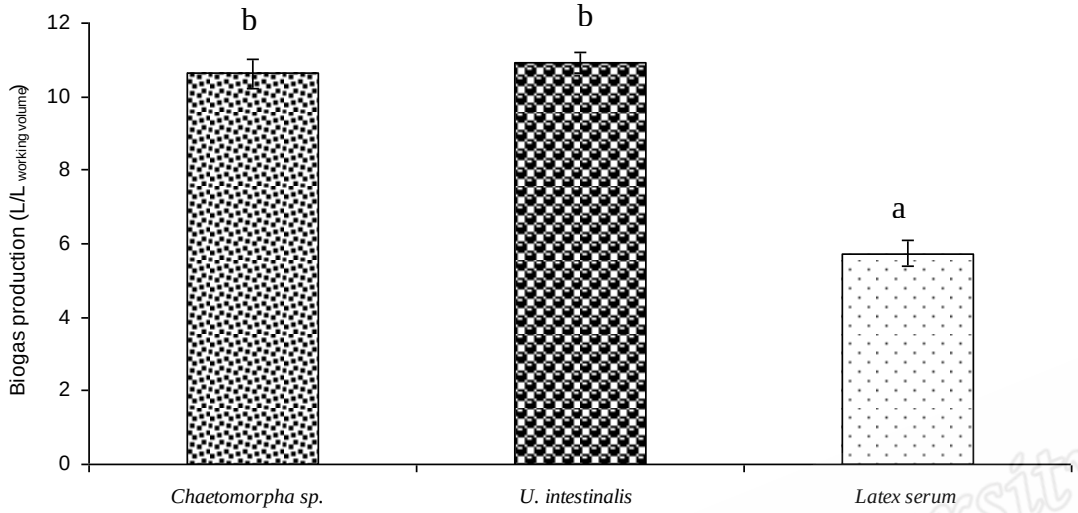
4.3.1 ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพของวัตถุดิบแต่ละชนิด



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรแก๊สชีวภาพรวม (L $kgVS^{-1}_{added}$) จากสาหร่ายขนาดใหญ่ สองชนิด*Chaetomorpha* sp. และ *Ulva intestinalis* และซีรัมน้ำยางสกิม

จากการศึกษาความสามารถในการผลิตแก๊สชีวภาพของซีรัมน้ำยางสกิม และสาหร่ายสองชนิดได้แก่ *Chaetomorpha* sp. และ *Ulva intestinalis* โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 30 วัน เมื่อเปรียบเทียบโดยคำนวณในฐานของแข็งระเหยได้ (Volitile solid content) ปรากฏว่าสาหร่ายทั้งสองชนิด ได้แก่ *Chaetomorpha* sp. และ *Ulva intestinalis* มีประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Single factor ANOVA) โดยสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 307±10 และ 325±9 L $kgVS^{-1}_{added}$ ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของสาหร่ายทั้งสองชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4.4 มีค่าใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ทั้งสองนี้อาจเนื่องมาจาก สารอินทรีย์ที่อยู่ในซีรัมน้ำยางสกิมสามารถย่อยสลายได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับโครงสร้างของสาหร่าย ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ต้องอาศัยเวลาในการย่อยสลายนานกว่าสารที่อยู่ในซีรัมน้ำยางสกิม ส่งผลให้ซีรัมน้ำยางสกิมสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้มากกว่าสาหร่ายขนาดใหญ่เมื่อเทียบในฐานของปริมาณของแข็งระเหยได้ โดยสามารถผลิตได้ 398±14 L $kgVS^{-1}_{added}$

Prince of Songkla University Pattani Campus



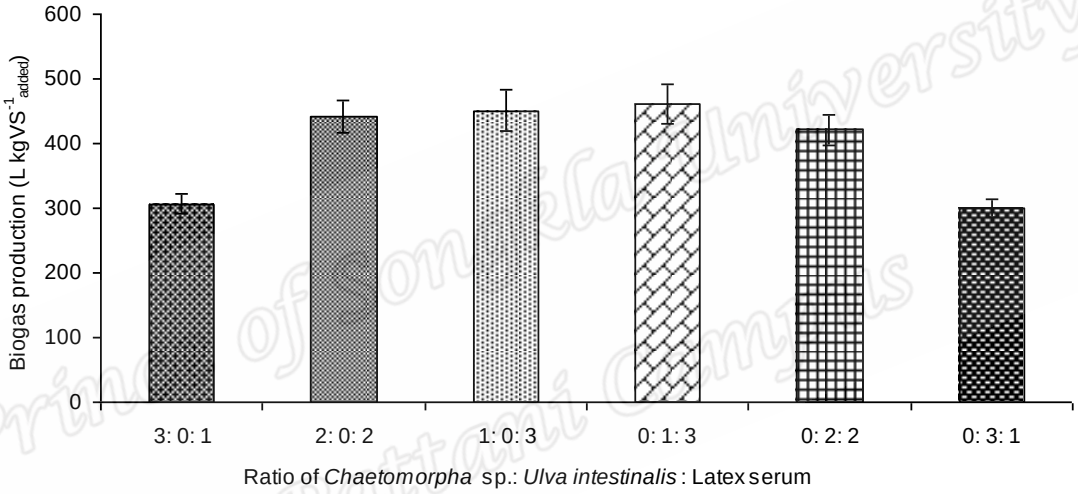
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรแก๊สชีวภาพรวม ($L/L_{working\ volume}$) จากสาหร่ายขนาดใหญ่สองชนิด *Chaetomorpha* sp. และ *Ulva intestinalis*และซีรัมน้ำยางสกิม

จากการศึกษาความสามารถในการผลิตแก๊สชีวภาพของวัตถุดิบแต่ละชนิดได้แก่ สาหร่ายขนาดใหญ่สองชนิด *Chaetomorpha* sp. และ *Ulva intestinalis* และซีรัมน้ำยางสกิม เมื่อคำนวณฐานของปริมาตรแก๊สชีวภาพต่อปริมาตรของซับสเตรตที่ใช้ในการผลิต ปรากฏว่าสาหร่ายทั้งสองชนิด สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Single factor ANOVA) ซึ่งสามารถผลิตแก๊สชีวภาพสูงกว่าซีรัมน้ำยางสกิม เนื่องจากซีรัมน้ำยางสกิมมีค่า ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณเจลดาห์ลไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และ ปริมาณของแข็งทั้งหมด น้อยกว่าสาหร่ายทั้งสองชนิด ซึ่งอาจจะแสดงให้เห็นว่าสารที่เป็นองค์ประกอบในซีรัมน้ำยางสกิมอยู่ในรูปที่เชื้อจุลินทรีย์นำไปใช้ได้ยาก หรือมีคุณค่าทางอาหารสำหรับเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่าเมื่อเทียบกับสาหร่าย ทำให้ผลิตแก๊สชีวภาพได้น้อยกว่าเมื่อคำนวณเปรียบเทียบกับปริมาตรของซับสเตรตที่ใช้ในการผลิต โดย *Chaetomorpha* sp., *Ulva intestinalis*. และซีรัมน้ำยางสกิม สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 10.6±1.2, 10.9±0.8 และ 5.1±1.0 $L/L_{working\ volume}$ ตามลำดับ ถึงแม้ว่าซีรัมน้ำยางสกิมสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้สูงกว่าสาหร่ายทั้งสองชนิดเมื่อคำนวณในฐานของปริมาณของแข็งระเหยได้ แต่เมื่อคำนวณการผลิตแก๊สชีวภาพเมื่อเทียบกับปริมาตรของซับสเตรตที่ใช้ในการผลิต ซีรัมน้ำยางสกิมสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ต่ำกว่า

Prince of Songkla University Pattani Campus

สาหร่ายทั้งสองชนิดเกือบสองเท่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ซีรัมน้ำยางสกิมเพียงอย่างเดียวต้องใช้ขนาดถังปฏิกรณ์ที่ใหญ่กว่าถึงสองเท่าเพื่อที่จะสามารถผลิตแก๊สชีวภาพให้ได้เท่ากับแก๊สชีวภาพที่ผลิตจากสาหร่าย ดังนั้นอาจไม่เหมาะสมในการนำไปใช้จริงเพราะเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต

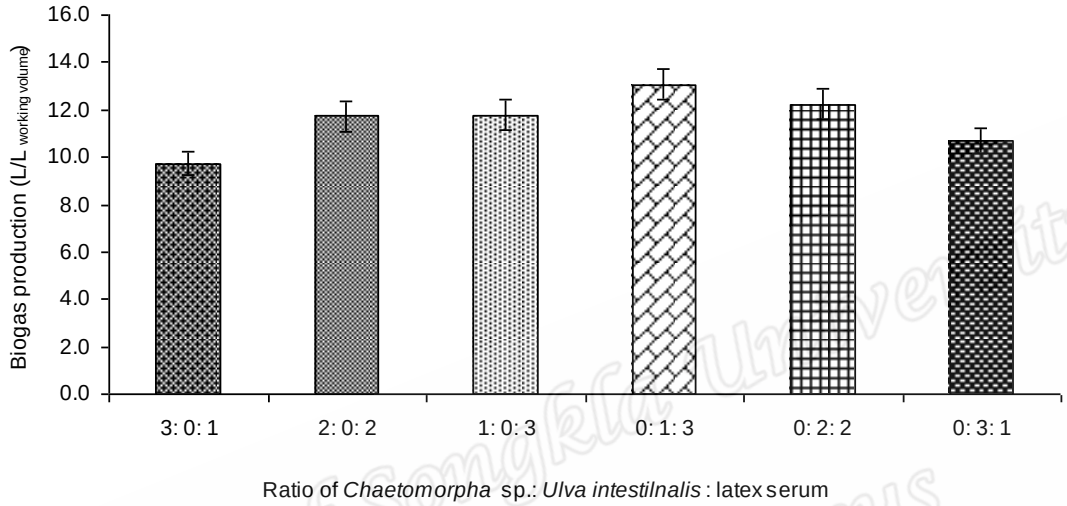
4.3.2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพเมื่อมีการผสมวัตถุดิบ



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรแก๊สชีวภาพรวม (L $kgVS^{-1}_{added}$) กับสูตรการหมักจากสาหร่ายขนาดใหญ่ สองชนิด (*Chaetomorpha* sp. และ *Ulva intestinalis*) และซีรัมน้ำยางสกิม

การศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากผสมระหว่างสาหร่ายขนาดใหญ่ทั้งสองชนิดกับซีรัมน้ำยางสกิม โดยผสมในสัดส่วนต่างๆ ทั้งหมดหกชุดการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพมีแนวโน้มสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้มากกว่าใช้สาหร่าย หรือซีรัมน้ำยางสกิมเพียงอย่างเดียว (*Chaetomorpha* sp., *Ulva intestinalis* และ ซีรัมน้ำยางสกิม สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้306±18, 326±28 และ 396±27 L $kgVS^{-1}_{added}$ ตามลำดับ) ซึ่งในกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพจากสาหร่ายขนาดใหญ่ร่วมกับซีรัมน้ำยางสกิมในสัดส่วนต่างๆ สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ตั้งแต่ 299±14 ถึง 460±31 L $kgVS^{-1}_{added}$ แสดงว่าการผลิตแก๊สชีวภาพจากการใช้ซีรัมน้ำยางสกิม

ร่วมกับสาหร่ายไม่เป็นพิษต่อระบบ อีกทั้งระบบการผลิตแก๊สชีวภาพที่มีการผสมรวมกันระหว่างวัตถุดิบ ทำให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถทำงานได้ดีขึ้น เนื่องจากสารอาหารมีความสมดุลเพิ่มมากขึ้น และเชื้อจุลินทรีย์สามารถสัมผัสกับเนื้อสารได้ดีขึ้น ส่งผลให้สามารถผลิตแก๊สชีวภาพเพิ่มมากขึ้น (Lianhua *et al.,* 2010)



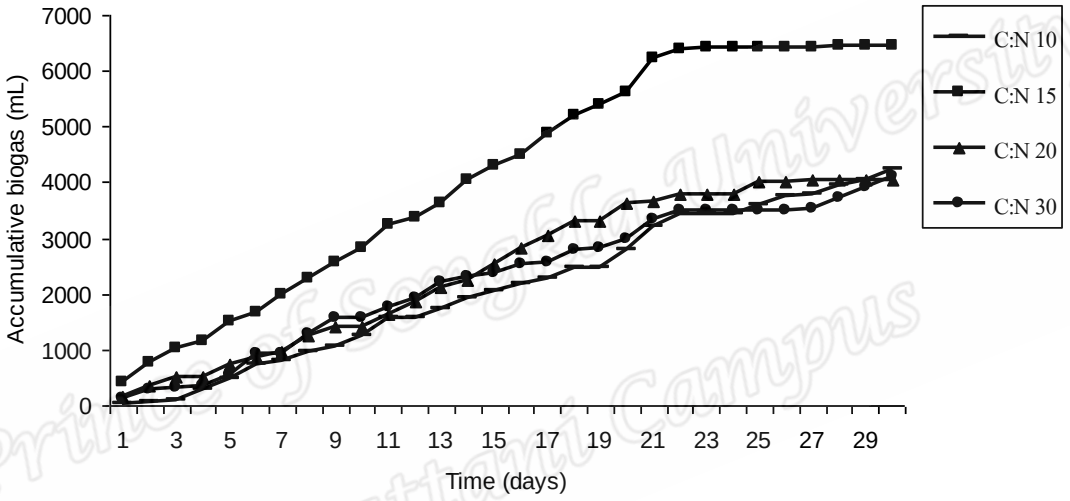
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรแก๊สชีวภาพรวม ($L/L_{working\ volume}$) กับสูตรการหมักจากสาหร่ายขนาดใหญ่ สองชนิด*Chaetomorpha* sp. และ *Ulva intestinalis* และซีรัมน้ำยางสกิม

การศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากการผสมรวมระหว่างสาหร่ายขนาดใหญ่ทั้งสองชนิด *Chaetomorpha* sp. และ *Ulva intestinalis*. ร่วมกับซีรัมน้ำยางสกิมจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นสัดส่วนต่าง ๆ เมื่อคำนวณฐานของปริมาตรแก๊สชีวภาพต่อปริมาตรของถังปฏิกรณ์ พบว่าประสิทธิภาพภาพการผลิตแก๊สชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยระบบการผลิตแบบผสมรวมวัตถุดิบที่ผสมซีรัมน้ำยางสกิมในสัดส่วนที่เท่ากับสาหร่ายหรือมากกว่าสองส่วน สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้สูงกว่าระบบที่เติมซีรัมน้ำยางสกิมหนึ่งส่วนประมาณ 28-38% จากกราฟพบแนวโน้มการผลิตแก๊สชีวภาพจะเพิ่มขึ้นในลักษณะแบบการทำงานร่วมกัน (Synergic) โดยสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ระหว่าง 9.7±0.5 ถึง 13.1±0.7 $L/L_{working\ volume}$ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์สามารถสัมผัสกับเนื้อสารได้ดีขึ้น และมีสารอาหารที่หลากหลายกว่า ทำให้เชื้อจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่า ส่งผลให้สามารถผลิตแก๊สชีวภาพเพิ่มมากขึ้น (Lianhua *et al.,* 2010)

Prince of Songkla University Pattani Campus

จากการศึกษาการหมักร่วมกันระหว่างสาหร่ายขนาดใหญ่ร่วมกับซีรัมน้ำยางสกิม ชี้ให้เห็นว่าไม่ก่อให้เกิดปัญหากับระบบการหมัก และสามารถนำไปใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพได้

4.4 ผลของสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพจากสาหร่ายและซีรัมน้ำยางสกิม



รูปที่ 4.7 สัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพในระบบผสมรวมวัตถุดิบ (n=3)

จากกราฟแสดงที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรแก๊สสะสมกับระยะเวลาในการหมักของแต่ละชุดการทดลองโดยใช้ระบบการผสมรวมของวัตถุดิบ (Co-digestion system) และมีการเติมเศษยาง (Rubber solid waste) เพื่อควบคุมสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) โดยควบคุมที่ 10, 15, 20 และ 30 ซึ่งใช้ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน พบว่าการทดลองที่มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 15 สามารถผลิตแก๊สสูงกว่าชุดการทดลองอื่น โดยสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ซึ่งมีปริมาตรแก๊สชีวภาพสะสมหลังการหมัก 30 วัน 6,444±191 mL และมีอัตราผลิตแก๊สชีวภาพ 217 ±19 mL $day^{-1}_{working\ volume}$ ซึ่งสอดคล้องกับ Shanmugam and Horan (2009) ที่ทำการทดลองโดยมีการผสมรวมระหว่าง ของเสียจากอุตสาหกรรมหนังสัตว์ และของเสียจากครัวเรือน พบว่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 15 สามารถผลิตแก๊สชีวภาพสะสม

Prince of Songkla University Pattani Campus

สูงสุด ส่วนชุดการทดลองอื่นที่มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 10, 20 และ 30 สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ใกล้เคียงไม่แตกต่างกันโดยมีปริมาตรแก๊สชีวภาพสะสม 4,243±188, 4,051±159 และ 4,096±178 mL ตามลำดับ อัตราการผลิตแก๊สชีวภาพที่ 141±6, 135±5 และ 136±6 mL $day^{-1}_{working\ volume}$ ตามลำดับ สาเหตุที่ชุดการทดลองที่มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 10 ผลิตแก๊สชีวภาพน้อย อาจมีสาเหตุจากมีปริมาณไนโตรเจนในระบบมากเกินไป และมีการปล่อยไนโตรเจน โดยไนโตรเจนที่ปล่อยมาจะอยู่ในรูปแอมโมเนียและแอมโมเนียมไอออน และมีการปล่อยกรดไขมันระเหยได้เข้าสู่ระบบ ซึ่งมีผลยับยั้งการทำงานและมีพิษต่อเชื้อจุลินทรีย์ในระบบการผลิตแก๊สชีวภาพ (Sialve, Bernet และ Bernard, 2009) ส่วนชุดการทดลองที่มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 20 และ 30 ผลิตแก๊สชีวภาพได้ต่ำ แม้ว่า Zubr (1986) รายงานว่า สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 15-30 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่มีสารอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์มากเกินไป ทำให้เชื้อจุลินทรีย์สัมผัสกับสารได้ไม่ดี ไม่ทั่วถึง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพต่ำลง

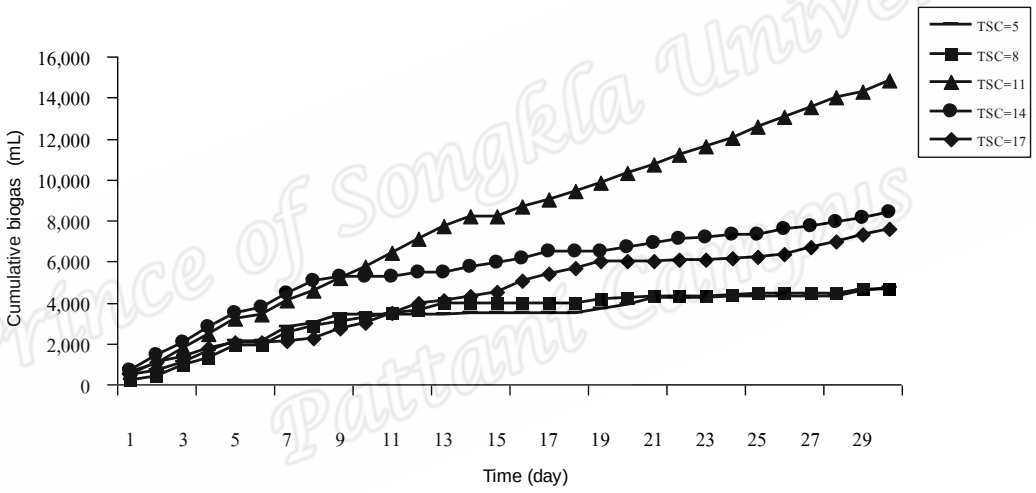
จากการทดลองครั้งนี้ใช้เศษยางที่ปนอยู่ในกากขี้แป้งมาใช้ในการปรับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนภายในระบบ พบว่าเศษยางเป็นวัตถุดิบที่ใช้เวลานานในการย่อยสลาย ซึ่งอาจถือได้ว่าเศษยางกลายเป็นแหล่งคาร์บอนที่มีการปล่อยคาร์บอนเข้าสู่ระบบอย่างช้า ๆ (Slow release carbon) จะทำให้การใช้ประโยชน์ของจุลินทรีย์และความสมดุลของสารอาหารในระบบมีระยะเวลานานขึ้น

4.5 ผลของปริมาณของแข็งทั้งหมด ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพจากสาหร่ายและซีรัมน้ำยางสกิม

จากกราฟที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรแก๊สสะสมกับระยะเวลาในการหมักของแต่ละชุดการทดลอง ซึ่งมีการควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content, TSC) ที่ 5, 8, 11, 14 และ 17% TSC ใช้ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน ปรากฏว่าช่วง 10 วันแรกในทุกชุดการทดลองสามารถผลิตแก๊สได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง โดยชุดการทดลองที่มีการควบคุมของแข็งทั้งหมดที่ 11% TSC สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ดีที่สุดโดยจะมีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพ 496 mL $day^{-1}_{working\ volume}$ ส่วนชุดการทดลองอื่น ๆ อัตราการผลิตแก๊สชีวภาพเริ่มลดลง และค่อนข้างคงที่เมื่อเข้าสู่วันที่ 14 โดยชุดการทดลองที่มีการควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ 5, 8, 14 และ 17% TSC มีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 157, 155, 281 and 254 mL $day^{-1}_{working\ volume}$ ตามลำดับ สาเหตุที่ชุดการทดลองที่ควบคุมปริมาณของแข็งในระดับต่ำ (5 และ 8%TSC) มีอัตรา

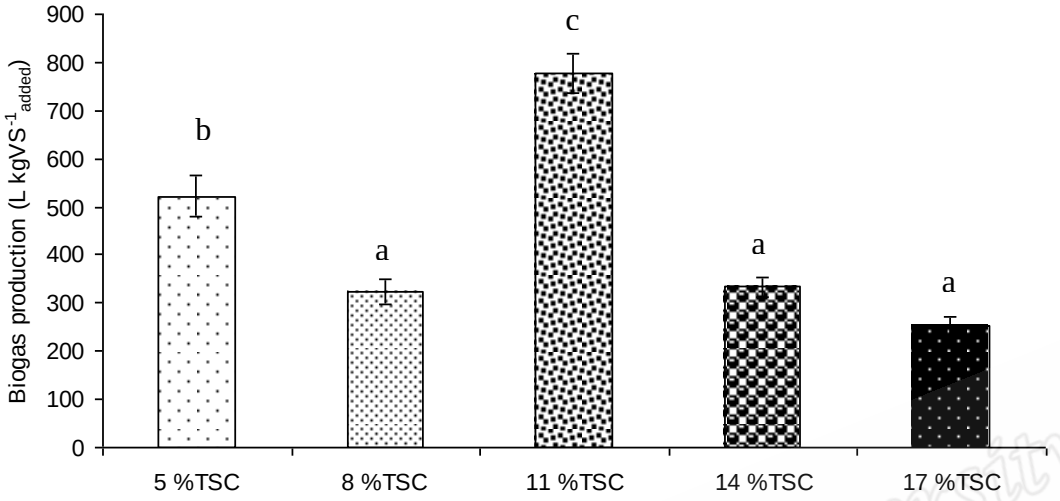
Prince of Songkla University Pattani Campus

การผลิตแก๊สชีวภาพต่ำแสดงว่าการทำงานของจุลินทรีย์เริ่มลดลงเนื่องจากอาหารที่สามารถเริ่มหมด ทั้งนี้ในชุดการทดลองที่ควบคุมปริมาณของแข็งในระดับต่ำ มีปริมาณของแข็งระเหยได้ในระบบน้อยและกากของแข็งหรือสารอาหารของจุลินทรีย์บางส่วนอาจเกิดการลอยอยู่บน (floating) บริเวณผิวหน้าของภาชนะ ส่งผลให้การสัมผัสระหว่างซับสเตรตและจุลินทรีย์ลดลง ทำให้เชื้อจุลินทรีย์นำสารอาหารไปใช้ลดลง (Lianhua *et al.,* 2010) ส่วนชุดการทดลองที่ควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ 14 และ 17% TSC มีอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading rate) ที่มากเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของถังปฏิกรณ์ ทำให้การกระจายตัวของเชื้อจุลินทรีย์ไม่ทั่วถึง ส่งผลให้การทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ลดลงประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพจึงต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่11% TS



รูปที่ 4.8 ผลของปริมาณของแข็งทั้งหมดต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ

Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรแก๊สชีวภาพรวมกับปริมาณของแข็งทั้งหมด

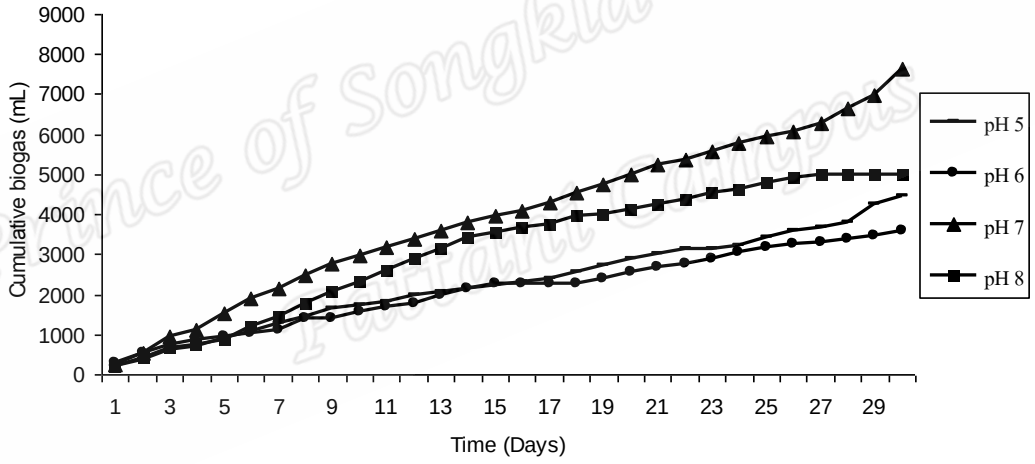
การศึกษาผลของปริมาณของแข็งทั้งหมดต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ โดยควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ 5, 8, 11, 14 และ 17% TSC ตามลำดับ ปรากฏว่าชุดการทดลองที่มีการควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ 11% TSC สามารถในการผลิตแก๊สชีวภาพได้สูงสุด เท่ากับ 776±40 L $kgVS^{-1}_{added}$ สาเหตุที่ 5 และ 8 %TSC ผลิตแก๊สชีวภาพได้น้อยอาจเนื่องมาจากการที่มีปริมาณสารอาหารที่น้อยและซับเสตรตสามารถเกิดการลอยได้ง่าย ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ไม่ดี ส่วนชุดการทดลองที่ 14 และ 17% TSC มีอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ที่มากเกินไปเมื่อเทียบกับขนาดของถังปฏิกรณ์ ทำให้สารอาหารและเชื้อจุลินทรีย์กระจายตัวได้ไม่ทั่วถึง ส่งผลให้ผลิตแก๊สชีวภาพได้ต่ำกว่า

ดังนั้นปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สชีวภาพ ได้แก่ 11%TSC ซึ่งสอดคล้องกับการหมักแก๊สชีวภาพจากมูลสุกร ซึ่งรายงานปริมาณของแข็งที่เหมาะสมที่ 10 %TSC (พรเทพ, 2551) และการหมักแก๊สชีวภาพจากมูลสุกรผสมกับกากตะกอน (Sewage sludge) ซึ่งมีค่าปริมาณของแข็งที่เหมาะสมที่ 7.5 %TSC (Wong, 1990)

Prince of Songkla University Pattani Campus

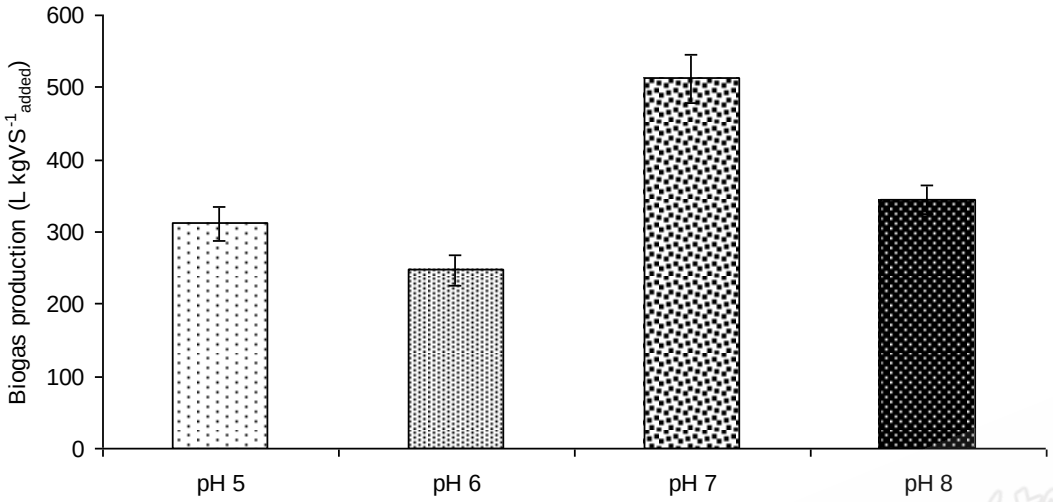
4.6 ผลของค่าพีเอชของวัตถุดิบ ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพจากสาหร่ายและซีรัมน้ำยางสกิม

จากกราฟที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรแก๊สสะสมกับระยะเวลาในการหมักของแต่ละชุดการทดลอง ซึ่งในจะมีการควบคุมค่าพีเอชของวัตถุดิบในการหมักที่ 5, 6, 7 และ 8 ใช้ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน ปรากฏว่าช่วงแรกในทุกชุดการทดลองสามารถผลิตแก๊สได้ไม่แตกต่างกันในทุกชุดการทดลอง หลังจากวันที่ 17 ชุดการทดลองที่ค่าพีเอชเท่ากับ 7 เริ่มมีแนวโน้มผลิตแก๊สชีวภาพได้สูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ซึ่งมีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพเริ่มคงที่เมื่อเข้าสู่วันที่ 14 แสดงว่าค่าพีเอชไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ จากรายงานของ Jain and Mattiasson (1998) รายงานว่าในการหมักแก๊สชีวภาพ ถ้าค่าพีเอชสูงกว่า 5 จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดถึง 75% เมื่อเทียบกับระบบที่มีค่าพีเอชต่ำ



รูปที่ 4.10 ผลของปริมาณค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพในระบบผสมรวมวัตถุดิบระหว่าง *Chaetomorpha* sp. และซีรัมน้ำยางสกิม (n=3)

Prince of Songkla University Pattani Campus



รูปที่ 4.11 อิทธิพลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการหมักแก๊สชีวภาพในระบบผสมรวมวัตถุดิบระหว่าง *Chaetomorpha* sp. และซีรัมน้ำยางสกิม (n=3)

จากการศึกษาผลของค่าพีเอชต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งคำนวณในฐานของแข็งระเหยได้ โดยควบคุมค่าพีเอชของวัตถุดิบ 5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) หรือสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ (1 M HCl) ในการปรับค่าพีเอชของระบบ ปรากฏว่าชุดการทดลองที่มีค่าพีเอชที่ 7 สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้สูงกว่าทุกชุดการทดลองโดยสามารถผลิตแก๊สชีวภาพสะสมหลังจากทำการหมัก 30 วัน ได้ 512±33 L $kgVS^{-1}_{added}$ สาเหตุที่ชุดการทดลองที่มีการควบคุมค่าพีเอช 5, 6 และ 8 ผลิตแก๊สชีวภาพได้น้อยเนื่องมาจากการ มีค่าพีเอชที่เป็นกรดหรือเป็นด่างมากเกินไป ทำให้ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ จากรายงานของ Yadvika *et al.* (2004) ระบุว่าควรควบคุมค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ให้อยู่ในช่วง 6.8 – 7.2 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตแก๊สมีเทน

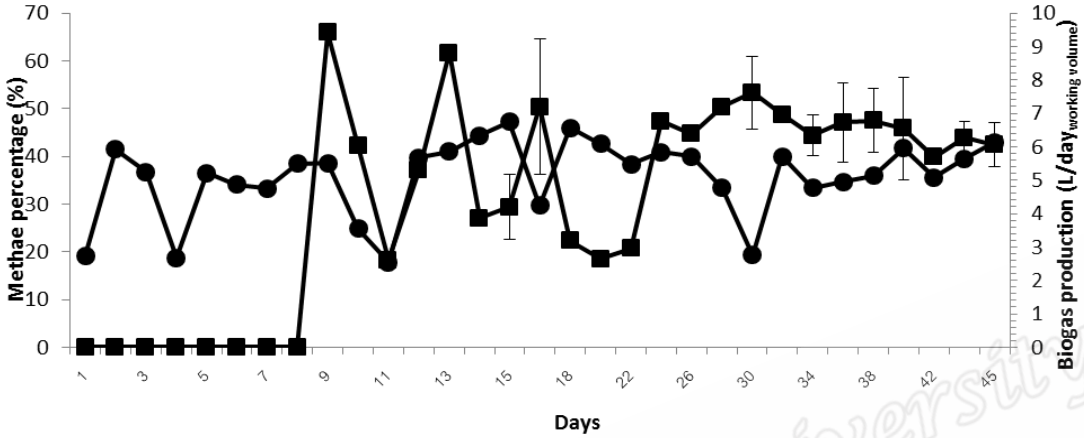
Prince of Songkla University Pattani Campus

4.7 ปริมาณแก๊สมีเทนที่เป็นองค์ประกอบในแก๊สชีวภาพ

การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ จากซีรัมน้ำยางสกิมร่วมกับสาหร่ายขนาดใหญ่ (*Chaetomorpha* sp.) โดยขยายขนาดความจุของถังปฏิกรณ์ประมาณ 12 เท่า จากเดิม 0.5 ลิตร ขยายเป็น 6 ลิตร ทำการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ ระบบแบบกะ ซึ่งมีการควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid content) ที่ 11% TSC ค่าพีเอชเท่ากับ 7 และสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 15 ในสภาวะแบบมีโซฟิลิก อุณหภูมิระหว่างทดลองประมาณ 34±3 ^{o}C ระยะเวลาในการทดลอง 45 วัน ปรากฏว่าอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพของการทดลองที่มีการขยายขนาดถังปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 5±1 L day$^{-1}_{\text{working volume}}$ (ตารางที่ 4.6) ถือว่ามีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพที่สูงเมื่อเทียบกับการหมักของเสียประเภทเศษผักและผลไม้ (fruit and vegetable waste ,FVW) และกากตะกอนแบบเร่ง (activated sludge, AS) มีอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพระหว่าง 0.131 ถึง 2.4 L day^{-1} ค่าพีเอชมีค่าคงที่ประมาณ 7.6 ±0.3 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมกับการหมักแบบไร้ออกซิเจน สอดคล้องกับ Ghasimi *et al.* (2009) รายงานว่าค่า COD และ BOD_5 จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญถ้ามีการควบคุมพีเอชในระบบระหว่าง 6.8 – 7.5 เช่นเดียวกันกับ Yadvika *et al.* (2004) ที่รายงานว่าการผลิตแก๊สชีวภาพควรควบคุมค่าพีเอชในระบบให้อยู่ในช่วง 6.8 – 7.2 ดังนั้นเมื่อป้อนซีรัมน้ำยาง สกิม ซึ่งมีสมบัติเป็นกรดโดยมีค่าพีเอชเท่ากับ 5.48 (ตารางที่ 4.4) เข้าสู่ระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนสามารถลดความเป็นกรดและลดขั้นตอนหรือกระบวนการบำบัดบัดน้ำทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนการปรับพีเอชของน้ำทิ้งก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย

ส่วนปริมาณกรดไขมันระเหยได้หลังการหมักมีค่าเท่ากับ 436±71 mg L^{-1} ซึ่งถือว่ามีความเข้มข้นในระดับที่ต่ำ และเหมาะสมต่อระบบการผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่ง Ward *et al.* (2008) ทำการหมักแก๊สชีวภาพจากของเสียภาคเกษตร รายงานว่าถ้ากรดไขมันระเหยได้มีความเข้มข้นมากกว่า 4,000 mg L^{-1} จะมีผลยับยั้งกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน โดยการยับยั้งของระบบจากกรดไขมันระเหยได้แบบโซ่ยาว (Long chain volatile fatty acid) นั้นจะมีผลต่อเชื้อจุลินทรีย์ โดยกรดไขมันระเหยได้โซ่ยาวจะดูดซับบริเวณผนังเซลล์ หรือเยื่อหุ้มเซลล์ และจะรบกวนกระบวนการลำเลียงสารของเชื้อจุลินทรีย์ (Chen *et al.*, 2008)

ส่วนเปอร์เซ็นต์ของแก๊สมีเทนในแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้แสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การผลิตแก๊สชีวภาพในระบบผสมรวมวัตถุดิบระหว่างสาหร่ายขนาดใหญ่ (*Chaetomorpha* sp.) ร่วมกับชีรัมน้ำยางสกิม โดยควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมด ควบคุมพีเอชที่ 7 ควบคุมอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 15 ในระบบที่ขยายขนาดถังปฏิกรณ์เป็น 6 ลิตร (n=3) โดยแสดงร้อยละของแก๊สมีเทนในแก๊สชีวภาพ (◆) และ อัตราการผลิตแก๊สชีวภาพ (●)

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าในสัปดาห์แรก ไม่มีแก๊สมีเทนเกิดขึ้นในระบบ เนื่องจาก เป็นระยะพัฒนาของเชื้อจุลินทรีย์ (Lag phase) อีกทั้งจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าจุลินทรีย์ที่ไม่ผลิตมีเทน ส่งผลให้มีปริมาณของเชื้อจะต่ำ ซึ่งเมื่อผ่านระยะพัฒนาของเชื้อจุลินทรีย์ (Lag phase) แล้วปริมาณแก๊สมีเทนก็เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ชี้ให้เห็นว่าเชื้อจุลินทรีย์มีการทำงานเพิ่มมากขึ้น (Zhong *et al.,* 2012) ในช่วงที่สอง ตั้งแต่วันที่ 9 จนถึงวันที่ 23 ของการหมักเปอร์เซ็นต์ของแก๊สมีเทนเพิ่มสูงขึ้น แต่มีการผลิตแก๊สมีเทนที่ไม่สม่ำเสมอ และมีการเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นวัฏจักรทุก ๆ สามวัน อาจเนื่องมาจากเชื้อจุลินทรีย์กลุ่ม methanogens ต้องใช้เวลาในการปรับตัวและเพิ่มจำนวนให้เพียงพอกับปริมาณสารอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ในการผลิตแก๊สมีเทน (Lim *et al.,* 2008) โดยเฉลี่ยต้องใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน ที่อุณหภูมิ 35 ^{o}C ในการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่า (พรเทพ, 2551) นอกจากนี้สาเหตุที่ปริมาณของแก๊สมีเทนมีการเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นวัฏจักรนั้นอาจเนื่องมาจาก เชื้อจุลินทรีย์มีการตายและเกิดการแบ่งเซลล์ใหม่เป็นวัฏจักรของชีวิต ซึ่งการเปลี่ยนปริมาณแก๊สมีเทนจะมีความสัมพันธ์กับระยะการผลิตของเชื้อจุลินทรีย์ (Lianhua *et al*.,

Prince of Songkla University Pattani Campus

2010) อีกทั้งกระบวนการผลิตแก๊สมีเทนต้องอาศัยการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์หลายกลุ่ม และมีหลายขั้นตอน ดังนั้นในช่วงแรกเป็นขั้นตอนการย่อยสลายพอลิเมอร์ได้แก่สารพวกโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต รวมทั้งผนังเซลล์ของสาหร่ายให้กลายเป็นสารโมเลกุลเล็ก ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการผลิตแก๊สมีเทน การย่อยวัตถุดิบโมเลกุลใหญ่เหล่านี้ต้องอาศัยเวลา จึงส่งผลให้การผลิตแก๊สมีเทนไม่สม่ำเสมอ จากกราฟที่ 4.12 พบว่า ในช่วงถัดไป หลังจาก 24 วันของการหมักเปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทนค่อนข้างคงที่ โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 40-55% v/v ในการทดลองครั้งนี้ให้ค่าเปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทนสูงสุดเท่ากับ 65.96% v/v ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวัตถุดิบส่วนใหญ่ถูกย่อยสลายทำให้เชื้อสามารถนำไปใช้ได้ง่ายกว่าช่วงแรก อีกทั้งพ้นระยะ lag phase และระยะการปรับตัวของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้เชื้อจุลินทรีย์มีอัตราการทำงานเพิ่มขึ้น ซึ่งการทดลองในระดับการขยายถังปฏิกรณ์พบว่าสามารถผลิตแก๊สมีเทน 269±13 $LCH_4kgVS^{-1}_{added}$สอดคล้องกับ Bruhn *et al.*(2011) ได้ศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากสาหร่าย *Ulva* sp ซึ่งมีการทำให้เปื่อย และไม่ผ่านกระบวนการล้าง (Unwashed algae, macerated) ก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ หลังหมัก 42 วัน พบว่าสามารถผลิตแก๊สมีเทนเท่ากับ 271 L CH_4 $kgVS^{-1}_{added}$ รวมทั้งสอดคล้องกับ Gurung *et al.* (2012) ซึ่งผลิตแก๊สชีวภาพจากชีวมวลทางทะเล โดยทำการหมัก 60 วัน พบสาหร่ายสีเขียวสามารถผลิตแก๊สมีเทนเท่ากับ 256 L CH_4 $kgVS^{-1}_{added}$นอกจากนี้จากตารางที่ 4.5 พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีก่อนและหลังการทดลอง (หลังทำการหมัก 45 วัน) มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 40±4 ชี้ให้เห็นว่าการย่อยสลายภายในระบบยังไม่สมบูรณ์ สอดคล้องกับรูปที่ 4.12 พบว่าอัตราการผลิตแก๊สชีวภาพหลังจากการหมัก 45 วัน มีแนวโน้มการผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ ควรเพิ่มระยะเวลาของการหมักหรือควรปรับสภาพวัตถุดิบก่อนป้อนเข้าสู่ระบบ

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์หลังการหมักถังปฏิกรณ์ขนาด 6 ลิตร (n=3)

Parameters	Values (n=3)	
	Initial	After 45 days
pH	7.56±0.26	7.68±0.33
COD (mg L^{-1})	7,510±204	4,516±620
VFA (mg L^{-1})	-	436±71
Biogas production rate (L $day^{-1}_{workin\ volume}$)	-	5±1
Methane yield (L CH_4 $kgVS^{-1}_{added}$)	-	269±13

Prince of Songkla University
Pattani Campus